วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม 2567 Vol. 18 No. 3 September-December 2024 ISSN 3027-7221 (Online)

นโยบายการจัดพิมพ์

วารสาร EAU Heritage เป็นวารสารราย 4 เดือน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียจัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเผยแพร่ความรู้ในสาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าและเปิดโอกาสให้นักศึกษา นักวิจัย คณาจารย์ ตลอดจนนักวิชาการทั่วไปทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานให้เป็นที่รู้จักต่อสาธารณชน และได้แลกเปลี่ยนความรู้ในวิทยาการด้านต่าง ๆ

บทความที่เสนอเพื่อตีพิมพ์

บทความที่เสนอเพื่อพิจารณาต้องเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ เรื่องที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ผ่านกระบวนการพิจารณากลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาของบทความ เป็นการประเมิน Double Blind Review ที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน และต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาในวารสารอื่น ๆ (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง) บทความที่ได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิและทำการปรับแก้เรียบร้อยแล้ว จึงจะได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ลงในวารสารฯ

การเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับที่เสนอเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ ต้องมีรูปแบบดังต่อไปนี้

1. พิมพ์ด้วยกระดาษ A4 ความยาวไม่เกิน 15 หน้า
2. รูปแบบตัวอักษรให้ใช้ TH SarabunPSK ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และขนาดของตัวอักษร หากเป็นชื่อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 20 หัวข้อต่าง ๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 และส่วนเนื้อหาทั่วไปใช้ตัวอักษรขนาด 15
3. รูปแบบการจัดหน้าและจัดแนวข้อความชิดซ้าย (ไม่ต้องปรับขวา)
4. เขียนชื่อ ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และที่อยู่ของผู้เขียนอย่างชัดเจน โดยแยกออกจากส่วนต้นฉบับและบทคัดย่อ
5. แนบบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษมาพร้อมกับบทความ โดยกำหนดความยาวของบทคัดย่อไม่เกิน 15 บรรทัด พร้อมทั้งกำหนดคำสำคัญ (key words) ไม่เกิน 6 คำ
6. แยกไฟล์ตาราง รูปภาพ ที่ประกอบในเนื้อหาบทความ และส่งมาพร้อมกับไฟล์บทความ

การอ้างอิงและการเขียนเอกสารอ้างอิง

ในกรณีที่ผู้เขียนต้องการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลในเนื้อเรื่อง ให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนามปี (APA) โดยระบุชื่อผู้แต่ง ปีพิมพ์ และเลขหน้าที่ข้อมูลปรากฏอยู่ (ชื่อ นามสกุล, ปีพิมพ์, เลขหน้า) ตัวอย่างเช่น

(ธวัชชัย สันติวงษ์, 2540, น. 142)

(Fuchs, 2004, p. 21)

ส่วนการเขียนรายการอ้างอิงท้ายเล่ม ให้ใช้ระบบการอ้างอิงแบบ APA Style (6th edition) ตัวอย่างการเขียนรายการอ้างอิง มีดังนี้

1. หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). *ชื่อหนังสือ* (ครั้งที่พิมพ์). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือหน่วยงานที่พิมพ์.

ประคอง กรรณสูต. (2541). *สถิติเพื่อการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์* กรุงเทพฯ: บรรณกิจ.

Sharp, W. F. (1985). *Investment* (3rd ed.). New Jersey: Prentice-Hall.

2. ชื่อบทในหนังสือรายงานการประชุม

Hay, S. P. (1975). Political parties and the community-society continuum. In W. N. Chambers & W. D. Burnham (Eds.)., *The American party systems Stage of political development* (2nd ed.). New York: Oxford university press.

สุไร พงษ์ทองเจริญ. (2539). สาระสำคัญเกี่ยวกับการเรียนการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา. *ในเอกสารการสอนชุดวิชาการสอนภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 2, หน่วยที่ 9). นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

3. วารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. *ชื่อวารสาร, ปีที่*(ฉบับที่), เลขหน้า.

สุจินต์ สิมารักษ์. (2550). หลากหลายปัญหาการเลี้ยงโคนมในประเทศไทย. *วารสารเศรษฐกิจการเกษตร, 27*(2), 53-57.

4. หนังสือพิมพ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปี, เดือน วันที่). ชื่อบทความ. *ชื่อหนังสือพิมพ์*, หน้า.

ศรีสกุล ลีวาพีระพันธ์. (2545, กรกฎาคม 11). จับทีวีใส่กระเป๋าเขาทำกันอย่างไร?. *มติชน*, น. 19.

5. วิทยานิพนธ์

กอบกุล สรรพกิจจำนง. (2541). *การวิจัยเชิงนโยบายเพื่อการพัฒนานโยบายการใช้อินเทอร์เน็ตสำหรับสถาบันอุดมศึกษาไทย.* ดุษฎีนิพนธ์ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

6. สารสนเทศจากอินเทอร์เน็ต

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่เผยแพร่เอกสาร). *ชื่อเรื่อง*. ค้นจาก (ระบุ URL ที่สืบค้นบนอินเทอร์เน็ต).

มานพ แก้วผกา. (2549). *เศรษฐกิจพอเพียงกับการค้าเสรีไปด้วยกันได้จริงหรือ*. ค้นจาก http://www.ftawatch.org

ชื่อผู้เขียน. (ปีที่เผยแพร่เอกสาร). *ชื่อเรื่อง*. ค้นเมื่อ (ระบุวัน เดือน ปี), จาก (ระบุ URL ที่สืบค้นบนอินเทอร์เน็ต).

Prizker, T. J. (1989). *An early fragment from central Nepal*. Retrieved from http://www.ingress.com/-astranart/pritzker.html

สถานที่ติดต่อ

กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาคาร ชวน ชวนิชย์ ชั้น 4 ห้อง C423
200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: 0-2577-1028 ต่อ 378
e-mail address: eauheritage_sci@eau.ac.th, eau_heritage@eau.ac.th

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
EAU Heritage Journal
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Science and Technology

ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม 2567 Vol. 18 No. 3 September-December 2024 ISSN 3027-7221 (Online)

ความเป็นมา

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เริ่มจัดพิมพ์ในปี พ.ศ. 2550 มีกำหนดเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ จนถึงปี พ.ศ. 2559 ได้เพิ่มการเผยแพร่วารสารเป็นปีละ 3 ฉบับ และในปีที่ 11 ฉบับที่ 3 (กันยายน–ธันวาคม 2560) เป็นต้นมา ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตวารสารจากตัวเล่มหนังสือเป็นการผลิตแบบ CD และเปลี่ยนการผลิตจาก CD เป็น Flash Drive ในปีที่ 12 ฉบับที่ 1 (มกราคม–เมษายน 2561) และตั้งแต่ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม–เมษายน 2565) เป็นต้นมา วารสารได้ยกเลิกการผลิต Flash Drive

ในปี พ.ศ. 2565 วารสารได้ปรับเปลี่ยนจำนวนผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินบทความจากการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวนไม่น้อยกว่า 2 ท่าน เป็นการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน โดยเริ่มใช้กับบทความปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม–เมษายน 2565) เป็นต้นมา

ในปี พ.ศ. 2567 วารสารได้ยกเลิกการใช้เลขมาตรฐานสากลทั้งฉบับพิมพ์ (ISSN 2286-6175 (Print)) และฉบับออนไลน์ (E-ISSN 2651-1738 (Online)) และได้ขอเลข E-ISSN (Online) ใหม่ คือ E-ISSN 3027-7221 (Online) เพื่อเปลี่ยนชื่อภาษาอังกฤษ (Key-title) ให้ตรงกับชื่อภาษาอังกฤษของวารสาร และเริ่มใช้เลข E-ISSN (Online) ใหม่ ตั้งแต่ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2567)

ปัจจุบัน วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รับการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) โดยได้รับการจัดกลุ่มให้เป็นวารสาร กลุ่มที่ 1 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพของคณาจารย์ บุคลากร นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

2. เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มพูนความรู้ทางวิชาการแก่สังคม โดยสนับสนุนให้คณาจารย์ บุคลากร นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย นำเสนอผลงานวิชาการในสาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

ขอบเขตเนื้อหาการตีพิมพ์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ที่มีคุณภาพด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ พยาบาลศาสตร์ เภสัชศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ การบิน สิ่งแวดล้อม และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ประเภทบทความที่รับ วารสารรับตีพิมพ์เผยแพร่บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใน 2 ประเภท ได้แก่

1. บทความวิจัย (Research Article)
2. บทความวิชาการ (Academic Article)

กำหนดการเผยแพร่ กำหนดออกเผยแพร่ราย 4 เดือน ปีละ 3 ฉบับ ดังนี้

ฉบับที่ 1: มกราคม-เมษายน (กำหนดออก เมษายน)

ฉบับที่ 2: พฤษภาคม-สิงหาคม (กำหนดออก สิงหาคม)

ฉบับที่ 3: กันยายน-ธันวาคม (กำหนดออก ธันวาคม)

การจัดพิมพ์ เผยแพร่ฉบับออนไลน์ ที่ https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci

นโยบายการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ตั้งแต่ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มกราคม-เมษายน 2565) บทความทุกบทความจะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ที่มีความเชี่ยวชาญตรงตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่าน (เดิมใช้ผู้ทรงคุณวุฒิไม่น้อยกว่า 2 ท่าน) ในรูปแบบของการประเมินบทความที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนไม่ทราบชื่อและสังกัดของกันและกัน (Double-Blind Peer Review)

โดยบทความจากบุคลากรภายใน จะได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด ส่วนบทความจากบุคลากรภายนอก จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกทั้งหมด หรือจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

แหล่งผลิต กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อน

2. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่จัดส่งมานั้น ไม่อยู่ระหว่างการรอตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ

3. ผู้เขียนต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ

4. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานตัวเอง รวมทั้งจัดทำรายการอ้างอิงให้ครบถ้วน

5. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน Template ของวารสาร

6. ผู้เขียนที่มีรายชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้เขียนที่มีส่วนร่วมในงานเขียนจริง ในกรณีที่เป็นบทความวิจัย ผู้เขียนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง ทั้งนี้ ผู้เขียนที่ส่งบทความต้องตรวจสอบผู้เขียนให้ครบถ้วน ทางกองบรรณาธิการไม่อนุญาตให้มีการเปลี่ยนแปลงชื่อภายหลังการส่งบทความ

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่ตนรับผิดชอบ

2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลใด ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

3. บรรณาธิการต้องตัดสินใจคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ

4. บรรณาธิการต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว

5. บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ เพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน

6. บรรณาธิการต้องไม่มีประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียน ผู้ประเมินบทความ และทีมบริหาร

7. บรรณาธิการต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่เชื่อถือได้เพื่อให้แน่ใจว่าบทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารไม่มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น

8. หากตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้เขียนหลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจงประกอบการ “ตอบรับ” หรือ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

จรรยาบรรณการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลบางส่วนหรือทุกส่วนของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

2. หลังจากได้รับบทความจากกองบรรณาธิการวารสารฯ ผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนเช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้เขียนเป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ

3. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย

4. ผู้ประเมินต้องระบุผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้เขียนไม่ได้อ้างถึง เข้าไปในการประเมินบทความด้วย นอกจากนี้หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินต้องชี้แจงให้บรรณาธิการทราบด้วย

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และสัตว์

บทความวิจัยที่ส่งเข้ามารับการตีพิมพ์ ถ้างานวิจัยเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ผู้เขียนต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนจากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ สำหรับการทดลองในสัตว์ต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558

บทบรรณาธิการ

สวัสดี ผู้อ่านทุกท่าน วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 3 ของปีที่ 18 (เดือนกันยายน-ธันวาคม 2567) ซึ่งมีกำหนดเผยแพร่ในช่วงส่งท้ายปี กองบรรณาธิการจึงขอถือโอกาสนี้ในการส่งความสุขแด่ทุกท่าน และขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก ดลบันดาลให้ทุกท่านประสบแต่ความสุข ความเจริญ มีสุขภาพแข็งแรง และสัมฤทธิ์ผลในสิ่งอันพึงปรารถนาทุกประการ

บทความในฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 14 บทความ โดยทุกบทความมีเนื้อหาสอดคล้องเกี่ยวข้องตามวัตถุประสงค์การเผยแพร่ของวารสาร จำแนกเป็น บทความวิชาการ 2 บทความ ได้แก่ บทความเรื่อง “บทบาท ประโยชน์ และความท้าทายของการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์” และบทความเรื่อง “น้ำตาลฟรุกโตส: ปัจจัยเสี่ยงโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์” และบทความวิจัยอีก 12 บทความ โดยจะขอยกตัวอย่างชื่อเรื่องของ 5 บทความวิจัยที่ต่างสาขากัน ดังนี้ “การประยุกต์ใช้ TRIZ และวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการปรับปรุงที่นั่งชิงช้า” “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดสารภีน้ำ เพื่อตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับต่อยอดในเชิงพาณิชย์” “การออกแบบและวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการหดตัวของชิ้นงานหล่ออินเวสต์เมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ Cast Designer” “การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่อพยพจากอุทกภัย กรณีศึกษา ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา” และ “การประยุกต์ใช้ระบบนำวิถีด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์สำหรับอากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็ก” ส่วนอีก 7 บทความที่ไม่ได้เอ่ยชื่อก็ล้วนเป็นบทความที่มีความน่าสนใจไม่แพ้กัน หวังว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้และประโยชน์จากบทความในวารสารของเรา

สำหรับฉบับหน้า ซึ่งจะเป็นฉบับที่ 1 ของปีที่ 19 (เดือนมกราคม-เมษายน 2568) จะเป็นฉบับแรกของการใช้ผลประเมินคุณภาพในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 5 พ.ศ. 2568-2572 ซึ่งทางศูนย์ TCI จะทำการประกาศผลให้ทราบภายในเดือนมกราคม 2568 ว่า วารสารของเราจะได้รับการจัดให้อยู่ในวารสารกลุ่มใด ตลอดการดำเนินงานเป็นเวลา 18 ปีเต็ม กองบรรณาธิการมีความมุ่งมั่นตั้งใจในการพัฒนาคุณภาพและรักษามาตรฐานของวารสาร ที่ผ่านมาเรายินดีน้อมรับทุกคำแนะนำเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพของวารสารให้ดียิ่งขึ้น และต้องขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนวารสารของเราด้วยดีเสมอมา พบกันใหม่ปีหน้า ในฉบับหน้าค่ะ

บรรณาธิการ

สารบัญ

สารบัญ

บทบาท ประโยชน์ และความท้าทายของการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

The Role Benefits and Challenges of Applying Artificial Intelligence for Enhancing Cybersecurity

ปาริตา ไพศาลรุ่งพนา[1] พัฒน์ศรัญย์ เลาหไพบูลย์[2] อรณิชา คงวุฒิ[3]* และวุฒิรงค์ คงวุฒิ[4]
Palita Pisanrungpana[1], Phatsaran Laohhapaiboon[2], Ornnicha Kongwut[3]* and Wuttirong Kongwut[4]
[1]หลักสูตรวิทย์-คณิต โรงเรียนเทพศิรินทร์สมุทรปราการ
[1]Science-Mathematics Course, Thep Sirin School Samut Prakan
[2]หจก.บุญพาวาสนาส่ง
[2]Boonpawassanasong Partnership
[3]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
[3]Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University
[4]ฝูงบิน 203 กองบิน 2 กองทัพอากาศไทย
[4]203 Squadron Wing, Royal Thai Air Force
*Corresponding author: ornnicha.k@kru.ac.th
Received: April 25, 2024
Revised: July 25, 2024
Accepted: July 30, 2024

บทคัดย่อ

ภัยคุกคามทางไซเบอร์มีแนวโน้มทวีความรุนแรงและซับซ้อนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งการโจมตีด้วยมัลแวร์ การโจมตีแบบปฏิเสธการให้บริการ และภัยคุกคามประเภทใหม่อย่างการเรียกค่าไถ่ ส่งผลกระทบอย่างมหาศาลต่อองค์กรและบุคคลทั่วโลก ระบบรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดในการรับมือ การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ AI ในการรับมือกับภัยคุกคามไซเบอร์ในช่วงปี ค.ศ. 2014-2024 โดยใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ศึกษาเปรียบเทียบผลงานวิจัยทั้งในแง่เทคนิค AI ที่นำมาใช้ ประเภทภัยคุกคามที่ศึกษา และประสิทธิภาพของระบบ ผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้เทคนิค AI หลากหลายแขนง ไม่ว่าจะเป็น Machine Learning Deep Learning หรือการผสมผสานหลายเทคนิค สามารถเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับภัยคุกคาม ความรวดเร็วในการตอบสนอง และขีดความสามารถในการเรียนรู้รูปแบบใหม่ ๆ ได้สูงกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการใช้ Deep Learning ในการวิเคราะห์มัลแวร์ที่มีความแม่นยำสูงถึง 98% และเร็วกว่าการวิเคราะห์ด้วยมนุษย์ถึง 20 เท่า

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์ ความปลอดภัยไซเบอร์ การตรวจจับภัยคุกคาม การวิเคราะห์มัลแวร์

Abstract

Cyber threats are continuously evolving, becoming more severe and complex. Malware attacks, denial-of-service attacks, and new threats such as ransomware severely impact organizations and individuals worldwide. Traditional security systems have limitations in dealing with these threats, making the application of Artificial Intelligence (AI) an attractive alternative. This academic article aims to review the literature on applying AI to tackle cyber threats from 2014-2024, using a systematic literature review methodology. It compares research papers in terms of AI techniques used, types of threats studied, and system performance. The study found that applying various AI techniques, whether machine learning, deep learning, or a combination of techniques, can significantly improve threat detection accuracy, response speed, and ability to learn new patterns compared to traditional methods. Notably, the use of deep learning in malware analysis showed up to 98% accuracy and was 20 times faster than human analysis.

Keywords: artificial intelligence, cybersecurity, threats detection, malware analysis

บทนำ

ในยุคดิจิทัลปัจจุบัน ภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้ทวีความรุนแรงและซับซ้อนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบอย่างมหาศาลต่อทั้งองค์กรและบุคคลทั่วโลก การรับมือกับภัยคุกคามเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยหลักการพื้นฐานของ Cybersecurity ที่มุ่งรักษา Confidentiality (ความลับ) Integrity (ความถูกต้องครบถ้วน) และ Availability (ความพร้อมใช้งาน) ของข้อมูลและระบบ (Kizza, 2020)

หนึ่งในภัยคุกคามที่สร้างความเสียหายอย่างมาก คือ การโจมตีแบบ Ransomware ซึ่งเป็นมัลแวร์ที่เข้ารหัสข้อมูลและเรียกค่าไถ่ โดยในปี 2021 พบว่ามีองค์กรกว่า 68% ถูกโจมตีด้วย Ransomware และในจำนวนนั้นมีผู้ที่สูญเสียข้อมูลถึง 82% (Roger, 2022; Wollerton, 2023) นอกจากนี้ การโจมตีแบบ Distributed Denial of Service--DDoS ที่ใช้ปริมาณ Traffic มหาศาลเพื่อทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการได้ ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยในปี 2022 มีการโจมตี DDoS เพิ่มขึ้นถึง 150% เมื่อเทียบกับปีก่อน (Cox, 2023; Hassan, 2019)

ระบบรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมที่อาศัยการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญเป็นหลักนั้น มีข้อจำกัดในการรับมือภัยคุกคามที่ซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence--AI) โดยเฉพาะเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) และการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) มาประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับ ป้องกัน และตอบสนองต่อภัยคุกคามได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง (Accenture, 2019)

อย่างไรก็ตาม การนำ AI มาใช้งานจริงในด้านนี้ก็ยังคงมีความท้าทายที่สำคัญ ทั้งในแง่ข้อจำกัดของเทคโนโลยี การขาดแคลนข้อมูลและบุคลากร ไปจนถึงประเด็นด้านจริยธรรมและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง (Kumar, Han & Soni 2022; Zeadally et al., 2020)

บทความนี้จะทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ AI ในการรับมือกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ เพื่อสรุปแนวโน้ม บทบาท ประโยชน์ ตลอดจนข้อจำกัดและความท้าทายสำคัญในการพัฒนา AI ด้านนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไปในอนาคต

ขั้นตอนการดำเนินการ

บทความวิชาการนี้ดำเนินการโดยการทบทวนและวิเคราะห์เอกสารและบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ ระหว่างช่วงปี ค.ศ. 2014-2024 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การสืบค้นและรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการสืบค้นและรวบรวมบทความวิจัย บทความวิชาการ งานวิทยานิพนธ์ และรายงานทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง จากฐานข้อมูลวารสารและสิ่งพิมพ์วิชาการออนไลน์ที่น่าเชื่อถือ อาทิ IEEE Xplore ScienceDirect ACM Digital Library Scopus เป็นต้น โดยใช้คำค้นหาหลักเกี่ยวกับ "ปัญญาประดิษฐ์" "ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์" "การตรวจจับภัยคุกคาม" เป็นต้น

2. การคัดเลือกบทความที่เกี่ยวข้อง

จากนั้นทำการคัดกรองบทความที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการศึกษาโดยตรง โดยพิจารณาจากบทคัดย่อและสาระสำคัญของบทความ เพื่อคัดเลือกบทความที่มีการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ต่าง ๆ เช่น Machine Learning Deep Learning เป็นต้น ในการตรวจจับภัยคุกคาม วิเคราะห์มัลแวร์ หรือเพื่อวัตถุประสงค์ด้านความปลอดภัยไซเบอร์โดยตรง

เกณฑ์การคัดเข้า

- บทความที่ตีพิมพ์ระหว่างปี ค.ศ. 2014-2024
- บทความที่เขียนเป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาไทย
- บทความที่นำเสนอการประยุกต์ใช้ AI ในด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์
- บทความที่มีการอธิบายวิธีการวิจัยและผลลัพธ์อย่างชัดเจน

เกณฑ์การคัดออก

- บทความที่ไม่ได้ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (non-peer-reviewed)
- บทความที่ไม่ได้เน้นการประยุกต์ใช้ AI ในด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์โดยตรง
- บทความที่ไม่มีรายละเอียดเพียงพอเกี่ยวกับวิธีการวิจัยหรือผลลัพธ์

3. การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล

นำบทความที่คัดเลือกมาทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์เนื้อหาสำคัญในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ ได้แก่ Machine Learning, Deep Learning และอื่น ๆ
- ประเภทของภัยคุกคามไซเบอร์ที่ศึกษา เช่น มัลแวร์ การบุกรุกเครือข่าย บอทเน็ต เป็นต้น
- ประสิทธิภาพและข้อดีของการประยุกต์ใช้ AI เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม
- ข้อจำกัด ปัญหาอุปสรรค และความท้าทายของการนำ AI มาประยุกต์ใช้
- แนวโน้มและข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อยอดในอนาคต

วิธีการวิเคราะห์

- ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) เพื่อระบุประเด็นสำคัญและแนวโน้มในการวิจัย
- ใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบ (comparative analysis) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค AI ต่าง ๆ
- ใช้การวิเคราะห์ช่องว่าง (gap analysis) เพื่อระบุประเด็นที่ยังขาดการศึกษาหรือต้องการการวิจัยเพิ่มเติม

วิธีการสังเคราะห์

- ใช้การสังเคราะห์แบบบรรยาย (narrative synthesis) เพื่อสรุปภาพรวมของการประยุกต์ใช้ AI ในด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์
- สร้างกรอบแนวคิด (conceptual framework) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิค AI ประเภทของภัยคุกคาม และประสิทธิภาพในการรับมือ
- จัดทำตารางสรุปเปรียบเทียบผลการศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ

จากนั้นนำผลการวิเคราะห์และสังเคราะห์มาสรุปและนำเสนอในรูปแบบของบทความวิชาการ โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่าง ๆ เช่น บทนำ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง บทบาทของ AI ในการป้องกันภัยคุกคาม ข้อดีและข้อจำกัด รวมถึงสรุปและข้อเสนอแนะ

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา งานวิจัยจำนวนมากได้มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับมือกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่ทวีความซับซ้อนมากขึ้นเรื่อย ๆ

หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง คือ การนำอัลกอริทึม Machine Learning เช่น Decision Tree, Support Vector Machine--SVM และ Deep Learning มาใช้ในการตรวจจับและทำนายการโจมตี ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบของ Sarker et al. (2020) พบว่า เทคนิคเหล่านี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีในการจำแนกพฤติกรรมที่ผิดปกติและระบุภัยคุกคามได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายในการเลือกคุณลักษณะ (feature) ที่เหมาะสม การปรับพารามิเตอร์ของโมเดล ตลอดจนประเด็นด้านจริยธรรมและความเป็นส่วนตัวของข้อมูล

เพื่อแก้ปัญหาความเป็นส่วนตัวและข้อจำกัดทางกฎหมายในการแบ่งปันข้อมูล Liu et al. (2024) จึงเสนอแนวคิดการใช้ Federated Learning ซึ่งเป็นวิธีการกระจายการฝึกโมเดล Machine Learning โดยไม่ต้องรวบรวมข้อมูลไว้ที่ส่วนกลาง ผลการทดลองเบื้องต้นชี้ให้เห็นศักยภาพในการรักษาความแม่นยำของโมเดลได้ใกล้เคียงกับวิธีแบบรวมศูนย์ แม้จะมีข้อท้าทายบางประการในการประยุกต์ใช้งานจริง เช่น ปัญหา Non-IID Data และความล่าช้าในการสื่อสาร นอกจากนี้ Mothukuri et al. (2021) ยังได้วิเคราะห์ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของ Federated Learning พร้อมเสนอแนวทางการป้องกัน เช่น การเข้ารหัสข้อมูล การตรวจสอบสิทธิ์ผู้เข้าร่วม และการปกป้องความเป็นส่วนตัวด้วยวิธี Differential Privacy

อีกแนวทางที่น่าสนใจ คือ การประยุกต์ใช้ Graph Neural Network--GNN ในการวิเคราะห์โครงสร้างของเครือข่ายและตรวจจับพฤติกรรมที่ผิดปกติ ดังเช่นในงานของ Srinivasan & Sharmili (2022) ที่นำ GNN มาใช้ตรวจจับการบุกรุกระบบเครือข่ายได้ผลดีกว่าเทคนิคดั้งเดิม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความซับซ้อนของการคำนวณและการขยายขนาดเพื่อรองรับข้อมูลขนาดใหญ่ในเครือข่ายจริง Zhong et al. (2020) จึงเสนอเทคนิค Hierarchical GNN เพื่อลดความซับซ้อน โดยแบ่งกราฟขนาดใหญ่ออกเป็นกราฟย่อย ๆ ก่อนจะทำการเรียนรู้ในแต่ละชั้นแล้วรวมผลลัพธ์เข้าด้วยกันในระดับสูงขึ้นไป ส่วน Li et al. (2022) ได้ผสมผสานข้อดีของ GNN และ Federated Learning เพื่อสร้างโมเดลตรวจจับการบุกรุกที่มีประสิทธิภาพสูงและปกป้องความเป็นส่วนตัวของข้อมูลไปพร้อมกัน

ในด้านการแก้ปัญหา Black Box ของโมเดล AI ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการสร้างความเชื่อมั่น ก็มีการนำเทคนิค Explainable AI--XAI มาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายกระบวนการตัดสินใจของโมเดลให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น โดย Warnecke et al. (2020) ได้นำเสนอเทคนิค LEMNA ซึ่งใช้ Shapley Value และ k-Means Clustering ในการสร้างคำอธิบายแบบ Local สำหรับการทำนายของโมเดล ML ในบริบทของ Cybersecurity ส่วน Marino et al. (2021) ได้พัฒนากรอบการทดสอบ metamorphic สำหรับการตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยของ Cyber-Physical Systems ที่ใช้ ML ให้สามารถทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม แนวทาง XAI สำหรับ Deep Learning โมเดลที่มีความซับซ้อนสูงยังคงเป็นความท้าทายที่ยังต้องมีการศึกษากันต่อไป (Nanda et al., 2022)

นอกจากนั้น การรับมือกับภัยคุกคามประเภท Adversarial Attack ซึ่งมุ่งบิดเบือนหรือหลอกลวงโมเดล ML ก็เป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างมาก โดย Guo et al. (2020) ได้ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับ Adversarial Attack และวิธีการป้องกันในงานด้าน Cybersecurity อย่างเช่น การเพิ่ม Adversarial Training การใช้เทคนิค Ensemble และการตรวจจับการโจมตีด้วยการวิเคราะห์ Activation Value ซึ่งแม้จะช่วยบรรเทาปัญหาได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเมื่อใช้กับโมเดลและข้อมูลที่ซับซ้อน ขณะที่ Zhang et al. (2021) เสนอ Adversarial Attack Detection Framework ที่ผสานเทคนิคการเรียนรู้แบบ Meta-Learning และ Few-Shot Learning เพื่อสร้างตัวตรวจจับที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับการโจมตีรูปแบบใหม่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แม้จะใช้ข้อมูลในการฝึกฝนเพียงเล็กน้อยก็ตาม

จากการสังเคราะห์งานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่า แม้เทคนิค AI และ Machine Learning จะมีศักยภาพสูงในการยกระดับการรักษาความปลอดภัยไซเบอร์ แต่การนำไปใช้งานจริงยังมีความท้าทายที่หลากหลาย ทั้งในด้าน

ประสิทธิภาพและความแม่นยำของโมเดล การจัดการกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนสูง การปกป้องความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูล การอธิบายกระบวนการตัดสินใจให้โปร่งใส ไปจนถึงการรับมือกับ Adversarial Attack ที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยปัจจัยเหล่านี้ยังคงเป็นช่องว่างสำคัญที่ต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถนำศักยภาพของ AI มาใช้ประโยชน์ในการเสริมสร้างความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ได้อย่างเต็มที่และปลอดภัยต่อไปในอนาคต

บทความนี้มุ่งเติมเต็มช่องว่างดังกล่าวโดย (1) นำเสนอการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค AI ต่าง ๆ จากการรวบรวมผลการศึกษาที่ผ่านมา (2) สำรวจและวิเคราะห์แนวทางล่าสุดในการรับมือกับ Adversarial Attack (3) อภิปรายความเป็นไปได้และความท้าทายในการนำ Explainable AI มาใช้ในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ และ (4) เสนอแนะทิศทางการวิจัยในอนาคตเพื่อแก้ไขข้อจำกัดที่ยังคงมีอยู่

ภัยคุกคามทางไซเบอร์ในปัจจุบัน

ในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทในทุกมิติของชีวิตและธุรกิจภัยคุกคามทางไซเบอร์ก็ได้กลายเป็นความเสี่ยงที่ทุกคนจะต้องเผชิญ โดยเฉพาะในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาที่เราได้เห็นการโจมตีทางไซเบอร์ในหลากหลายรูปแบบทวีความถี่และความรุนแรงมากขึ้น

หนึ่งในภัยคุกคามที่สร้างความเสียหายอย่างมหาศาล คือ การโจมตีแบบ Ransomware ซึ่งเป็นมัลแวร์ที่เข้ารหัสไฟล์ของเหยื่อและเรียกค่าไถ่เพื่อแลกกับการปลดล็อก ซึ่งในปี 2021 พบว่า มีองค์กรกว่า 68% ถูกโจมตีด้วย Ransomware และในจำนวนนั้นมีผู้ที่สูญเสียข้อมูลถึง 82% (Roger, 2022) ตัวอย่างเช่น การโจมตีโรงพยาบาล Waikato ในนิวซีแลนด์ทำให้ระบบ IT ใช้การไม่ได้นานถึง 4 สัปดาห์ และต้องย้ายผู้ป่วยออกจากโรงพยาบาล (Cimpanu, 2021) แสดงให้เห็นผลกระทบอย่างกว้างขวางและรุนแรงของ Ransomware

อีกรูปแบบหนึ่งที่น่ากังวล คือ การโจมตีแบบ Distributed Denial of Service--DDoS ซึ่งเป็นการใช้ Traffic ปริมาณมหาศาลเพื่อทำให้ระบบหรือเว็บไซต์ไม่สามารถให้บริการได้ โดยในปี 2022 พบว่า มีการโจมตี DDoS เพิ่มขึ้นถึง 150% เมื่อเทียบกับปีก่อน (Cox, 2023) ตัวอย่างเช่นในเดือนพฤศจิกายน 2022 เว็บไซต์สำคัญของธนาคารแห่งชาติรัสเซียถูกโจมตี DDoS จนไม่สามารถเข้าถึงได้เป็นเวลานาน (Burgess, 2022) ซึ่งนอกจากจะสร้างความเสียหายโดยตรงแล้วยังเป็นการบั่นทอนความเชื่อมั่นของลูกค้าอีกด้วย

ไม่เพียงแต่องค์กรใหญ่ที่จะตกเป็นเป้าหมาย ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้งานทั่วไปก็ตกอยู่ในความเสี่ยงด้วยเช่นกัน จากเทคนิคต่าง ๆ เช่น การหลอกลวงให้กรอกข้อมูลส่วนตัวผ่านอีเมลปลอม (phishing) ไปจนถึงการบุกรุกระบบเพื่อขโมยฐานข้อมูล ดังกรณีการรั่วไหลของข้อมูลกว่า 530 ล้านบัญชีผู้ใช้ Facebook ในปี 2021 (Morse & Satter, 2021) หรือกรณี Marriott International ยักษ์ใหญ่ธุรกิจโรงแรมที่ข้อมูลของลูกค้ากว่า 500 ล้านคนถูกขโมยไป ส่งผลให้บริษัทต้องเสียค่าปรับกว่า 170 ล้านเหรียญและสูญเสียชื่อเสียงอย่างมาก (Whittaker, 2022)

นอกจากนี้ภัยคุกคามรูปแบบใหม่ที่อาศัยจุดอ่อนของมนุษย์ เช่น โซเชียลเอนจิเนียริง (Social Engineering) ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยอาศัยกลยุทธ์หลอกลวงต่าง ๆ เช่น ปลอมตัวเป็นเพื่อนหรือคนรู้จักทางโซเชียลมีเดีย เพื่อให้เหยื่อหลงเชื่อบอกข้อมูลสำคัญหรือโอนเงินให้ซึ่งสร้างความเสียหายถึง 45 ล้านเหรียญในปี 2021 เพิ่มขึ้น 90% จากปีก่อนหน้า (FBI, 2022)

เหตุการณ์เหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่าภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้ทวีความรุนแรงและแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ไม่เพียงสร้างความเสียหายทางการเงินโดยตรงเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบวงกว้างต่อการดำเนินธุรกิจ การให้บริการและความเชื่อมั่นของลูกค้า จนไม่สามารถมองข้ามความเสี่ยงนี้ได้อีกต่อไป ทุกคนจึงจำเป็นต้องตระหนักถึงความสำคัญและร่วมมือกันรับมือกับภัยคุกคามทางไซเบอร์อย่างจริงจัง

บทบาทของปัญญาประดิษฐ์ในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์

ภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วและซับซ้อนมากขึ้น ทั้งการโจมตีแบบมัลแวร์ การโจมตีปฏิเสธการให้บริการ รวมถึงภัยคุกคามรูปแบบใหม่อย่าง

การเรียกค่าไถ่ ส่งผลให้วิธีการรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมไม่เพียงพอต่อการรับมืออีกต่อไป ด้วยเหตุนี้การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการเสริมสร้างขีดความสามารถดังกล่าว

เทคนิคยอดนิยมของ AI ที่นำมาใช้ คือ Machine Learning ในการสร้างตัวแบบเพื่อตรวจจับภัยคุกคามจากข้อมูลในอดีต งานวิจัยของ Kwon et al. (2019) แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถตรวจจับการบุกรุกเครือข่ายรูปแบบใหม่ได้อย่างแม่นยำ โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

กรณีศึกษา: ไมโครซอฟท์ใช้ Random Forest ในการตรวจจับการบุกรุกบนระบบคลาวด์ของตน โดยสามารถลดเวลาในการตรวจจับและตอบสนองต่อภัยคุกคามลงได้ถึง 60% เมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม (Han & Trimi, 2023)

นอกจากนี้ Deep Learning โดยเฉพาะ Convolutional Neural Network--CNN ยังมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์มัลแวร์ เนื่องจากความสามารถในการสกัดคุณลักษณะสำคัญจากไฟล์ตัวอย่างมัลแวร์แล้วนำมาจำแนกได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยล่าสุดของ Chen et al. (2023) ชี้ว่า CNN ให้ผลการจำแนกประเภทของมัลแวร์และการระบุฟังก์ชันอันตรายได้ถูกต้องมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิม 8-10%

กรณีศึกษา: บริษัทแอนตี้ไวรัส Cylance ประสบความสำเร็จในการนำ AI ระบบนี้มาใช้ในการตรวจจับและยับยั้งมัลแวร์ โดยสามารถป้องกันการโจมตีของมัลแวร์ที่ไม่เคยพบมาก่อนได้มากกว่า 99% (Bogatinov & Bogdanoski, 2022)

อีกตัวอย่างที่น่าสนใจ คือ การประยุกต์ใช้ Recurrent Neural Network--RNN โดยเฉพาะ Long Short-Term Memory--LSTM ในการตรวจจับบอทเน็ตและการโจมตีขั้นสูงแบบหลายขั้นตอน โดยงานวิจัยล่าสุดของ Wang et al. (2023) พบว่า LSTM มีความสามารถในการตรวจพบบอทเน็ตได้ถูกต้องสูงถึง 98% ซึ่งเร็วกว่าการสังเกตด้วยมนุษย์ถึง 5 เท่า

กรณีศึกษา: Google Cloud ใช้ LSTM ในการคาดการณ์และตรวจจับบอทเน็ตที่โจมตีบริการคลาวด์ ส่งผลให้สามารถลดความเสียหายจากการโจมตี DDoS ลงได้มากกว่า 80% ในปี 2023 (Aliar et al. 2024) เพื่อให้เห็นภาพรวมของเทคนิค AI ต่าง ๆ ที่ใช้ในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์

จากตารางข้างต้น จะเห็นได้ว่าเทคนิค AI แต่ละประเภทมีจุดแข็งในการรับมือกับภัยคุกคามที่แตกต่างกัน โดยการผสมผสานหลายเทคนิคเข้าด้วยกันอาจให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ การเลือกใช้เทคนิค AI ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะของภัยคุกคามและบริบทการใช้งานของแต่ละองค์กร

ตาราง 1

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค AI ในการตรวจจับภัยคุกคามไซเบอร์

เทคนิค AI	ประเภทภัยคุกคาม	ความถูกต้อง	อ้างอิงงานวิจัย
Random Forest	Network Anomaly Detection	สูงกว่าวิธีดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ	Kwon et al. (2022)
CNN	การวิเคราะห์และจำแนกมัลแวร์	สูงกว่าวิธีดั้งเดิม 8-10%	Chen et al. (2023)
LSTM	ตรวจจับบอทเน็ต	98% เร็วกว่ามนุษย์ 5 เท่า	Wang et al. (2023)
Decision Tree+SVM	ตรวจจับการโจมตี DDoS	สูงกว่าใช้เทคนิคเดี่ยว	Li et al. (2024)

ตาราง 2

วิเคราะห์ช่องว่าง (gap analysis) สำหรับการใช้ AI ในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในปัจจุบัน

ข้อดี	ข้อจำกัด	ความท้าทาย
- ตรวจจับภัยคุกคามได้รวดเร็ว แม่นยำ	- ต้องใช้ข้อมูลปริมาณมากและมีคุณภาพในการฝึกฝนตัวแบบ	- พัฒนาเทคนิคใหม่เพื่อเอาชนะข้อจำกัดของ AI
- สามารถเรียนรู้และปรับตัวกับรูปแบบใหม่ ๆ ได้	- เสี่ยงถูกโจมตีด้วย Adversarial Attack	- จัดทำกรอบกฎระเบียบการนำ AI มาใช้งาน
- ลดภาระงานของบุคลากรด้านความปลอดภัย	- ขาดความโปร่งใส ยากต่อการอธิบายผลลัพธ์	- สร้างและพัฒนาบุคลากรผู้เชี่ยวชาญด้าน AI
		- งบประมาณการลงทุนระบบ AI ที่มีประสิทธิภาพ

จากตารางข้างต้น ในส่วนของข้อจำกัด ได้แก่

1. ปัญหาการขาดแคลนข้อมูลที่มีคุณภาพและปริมาณเพียงพอสำหรับการฝึกฝนตัวแบบ AI นั้น งานวิจัยของ Jo (2020) ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิค Transfer Learning และ Semi-Supervised Learning เพื่อลดความจำเป็นในการใช้ข้อมูลจำนวนมากลง

2. ความเสี่ยงที่ AI อาจถูกโจมตีและบิดเบือนด้วยเทคนิค Adversarial Attack นั้น Chivukula et al. (2023) ได้ศึกษาและเสนอแนวทางการพัฒนาเทคนิคต้านทาน Adversarial Attack เช่น Adversarial Training Model Ensembling เป็นต้น

3. ประเด็นความโปร่งใสและความสามารถในการอธิบายผลลัพธ์ของ AI (explainable AI) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือ งานวิจัยของ Taylor (2024) ได้ให้แนวทางการวิจัยและพัฒนาระบบ Explainable AI เพื่อตอบโจทย์ประเด็นนี้

ข้อจำกัดและความท้าทายของการใช้ปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์โดยเฉพาะเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก มีศักยภาพอย่างมากในการยกระดับขีดความสามารถในการตรวจจับ วิเคราะห์ และรับมือกับภัยคุกคามไซเบอร์ที่ซับซ้อน การนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ก็ยังประสบกับข้อจำกัดและความท้าทายสำคัญบางประการที่ต้องหาวิธีการจัดการ

1. ข้อจำกัดด้านข้อมูล

หนึ่งในข้อจำกัดสำคัญที่สุด คือ การขาดแคลนข้อมูลที่มีคุณภาพสูงและปริมาณเพียงพอสำหรับการฝึกฝนตัวแบบ AI ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการจัดหาข้อมูลดังกล่าวถือเป็นเรื่องท้าทายสำหรับหลายองค์กร โดยมีสาเหตุหลักจากข้อจำกัดด้านกฎระเบียบความเป็นส่วนตัว ต้นทุนในการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูล รวมถึงกระบวนการเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นระบบ (Bhuyan et al., 2015)

การวิจัยในปัจจุบันยังขาดการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับวิธีการจัดการกับปัญหานี้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะมีแนวคิดเช่น Federated Learning ที่ช่วยลดปัญหาการแบ่งปันข้อมูล แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัย (Liu et al., 2024)

2. ความเสี่ยงจาก Adversarial Attack

อีกประเด็นท้าทายสำคัญ คือ ความเสี่ยงที่ตัวแบบ AI อาจถูกโจมตีและบิดเบือนการทำงานด้วยเทคนิคพิเศษที่เรียกว่า Adversarial Attack ซึ่งจะทำให้ระบบ AI ตัดสินใจหรือวิเคราะห์ผิดพลาด ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและบั่นทอนความน่าเชื่อถือในการนำ AI มาใช้ป้องกันภัยคุกคามไซเบอร์

งานวิจัยปัจจุบันยังไม่สามารถพัฒนาวิธีการป้องกัน Adversarial Attack ที่มีประสิทธิภาพสูงและครอบคลุมทุกรูปแบบการโจมตีได้ (Guo et al., 2020) นอกจากนี้ ยังขาดการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบของ Adversarial Attack ในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง

3. ความโปร่งใสและการอธิบายได้

ประเด็นความโปร่งใสและความสามารถในการให้คำอธิบายผลลัพธ์ของระบบปัญญาประดิษฐ์ (explainable AI) ก็ยังเป็นสิ่งที่ต้องได้รับการแก้ไขต่อไป เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและการยอมรับจากผู้ใช้งาน โดยเฉพาะในบริบทของความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่ต้องการความแม่นยำและความรับผิดชอบสูง

การวิจัยในปัจจุบันยังไม่สามารถพัฒนาเทคนิค Explainable AI ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับโมเดล Deep Learning ที่ซับซ้อน โดยเฉพาะในการอธิบายการตัดสินใจในเวลาจริง (real-time) (Nanda et al., 2022)

ความท้าทายในการนำ AI มาใช้จริง

1. การบูรณาการกับระบบที่มีอยู่

การนำ AI มาใช้ในองค์กรที่มีระบบรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมอยู่แล้ว อาจเกิดปัญหาในการบูรณาการระบบทั้งในแง่ของความเข้ากันได้ของเทคโนโลยี และการปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานของบุคลากร (Kumar et al., 2022)

2. การจัดการกับ False Positives และ False Negatives

ระบบ AI อาจเกิดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด (false positives) หรือพลาดการตรวจจับภัยคุกคามจริง (false negatives) ซึ่งอาจส่งผลกระทบร้ายแรงในบริบทของความมั่นคงปลอดภัย การปรับแต่งระบบให้สมดุลระหว่างความไวในการตรวจจับและความแม่นยำเป็นเรื่องที่ท้าทายอย่างมาก (Zeadally et al., 2020)

3. การรักษาความเป็นส่วนตัวและการปฏิบัติตามกฎหมาย

การใช้ AI ในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากอาจนำไปสู่ประเด็นด้านความเป็นส่วนตัวและการละเมิดกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล องค์กรต้องพัฒนาแนวทางการใช้ AI ที่สอดคล้องกับกฎหมายและจริยธรรม (Töndel & Cruzes, 2022)

4. การพัฒนาและรักษาบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ

การขาดแคลนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญทั้งด้าน AI และความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์เป็นอุปสรรคสำคัญ การพัฒนาและรักษาบุคลากรเหล่านี้เป็นความท้าทายสำหรับหลายองค์กร (Clark, 2023)

5. การปรับตัวต่อภัยคุกคามที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ภัยคุกคามทางไซเบอร์มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การพัฒนาระบบ AI ให้สามารถปรับตัวและเรียนรู้ภัยคุกคามรูปแบบใหม่ได้อย่างทันท่วงทีเป็นความท้าทายที่สำคัญ (Wang et al., 2023)

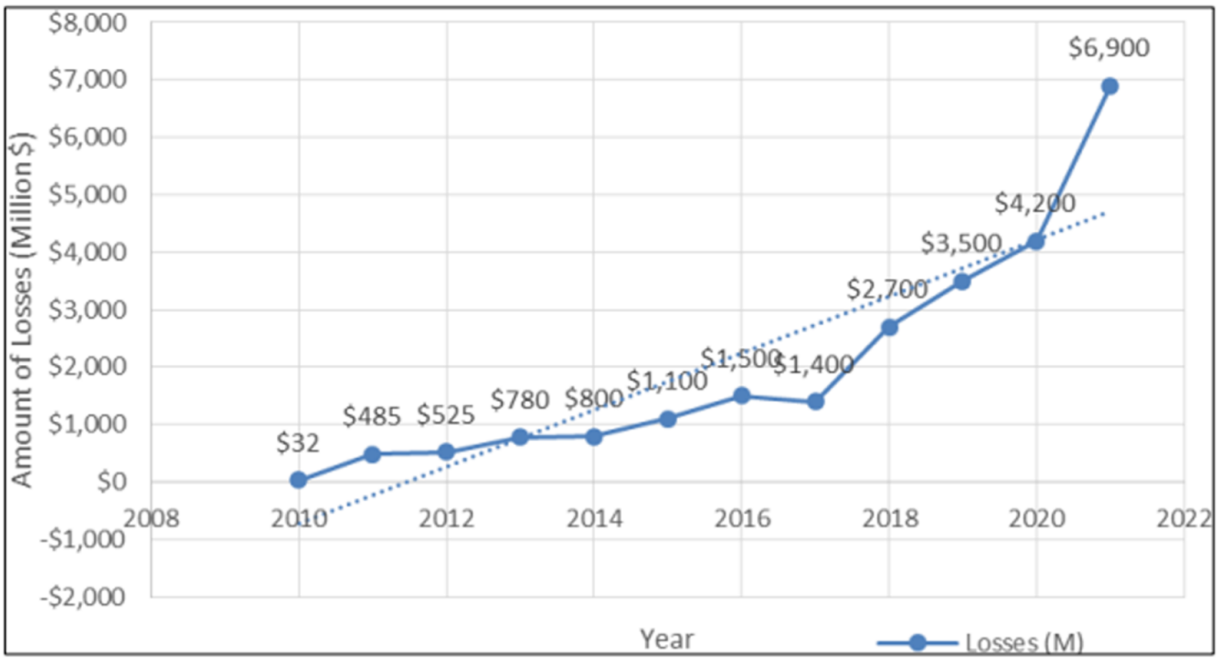
โดยสรุป แม้ปัญญาประดิษฐ์จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการเสริมสร้างขีดความสามารถในการรับมือกับภัยคุกคามไซเบอร์ แต่การประยุกต์ใช้ AI ก็ยังคงมีข้อจำกัดและความท้าทายอยู่หลายประการ นับตั้งแต่การขาดแคลนข้อมูลคุณภาพ ความเสี่ยงจากการโจมตีตัวแบบ AI เอง ไปจนถึงประเด็นความน่าเชื่อถือและความโปร่งใสของระบบ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องเพื่อหาแนวทางในการจัดการกับข้อจำกัดและความท้าทายเหล่านี้ ผ่านการพัฒนาเทคนิคใหม่ ๆ การแบ่งปันองค์ความรู้และการสร้างความร่วมมือระหว่างองค์กรต่าง ๆ เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถนำศักยภาพของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และยั่งยืนสูงสุด

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบได้แสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก ในการเสริมสร้างขีดความสามารถด้านการตรวจจับ วิเคราะห์ และรับมือกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่มีความซับซ้อนและรุนแรงเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยจำนวนมากได้ยืนยันประสิทธิภาพของเทคนิค AI ที่เหนือกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านความแม่นยำและความรวดเร็วในการดำเนินการ

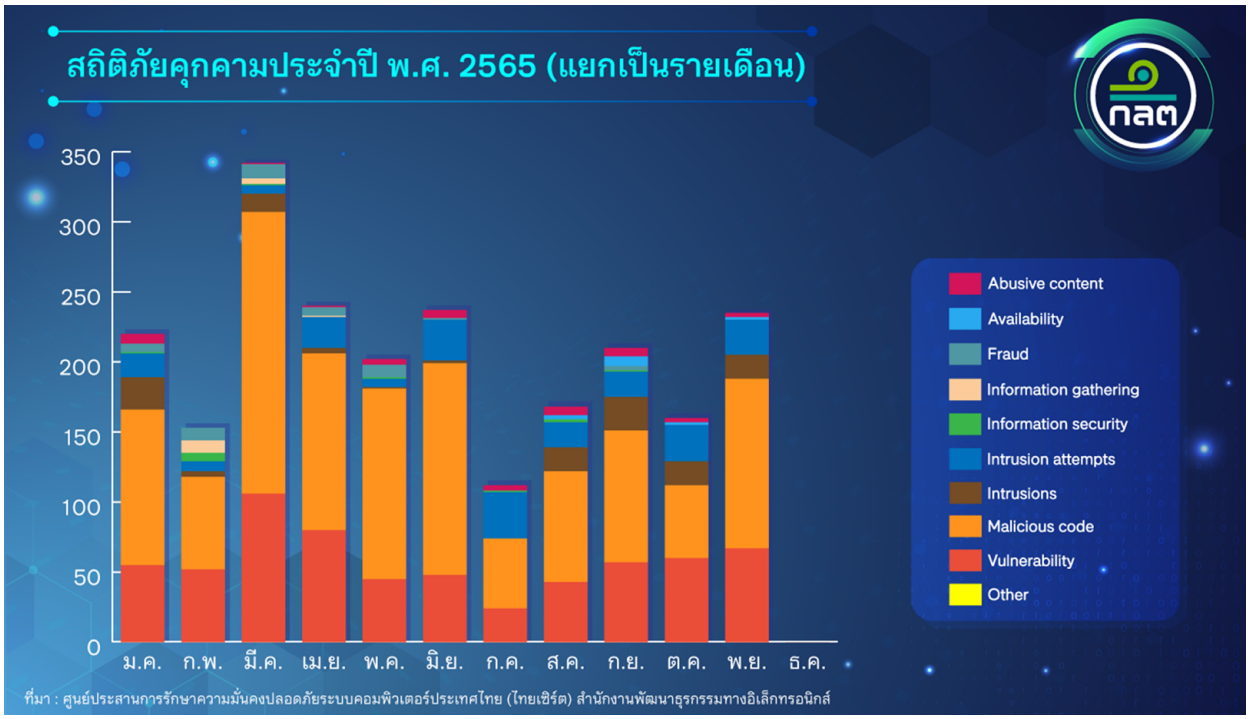
อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ AI ในบริบทของความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ยังคงประสบกับข้อจำกัดและความท้าทายที่สำคัญหลายประการ อาทิ ข้อจำกัดด้านคุณภาพและปริมาณของข้อมูลสำหรับการฝึกฝนโมเดล ความเสี่ยงจากการโจมตีแบบ Adversarial ต่อระบบ AI และประเด็นด้านความโปร่งใสและความสามารถในการอธิบายผลลัพธ์ของระบบ AI (Explainable AI) ประเด็นเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอย่างลึกซึ้งและต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาแนวทางการแก้ไขที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

การวิเคราะห์แนวโน้มการวิจัยในสาขานี้พบว่า มีการมุ่งเน้นไปที่การบูรณาการเทคนิค AI หลากหลายรูปแบบ การพัฒนา Explainable AI การประยุกต์ใช้ Federated Learning เพื่อแก้ปัญหาความเป็นส่วนตัวของข้อมูล และการพัฒนาเทคนิคป้องกัน Adversarial Attack ซึ่งล้วนเป็นประเด็นสำคัญที่ควรได้รับการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องในอนาคต



ภาพ 1 จำนวนการสูญเสียจากการโจมตีทางไซเบอร์ในช่วง 12 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2553-2564) สหรัฐอเมริกา

Note. From A literature review of financial losses statistics for cyber security and future trend by M. H. U. Sharif and M. A. Mohammed, 2022, *World Journal of Advanced Research and Reviews, 15*(01), pp. 138–156. Copyright World Journal of Advanced Research and Reviews



ภาพ 2 ภาพสถิติภัยคุกคามทางไซเบอร์ปี 2565

Note. From *Cyber Attack Trends 2022* by The Securities and Exchange Commission, Thailand, 2022, retrieved from https://www.sec.or.th/TH/Pages/CYBERRESILIENCE-STATISTICS-2565.aspx

ข้อเสนอแนะ

1. ด้านการวิจัยและพัฒนา

1.1 พัฒนา AI ที่มีความยืดหยุ่นและปรับตัวได้สูง สามารถรับมือกับภัยคุกคามรูปแบบใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วิจัยและพัฒนาเทคนิค Privacy-Preserving AI เพื่อรักษาความเป็นส่วนตัวของข้อมูลในกระบวนการเรียนรู้ของ AI

1.3 พัฒนาระบบ AI สำหรับการตอบสนองอัตโนมัติต่อภัยคุกคามทางไซเบอร์

1.4 ศึกษาผลกระทบระยะยาวของการใช้ AI ในด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

1.5 วิจัยและพัฒนาแนวทางการผสมผสาน Human-AI Collaboration เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับมือกับภัยคุกคาม

2. ด้านนโยบายและการสนับสนุน

2.1 จัดสรรงบประมาณและทรัพยากรเพื่อสนับสนุนการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมด้าน AI for Cybersecurity อย่างต่อเนื่อง

2.2 ส่งเสริมการแบ่งปันข้อมูลและความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และสถาบันการศึกษา ในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ AI ด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

2.3 ศึกษาและผลักดันให้เกิดกรอบกฎหมายและมาตรฐานสากลที่เหมาะสมเกี่ยวกับการนำ AI มาใช้ในงานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

3. ด้านการพัฒนามาตรฐานและแนวทางปฏิบัติ

3.1 พัฒนามาตรฐานและแนวทางปฏิบัติในการใช้ AI สำหรับความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ โดยคำนึงถึงประเด็นด้านจริยธรรม กฎหมาย และความรับผิดชอบ

3.2 สร้างแนวทางการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ AI ที่ใช้ในด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

3.3 พัฒนาแนวทางการรับมือกับความเสี่ยงและข้อจำกัดของ AI ในบริบทของความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

4. ด้านการพัฒนาบุคลากรและการศึกษา

4.1 ส่งเสริมการพัฒนาหลักสูตรและโปรแกรมการศึกษาที่บูรณาการความรู้ด้าน AI และความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

4.2 สนับสนุนการฝึกอบรมและพัฒนาทักษะของบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ให้สามารถใช้งานและพัฒนาระบบ AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 ส่งเสริมการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้าน AI และด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

References

Accenture. (2019). *Artificial intelligence: Is your organizational 'cyber resilience' up to the challenge?* Retrieved from https://www.accenture.com/gb-en/insights/artificial-intelligence/cybersecurity-artificial-intelligence

Aliar, A. A., Gowri, V., & Zbins, A. A. (2024). Detection of distributed denial of service attack using enhanced adaptive deep dilated ensemble with hybrid meta-heuristic approach. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 35*(1), e4921. https://doi.org/10.1002/ett.4921

Bhuyan, M. H., Bhattacharyya, D. K., & Kalita, J. K. (2015). NADO: A hybrid kernel based approach for network anomaly detection. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*(2), 706-722. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2417967

Bogatinov, D., & Bogdanoski, M. (2022). Using artificial intelligence as a first line of defense in cyberspace. *NATO Science for Peace and Security Series - E: Human and Societal Dynamics, 155*, 56-68. doi: 10.3233/NHSDP220006

Burgess, M. (2022). *Russia's Central Bank digital services disrupted by DDoS attacks, Wired UK.* Retrieved from https://www.wired.co.uk/article/russia-central-bank-ddos-attack

Chen, Y. H., Lin, S. C., Huang, S. C., Lei, C. L., & Huang, C. Y. (2023). Guided malware sample analysis based on graph neural networks. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 18,* 4128-4143. doi: 10.1109/TIFS.2023.3283913.

Chivukula, S. A., Yang, X., Liu, B., Liu, W., & Zhou, W. (2023). *Adversarial attack surfaces. In Adversarial machine learning* (pp 47–72). Berlin, Germany: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99772-4_3

Cimpanu, C. (2021). *Waikato DHB cyber-attack: Hackers had access to hospitals' IT systems for around five months. The record by recorded future*. Retrieved from https://therecord.media/waikato-dhb-cyber-attack-hackers-had-access-to-hospitals-it-systems-for-around-five-months/

Clarke, R. (2023). The re-conception of AI: Beyond artificial, and beyond intelligence. *IEEE Transactions on Technology and Society, 4*(1), 24-33. doi: 10.1109/TTS.2023.3234051.

Cox, J. (2023). *DDoS attacks jumped 150% in the past year, network provider says. CNET*. Retrieved from https://www.cnet.com/tech/services-and-software/ddos-attacks-jumped-150-in-past-year-network-provider-says/

FBI. (2022). *2021 internet crime report*. Retrieved from https://www.ic3.gov/Media/PDF/AnnualReport/2021_IC3Report.pdf

Guo, Q., Chen, Y., Chen, J., Shen, H., & Wu, J. (2020). A survey on adversarial attacks and defense strategies in machine learning-based cyber security applications. *IEEE Access, 8*, 205806-205831.

Han, H., & Trimi, S. (2024). Analysis of cloud computing-based education platforms using unsupervised random forest. *Educ Inf Technol, 29*, 15905–15932. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12457-w

Hassan, N. A. (2019). *Enterprise defense strategies against ransomware attacks. In Ransomware Revealed* (pp. 115-154). CA Berkeley: Apress https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4255-1_5

Jo, T. (2020). *Semi-supervised Learning. In Machine learning foundations* (pp 309–334). Berlin: Springer https://doi.org/10.1007/978-3-030-65900-4_14.

Kizza, J. M. (2020). *Guide to computer network security* (5th ed.). Berlin: Springer.

Kwon, H., & Sea, J. (2022). Characteristics of sexual homicide: Based on random forest analysis. *Journal Article Korean Criminological Review, 33*(1), 165-192. doi: 10.36889/KCR.2022.3.31.1.165

Kumar, A., Han, S. T., & Soni, A. K. (2022). Survey on artificial intelligence for cybersecurity. IEEE Access, 10, 16679-16709. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3146309

Li, C., Liu, Q., Guo, Q., & Wu, Y. (2022). A federated graph neural network approach for privacy-preserving network intrusion detection. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 9*(1), 247-260. doi:10.21203/rs.3.rs-1191595/v1

Li, P., Xiong, F., Huang, X., & Wen, X. (2024). Construction and optimization of vending machine decision support system based on improved C4.5 decision tree. Heliyon, 10(3), e25024. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25024

Liu, Y., Kang, Y., Zou, T., Pu, Y., He, Y., Ye, X., Zhang, Y.Q., & Yang, Q. (2024). Vertical federated learning: Concepts, advances, and challenges. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 36*(7), 3615-3634. doi: 10.1109/TKDE.2024.3352628.

Marino, D. L., Wickramasinghe, C. S., & Riehle, L. (2021). Metamorphic testing for cybersecurity: Securing machine learning cyber-physical systems through metamorphic testing. *IEEE Transactions on Reliability, 70*(1), 264-280.

Morse, A., & Satter, R. (2021). *Data on 533 million Facebook users leaked online*. Reuters. Retrieved from https://www.reuters.com/technology/hackers-leak-data-533-mln-facebook-users-2021-04-03/

Mothukuri, V., Parizi, R. M., Pouriyeh, S., Huang, Y., Dehghantanha, A., & Srivastava, G. (2021). A survey on security and privacy of federated learning. *Future Generation Computer Systems, 115*, 619-640. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.10.007

Nanda, S., Zafari, F., DeLong, C., Bustinza, R., & Raina, R. (2022). XAI for data-driven cyber security: Opportunities, challenges & future directions. *arXiv preprint arXiv, 2204*, 11234.

Roger, A. (2022). *Grimes, future of ransomware. In Ransomware protection playbook* (pp. 261-272). New York: Wiley

Sarker, I. H., Kayes, A. S. M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P., & Ng, A. (2020). Cybersecurity data science: An overview from machine learning perspective. *Journal of Big Data, 7*, 41. https://doi.org/10.1186/s40537-020-00318-5

Sharif, M. H. U., & Mohammed, M. A. (2022). A literature review of financial losses statistics for cyber security and future trend. *World Journal of Advanced Research and Reviews, 15*(1), 138–156. https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.15.1.0573

Srinivasan, S., & Sharmili, A. S. (2022). *Graph neural network-based intrusion detection systems for cyber security applications. In AI and Machine Learning for Cyber Security* (pp. 79-104). Berlin: Springer.

Taylor, I. (2024). *Is explainable AI responsible AI? In AI & Soc* (pp. 1-10). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/s00146-024-01939-7

The Securities and Exchange Commission Thailand. (2022). *Cyber attack trends 2022*. Retrieved from https://www.sec.or.th/TH/Pages/CYBERRESILIENCE-STATISTICS-2565.aspx (in Thai)

Töndel, I. A., & Cruzes, D. S. (2022). Continuous software security through security prioritisation meetings. *Journal of Systems and Software, 194*, 111477. https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111477

Wang, S., He, R., Shan, C., Choo, K. K. R., Yang, Y., & Chen, W. (2023). Defending against cybersecurity attacks: A comprehensive survey. *ACM Computing Surveys, 55*(6), 125. https://doi.org/10.1145/3534389

Wang, Y. C., Houng, Y. C., Chen, H. X., & Tseng, S. M. (2023). Network anomaly intrusion detection based on deep learning approach. *Sensors, 23*(4), 2171. https://doi.org/10.3390/s23042171

Warnecke, A., Arp, D., Wressnegger, C., & Rieck, K. (2020). Evaluating explanation methods for deep learning in security. *IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)* (pp. 158-174). Genoa, Italy: IEEE. doi: 10.1109/EuroSP48549.2020.00018.

Whittaker, Z. (2022). *Marriott to pay £18.4 m fine after massively bungling data breach disclosures, TechCrunch*. Retrieved from https://techcrunch.com/2022/10/11/marriott-uk-data-breach-fine/

Wollerton, M. (2023). *Ransomware attacks. In CQ Researcher*. Thousand Oaks, CA: CQ Press. https://doi.org/10.4135/cqresrre20230818

Zeadally, S., Adi, E., Baig, Z., & Khan, I. A. (2020). Harnessing artificial intelligence capabilities to improve cybersecurity practices. *Information, 11*(10), 490. https://doi.org/10.3390/info11100490

Zhang, H., Chen, L., Liu, X., & Wang, X. (2021). Meta-learning based adversarial detection framework for few-shot learning in cybersecurity. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 16*, 4306-4320.

Zhong, Y., Yu, W., Yuantao, S., Liu, J., & Qu, Y. (2020). Hierarchical graph neural network for network intrusion detection. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 15*, 2653-2662.

น้ำตาลฟรุกโตส: ปัจจัยเสี่ยงโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์
Fructose: Risk Factor for Diabetes in Pregnant Women

สุนันทา ยังวนิชเศรษฐ[1] และขวัญใจ ตีอินทอง[1]
Sununta Youngwanichsetha[1] and Khuanjai Teeintong[1]
[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Nursing, Eastern Asia University
Received: Julyl 19, 2024
Revised: September 21, 2024
Accepted: September 27, 2024

บทคัดย่อ

ฟรุกโตส (fructose) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ($C_6H_{12}O_6$) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) น้ำตาลฟรุกโตสธรรมชาติ (natural fructose) พบได้ในผลไม้และผักบางชนิด (2) น้ำตาลฟรุกโตสจากอ้อย (cane fructose) ผลิตอยู่ในน้ำตาลซูโครส ซึ่งประกอบด้วยฟรุกโตส และกลูโคส (3) น้ำตาลฟรุกโตสแปรรูปจากข้าวโพด (high fructose corn syrup) ผลิตอยู่ในรูปของเหลวเข้มข้นหรือผง การรับประทานอาหาร ผลไม้ ขนม และเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสสูงในปริมาณมากติดต่อกันเป็นเวลานานมีผลเสียต่อสุขภาพเนื่องจากกระบวนการเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสเกิดขึ้นในตับเท่านั้น โดยตับจะสังเคราะห์เป็นไขมันไตรกลีเซอไรด์ และไลโปโปรตีน ทำให้เกิดภาวะไขมันในเลือดสูง ไขมันสะสมในเซลล์ตับ กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานและโรคอื่น ๆ ได้ในประชากรทั่วโลก ในกรณีที่หญิงตั้งครรภ์มีภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วน ร่วมกับการขาดการออกกำลังกายเป็นประจำก็จะทำให้เสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานได้มากขึ้น ในบทความนี้ผู้เขียนมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายเกี่ยวกับน้ำตาลฟรุกโตสซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์เพื่อให้บุคลากรในทีมสุขภาพมีความรู้ ความเข้าใจและนำไปใช้ในการส่งเสริมสุขภาพป้องกันการเกิดโรคเบาหวานต่อไป

คำสำคัญ: น้ำตาลฟรุกโตส โรคเบาหวาน หญิงตั้งครรภ์

Abstract

Fructose is a monosaccharide ($C_6H_{12}O_6$) composed of carbon, hydrogen, and oxygen. It can be categorized into three types: (1) natural fructose, found in certain fruits and vegetables: (2) cane fructose, present in sucrose, which is a combination of fructose and glucose; and (3) high fructose corn syrup, produced as a concentrated liquid or powder. Consuming foods, fruits, snacks, and beverages high in fructose over an extended period can have detrimental effects on health. This is because fructose metabolism occurs only in the liver, where it is synthesized into triglycerides and lipoproteins, leading to elevated blood lipid levels, fat accumulation in liver cells, muscles, and body fat tissues, and the development of insulin resistance. This insulin resistance is a risk factor for diabetes and other diseases globally. In addition, pregnant women who have overweight or obesity and lack of regular exercise will have a higher risk for the development of diabetes. This article aims to explain fructose as a risk factor for gestational diabetes and to equip healthcare professionals with the knowledge and understanding necessary to promote health and prevent diabetes in pregnant women.

Keywords: fructose, diabetes, pregnant women

บทนำ

การรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสในปริมาณสูงเป็นเวลานานเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานในสตรีตั้งครรภ์และประชากรกลุ่มอื่น ๆ ได้ เนื่องจากการเผาผลาญน้ำตาล ฟรุกโตสจะเกิดขึ้นในตับ ทำให้มีไขมันไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง มีการสะสมเป็นเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย ทำให้เกิดภาวะดื้ออินซูลิน และเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานได้ โดยความเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวานจะเพิ่มขึ้นในผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ

น้ำตาลเป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในอาหาร ผัก ผลไม้ ขนมและเครื่องดื่มต่าง ๆ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) ประกอบด้วย กลูโคส ฟรุกโตส กาแลคโตส และน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) ประกอบด้วยซูโครส แลคโตส และมอลโตส น้ำตาลโมเลกุลคู่แต่ละชนิดประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวต่างกัน โดยซูโครสในน้ำตาลทรายจากอ้อยประกอบด้วยกลูโคส และฟรุกโตส แลคโตสในน้ำนมประกอบด้วย กลูโคส และกาแลคโตส มอลโตสในมอลต์ที่ผลิตจากข้าวบาเลย์ประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล น้ำตาลแต่ละชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกายต่างกัน และบางชนิดมีผลเสียต่อสุขภาพได้ในกรณีที่บริโภคมากเกินความต้องการของร่างกายโดยเฉพาะน้ำตาลฟรุกโตส ทำให้เกิดภาวะดื้ออินซูลินซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานได้ ผู้หญิงที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นเวลานานก่อนตั้งครรภ์และในระยะตั้งครรภ์จึงเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานได้และในระยะตั้งครรภ์มีฮอร์โมนจากรกที่ต้านการทำงานของอินซูลินจึงทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติได้ซึ่งเป็นอาการแสดงของโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์ ในบทความนี้อธิบายเกี่ยวกับชนิดของน้ำตาลฟรุกโตส การเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสในร่างกาย และปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์จากการรับประทานอาหาร ผลไม้ ขนม และเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสสูงเพื่อให้ความรู้เรื่องผลกระทบของการบริโภคน้ำตาลฟรุกโตสซึ่งจะช่วยสร้างความเข้าใจและนำไปสู่การดูแลสุขภาพเพื่อป้องกันการเป็นโรคเบาหวานต่อไป

ชนิดของน้ำตาลฟรุกโตส

น้ำตาลฟรุกโตสประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีโครงสร้างทางเคมีคือ $C_6H_{12}O_6$ ซึ่งแบ่งได้

เป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำตาลฟรุกโตสธรรมชาติ น้ำตาลฟรุกโตสจากอ้อย และน้ำตาลฟรุกโตสแปรรูปจากข้าวโพด (Dholariya & Orrick, 2022)

1. น้ำตาลฟรุกโตสธรรมชาติ (naturally fructose) พบได้ในพืชผัก ผลไม้ต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ในผักและผลไม้ทั่วไปพบน้ำตาลฟรุกโตสได้ในปริมาณร้อยละ 5-10 ดังนี้

1.1 ผลไม้ที่มีน้ำตาลฟรุกโตสสูง เช่น ขนุน องุ่น อินทผาลัม แอปเปิล แพร์ สับปะรด กล้วย ส้ม แตงโม มะม่วง น้อยหน่า ทุเรียน แก้วมังกร เป็นต้น

1.2 ผักที่มีน้ำตาลฟรุกโตส เช่น ข้าวโพด แครอท มะเขือเทศ ถั่วหวาน หัวผักกาด มันสำปะหลัง เป็นต้น

2. น้ำตาลฟรุกโตสจากอ้อย (cane fructose) การผลิตน้ำตาลจากอ้อยจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่เรียกว่า ซูโครส (sucrose) ประกอบด้วยฟรุกโตส และกลูโคส ซึ่งมีการผลิตออกมาใน 3 รูปแบบตามความบริสุทธิ์ของน้ำตาล คือ

2.1 น้ำตาลไม่บริสุทธิ์ (unrefined)

2.2 น้ำตาลทรายแดง (raw sugar)

2.3. น้ำตาลทรายขาว (refined sugar)

3. น้ำตาลฟรุกโตสแปรรูปจากข้าวโพด (high fructose corn syrup) ได้จากการแปรรูปจากแป้งข้าวโพด หรือมันสำปะหลังจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) แป้ง (starches) ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และใช้เอนไซม์ กลูโคสไอโซเมอเรส (glucose isomerase) ผ่านกระบวนการไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) ทำให้ได้เป็นน้ำตาลฟรุกโตสแปรรูปออกมาอยู่ในรูปน้ำตาลฟรุกโตสเหลวเข้มข้นซึ่งประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 24 (Dholariya & Orrick, 2022) โดยมีความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลกลูโคสต่าง ๆ กัน ได้แก่

3.1 น้ำตาลฟรุกโตสเหลวเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตสร้อยละ 90 และน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 10

3.2 น้ำตาลฟรุกโตสเหลวเข้มข้น 55 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตสร้อยละ 55 และน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 42

3.3 น้ำตาลฟรุกโตสเหลวเข้มข้น 42 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตสร้อยละ 42 และน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 53

3.4 น้ำตาลฟรุกโตสผง แปรรูปมาจากน้ำตาลฟรุกโตสเหลวเข้มข้นผ่านกระบวนการใช้ความร้อนให้น้ำระเหยออกไปและได้เป็นผงผลึกของน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งมีรสหวานมากกว่าน้ำตาลทรายจากอ้อย ประมาณ 1.8 เท่า

น้ำตาลฟรุกโตสแปรรูปเหลวเข้มข้นหรือน้ำตาลฟรุกโตสผงผลึกมีความหวานมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ๆ และราคาถูก จึงนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ขนม และเครื่องดื่มต่าง ๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ น้ำสลัด ขนมปัง คุกกี้ เค้ก น้ำอัดลม น้ำผลไม้ โยเกิร์ต ชาเย็น ชานมไข่มุก กาแฟ โกโก้ และเครื่องดื่มบรรจุขวด กล่องชนิดต่าง ๆ เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า พบน้ำตาลฟรุกโตสอยู่ในเครื่องดื่มต่าง ๆ ร้อยละ 46 ขนมที่ผลิตจากธัญพืช ร้อยละ 17.3 น้ำผลไม้ ร้อยละ 13.4 ผลิตภัณฑ์จากนม ร้อยละ 10.3 (Cozma & Sievenpiper, 2014)

ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มประเภทชาเย็นพบว่าใน 1 แก้ว ประมาณ 250-300 มิลลิลิตร มีน้ำตาล 53-67 กรัม จากการทบทวนเอกสารพบว่า มีข้อแนะนำให้รับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลได้วันละ น้อยกว่าร้อยละ10 ของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด และในผู้ที่มีไขมันไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูงควรรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสน้อยกว่า 50-100 กรัมต่อวัน (Cozma & Sievenpiper, 2014)

การเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสในร่างกาย

การบริโภคน้ำตาลแต่ละชนิดมีประโยชน์และมีผลกระทบต่อสุขภาพต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างส่วนประกอบของโมเลกุลน้ำตาล ปริมาณและกระบวนการชีวเคมีการเผาผลาญน้ำตาลในร่างกาย อาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดที่รับประทานเข้าไปจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ กลูโคสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เซลล์ร่างกายทุกเซลล์สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้ โดยอาศัยอินซูลินในการนำเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ และเข้าสู่กระบวนการเผาผลาญสารอาหารใน Krebs cycle แต่น้ำตาลฟรุกโตสมีเพียงเซลล์ของตับ (hepatocytes) เท่านั้นที่สามารถเผาผลาญได้ เมื่อรับ

ประทานอาหาร ผลไม้ ขนม หรือเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตส จะถูกดูดซึมที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดผ่านหลอดเลือดดำใหญ่ (portal vein) ไหลเวียนเข้าไปในตับ และมีการเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสในเซลล์ของตับ (hepatocytes) ด้วยกระบวนการ phosphorylation โดยใช้เอนไซม์ ฟรุกโตไคเนส (fructokinase) เพื่อนำไปสร้างเป็นไขมันไตรกลีเซอร์ไรด์ชนิดความหนาแน่นต่ำ (Very Low Density Lipoprotein-Triglyceride--VLDL-TG) และเนื้อเยื่อไขมันในร่างกาย (Hannou et al., 2018) จากการศึกษาพบว่า ร่างกายนำน้ำตาลฟรุกโตสที่รับประทานเข้าไปร้อยละ 40 ไปสร้างเป็นเนื้อเยื่อไขมันซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ทำให้เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานได้ (Geidl-Flueck et al., 2021)

ปัจจัยเสี่ยงของน้ำตาลฟรุกโตสต่อการเกิดโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์

กลูโคสเป็นน้ำตาลที่ร่างกายสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานหรือสะสมเป็นไกลโคเจนไว้ในตับและกล้ามเนื้อสำรองไว้ใช้ได้ แต่การรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติและเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานได้ น้ำตาลฟรุกโตสเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดภาวะอ้วน น้ำหนักเกินได้เนื่องจากการรับประทานอาหาร ผลไม้ ขนม และเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสสูง การรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลฟรุกโตสสูงมีผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานได้ เนื่องจากกระบวนการเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสในร่างกายแตกต่างจากการเผาผลาญน้ำตาลกลูโคส (Dholariya & Orrick, 2022)

จากการทบทวนเอกสารบทความวิชาการและบทความวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การรับประทานอาหาร ผลไม้ และเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตส มากกว่าวันละ 20 กรัม มีผลกระทบต่อสุขภาพได้ (Ferraris et al., 2018) เนื่องจากเมื่อรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสเข้าสู่ร่างกายจะมีการดูดซึมน้ำตาลฟรุกโตสที่เซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กตำแหน่งของ Glucose transporter 2--GLUT2 หลังจากนั้นน้ำตาลฟรุกโตสจะซึมซับเข้าสู่หลอดเลือดด้วยกระบวนการ diffusion และไหลเวียนไปยังหลอดเลือดดำใหญ่ (portal vein) เข้าสู่ตับ และตับจะเป็นอวัยวะเดียวที่สามารถเผาผลาญน้ำตาลกลูโคสได้ด้วยกระบวนการสลายน้ำตาลฟรุกโตส (fructolysis) และกระบวนการสร้างไขมัน (lipogenesis) กระบวนการสลายน้ำตาลฟรุกโตสทำให้ได้ไขมันไตรกลีเซอไรด์ออกมาสะสมอยู่ในตับและไหลเวียนเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้ระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูงขึ้นซึ่งจะไหลเวียนเข้าสู่ตับ และตับจะนำไปสร้างเป็นไขมัน และไกลโคเจนสะสมอยู่ในตับทำให้เกิดภาวะไขมันคั่งในตับ (fatty liver) ตับอักเสบ (hepatic steatosis) และเกิดภาวะตับดื้อต่ออินซูลิน (hepatic insulin resistance) ตามมาได้ (Ornoy et al., 2021) ดังนั้นการรับประทานอาหาร ผลไม้ ขนมและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสปริมาณมากจึงทำให้ตับต้องทำงานหนักในการเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสเกิดภาวะอนุมูลอิสระคั่งในร่างกาย (oxidative stress) (Kanazawa et al., 2022) ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานได้

นอกจากนี้ระดับน้ำตาลฟรุกโตสในเลือดที่สูงขึ้นไม่ได้กระตุ้นให้ตับอ่อนหลั่งอินซูลินออกมาเหมือนกับระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด และกระบวนการเผาผลาญน้ำตาลกลูโคสในตับไม่ได้ให้พลังงาน ATP ออกมาจึงทำให้ไม่รู้สึกอิ่ม ร่างกายจะดื้อต่อฮอร์โมนส่งสัญญาณความรู้สึกอิ่ม (leptin) จากสมอง จึงทำให้อยากรับประทานน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพเป็นวงจรตามมาเป็นเวลานานจนกระทั่งเกิดพยาธิสภาพของโรคเบาหวานที่ชัดเจน (Zhang et al., 2022) หญิงตั้งครรภ์ที่รับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของน้ำตาลฟรุกโตสมากในช่วงก่อนตั้งครรภ์และในระยะตั้งครรภ์ส่งผลให้เกิดภาวะอ้วน น้ำหนักเกิน และเป็นโรคเบาหวานขณะตั้งครรภ์ได้ซึ่งพบได้บ่อยในหญิงตั้งครรภ์ที่มีอายุมากกว่า 30 ปี และมีดัชนีมวลกายมากกว่า 30 กิโลกรัม/เมตร2 (Panmuang & Amatayabundit, 2022)

โรคเบาหวานและเบาหวานขณะตั้งครรภ์เกิดขึ้นเนื่องจากเบต้าเซลล์ของตับอ่อนสร้างอินซูลินได้น้อยลง (beta cell dysfunction) ประสิทธิภาพ ความไวในการทำงานของอินซูลิน (insulin sensitivity) ลดลง และเซลล์ของร่างกายมีภาวะดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance) ในภาวะที่ร่างกายได้รับสารอาหารต่าง ๆ น้ำตาลฟรุกโตส กลูโคส

และน้ำตาลชนิดอื่น ๆ เป็นจำนวนมากติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้เบต้าเซลล์ของตับอ่อน (pancreas) ต้องทำงานหนักในการสร้างอินซูลินให้เพียงพอกับการนำน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายเพื่อใช้เป็นพลังงานหรือเก็บสะสมเป็นไกลโคเจน (glycogen) ไว้ในตับ กล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อไขมันทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับปกติได้ คือระดับน้ำตาลหลังรับประทานอาหาร 2 ชั่วโมงไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในกรณีที่รับประทานอาหาร น้ำตาลเป็นจำนวนมาก ตับอ่อนสร้างอินซูลินได้น้อยลง และเซลล์ร่างกายมีภาวะดื้อต่ออินซูลิน ทำให้อินซูลินไม่สามารถนำน้ำตาลจากกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ได้จึงทำให้เกิดระดับน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) ซึ่งเป็นอาการแสดงของโรคเบาหวาน (Plows et al., 2018)

จากการศึกษาพบว่า ระดับน้ำตาลฟรุกโตสในเลือดสูงเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์ได้ โดยหญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคเบาหวานจะมีระดับน้ำตาลฟรุกโตสในเลือดเฉลี่ย 1.30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แต่หญิงตั้งครรภ์ที่ไม่เป็นโรคเบาหวานมีระดับน้ำตาลฟรุกโตสในเลือดเฉลี่ย 1.16 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (Zhang et al., 2022)

จากการศึกษาของสมาพันธ์โรคเบาหวานนานาชาติพบว่าหญิงตั้งครรภ์ทั่วโลกร้อยละ 14.2 เป็นเบาหวานขณะตั้งครรภ์ (gestational diabetes mellitus) ในประเทศแอฟริกาพบหญิงตั้งครรภ์เป็นโรคเบาหวานสูงสุดร้อยละ 27.6 และในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หญิงตั้งครรภ์ร้อยละ 20.8 เป็นโรคเบาหวาน (Wang et al, 2022) ในประเทศไทยพบความชุกของโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์ร้อยละ 15.6-24.7 ซึ่งเป็นอัตราที่สูงกว่าในบางประเทศ (Churos, Kasinang & Kaeokhieo, 2023; Panmuang & Amatayabundit, 2022) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยง ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์เพื่อจะได้แนวทางในการป้องกันการเกิดโรคต่อไป

การบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสมากเกินไปทำให้ตับต้องทำงานหนักมากเกินไปเนื่องจากตับเป็นอวัยวะเดียวในร่างกายที่สามารถเผาผลาญน้ำตาลฟรุกโตสได้ โดยนำไปสร้างเป็นไขมันไตรกลีเซอไรด์ โคเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein cholesterol) ทำให้มีไขมันสะสมในเซลล์ตับ (hepatocyte) เป็นจำนวนมากจนกระทั่งเกิดภาวะไขมันคั่งในตับ (fatty liver) ไขมันไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง และเกิดการสะสมของเนื้อเยื่อไขมันในร่างกายทำให้เซลล์ร่างกายดื้อต่ออินซูลิน (insulin resistance) ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานได้ (Gherardi et al., 2020) จากการศึกษาพบว่า หญิงตั้งครรภ์ที่เป็นเบาหวานอินซูลินสามารถนำน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ได้น้อยลงร้อยละ 54 (Plows et al., 2018) นอกจากนี้หญิงตั้งครรภ์ที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วน และขาดการออกกำลังกายเป็นประจำจะเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานได้มากขึ้นเนื่องจากเซลล์กล้ามเนื้อและอวัยวะต่าง ๆ มีการสะสมไขมันมากขึ้น และนำน้ำตาลไปใช้ได้น้อยลงจึงทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นกว่าปกติ (Churos et al., 2023)

หญิงตั้งครรภ์อาจเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (type 2 diabetes mellitus) มาก่อนตั้งครรภ์ หรือตรวจพบว่าเป็นเบาหวานครั้งแรกในขณะตั้งครรภ์ (gestational Diabetes Mellitus--GDM) หญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 จะมีระดับน้ำตาลในเลือดหลังงดอาหารเท่ากับ 126 มิลลิกรัม/เดซิลิตร หรือสูงกว่า สำหรับหญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคเบาหวานชนิด GDM จะมีระดับน้ำตาลในเลือดหลังงดอาหารเท่ากับ 95-125 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (ADA, 2021)

โรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์ทำให้มีภาวะระดับน้ำตาลในเลือดที่สูงซึ่งทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนต่อหญิงตั้งครรภ์ได้เช่น มีความดันโลหิตสูงขณะตั้งครรภ์ คลอดก่อนกำหนด (Sweeting et al., 2024) และส่งผลทำให้ทารกมีขนาดใหญ่ คลอดยาก มีความพิการแต่กำเนิด หรือเสียชีวิตในครรภ์ได้ (Youngwanichsetha & Teeintong, 2023) นอกจากนี้หญิงตั้งครรภ์ที่เป็นโรคเบาหวานมีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ซึ่งมีผลทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาหลายอย่างเช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคไต เป็นต้น ซึ่งอาการแสดงของโรคเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของหญิงตั้งครรภ์ เป็นการเพิ่มภาระในการดูแลของครอบครัว และการรักษาพยาบาลในระยะยาว (Sroisong et al., 2020) ดังนั้นการให้ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของการบริโภคน้ำตาลฟรุกโตสต่อการเป็นโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์จะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมความเข้าใจสร้างความตระหนักในการลดการดื่มเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลฟรุกโตสและลดโอกาสเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวานได้

บทสรุป

น้ำตาลฟรุกโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบได้ตามธรรมชาติในผัก ผลไม้หรือผลิตได้จากอ้อย และกระบวนการแปรรูปแป้งข้าวโพดหรือแป้งมันสำปะหลัง ทำให้ได้น้ำตาลฟรุกโตสเหลวเข้มข้น หรือน้ำตาลฟรุกโตสผง การรับประทานอาหารและเครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลฟรุกโตสแปรรูปเป็นปัจจัยเสี่ยงทำให้เกิดโรคเบาหวานในหญิงตั้งครรภ์ได้ เนื่องจากเมื่อน้ำตาลฟรุกโตสถูกดูดซึมที่เยื่อบุกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจะเข้าสู่กระบวนการเผาผลาญที่ตับเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอร์ไรด์และกรดไขมัน ทำให้มีไขมันสะสมในเซลล์ตับ กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมันในร่างกายส่งผลให้เซลล์ร่างกายเกิดภาวะดื้ออินซูลิน เบต้าเซลล์ของตับอ่อนไม่สามารถสร้างอินซูลินได้เพียงพอเพื่อควบคุมสมดุลของระดับน้ำตาลในเลือดได้ และในหญิงตั้งครรภ์ฮอร์โมนจากรกจะต้านการทำงานของอินซูลินจึงทำให้มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงและมีพยาธิสภาพของโรคเบาหวานเกิดขึ้นซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สามารถป้องกันและหลีกเลี่ยงได้ โดยการให้ความรู้เรื่องผลกระทบของน้ำตาลฟรุกโตสเพื่อเสริมสร้างความฉลาดในการบริโภคอาหารและเพิ่มความตระหนักแก่ผู้หญิง ครอบครัวและสังคมในการช่วยลดโอกาสเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวานและภาวะแทรกซ้อนที่จะเกิดขึ้นตามมาได้

References

American Diabetes Association: ADA. (2021). Classification and diagnosis of diabetes: Standards of medical care in diabetes. *Diabetes Care, 44*, s15-s33. https://doi.org/10.2337/dc21-S002

Churos, S., Kasinang, P., & Kaeokhieo, B. (2023). Pregnancy with gestational diabetes mellitus: Contributing factors and barriers to self-care. *Singburi Hospital Journal, 32*(2), A1-A16. (in Thai)

Dholariya, S. J., & Orrick, J. A. (2022). *Biochemistry, fructose metabolism*. Retrieved from https://www.ncbi.nih.gov/books/NBK576428

Egan, A. M., Dow, M. L., & Vella, A. (2020). A review of the pathophysiology and management of diabetes in pregnancy. *Mayo Clinic proceedings, 95*(12), 2734–2746. https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.02.019

Cozma, A. I., & Sievenpiper, J. L. (2014). The role of fructose, sucrose and high-fructose corn syrup in diabetes. *European endocrinology, 10*(1), 51–60. https://doi.org/10.17925/EE.2014.10.01.51

Ferraris, R. P., Choe, J. Y., & Patel, C. R. (2018). Intestinal absorption of fructose. *Annual Review of Nutrition, 38*, 41–67. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082117-051707

Geidl-Flueck, B., Hochuli, M., Németh, Á., Eberl, A., Derron, N., Köfeler, H. C., Tappy, L., Berneis, K., Spinas, G. A., & Gerber, P. A. (2021). Fructose- and sucrose- but not glucose-sweetened beverages promote hepatic de novo lipogenesis: A randomized controlled trial. Journal of Hepatology, 75(1), 46–54. https://doi.org/10.1016/j.jhep.2021.02.027

Gherardi, G., Monticelli, H., Rizzuto, R., & Mammucari, C. (2020). The mitochondrial Ca2+ uptake and the fine-tuning of aerobic metabolism. *Frontiers in Physiology, 11*, 554904. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.554904

Hannou, S. A., Haslam, D. E., McKeown, N. M., & Herman, M. A. (2018). Fructose metabolism and metabolic disease. The Journal of Clinical Investigation, 128(2), 545–555. https://doi.org/10.1172/JCI96702

Kaewanun, C., & Pusomsri, P. (2022). The psychosocial state of pregnant women. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, *16*(2), 43–53. (in Thai)

Kanazawa, J., Kakisaka, K., Suzuki, Y., Yonezawa, T., Abe, H., Wang, T., & Takikawa, Y. (2022). Excess fructose enhances oleatic cytotoxicity via reactive oxygen species production and causes necroptosis in hepatocytes. *Journal of Nutritional Biochemistry, 107*, 109052. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109052

Ornoy, A., Becker, M., Weinstein-Fudim, L., & Ergaz, Z. (2021). Diabetes during Pregnancy: A maternal disease complicating the course of pregnancy with long-term deleterious effects on the offspring, a clinical review. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(6), 2965. https://doi.org/10.3390/ijms22062965

Panmuang, S., & Amatayabundit, N. (2022). Effective factors associated with blood sugar among gestational diabetes mellitus at Mahasarakham hospital. *Journal of MCU Nakhondhat, 9*(4), 278-291. (in Thai)

Plows, J. F., Stanley, J. L., Baker, P. N., Reynolds, C. M., & Vickers, M. H. (2018). The pathophysiology of gestational diabetes mellitus. *International Journal of Molecular Sciences, 19*(11), 3342. https://doi.org/10.3390/ijms19113342

Saengai, A., & Suphunnakul, P. (2018). Risk factors affecting complications among patients with type 2 diabetes in Mueang District, Phitsanulok Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 12*(3), 200–212. (in Thai)

Sribenchamas, N., & Samruayruen, K. (2020). Effects of health behavior modification program on self-management behavior of type 2 diabetic patients in Nabokham Sub-District, Muang District, Kamphaengphet Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 14*(3), 149–160. (in Thai)

Sroisong, S., Rueankon, A., Fuongtong, P., & Kaewtankham, K. (2020). Quality of life and level of hemoglobin A1c among patients with type 2 diabetes mellitus. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 14*(1), 71–84. (in Thai)

Suphunnakul, P., Songthap, A., Sirinual, S., & Limrerklamruke, A. (2018). Effectiveness of behavior change program for knowledge of self-diabetes management and blood sugar level among risk group of type 2 diabetes mellitus in Sukhothai Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 12*(3), 141–153. (in Thai)

Sweeting, A., Hannah, W., Backman, H., Catalano, P., Feghali, M., Herman, W. H., Hivert, M. F., Immanuel, J., Meek, C., Oppermann, M. L., Nolan, C. J., Ram, U., Schmidt, M. I., Simmons, D., Chivese, T., & Benhalima, K. (2024). Epidemiology and management of gestational diabetes. *Lancet (London, England), 404*(10448), 175–192. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00825-0

Youngwanichsetha, S., & Teeintong, K. (2023). Pregnancy outcomes and related factors. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(3), 1–11. (in Thai)

Wang, H., Li, N., Chivese, T., Werfalli, M., Sun, H., Yuen, L., Hoegfeldt, C. A., Elise Powe, C., Immanuel, J., Karuranga, S., Divakar, H., Levitt, N., Li, C., Simmons, D., Yang, X., & IDF Diabetes Atlas Committee Hyperglycaemia in Pregnancy Special Interest Group (2022). IDF diabetes atlas: Estimation of global and regional gestational diabetes mellitus pPrevalence for 2021 by International Association of Diabetes in Pregnancy Study Group's Criteria. *Diabetes Research and Clinical Practice, 183*, 109050. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.109050

Wongngern, N., & Wangwonsin, A. (2019). Effects of self - management support program on self - management behaviors among uncontrolled type 2 diabetes mellitus patients. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 13*(2), 267–280. (in Thai)

Zhang, H., Li, X., Niu, Y., Yang, Z., Lu, Y., Su, Q., & Qin, L. (2022). Fasting serum fructose is associated with risk of gestational diabetes mellitus. *BMC Pregnancy and Childbirth, 22*(1), 446. https://doi.org/10.1186/s12884-022-04768-y

การประยุกต์ใช้ TRIZ และวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการปรับปรุงที่นั่งชิงช้า
Application of TRIZ and Human Factors Engineering in Swing Seat Improvement

พรศิริ จงกล[1] ภาคิน อัตตวิริยะสุวร[1] มนัญชยา ถาวรสวัสดิ์[1] รชนีกร พลปัถพี[1] และสุภารัตน์ ค้างสันเทียะ[2]*
Pornsiri Jongkol[1], Phakin Attawiri Yasuworn[1], Mananchaya Thawonsawat[1],
Rachaneekorn Polpattapee[1] and Suparat Khangsantia[2]*
[1]สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
[1]Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
[2]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
*Corresponding author: KangsantiaBT@hotmail.com
Received: March 1, 2024
Revised: May 1, 2024
Accepted: May 8, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้ (1) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุและอาการบาดเจ็บของเด็กที่เกิดจากการเล่นชิงช้า (2) เพื่อศึกษาความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้า และ (3) เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงที่นั่งชิงช้าโดยใช้ TRIZ และวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ กรณีศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นโรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยคือ แบบสอบถาม และ TRIZ แบบสอบถามมี 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ข้อมูลส่วนบุคคล เช่น อายุ เพศ ชั้นเรียน ส่วนที่ 2 ข้อมูลการเกี่ยวกับการเล่นชิงช้า เช่น การเกิดอุบัติเหตุ อาการบาดเจ็บ เป็นต้น ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเด็กนักเรียนอายุ 7-12 ขวบ สถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ค่ามากที่สุด ค่าน้อยที่สุด ค่าร้อยละ จากผลการวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุพบว่า เด็กที่เคยเกิดอุบัติเหตุในการเล่นชิงช้ามีร้อยละ 41.1 โดยเป็นการพลักตกจากชิงช้าจำนวนร้อยละ 27.7 ลักษณะการบาดเจ็บที่มากที่สุด คือ แผลถลอกคิดเป็นร้อยละ 16.0 เด็กได้แสดงความคิดเห็นของเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้าดังนี้ ที่นั่งต่ำเกินไปร้อยละ 30.0 ที่นั่งสูงเกินไปร้อยละ 16.6 ที่นั่งลื่นร้อยละ 15.3 และที่นั่งแคบร้อยละ 6.8 ส่วนผลการใช้ TRIZ ในการแก้ไขปัญหาที่นั่งลื่นพบว่า หลักการในการแก้ปัญหา คือ การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำที่นั่งจากวัสดุเดิมเป็นเหล็กเปลี่ยนเป็นยางพาราธรรมชาติหล่อขึ้นรูป ที่นั่งมีผิวเรียบ ขอบและมุมโค้งมน ส่วนผลการใช้วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการออกแบบที่นั่งชิงช้า พบว่า การออกแบบความกว้างของที่นั่งชิงช้าพิจารณาจากค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของค่าความกว้างของสะโพกขณะนั่ง ส่วนการออกแบบความลึกของที่นั่งชิงช้าพิจารณาค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของระยะจากสะโพกถึงข้อพับเข่าด้านใน

คำสำคัญ: ชิงช้า การออกแบบ วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ ทริซ

Abstract

The objectives of this research were: (1) to analyze accident types and injuries of children during using swing; (2) to study student opinion regarding swing seats; and (3) to propose guidelines for improving swing seats using TRIZ and human factors engineering. A case study was a primary school in north-east Thailand. Tools used were a set of questionnaires and TRIZ. There were two parts to the questionnaire. The first part was personal data such as age, gender, and class. The second part was data regarding playing swing, such as accidents and injuries. Subjects were 7–12 years old. The statistics used were descriptive statistics such as frequency, maximum, minimum, and percentage. Data analysis showed that 41.1% of subjects experienced accidents while playing swing, and 27.7% of them fell off swing seats. The most common pattern of injury was abrasion, which accounted for 16.0%. According to children's opinions related to the swing seat problem, low swing seats accounted for 30.0%, high swing seats accounted for 16.6%, slippery swing seats accounted for 15.3%, and small in width accounted for 6.8%. Using TRIZ to solve a problem of slippery swing seats, the steel used to make swing seats was changed to natural molded rubber with a smooth surface and no sharp point or edge. Using human factors engineering to design dimensions of the swing seat, the 95th percentile of hip breadth (sitting) was used to design seat width, and the 5th percentile of buttock to popliteal was used to design seat depth.

Keywords: swing, design, human factors, TRIZ

บทนำ

วัยเด็กเป็นวัยที่สำคัญเนื่องจากเป็นวัยที่มีพัฒนาการทั้งทางร่างกาย สังคม อารมณ์ รวมทั้งสติปัญญา หากเด็กได้รับการกระตุ้น ส่งเสริมการเข้าถึงหนังสือ สื่อการเรียนรู้ การดูแลเอาใจใส่ อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ดี จะนำไปสู่พัฒนาการที่ดีและเป็นรากฐานของชีวิตที่ดีต่อไป การเล่นมีความสำคัญเพราะการเล่นคือกระบวนการสร้างการเรียนรู้ ทำให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ทางสมอง รวมถึงการสร้างทักษะที่ส่งผลกับชีวิตในระยะยาว ได้แก่ ทักษะในการกำกับความคิด อารมณ์ การกระทำ ซึ่งช่วยให้เด็กสามารถบริหารจัดการชีวิตได้อย่างเหมาะสม จะช่วยเด็กเจริญเติบโตไปเป็นผู้ใหญ่ที่มีคุณภาพ สนามเด็กเล่นเป็นสถานที่สำคัญสำหรับการจัดกิจกรรมกลางแจ้งที่ช่วยส่งเสริมพัฒนาการสำหรับเด็ก เนื่องจากเป็นสถานที่ที่ให้เด็กได้ออกกำลังกายเพื่อให้เกิดพัฒนาการทุกด้าน อย่างไรก็ตาม คุณภาพของอุปกรณ์ในสนามเด็กเล่นอาจนำมาซึ่งความเสี่ยงที่เป็นไปได้ จากการศึกษาของภาควิชากุมารเวชศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดีที่ตรวจสอบการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ในสนามเด็กเล่น แล้วพบว่า การบาดเจ็บเหล่านี้มีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 1.47 ของการบาดเจ็บทั้งหมดในเด็กที่มีอายุน้อยกว่า 15 ปีที่ได้รับการรักษาในห้องฉุกเฉิน การศึกษาดังกล่าวได้ประเมินไว้ว่าในแต่ละปีจะมีเด็กประมาณ 34,075 รายที่ได้รับบาดเจ็บจากอุปกรณ์ในสนามเด็กเล่น ส่วนใหญ่มีผลต่อแขน ขา ใบหน้า และศีรษะ การบาดเจ็บรุนแรงที่พบบ่อย คือ กระดูกหักที่แขนหรือข้อมือและการบาดเจ็บที่ศีรษะ สาเหตุสำคัญอื่น ๆ ได้แก่การพลัดตก การชนกระแทกกับเครื่องเล่นที่เคลื่อนไหว การวิ่งชนเครื่องเล่น และการติดค้างหรือถูกหนีบโดยเครื่องเล่น (Bunma et al., 2017; Junthepa & Nathapindhu, 2012) ความเสี่ยงสูงสุดในการเกิดอุบัติเหตุในสนามเด็กเล่นของเด็กประถมอายุ 7-12 ปี เป็นความเสี่ยงที่เกิดจากการพลัดตกจากชิงช้า (Chongjaroenjai et al., 2023) อุบัติเหตุในสนามเด็กเล่น

ทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมากในแต่ละปี อีกทั้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบร้ายแรงต่อเด็กผู้เสียชีวิตในปัจจุบัน จึงควรป้องกันอุบัติเหตุให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Shupmahasan & Sirisuwan, 2020)

การลดความเสี่ยงและป้องกันอุบัติเหตุของเด็กที่อาจเกิดในขณะเล่นจำเป็นต้องสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย (Saenbudda, 2017) ซึ่งทำได้โดยการสร้างสนามเด็กเล่นให้สอดคล้องตามหลักการออกแบบสนามเด็กเล่นดังปรากฏในคู่มือสนามเด็กเล่นปลอดภัย (Sub-Committee on Protection of Playground and Its Equipment and Devices, 2008) ในการศึกษาของ Chongjaroenjai et al. (2023) พบว่า ชิงช้าเป็นเครื่องเล่นที่มีอุบัติเหตุมากที่สุด จึงควรมีการศึกษาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุดังกล่าว รวมถึงองค์ประกอบอื่นเพิ่มเติม เช่น ความแข็งแรงของเด็ก ลักษณะของชิงช้า งานวิจัยนี้ได้พิจารณาความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งของชิงช้า และนำ วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และTRIZ ซึ่งเป็นหลักการที่นิยมใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในเชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบที่นั่งชิงช้าเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อเด็ก โดยใช้กรณีศึกษาเป็นโรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุและอาการบาดเจ็บของเด็กที่เกิดจากการเล่นชิงช้า

2. เพื่อศึกษาความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้า

3. เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบเพื่อปรับปรุงที่นั่งชิงช้าโดยใช้หลัก TRIZและวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือมาตรฐานความปลอดภัยชิงช้า วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ และหลักการ TRIZ

มาตรฐานความปลอดภัยชิงช้า

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องเล่นสนามสาธารณะประเภทชิงช้า ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องเล่นสนามสาธารณะเล่ม 1 ชิงช้า ข้อกำหนดเฉพาะเพิ่มเติมด้านความปลอดภัยและวิธีทดสอบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 3000 เล่ม 1-2562 นอกจากนี้คณะอนุกรรมการวิชาการคุ้มครองความปลอดภัยของสนามเด็กเล่นอุปกรณ์เครื่องเล่นสนามและอุปกรณ์ออกกำลังกายสนามได้จัดทำคู่มือสนามเด็กเล่นปลอดภัย เพื่อกำหนดความปลอดภัยของสนามเด็กเล่นและอุปกรณ์เครื่องเล่น เช่น ชิงช้าแกว่งหน้าหลัง (to-fro single axis swing) ซึ่งมีเนื้อหาโดยสรุป ดังนี้ ตำแหน่งที่ตั้ง (placement) จะต้องตั้งในตำแหน่งที่ห่างจากเครื่องเล่นอื่นและทางสัญจร (circulation area) และจะต้องไม่เชื่อมติดกับโครงสร้างเครื่องเล่นรวม การออกแบบโครงสร้างรองรับ (support structure) ต้องไม่ทำให้ปีนป่ายได้และต้องไม่มีผิวพื้นตกแต่ง (designated play area) ในส่วนของที่นั่ง (seat) นั้น กำหนดให้ช่องระหว่างเสาค้ำชิงช้า (swing bay) ในหนึ่งช่อง มีที่นั่งได้ไม่เกิน 2 ที่นั่ง แต่ไม่จำกัดจำนวนช่องระหว่างเสาค้ำชิงช้าในโครงสร้างหนึ่ง โดยมีที่นั่งหนึ่งที่ต่อผู้เล่นหนึ่งคน ที่นั่งจะต้องมีผิวราบเรียบและขอบโค้งมน ไม่ควรใช้ที่นั่งแบบแข็งและมีน้ำหนัก เช่น วัสดุที่ทำจากไม้หรือโลหะ

วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ (human factors engineering)

วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อมในสภาพการทำงาน โดยการประยุกต์หลักการทางกายภาพและสรีรวิทยาของมนุษย์มาประสานเข้ากับองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเพื่อนำมาออกแบบและจัดสภาพการปฏิบัติงานให้เกิดความเหมาะสมกับความสามารถและข้อจำกัดของร่างกายผู้ปฏิบัติงาน ในปัจจุบันได้มีการนำเอาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับมนุษย์มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบสิ่งต่าง ๆ ที่มนุษย์มีปฏิสัมพันธ์ด้วยให้เกิดความเหมาะสมระหว่างมนุษย์และสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเหล่านั้น เช่น การออกแบบโต๊ะทำงาน สถานีงาน เครื่องมือกล เป็นต้น Sanders and McCormick (1993) ได้แนะนำหลักการออกแบบโดยใช้สัดส่วนร่างกายของมนุษย์ 3 ประการคือ ประการที่ 1 การออกแบบโดยใช้ค่าเฉลี่ย (design for average) เป็นการใช้ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนร่างกายของมนุษย์ในการออกแบบ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย แต่มีข้อเสียคืออุปกรณ์หรือสิ่งของที่ออกแบบอาจไม่รองรับกับผู้ใช้งานส่วนใหญ่ ประการที่ 2 การออกแบบโดย

ใช้ค่าพิสัย (design for range) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์หรือสิ่งของที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถปรับให้เหมาะสมกับตนเองได้ เช่น เก้าอี้ปรับความสูงได้ และประการที่ 3 การออกแบบโดยใช้ค่าสูงสุดหรือต่ำสุด (design for extremes) ซึ่งเป็นการออกแบบเพื่อรองรับผู้ใช้งานส่วนใหญ่โดยใช้ค่าเปอร์เซนไทล์ที่มาก เช่น ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 หรือค่าเปอร์เซนไทล์ที่น้อย เช่น ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 5

TRIZ

TRIZ--Theory of Inventive Problem Solving ถูกคิดค้นในปี ค.ศ. 1946 ซึ่งเป็นช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Genrich Altshuller เพื่อใช้เป็นเครื่องมือและฐานความรู้ต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาทางเทคนิคและเชิงประดิษฐ์คิดค้น ทำให้ได้คำตอบในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งในกระบวนการผลิตหรือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ประกอบด้วย คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิค 39 ประการ และหลักการในการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น 40 ประการ

คุณสมบัติมาตรฐาน 39 ประการ ของ Altshuller มี ดังนี้ (1) น้ำหนักของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ (2) น้ำหนักของวัตถุซึ่งหยุดนิ่ง (3) ความยาวของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ (4) ความยาวของวัตถุหยุดนิ่ง (5) พื้นที่ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ (6) พื้นที่ของวัตถุซึ่งหยุดนิ่ง (7) ปริมาตรของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ (8) ปริมาตรของวัตถุซึ่งหยุดนิ่ง (9) ความเร็ว (10) แรง (11) ความดัน (12) รูปร่าง (13) เสถียรภาพขององค์ประกอบ (14) ความแข็งแรง (15) ความทนทานของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ (16) ความทนทานของวัตถุซึ่งหยุดนิ่ง (17) อุณหภูมิ (18) ความสว่าง (19) พลังงานที่ใช้ไปโดยวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ (20) พลังงานที่ใช้ไปโดยวัตถุซึ่งหยุดนิ่ง (21) กำลัง (22) การสูญเสียพลังงาน (23) การสูญเสียสสาร (24) การสูญเสียข้อมูลข่าวสาร (25) การสูญเสียเวลา (26) จำนวนสสาร (27) ความน่าเชื่อถือ (28) ความแม่นยำในการวัด (29) ความแม่นยำในการผลิต (30) ปัจจัยอันตรายซึ่งกระทำต่อวัตถุภายนอก (31) ปัจจัยอันตรายซึ่งวัตถุสร้างขึ้น (32) ความสามารถในการผลิต (33) ความสะดวกในการใช้ (34) ความสามารถในการซ่อมแซมได้ (35) ความสามารถในการปรับใช้ได้ (36) ความซับซ้อนของอุปกรณ์ (37) ความซับซ้อนในการควบคุม (38) ระดับของความอัตโนมัติ และ (39) กำลังการผลิต

หลักการในการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น 40 ประการ มีดังนี้ (1) การแบ่งส่วน (2) การสกัดออก/แยกออก (3) ลักษณะเฉพาะ (4) การไม่สมมาตร (5) ควบรวมกัน (6) ทำให้อเนกประสงค์ (7) ซ้อนทับกัน (8) ต่อต้านน้ำหนัก (9) ต่อต้านไว้ก่อน (10) การกระทำก่อน (11) ป้องกันไว้ก่อน (12) ศักยภาพสมดุลเท่ากัน (13) ทำตรงกันข้าม (14) ส่วนโค้งทรงกลม (15) พลวัต (16) ทำบางส่วนหรือทำเกิน (17) เปลี่ยนสู่มิติอื่น (18) การสั่นเชิงกล (19) การกระทำเป็นจังหวะ (20) ทำประโยชน์อย่างต่อเนื่อง (21) ข้ามกระโดด/รีบทำ (22) ใช้วิกฤติให้เป็นประโยชน์ (23) ป้อนกลับ (24) ตัวกลาง (25) บริการตัวเอง (26) เลียนแบบ (27) ใช้แล้วทิ้ง (28) แทนระบบเชิงกล (29) ระบบไฮดรอลิคและนิวแมติค (30) เยื่อยืดหยุ่นหรือฟิล์มบาง (31) วัสดุรูพรุน (32) เปลี่ยนสี (33) เป็นเนื้อเดียวกัน (34) ใช้ชิ้นส่วนที่สลายและเกิดใหม่ (35) เปลี่ยนคุณลักษณะหรือคุณสมบัติ (36) แปลงสถานะ (37) ขยายตัวด้วยความร้อน (38) เร่งออกซิเดชัน (39) บรรยากาศเฉื่อย (40) วัสดุคอมโพสิท

การทบทวนวรรณกรรม

Kittivorakan and Payoongpan (2009) ได้ปรับปรุงเครื่องหว่านชนิดจานเหวี่ยงหนีศูนย์ โดยเริ่มจากวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าว ซึ่งพบว่า ส่วนที่ทำให้เมล็ดข้าวแตกเสียหายได้มากที่สุด คือ (1) จานหว่าน (2) ใบกวน และ (3) ครีบหว่าน ซึ่งในการแก้ไขปัญหามักพบว่า เมื่อต้องการปรับปรุงคุณสมบัติอย่างหนึ่งให้ดีขึ้นอาจจะส่งผลให้คุณสมบัติอีกอย่างด้อยลง ในการแก้ปัญหาคู่ความขัดแย้งนี้ ได้ใช้ TRIZ ในการสร้างตารางเมตริกซ์ความขัดแย้งเชิงเทคนิคและหลักการ 40 ข้อในการแก้ปัญหาซึ่งนำไปสู่คำตอบที่ต้องนำไปพัฒนาต่อเพื่อนำมาใช้งานจริงได้ต่อไป Phongpaew (2012) ได้ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเลนส์สายตาที่ทำจากพลาสติกชนิดโพลีคาร์บอเนต เนื่องจากกำลังการผลิตเดิมไม่สามารถตอบสนองต่อการพยากรณ์ยอดขายในอนาคตได้ จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตพบว่า ขั้นตอนที่ต้องปรับปรุง คือ ขั้นตอนที่เลนส์ใช้เวลาในการหล่อเย็นในแม่พิมพ์เพื่อให้พลาสติกเหลวแข็งตัวเป็นเลนส์ ซึ่งคิดเป็น 78.3 % ของรอบเวลาการผลิต ดังนั้นแนวทางในการแก้ไข

คือ การประยุกต์ใช้หลักการของ Unified Structured Inventive Thinking ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวคิดของการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (TRIZ) โดยปัญหาที่มีลักษณะขัดแย้งกันที่ต้องเลือกระหว่างระยะเวลาการหล่อเย็นเลนส์กับคุณภาพของเลนส์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์พบว่า สามารถสร้างแนวคิดในการพัฒนาระบบเพื่อให้มีกำลังการผลิตที่สูงขึ้นและตอบสนองต่อนโยบายการดำเนินงานของบริษัทในอนาคต

Kulem et al. (2014) ศึกษาเปรียบเทียบร้อยละความสอดคล้องของขนาดโต๊ะและเก้าอี้กับขนาดสัดส่วนร่างกายของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาในจังหวัดสงขลา จำนวน 360 คน แบ่งเป็นชาย 175 คน หญิง 185 คน โดยวัดขนาดสัดส่วนร่างกายของนักเรียนทั้งหมด 8 สัดส่วนตัวอย่างสัดส่วนร่างกายแสดงในตาราง 1 และวัดขนาดสัดส่วนโต๊ะ เก้าอี้ ทั้งหมด 6 สัดส่วน จากนั้นนำข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายและสัดส่วนของโต๊ะเก้าอี้ที่วัดได้มาเปรียบเทียบตามสมการทางวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้อง ซึ่งพบว่า ค่าความสูงของที่นั่ง ระยะระหว่างที่นั่งกับความสูงของโต๊ะ ความลึกของที่นั่ง ระยะขอบบนของพนักพิง ระยะระหว่างที่นั่งกับขอบล่างสุดของโต๊ะ และความกว้างของที่นั่งมีระดับความสอดคล้องกับขนาดสัดส่วนของร่างกายนักเรียนเป็น 3.61% 5.57% 15.56% 36.72% 81.02% และ 98.08% ตามลำดับ ดังนั้นจึงทำการปรับสัดส่วนโต๊ะเก้าอี้ตามหลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ เพื่อทำให้ได้ค่าระดับความสอดคล้องที่เพิ่มมากขึ้น ผลที่ได้พบว่า ระดับความสอดคล้องของ ความสูงของที่นั่ง ระยะระหว่างที่นั่งกับความสูงของโต๊ะ ความลึกของที่นั่ง ระยะขอบบนของพนักพิง ระยะระหว่างที่นั่งกับขอบล่างสุดของโต๊ะและความกว้างของที่นั่ง เพิ่มขึ้นเป็น 66.48% 65.64% 62.68% 100% 98.52% และ 99.52% ตามลำดับ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าขนาดสัดส่วนโต๊ะเก้าอี้ของนักเรียนที่ใช้ในปัจจุบันควรจะมีการปรับโดยใช้หลักการทางวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์เพื่อลดระดับความไม่สอดคล้องของสัดส่วนดังกล่าว

Jongkol and Chatmuangpak (2012) ใช้หลักวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการศึกษาการทำงานของคนงานในสถานประกอบการก่อสร้างอาคารจำนวน 20 คน โดยงานคอนกรีตแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ งานตักส่วนผสมคอนกรีต งานลำเลียงส่งคอนกรีต และงานเทส่วนผสมคอนกรีต งานลำเลียงส่งคอนกรีตและงานเทส่วนผสมคอนกรีตเป็นงานที่มีการเคลื่อนย้ายคอนกรีตทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ดัชนีความเครียดในงาน (job strain index) ใช้เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ OVAKO Working Posture Analysis System--OWAS ใช้เพื่อประเมินภาระงานที่เกิดจากการทรงตัวในท่าทางการทำงานต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้แบบสอบถามมาตรฐานของนอร์ดิกเพื่อประเมินอาการของโรคกล้ามเนื้อและกระดูกของคนงาน ในการเปรียบเทียบภาระงานทางกายภาพของการขนย้ายคอนกรีตในทิศทางต่าง ๆ งานวิจัยนี้ได้วัดและวิเคราะห์อัตราการเต้นของหัวใจ ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีความเครียดในงานมีค่าเท่ากับ 3 หรือต่ำกว่า ซึ่งบ่งชี้ว่างานคอนกรีตในงานวิจัยดังกล่าวนี้มีความปลอดภัย

ตาราง 1

สัดส่วนร่างกายของตัวอย่างเด็กไทยในช่วงอายุ 7-12 ปีในจังหวัดสงขลา (หน่วย:เซนติเมตร)

สัดส่วนร่างกาย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	เปอร์เซนไทล์ที่ 5	เปอร์เซนไทล์ที่ 95
ความกว้างสะโพก	29.32	4.22	23.97	36.68
ระยะจากสะโพกถึงข้อพับเข่าด้านใน	38.30	3.51	32.24	43.83
ความสูงของข้อพับเข่าด้านใน	37.20	2.80	32.29	41.10

Note. From Match between dimensions of classroom desk and chair and anthropometric data of primary school students: A case study of a school in Songkhla by R. Kulem, K. Pochana and A. Sungkhapong, 2014, *KKU Engineering Journal, 41*(4), pp. 463-471 Copyright by Khon Kean University

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ คือ การวิเคราะห์ความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้าและใช้หลักการวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และTRIZ ในการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงที่นั่งของชิงช้า ข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ คือ การขาดข้อมูลสัดส่วนร่างกายของเด็กวัย 7-12 ปี บางรายการที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบ งานวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของเด็กวัย 7-12 ปี ในงานวิจัยของ Kulem et al. (2014) ในการออกแบบขนาดของที่นั่งชิงช้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ติดต่อโรงเรียนกรณีศึกษาเพื่อทำการขออนุญาตเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามให้เด็กตอบและการสอบถามทางวาจา

2. เก็บข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องเล่นชิงช้า ได้แก่ ขนาดของชิงช้า ขนาดที่นั่ง วัสดุที่ใช้ในการทำที่นั่งของชิงช้า พื้นบริเวณชิงช้า รวมถึง บันทึกภาพของชิงช้า

3. อธิบายวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและวิธีการวิจัยให้เด็กทราบ จากนั้นให้เด็กตอบแบบสอบถามและตอบทางวาจา นำผลจากการตอบแบบสอบถามและผลจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นมาวิเคราะห์ปัญหาของที่นั่งชิงช้า

4. จัดทำข้อเสนอแนะในการปรับปรุงที่นั่งของชิงช้า โดยใช้TRIZและวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในงานวิจัยนี้ คือ เด็กอายุตั้งแต่ 7-12 ปี ที่เรียนอยู่ในโรงเรียนกรณีศึกษาจำนวน 163 คน และใช้จำนวนตัวอย่างเท่ากับจำนวนประชากร เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย (inclusion criteria) คือ กลุ่มอาสาสมัครต้องเป็นเด็กอายุ 7-12 ปี ทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยให้จำนวนอาสาสมัครในแต่ละเพศมีความใกล้เคียงกัน เท่าที่จะเป็นไปได้ และ เกณฑ์การคัดออกผู้เข้าร่วมการวิจัย (exclusion criteria) คือ กลุ่มเด็กที่ป่วย เช่น ปวดศีรษะ เป็นไข้ ท้องเสีย มีโรคประจำตัว

การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม 2565 โดยใช้ข้อมูลจากโรงเรียนกรณีศึกษาที่อนุญาตให้เข้าพื้นที่โรงเรียนในช่วงสถานการณ์โรคระบาด COVID19 โรงเรียนดังกล่าวเปิดสอนระดับอนุบาล 1 ถึง ระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 6 มีเด็กนักเรียนจำนวน 196 คนแบ่งเป็นนักเรียนชั้นอนุบาล 33 คน และนักเรียนประถมศึกษา 163 คน งานวิจัยนี้ได้ผ่านการขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ รหัสโครงการ EC-65-0005 เด็กที่เข้าร่วมงานวิจัยได้รับทราบถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย แล้วลงชื่อในหนังสือแสดงเจตนายินยอม จากนั้นจึงได้ตอบแบบสอบถามในเรื่องข้อมูลส่วนบุคคล ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุในการใช้งานชิงช้า และข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้งานชิงช้า ตามลำดับ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยมี ดังนี้

1. แบบสอบถาม แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ข้อมูลส่วนบุคคล เช่น อายุ เพศ ชั้นเรียน ส่วนที่ 2 ข้อมูลการเกี่ยวกับการเล่นชิงช้า เช่น การเกิดอุบัติเหตุ อาการบาดเจ็บ เป็นต้น

2. TRIZ เครื่องมือและฐานความรู้ต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาทางเทคนิคและเชิงประดิษฐ์คิดค้น ทำให้ได้คำตอบในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

3. เทปวัดระยะ

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่และค่าร้อยละ ใช้ในการนับจำนวนการเกิดอุบัติเหตุและอาการบาดเจ็บของเด็กที่เกิดจากการเล่นชิงช้า ส่วนค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุดและน้อยที่สุด

ผลการศึกษา

ผลการสำรวจลักษณะการเกิดอุบัติเหตุและอาการบาดเจ็บของเด็กที่เกิดจากการเล่นชิงช้า

นักเรียนจากโรงเรียนกรณีศึกษาที่มีอายุ 7-12 ปี มีจำนวน 163 คนแบ่งตามอายุได้ดังตาราง 2 นักเรียนอายุ 11 ปี มีจำนวนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 23.3 ส่วนนักเรียนอายุ 12 ปี มีจำนวนน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 9.2 จำนวนนักเรียนเพศชายและหญิงใกล้เคียงกันคือ 82 และ 81 คน ตามลำดับ

ผลการสำรวจการเกิดอุบัติเหตุของนักเรียนแสดงในตาราง 3 พบว่า มีเด็กที่ไม่เคยเกิดอุบัติเหตุจากการเล่นชิงช้าจำนวน 96 คนหรือร้อยละ 58.9 ส่วนเด็กที่เคยเกิดอุบัติเหตุมีจำนวน 67 คน หรือร้อยละ 41.1 แบ่งเป็นเด็กอายุ 7 ขวบจำนวน 12 คน เด็กอายุ 8 ขวบจำนวน 11 คน เด็กอายุ 9 ขวบจำนวน 10 คน เด็กอายุ 10 ขวบจำนวน 9 คน เด็กอายุ 11 ขวบ จำนวน 19 คน และเด็กอายุ 12 ขวบ จำนวน 6 คน

เมื่อพิจารณาลักษณะการเกิดอุบัติเหตุในตาราง 4 พบว่า ลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ การพลัดตกจากชิงช้า โดยมีเด็กพลัดตกจากชิงช้าจำนวน 45 คน แบ่งเป็นเด็กอายุ 7 ขวบ จำนวน 6 คน เด็กอายุ 8 ขวบ จำนวน 9 คน เด็กอายุ 9 ขวบ จำนวน 7 คน เด็กอายุ 10 ขวบ จำนวน 5 คน เด็กอายุ 11 ขวบ จำนวน 13 คน และเด็กอายุ 12 ขวบ จำนวน 5 คน ลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด คือ เครื่องเล่นชำรุด ส่วนอุบัติเหตุอื่น ๆ ได้แก่ ถูกขอบที่นั่งขูดผิวหนัง

ผลการสอบถามเกี่ยวกับลักษณะอาการบาดเจ็บ (ตาราง 5) พบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีบาดแผลจากการเล่นชิงช้า ในขณะที่เด็กที่มีแผลฟกช้ำ จำนวน 7 คน เด็กที่มีแผลถลอก จำนวน 26 คน และเด็กที่มีแผลฉีกขาด จำนวน 6 คน

ตาราง 2

จำนวนเด็กที่เคยได้รับอุบัติเหตุจากการเล่นชิงช้าจำแนกตามอายุและเพศ

เพศ	อายุ (ปี)						
	7	8	9	10	11	12	รวม (คน)
ชาย	13	18	14	13	17	7	82
หญิง	20	10	9	13	21	8	81
รวม (คน)	33	28	23	26	38	15	163
ร้อยละ	20.2	17.2	14.1	16.0	23.3	9.2	100

ตาราง 3

จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุจากการเล่นชิงช้าจำแนกตามอายุ

จำนวนการเกิดอุบัติเหตุ (ครั้ง)	อายุ (ปี)							
	7	8	9	10	11	12	รวม (คน)	ร้อยละ
ไม่เคยเกิดอุบัติเหตุ	21	17	13	17	19	9	96	58.9
เคยเกิดอุบัติเหตุ	12	11	10	9	19	6	67	41.1
1	9	8	6	5	10	1	39	23.9
2	-	3	3	2	5	-	13	8.0
3	3	-	-	2	3	4	12	7.4
มากกว่า 3	-	-	1	-	1	1	3	1.8
รวม	33	28	23	26	38	15	163	100

ตาราง 4

ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุ

ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุ	อายุ (ปี)							
	7	8	9	10	11	12	รวม (คน)	ร้อยละ
ไม่เคยเกิดอุบัติเหตุ	21	17	13	17	19	9	96	58.9
พลัดตก	6	9	7	5	13	5	45	27.7
ชน/กระแทก	6	2	3	2	3	-	16	9.8
อื่น ๆ	-	-	-	1	1	1	3	1.8
เครื่องเล่นชำรุด	-	-	-	1	2	-	3	1.8
รวม	33	28	23	26	38	15	163	100

ตาราง 5

ลักษณะอาการบาดเจ็บ

ลักษณะอาการบาดเจ็บ	อายุ (ปี)							
	7	8	9	10	11	12	รวม (คน)	ร้อยละ
ไม่มีบาดแผล	30	19	19	20	26	9	123	75.4
แผลฟกช้ำ	1	3	-	1	-	2	7	4.3
แผลถลอก	1	4	2	4	11	4	26	16.0
แผลฉีกขาด	1	2	2	1	-	-	6	3.7
อื่น ๆ	-	-	-	-	1	-	1	0.6
รวม	33	28	23	26	38	15	163	100

ผลการศึกษาความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้า

จากการสอบถามความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้า (ตาราง 6) พบว่า เด็กส่วนใหญ่มีปัญหาเกี่ยวกับความสูงของชิงช้า เช่น ที่นั่งชิงช้าต่ำเกินไป 49 คน ที่นั่งชิงช้าสูง จำนวน 27 คน ส่วนเด็กที่พบว่า ที่นั่งลื่นมี จำนวน 25 คน และที่นั่งแคบไป 11 คน ดังแสดงในตาราง 6

แนวทางการออกแบบความสูงและขนาดของที่นั่งชิงช้า

จากการสำรวจความสูงและความกว้างของที่นั่งชิงช้าของเดิม พบว่า ความสูงของที่นั่งชิงช้าของเดิมเท่ากับ 34.3 เซนติเมตร ความกว้างของที่นั่งชิงช้าของเดิมเท่ากับ 14.7 เซนติเมตร และความลึกของที่นั่งชิงช้าของเดิมเท่ากับ 40.1 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ทำที่นั่งชิงช้าคือเหล็ก ดังภาพ 1

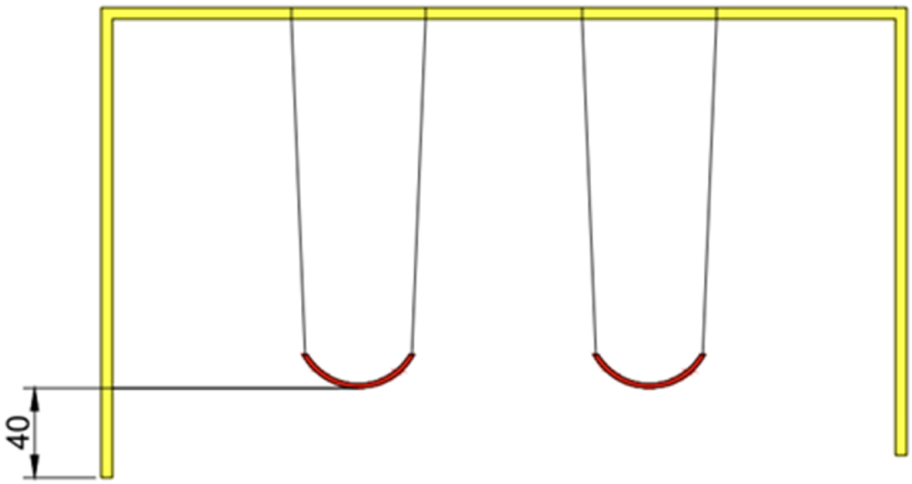
การออกแบบความสูงของที่นั่งชิงช้าของงานวิจัยนี้ใช้หลักการออกแบบเพื่อความปลอดภัยตามคำแนะนำของ U.S. Consumer Product Safety Commission (2015) ซึ่งกำหนดให้ระยะจากพื้นถึงชิงช้าอย่างน้อยเท่ากับ 16 นิ้ว หรือ 40 เซนติเมตร สำหรับเด็กชั้นประถม เพื่อให้เด็กสามารถนั่งลงบนที่นั่งได้ ดังภาพ 2 หากระยะจากพื้นถึงที่นั่งของชิงช้าน้อยเกินไป อาจทำให้ขาของเด็กลากไปตามพื้นขณะชิงช้าแกว่งและเกิดการบาดเจ็บได้

ตาราง 6

ความคิดเห็นของเด็กเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้า

ปัญหาที่พบมากที่สุด	อายุ (ปี)							
	7	8	9	10	11	12	รวม (คน)	ร้อยละ
ไม่พบปัญหา	12	9	5	8	12	5	51	31.3
ที่นั่งชิงช้าต่ำเกินไป	8	9	6	8	12	6	49	30.0
ที่นั่งชิงช้าสูง	4	3	8	7	4	1	27	16.6
ที่นั่งลื่น	7	6	3	2	7	-	25	15.3
ที่นั่งแคบ	2	1	1	1	3	3	11	6.8
รวม	33	28	23	26	38	15	163	100

ภาพ 1 ที่นั่งชิงช้าของเดิม



ภาพ 2 ระยะจากพื้นถึงที่นั่งชิงช้าตามคำแนะนำของ

Note. From *Handbook for Public Playground Safety, Pub. No. 325. Maryland* by U.S. Consumer Product Safety Commission, 2015, retrieved from https://www.cpsc.gov/s3fs-public/325.pdf

การออกแบบขนาดของที่นั่งชิงช้าในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของ Kulem et al. (2014) (ตาราง 6) ในการออกแบบความกว้างของที่นั่งชิงช้าด้วยหลักการวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของค่าความกว้างของสะโพกขณะนั่ง (hip breadth) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.68 เซนติเมตร เพื่อให้เด็กที่มีสะโพกกว้างสามารถนั่งบนที่นั่งได้ ส่วนการออกแบบความลึกของที่นั่งชิงช้าพิจารณาจากหลักการของ Goonetilleke and Feizhou (2001) ที่ได้ให้คำแนะนำว่าถ้าความลึกของที่นั่งมากเกินไปจะทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกไม่สบายเพิ่มขึ้น จึงพิจารณาค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของระยะจากสะโพกถึงข้อพับเข่าด้านใน (buttock-popliteal distance) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 32.24 เซนติเมตร นอกจากนี้ควรมีระยะห่างระหว่างขาพับใต้เข่ากับขอบที่นั่งด้านหน้าประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อให้เด็กสามารถพับขาไปด้านหลังได้ ดังนั้นความลึกของที่นั่งจึงไม่ควรเกิน 22.24 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาหลักการออกแบบทางวิศวกรรมที่กำหนดมิติต่าง ๆ เป็นเลขจำนวนเต็มแล้ว งานวิจัยนี้จึงเสนอความกว้างของที่นั่งชิงช้ามีค่าอย่างน้อย 40.0 เซนติเมตร ส่วนความลึกของที่นั่งชิงช้ามีค่าไม่เกิน 22.0 เซนติเมตร

การเสนอแนวทางการปรับปรุงเครื่องเล่นชิงช้าโดยใช้ TRIZ

การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงมีวิธีการตามลำดับ ดังนี้

ปัญหาที่พบ คือ 1. ที่นั่งลื่น

การวิเคราะห์ปัญหา: สาเหตุของที่นั่งลื่นคือที่นั่งทำจากเหล็ก อันตรายที่อาจเกิดขึ้น คือ หากที่นั่งกระแทกเด็กอาจทำให้เด็กบาดเจ็บรุนแรงได้ เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยของเด็กในขณะเล่นชิงช้าจึงจำเป็นต้องปรับปรุงที่นั่งของชิงช้า จึงสามารถเลือกคุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะปรับปรุงและคุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะด้อยลงที่สอดคล้องกับความปลอดภัยของเด็กและกำหนดให้เป็นคู่ความขัดแย้งที่ 1

คู่ความขัดแย้งที่ 1 มีองค์ประกอบ ดังนี้

คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะปรับปรุง: การปรับปรุงที่นั่งให้ไม่ลื่นเพื่อไม่ให้เด็กพลัดตกจากชิงช้า (ข้อ 30 ปัจจัยอันตรายซึ่งกระทำต่อวัตถุภายนอก)

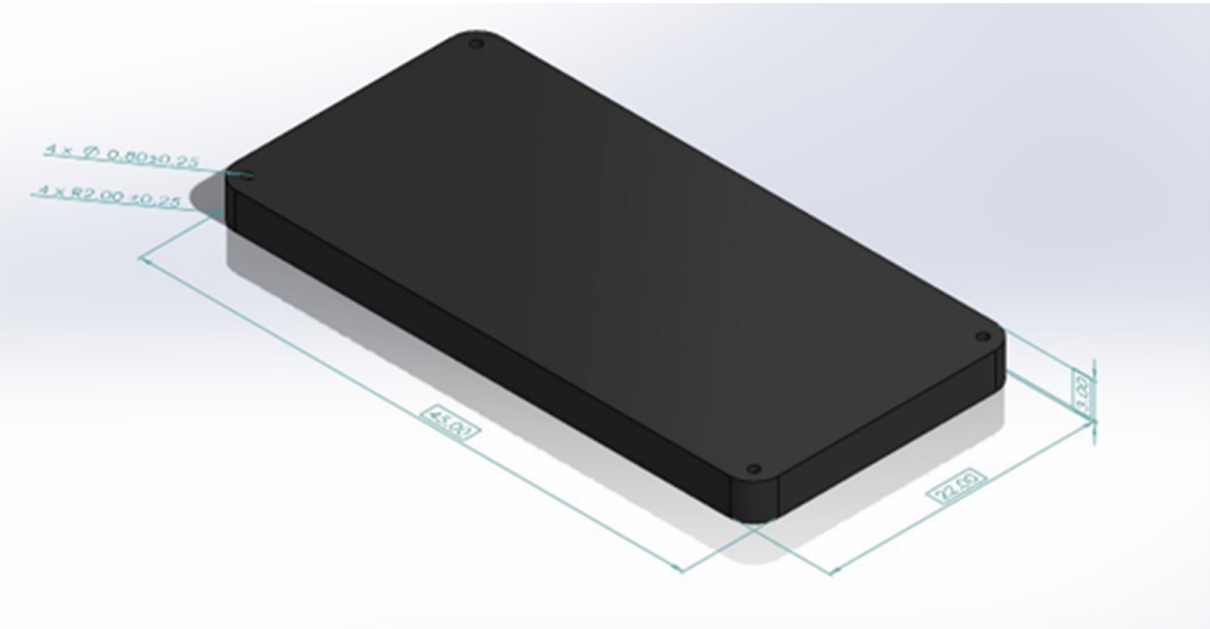
คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะด้อยลง: ความแข็งแรงทนทานของที่นั่ง (ข้อ 14 ความแข็งแรง)

วิธีแก้ไขความขัดแย้งที่ 1 จากตาราง 6 หลักการในการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นที่นำมาพิจารณาความเป็นไปได้ คือ หลักการที่ 40 เปลี่ยนวัสดุ ดังแสดงในภาพ 3

การพัฒนาคำตอบจากคู่ความขัดแย้ง คือ การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำที่นั่งจากวัสดุเดิมเป็นเหล็กเปลี่ยนเป็นยางพาราธรรมชาติหล่อขึ้นรูป ที่นั่งมีผิวเรียบ ขอบ และมุมโค้งมน ดังภาพ 4 ซึ่งแสดงขนาด (dimensions) ของที่นั่งที่วางในที่ราบ แต่เมื่อแขวนที่นั่งกับชิงช้าก็จะทำให้ที่นั่งเป็นรูปโค้งเนื่องจากวัสดุเป็นยางและมีความยืดหยุ่น งานวิจัยนี้กำหนดให้มีระยะเผื่อสำหรับการเชื่อมต่อกับสายแขวนด้านละ 2.5 เซนติเมตร ทำให้ความกว้างของชิงช้าโดยรวมเท่ากับ 45 เซนติเมตร และความลึกเท่ากับ 22 เซนติเมตร

	คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะด้อยลง
คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะปรับปรุง	(14, ความแข็งแรง)
(30, ปัจจัยอันตรายซึ่งกระทำต่อวัตถุภายนอก)	(40, เปลี่ยนวัสดุ)

ภาพ 3 ตารางแก้ปัญหาความขัดแย้งทางเทคนิค



ภาพ 4 การออกแบบขนาดที่นั่ง

สรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1. จากผลการวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุพบว่า เด็กที่เคยเกิดอุบัติเหตุในการเล่นชิงช้ามีร้อยละ 41.1 โดยเป็นการพลัดตกจากชิงช้าจำนวนร้อยละ 27.7 ลักษณะการบาดเจ็บที่มากที่สุด คือ แผลถลอกคิดเป็นร้อยละ 16.0

2. เด็กได้แสดงความคิดเห็นของเกี่ยวกับที่นั่งชิงช้า ดังนี้ ที่นั่งต่ำเกินไปร้อยละ 30.0 ที่นั่งสูงเกินไปร้อยละ 16.6 ที่นั่งลื่นร้อยละ 15.3 และที่นั่งแคบร้อยละ 6.8

3. ผลการใช้ TRIZ ในการแก้ไขปัญหาที่นั่งลื่นพบว่า หลักการในการแก้ปัญหา คือ การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำที่นั่งจากวัสดุเดิมเป็นเหล็กเปลี่ยนเป็นยางพาราธรรมชาติหล่อขึ้นรูป ที่นั่งมีผิวเรียบ ขอบและมุมโค้งมน ส่วนผลการใช้วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการออกแบบที่นั่งชิงช้า พบว่า การออกแบบความกว้างของที่นั่งชิงช้าพิจารณาจากค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของค่าความกว้างของสะโพกขณะนั่ง ส่วนการออกแบบความลึกของที่นั่งชิงช้าพิจารณาค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 5 ของระยะจากสะโพกถึงข้อพับเข่าด้านใน

อภิปรายผล

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า เด็กส่วนใหญ่ (ร้อยละ 68.7) มีความคิดเห็นเกี่ยวกับความสูง ขนาด และความลื่นของที่นั่งชิงช้า ในการปรับปรุงขนาดของที่นั่งชิงช้าให้เหมาะสมกับเด็กซึ่งเป็นผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้ออกแบบความกว้างของที่นั่งชิงช้าด้วยหลักการวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของค่าความกว้างของสะโพกขณะนั่ง ส่วนการออกแบบความลึกของที่นั่งชิงช้าโดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของระยะจากสะโพกถึงข้อพับเข่าด้านใน เพื่อรองรับน้ำหนักตัวของร่างกายส่วนบน รวมทั้งสะโพกและขาส่วนบนของเด็กนักเรียนได้อย่างเพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kulem et al. (2014) ออกแบบความกว้างของที่นั่งโดยใช้ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 95 ของความกว้างของสะโพกขณะนั่ง

ส่วนการปรับปรุงเรื่องที่นั่งลื่นโดยใช้ TRIZ ผลปรากฏว่า คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะปรับปรุง คือ การปรับปรุงที่นั่งให้ไม่ลื่นเพื่อไม่ให้เด็กพลัดตกจากชิงช้า ในขณะที่คุณสมบัติมาตรฐานของปัญหาทางเทคนิคที่จะด้อยลง คือ ความแข็งแรงทนทานของที่นั่ง วิธีการแก้ไขความขัดแย้ง คือ การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำที่นั่ง งานวิจัยของ Rattanasupa and Keawwattana (2007) ได้เสนอแนะว่า คุณสมบัติของยาง คือ มีความยืดหยุ่นและป้องกันการลื่นไถลได้ ยางอีพีดีเอ็มมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมแก่การใช้งานกลางแจ้ง ได้แก่ ความแข็ง การทนต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด แต่มีราคาสูงมาก จึงมีการผลิตยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอีพีดีเอ็มเพื่อให้ราคาลดลง ส่วนยางธรรมชาติจะมีราคาต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาราคาของที่นั่งชิงช้าที่ทำจากยางพาราธรรมชาติหล่อขึ้นรูปซึ่งมีขนาดกว้าง 40.0 เซนติเมตร และลึก 30.0 เซนติเมตร ประมาณ 1,200-2,200 บาท ในขณะที่ราคาของที่นั่งชิงช้าที่ทำจากสายพานผ้าใบมีขนาดกว้าง 40.0 เซนติเมตรและลึก 30.0 เซนติเมตร ประมาณ 1,500-1,900 บาท ซึ่งทางโรงเรียนสามารถเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับงบประมาณของโรงเรียนที่มีอยู่ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ในการประยุกต์ใช้วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ในการปรับปรุงเครื่องเล่นชิงช้าควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เช่น สัดส่วนร่างกายของเด็กทุกช่วงอายุ เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบขนาดของเครื่องเล่นให้เหมาะสมกับช่วงอายุของเด็ก

2. ในการศึกษาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุของเด็กควรเก็บข้อมูลลักษณะของชิงช้าและความแข็งแรงของเด็กมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (รหัสโครงการ 160343)

References

Bunma, M., Lawanvadeekul, S., Hunyala, J., Yimlamai, W., & Samuttalak, K. (2017). Environmentand safety of outdoor. *Playground Equipment for Pre-School Child, 11*(2), 146-162. (in Thai)

Chongjaroenjai, P., Attawiriyasuworn, P., & Jongkol, P. (2023). Study of accidents from playing swing of primary students in Nakhon Ratchasima Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(2), 212-213. (in Thai)

Goonetilleke, R., & Feizhou, S. (2001). A methodology to determine the optimum seat depth. *International Journal of Industrial Ergonomics, 27*, 207-217. doi: 10.1016/S0169-8141(00)00051-2.

Jongkol, P., & Chatmuangpak, A. (2012). Evaluation of concrete work strain in buildings construction. *2012 Southeast Asian Network of Ergonomics Societies Conference (SEANES), Langkawi, Malaysia, 2012* (pp. 1-6). Langkawi, Malaysia: SEANES. doi: 10.1109/SEANES.2012.6299564.

Junthepa, P., & Nathapindhu, G. (2012). Environment and safety of playgrounds at child care centers supervised by local administrative organizations and primary schools, Thabo District, Nongkhai Province. *KKU Journal for Public Health Research, 5*, 1-12. (in Thai)

Kittivorakan, N., & Payoongpan, P. (2009). *Application of TRIZ in modification of centrifugal broadcaster* (Bachelor's project). Naresuan University. Phitsanulok (in Thai)

Kulem, R., Pochana, K., & Sungkhapong, A. (2014). Match between dimensions of classroom desk and chair and anthropometric data of primary school students: A case study of a school in Songkhla. *KKU Engineering Journal, 41*(4), 463-471. (in Thai)

Phongpaew, W. (2012). Production capability improvement by applying TRIZ: A case study of plastic injection molding of Polycarbonate optical lenses. *TNI Journal of Business Administration and Languages, 1*(1), 1-5. (in Thai)

Rattanasupa, B., & Keawwattana, W. (2007). The development of rubber compound based on Natural Rubber (NR) and Ethylene-Propylene-Diene-Monomer (EPDM) Rubber for playground rubber mat. *Agriculture and Natural Resources, 41*(5), 239-47. (in Thai)

Sanbudda, W. (2017). The study of playground context and play behavior of early childhood: Case study Ram Wittaya Prachanusorn School, Sikhio, Nakhonratchasima. *National Conference Home Bhumi No. 3: Wisdom to the Future Faculty of Architecture Khon Kaen University 15-16 June 2017* (pp. 277-290). Khon Kaen: Khon Kaen University (in Thai)

Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). *Human factors in engineering and design* (7th ed.). New York: Mcgraw-Hill Book Company.

Shupmahasan, S., & Sirisuwan, P. (2020). Factors contributing to accidents in the performance of the operation team technicians installing the company's cable: A case study. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 14*(2), 278–289. (in Thai)

Sub-Committee on Protection of Playground and its Equipment and Devices. (2008). *Handbook of safe child playground*. Bangkok: Consumer Protection Board. (in Thai)

U.S. Consumer Product Safety Commission. (2015). *Handbook for public playground safety, pub. no. 325 Maryland*. Retrieved from https://www.cpsc.gov/s3fs-public/325.pdf

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดสารภีน้ำ เพื่อตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสำหรับต่อยอดในเชิงพาณิชย์

Antioxidant Activity and Tyrosinase Inhibition Activity of Extracts from *Elaeocarpus hygrophilus* to Cosmetic Formulations for Continue Commercialization

ณพัฐอร บัวฉุน[1]* และ วิริยาภรณ์ กล่อมสังข์เจริญ[1]

Napattaorn Buachoon[1]* and Wiriyabhorn Klomsungcharoen[1]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

[1]Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province

*Corresponding author: napattaorn@vru.ac.th

Received: April 25, 2024

Revised: August 21, 2024

Accepted: August 28, 2024

บทคัดย่อ

สารภีน้ำจัดเป็นพืชที่นิยมปลูกกันทั่วไป และนำผลมาแปรรูปเป็นผลไม้แช่อิ่ม การเพิ่มมูลค่าให้กับสารภีน้ำโดยทำการตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของสารสกัดสารภีน้ำจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ *S.aureus E.coli P.aeruginosa* และ *B.cereus* ด้วยวิธี Agar well diffusion เพื่อตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดสารภีน้ำ พบว่า สารสกัดผลดิบสารภีน้ำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (261.17±0.84 mg GAE/g extract) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (89.19±1.45 mg QE/g extract) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50} เท่ากับ 11.29±0.55 µg/ml) และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (IC_{50} เท่ากับ 16.10±0.77 µg/ml) ดีที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจาก ดอกตูม ใบ และเปลือก และสารสกัดผลดิบสารภีน้ำ (500 mg/ml) สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิดได้แก่ *S.aureus E.coli P.aeruginosa* และ *B.cereus* หลังจากนั้นนำสารสกัดผลดิบด้วยเอทานอลมาเป็นส่วนผสมในการตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชั่น พบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชั่นที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผลดิบของสารภีน้ำที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีลักษณะเนื้อโลชั่นเนียนละเอียด มีสีเหลืองอ่อนขุ่นทึบแสง ไม่มีกลิ่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.15±0.34 ไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์และเชื้อรา และโลชั่นมีความคงตัวหลังการทดสอบ heating-cooling stability จำนวน 6 รอบ แสดงให้เห็นว่า งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากสารสกัดสารภีทุกส่วนเพื่อต่อยอดในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส สารภีน้ำ

Abstract

Elaeocarpus hygrophilus is a common cultivated plant, and its fruit is processed to be fruit preserve. A cosmetic formulation containing E. hygrophilus extract for increasing herbal product value is interesting. This research was conducted to study total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity, anti-tyrosinase activity, and anti-bacterial activity for all 4 pathogenic bacteria, i.e. *S.aureus, E.coli, P.aeruginosa* and *B.cereus*, based on Agar well diffusion method so as to set the formulation of cosmetic products from *E. hygrophilus* extract. It was found that the total phenolic content of the fruit extract from unripe *E. hygrophilus* (261.17±0.84 mg GAE/g extract), total flavonoid content (89.19±1.45 mg QE/g extract), antioxidant activity (IC_{50} equal to 11.29±0.55 µg/ml), and Tyrosinase Inhibition Activity (IC_{50} equal to 16.10±0.77 µg/ml). Compared to the extract from buds, leaves, and peels, the fruit extract from unripe *E. hygrophilus* is able to inhibit all 4 pathogenic bacteria, i.e. *S.aureus, E.coli, P.aeruginosa* and *B.cereus*, but it can inhibit *S.aureus* the most with statistical significance at 95% confidence. The fruit extract from unripe *E. hygrophilus* was used as an ingredient in the formulation of lotion. It was found that the lotion containing the developed fruit extract from unripe *E. hygrophilus* gave a smooth and fine texture. It has a light yellow, cloudy, opaque, odorless, pH 6.15. The growth of microorganisms and fungi was not found. The consistency of the lotion did not change from the original condition of the product. This research can be used as a guideline for the utilization of the extract from *E. hygrophilus* for commercial development accordingly.

Keywords: antioxidant activity, tyrosinase inhibition activity, *Elaeocarpus hygrophilus*

บทนำ

ปัจจุบันมีโรคที่ติดเชื้อจากแบคทีเรียก่อโรคมากขึ้น การติดเชื้อแบคทีเรียก่อโรคต่าง ๆ เช่น โรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร และโรคติดเชื้อทางผิวหนัง เช่น *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) *Escherichia coli* (*E. coli*) *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) และ *Bacillus cereus* (*B.cereus*) นอกจากนี้ ยังพบว่าเชื้อ *S.aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่สามารถสร้างเอนเทอโรทอกซินออกมาทำให้ชั้นผิวหนังกำพร้ามีการหลุดลอกและรุนแรงจนนำไปสู่การติดเชื้อทางผิวหนังอย่างรุนแรง ต้องได้รับยาปฏิชีวนะถ้าไม่ทันอาจติดเชื้อเข้ากระแสเลือดถึงแก่ชีวิต และก่อให้เกิดเป็นโรค 4S (Staphylococcal Scalded Skin Syndrome) (Mishra et al., 2016) และยังพบว่า *S.aureus* ยังก่อให้เกิดการอักเสบของสิวที่ทำให้เกิดอาการปวดและมีลักษณะแดงนูนออกมากลายเป็นสิวอักเสบ ซึ่งพบได้ที่ผิวหนังและเยื่อเมือกของมนุษย์ (Widerström et al., 2012) ปัจจุบันพบได้ว่า การบริโภคของผู้บริโภคกำลังเปลี่ยนไปหาผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อสุขภาพมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะกลับมาให้ความสำคัญกับสารที่ได้จากธรรมชาติ ทั้งมีการต่อต้านการใช้สารสังเคราะห์ต่าง ๆ และยังมีรายงานความเป็นพิษและการแพ้สารต่าง ๆ ที่มีการเติมแต่ง และยังมีรายงานการศึกษาสารต้านจุลินทรีย์ธรรมชาติจากพืชสมุนไพร ซึ่งพบว่า เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสามารถที่จะออกฤทธิ์ยับยั้งและสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (Burt, 2004; konning et al., 2004)

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตส่วนมากเป็นพวกที่มีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ สูงมาก จะไปชักนำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ภายในเซลล์ ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นมากมาย ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากกับโครงสร้างและหน้าที่ของสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต ได้แก่

ทำให้กิจกรรมและกระบวนการต่าง ๆ ทางเมทาบอลิซึมภายในร่างกายบกพร่อง เกิดความผิดปกติในกระบวนการเมทาบอลิซึม นำไปสู่การเกิดโรคภัยต่าง ๆ ทำลายโครงสร้างของเซลล์ ทำให้ เซลล์ตาย และเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเซลล์ นำไปสู่การเกิดโรคมะเร็ง สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารที่สามารถยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระโดยการเข้าไปหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อไป สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในธรรมชาติโดยมากจะมาจากพืช ผัก ผลไม้ และสมุนไพรต่าง ๆ พืชหลายชนิดอุดมไปด้วยสารประกอบที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอล (Phenolic compound) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งพืชที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น ชะเอมเทศ (*Glycyrrhiza glabraL.*) มักมีคุณสมบัติทำให้ผิวขาวรวมอยู่ด้วย (Solano et al., 2006) ดังนั้นการใช้สารประกอบจากพืชทดแทนสารสังเคราะห์จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตและไม่มีผลข้างเคียงต่อผู้บริโภค

เอนไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase) เป็นเอนไซม์ที่พบได้ในธรรมชาติ ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการสร้างเมลานินซึ่งพบได้ทั้งในแบคทีเรีย เห็ดรา พืช สัตว์ รวมทั้งในมนุษย์ โดยเฉพาะในมนุษย์นั้นเมลานินมีหน้าที่สำคัญในการป้องกันผิวหนังจากแสงแดดและช่วยป้องกันอันตรายจากรังสียูวี (Khan, 2007; Song et al., 2006) แต่อย่างไรก็ตามการผลิตเมลานินที่มากเกินความจำเป็นอาจทำให้เกิดโรคความผิดปกติของการสร้างเม็ดสี (hyperpigmentation) และทำให้เกิด ฝ้า กระ จุดด่างดำได้ (Chen et al., 2013; Kim and Uyama, 2005; Zaidi et al., 2016) ด้วยเหตุนี้จึงมีความพยายามหาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ ซึ่งในปัจจุบันสารที่ยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ไทโรซิเนส คือ กรดโคจิก (Kojic acid) และอาร์บูติน (Arbutin) ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของสารประกอบไฮดรอกซีไพราโนน และไกลโคซิลไฮโดรควิโนนที่ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยสารอนุพันธ์ทั้งสองชนิดนี้ได้มาจากการสกัดจากธรรมชาติ โดยกรดโคจิกนั้นเป็นสารอนุพันธ์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหมักข้าวมอลต์โดยเชื้อรา *Aspergillus oryzae* (Yabuta, 1924; Bently, 2006, Yamada et al., 2014) ในขณะที่สารอาร์บูตินนั้นได้จากการสกัดจากพืชตระกูลแบร์เบอร์รี (Pop et al., 2009) ผลการศึกษาจำนวนมากที่แสดงให้เห็นว่า สารอนุพันธ์ทั้งสองชนิดนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสที่เป็นทั้ง diphenolase activity และ monophenolase activity ได้ เนื่องจากคุณสมบัติของการเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับสารตั้งต้นทั้งที่เป็นสารประกอบโมโนฟีนอลและไดฟีนอล

สารภีน้ำ หรือ สมอพิพ่าย มีชื่อวิทยาศาสตร์: *Elaeocarpus hygrophilus* เป็นพืชที่พบได้บริเวณริมน้ำและลำห้วย ปัจจุบันนิยมปลูกกันทั่วไปจากการศึกษาพบว่าส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมีสรรพคุณหลายอย่างได้แก่ ดอกเป็นยาบำรุงธาตุในร่างกาย แก้พิษโลหิต และกำเดา ผลมีรสเปรี้ยวอมหวาน ช่วยแก้อาการกระหายน้ำ ช่วยทำให้ชุ่มคอ แก้เสมหะในลำคอ เปลือกต้นแห้งมีรสเฝื่อน นำมาชงกับน้ำรับประทานเป็นยาฟอกเลือดหลังการคลอดบุตรของสตรี นอกจากนี้ยังพบว่า ผลยังพบวิตามินซี คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์รวม ฟลาโวนอยด์ และสารฟีนอลิก (Alam et al., 2021; Ruangchakpet & Sajjaanantakul, 2007)

การผลิตเครื่องสำอางในปัจจุบันมีการใช้ส่วนผสมของสารให้ความขาวผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์แป้งสบู่ ครีมทาผิว ซึ่งมีส่วนผสมที่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง เช่น ปรอท แอมโมเนีย (Kongwong & Wattananamkul, 2011; Klinsoonthorn et al., 2013) โดยสารเหล่านี้ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้หากใช้เป็นระยะเวลานานจะสะสมในร่างกายทำให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินปัสสาวะทำให้ไตอักเสบได้ (Merola et al., 2008) ผู้คนส่วนใหญ่จึงหันมาใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่เป็นสารที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น พืช พืชสมุนไพร และผักพื้นบ้าน ซึ่งพืชดังกล่าวสามารถผลิตเมแทบอไลท์ทุติยภูมิ ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งเอนไซม์ ไทโรซิเนส รวมทั้งยังสามารถที่จะยับยั้งจุลินทรีย์และยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผิวหนัง (skin aging-related enzyme) ด้วย (Klinsoonthorn et al., 2013) ผู้วิจัยจึงสนใจการใช้สารสกัดจากธรรมชาติจากพืชสมุนไพรโดยเฉพาะสารภีน้ำ เพื่อพัฒนาเป็นตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่อยอดในเชิงพาณิชย์และยังเป็นเป็นการเพิ่มมูลค่าสารภีน้ำโดยมีข้อมูลสนับสนุนทางวิทยาศาสตร์ต่อสรรพคุณ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

2. เพื่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคของสารสกัดสารภีน้ำ

3. เพื่อตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดสารภีน้ำสำหรับต่อยอดในเชิงพาณิชย์

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สารภีน้ำ หรือ สมอพิพ่าย มีชื่อวิทยาศาสตร์: *Elaeocarpus hygrophilus* Kurz. เป็นพืชที่พบได้บริเวณริมน้ำและลำห้วย ปัจจุบันนิยมปลูกกันทั่วไป (Joomwdong, Neungsean & Boonmee, 2018) สารภีน้ำถูกนำมาใช้ในบำบัดรักษาโรค เช่น ดอกเป็นยาบำรุงธาตุในร่างกาย แก้พิษโลหิต และกำเดา ผลมีนำมารักษาอาการกระหายน้ำ ชุ่มคอ แก้เสมหะในลำคอ เปลือกต้นแห้งนำมาเป็นยาฟอกเลือดหลังการคลอดบุตรของสตรี (Ruangchakpet & Sajjaanantakul, 2007) นอกจากนี้ยังได้มีการนำส่วนต่าง ๆ เช่น ผลมาศึกษา ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส สารสำคัญที่พบในสารภีน้ำ เช่น ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ โดยมีการทำการศึกษาพบว่า สารกลุ่มดังกล่าวสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้

สารประกอบฟีนอลิก เป็นกลุ่มสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบป้องกันความเสียหายที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลต และป้องกันการสร้างสารก่อมะเร็ง สารกลุ่มนี้ถูกจำแนกตามโครงสร้างทางเคมีออกเป็นกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม ซึ่งสารในกลุ่มฟีนอลิกเป็นหนึ่งในกลุ่มย่อยเหล่านี้ที่มีการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและพบมากในพืช เช่น เมล็ด ผล ใบ ดอก และส่วนอื่น ๆ โดยสามารถพบสารได้ในเกือบทุกส่วนของพืช (Vajragupta, 2007)

สารประกอบฟลาโวนอยด์ เป็นสารเมแทบอไลท์ขั้นทุติยภูมิในพืชสร้างจากกรดอะมิโนที่มีวงแหวน (aromatic amino acids) ได้แก่ ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ไทโรซีน (Tyrosine) และมาโลเนท (Malonate) โดยทำหน้าที่เพื่อช่วยป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ (Jez et al., 2000) ช่วยป้องกันแสงอุลตร้าไวโอเลตป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยต้านอนุมูลอิสระและป้องกันการถูกคุกคามจากไวรัส (Pielta, 2000)

เอนไซม์ไทโรซิเนสเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารประกอบฟีนอลเป็นโปรตีนที่มีขนาดประมาณ 60-70 kDa มีค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการทำงาน คือ 6.8 (Halaban, 2002; Mason, 1948) บทบาทมากที่สุดในการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานินและเป็นเอนไซม์ที่กำหนดอัตราการทำงานสำหรับการควบคุมการผลิตเมลานินทำหน้าที่เปลี่ยน ไทโรซีนไปเป็นสาร intermediate (DOPA DOPAquinone DOPAchrome DHI) สารยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส เป็นได้ทั้งสารสังเคราะห์และสารที่พบในธรรมชาติซึ่งอาจเป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ (Niyomdecha & Lohawittayanan, 2016)

โลชัน (lotion) เป็นอิมัลชันมีความหนืดต่ำ เพราะมีวัฏภาคภายนอกในปริมาณที่สูง วัตภาคภายในมักไม่เกิน 35 % เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุดในผลิตภัณฑ์ทาผิวโดยเฉพาะผิวหนังที่มีบริเวณกว้าง เพราะทาแล้วชุ่มชื้นไม่เหนอะหนะ ดูดซึมดีให้ความรู้สึกสบาย และล้างน้ำออกได้ง่าย เช่น โลชันทาผิว โลชันป้องกันแสงแดด ซึ่งโลชันนี้อาจใช้สารเพิ่มความหนืด (thickening agent) ในวัฏภาคน้ำให้หนืดขึ้นได้ แต่ยังคงเป็นของเหลวที่ไหลได้ (Leelapornpisit, 1991).

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพ 1 ส่วนต่าง ๆ สารภีน้ำ โดย (ก) ส่วนดอกตูม (ข) ส่วนใบ (ค) ส่วนผล และ (ง) ส่วนเปลือกต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ ได้แก่ ดอกตูม ใบแก่ ผลดิบ และเปลือกต้น จากจังหวัดสระบุรี แต่ละส่วนล้างให้สะอาดด้วยน้ำ ผึ่งให้แห้ง หั่นเป็นชิ้นเล็ก แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด นำแต่ละส่วนที่บดละเอียดมาร่อนผ่านตะแกรงไม่เกิน 400 mesh นำผงที่ได้มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

นำผงของแต่ละส่วนของสารภีน้ำ (ชนิดละ 250 กรัม) มาแยกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยวิธีการแช่หมัก (maceration) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน กรองด้วยกระดาษเบอร์ 1 หลังจากนั้นทำการเก็บสารละลาย และนำไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสจะได้เป็นสารสกัดหยาบ นำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3. การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

เตรียมสารสกัดตัวอย่างแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตมาอย่างละ 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและเติมสารละลาย 10% Folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลาย 7.5 %w/v โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นเป็น 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำปิเปตมาอย่างละ 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและเติมสารละลาย 10 %v/v Folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลาย 7.5 %w/v โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สำหรับการทดลองชุดควบคุมใช้น้ำกลั่น ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดหยาบตัวอย่างโดยเทียบจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg GAE/g extract) แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดัดแปลงวิธีจาก Vernon L. Singleton (Singleton et al., 1999)

4. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

เตรียมสารสกัดตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่างมาอย่างละปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 10% อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ($AlCl_3$) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เติมสารละลาย 10 %v/v กรดอะซิติก (CH_3COOH) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) เตรียมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซิติน (Quercetin) ให้มีความเข้มข้นเป็น 0.1 0.2 0.3

0.4 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นมาอย่างละปริมาตรปิเปตสารละลายตัวอย่างมาอย่างละปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 10 %w/v อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เติมสารละลาย 10 %v/v กรดอะซิติก ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg QE/g extract) แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ (ดัดแปลงวิธีจาก Gracelin et al., 2013)

5. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH Radical scavenging activity

เตรียมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ในสารละลาย absolute ethanol เตรียมสารสกัดหยาบตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) ที่ความเข้มข้น 25 50 250 500 และ 1,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ปิเปตสารสกัดตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานมาอย่างละปริมาตร 50 ไมโครลิตร หยดสารสกัดลงใน 96 well plate หลุมละ 100 ไมโครลิตร เติมสารละลาย DPPH อีก 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis microplate reader โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน แต่ละตัวอย่างทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณหา % Radical scavenging จากสมการ

$$\% \text{ Radical scavenging} = [(Ac - As)/Ac] \times 100 \quad (1)$$

โดย Ac คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลาย DPPH

As คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

ค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า 50% inhibitory concentration (IC_{50}) จากกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด และ % Radical scavenging โดยใช้ Trolox เป็นสารละลายมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบ ดัดแปลงวิธีจาก Chattip Prommuak (Prommuak et al., 2008)

6. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสโดยวิธี Dopachrome

เตรียมสารสกัดตัวอย่างและสารมาตรฐานกรดโคจิก (Kojic acid) ที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 0.1 0.5 และ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปิเปตสารสกัดตัวอย่างและสารมาตรฐานมาปริมาตร 40 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เติม Phosphate buffer pH 6.5 เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เติมเอนไซม์ไทโรซิเนสความเข้มข้น 30 unit/มิลลิลิตร ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน เติม L-DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanine) เข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis microplate reader นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คำนวณ %Inhibition ดังสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A490 \text{ control} - A490 \text{ sample})/A490 \text{ control}] \times 100 \quad (2)$$

เปรียบเทียบกับกรดโคจิก ซึ่งเป็นสารมาตรฐาน จากนั้นคำนวณหาค่าการยับยั้งเอนไซม์ ไทโรซิเนสได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) พล็อตกราฟระหว่างค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และความเข้มข้นของสารสกัด (Piao et al., 2002; Masuda et al., 2005)

7. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยวิธี Agar well diffusion

เพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิดได้แก่ *S.aureus* TISTR 746 *E.coli* TISTR 780 *P. aeruginosa* TISTR 781 และ *B.cereus* TISTR 1449 ที่ได้จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุขกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ทำการเพาะแบคทีเรียโดยเลี้ยงลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Muller Hinton broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และปรับความเข้มข้นของเชื้อให้ได้ประมาณ 108 cfu/mL เพื่อให้ได้ความขุ่นของแบคทีเรียเทียบเท่า McFarland standards 0.5 ทำการกระจายเชื้อแบคทีเรียบนผิวหน้าอาหาร Muller Hinton agar เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เติมสารสกัด

ส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำที่ความเข้มข้น 500 250 และ 125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หลุมละ 30 ไมโครลิตร นำไปเลี้ยงเชื้อบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง และทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใส (zone of inhibition) ในหน่วยมิลลิเมตร เปรียบเทียบกับ DMSO เป็นตัวควบคุมเชิงลบที่ไม่แสดงฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย และยาปฏิชีวนะมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ คือ Ceftriazone (ความเข้มข้นที่ความเข้มข้น 12.5 25 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เป็นกลุ่มยาปฏิชีวนะที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้หลายชนิดและเป็นที่นิยมใช้นำมาเป็นตัวควบคุมเชิงบวก (Eiamthaworn et al, 2022; Balouiri et al., 2016; Bagul & Sivakumar, 2016, Chuahet al., 2014)

8. การพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

เตรียมตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ดังตาราง 1 โดยแบ่งส่วนผสมเป็นวัฏภาคน้ำ (water phase) ได้แก่ Tween 80 5 มิลลิลิตร และ DI water 56.5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และวัฏภาคน้ำมัน (oil phase) White Bee Wax 3.3 กรัม Stearic Acid 16.7 กรัม Glyceryl Monostearate 5 กรัม Span 80 5 มิลลิลิตร Germaben II 3.5 มิลลิลิตร Isoproply Myristate 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ รวมกันลงในบีกเกอร์ นำแต่ละวัฏภาคมาให้ความร้อนบน Water bath แล้วทำการวัดอุณหภูมิของสารละลายโดยให้อุณหภูมิของสารละลายวัฏภาคน้ำมีอุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของสารละลายวัฏภาคน้ำมันมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เทสารวัฏภาคน้ำลงในวัฏภาคน้ำมัน พร้อมคนผสมให้เข้ากันอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอุณหภูมิของสารที่ผสมลดลงมาเหลือประมาณ 40 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้องจะได้เป็นตำรับผลิตภัณฑ์โลชัน และทำการเติมสารสกัดสารภีน้ำร้อยละ 10 โดยเลือกสารสกัดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่ดีที่สุด ดำเนินการทดสอบ 3 ซ้ำ

9. การศึกษาคุณสมบัติของตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

9.1 การประเมินคุณสมบัติทางเคมี

โดยทดสอบความเป็นกรด–ด่าง โดยใช้ pH meter แล้วบันทึกผล

9.2 การประเมินความคงตัวของตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางด้วยวิธี heating-cooling cycle

โดยนำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้มาใส่ตู้เย็นที่ประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ตู้อบ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำอย่างนี้ไปอีก 6 cycle บันทึกผล (Leelapornpisit, 2008)

9.3 ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ

โดยดูจากลักษณะภายนอกของตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเมื่อเตรียมเสร็จใหม่ ๆ แล้วเปรียบเทียบกับที่ทดสอบความคงตัวไว้ 6 cycle โดยพิจารณาลักษณะ ดังนี้

เนื้อผลิตภัณฑ์	สังเกตลักษณะเนื้อโลชันที่มองเห็น
สี	สังเกตสีของโลชันที่มองเห็น
กลิ่น	ให้ดมกลิ่นของโลชัน

การไหลของผลิตภัณฑ์ นำขวดของโลชันมาเอียงทำมุม 45 องศากับแนวระดับ จับเวลาตั้งแต่เริ่มเอียงจนโลชันไหลมาถึงปากภาชนะ (Krasantisuk & Runnarong, 2006) โดยแบ่งเป็นระดับ ดังนี้

≤ 3 วินาที	ไหลได้ดีมาก
4-10 วินาที	ไหลได้ดี
≥ 10 วินาที	ไหลได้ช้า
	ไม่ไหลเลย

การเกิด Creaming สังเกตการแยกเป็นชั้นของครีมและชั้นอิมัลชัน เมื่อเขย่าจะผสมกันดังเดิม

การเกิด Cracking สังเกตการแยกเป็นชั้นน้ำและน้ำมัน เมื่อเขย่าจะไม่ผสมกันดังเดิม

ตาราง 1

ส่วนผสมในการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

สาร	สูตรตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ผสมสารสกัด
water phase	
Tween 80	ร้อยละ 5
DI water	ร้อยละ 56.5
oil phase	
White Bee Wax	ร้อยละ 3.3
Stearic Acid	ร้อยละ 16.7
Glyceryl Monostearate	ร้อยละ 5
Span 80	ร้อยละ 5
Germaben II	ร้อยละ 3.5
Isopropyl Myristate	ร้อยละ 5
สารสกัดสารภีน้ำ	ร้อยละ 10

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test--DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กับฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำโดยใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient)

ผลการวิจัย

จากการนำส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ ได้แก่ ดอกตูม ใบแก่ ผลดิบ และเปลือกต้น มาสกัดด้วย ตัวทำละลายเอทานอล 95% นำไปประเหยตัวทำละลายจะได้สารสกัดหยาบ พบว่า สารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวข้นหนืดสีเหลืองอ่อน (ดอกตูม) สีเขียวเข้ม (ใบแก่ ผลดิบ) และสีดำ (เปลือกต้น) จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้ คำนวณหาร้อยละของส่วนสารสกัดหยาบเทียบกับน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (250 กรัม) พบว่า ร้อยละของส่วนต่าง ๆ ของสารสกัดหยาบสารภีน้ำมีค่าระหว่าง 6.03%-12.71% ดังแสดงข้อมูลในตาราง 2

1. ผลการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการนำสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ ได้แก่ ดอกตูม ใบแก่ ผลดิบ และเปลือก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-ciocalteu และนำมาคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด (mg GAE/g extract) พบว่า สารสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในช่วง 156.88-261.17 มิลลิกรัม สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด โดยสารสกัดหยาบจากผลดิบมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 261.17±0.84 มิลลิกรัม สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด รองลงมา คือ ดอกตูม ใบแก่ และเปลือกต้น มีค่าเท่ากับ 246.07±0.64 195.91±0.83 และ 156.88±2.28 มิลลิกรัม สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตาราง 2

2. ผลการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

เมื่อนำสารสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ มาศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า สารสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในช่วง 45.37±89.19 มิลลิกรัม สมมูลของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด (mg QE/g extract) โดยสารสกัดหยาบจากผลดิบมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 89.19±1.45 มิลลิกรัม สมมูลของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดรองลงมา คือ ดอกตูม ใบแก่ และเปลือกต้น มีค่าเท่ากับ 77.59±0.45 63.80±0.75 และ 45.37±1.00 มิลลิกรัม สมมูลของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด ตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลในตาราง 2

3. ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH Radical scavenging activity

เมื่อนำสารสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำที่มีความเข้มข้น 25 50 250 500 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการดักจับอนุมูลอิสระ DPPH โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 นาโนเมตร และนำมาคำนวณค่า IC_{50} พบว่า สารสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของ

สารภีน้ำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยผลดิบมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดโดยมีค่า IC_{50} อยู่ที่ 11.29±0.55 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ ดอกตูม ใบแก่ และเปลือกต้น มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่า IC_{50} อยู่ที่ 13.00±0.62 14.89±0.16 และ 16.37±0.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 14.96±0.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงข้อมูลในตาราง 2

4. ผลการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสโดยวิธี Dopachrome

เมื่อนำสารสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมาทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธี Dopachrome method และเทียบกับสารมาตรฐาน Kojic acid พบว่า สารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ไม่แตกต่างกัน และพบว่า สารสกัดจากผลดิบสารภีน้ำสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้สูงโดยมีค่า IC_{50} อยู่ที่ 16.10±0.77 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ ดอกตูม ใบแก่ และเปลือกต้น มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสมีค่า IC_{50} อยู่ที่ 17.60±0.48 18.44±0.29 และ 20.59±0.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Kojic acid ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 20.58±0.34 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงข้อมูลในตาราง 2

จากตาราง 2 พบว่า สารสกัดจากดอกตูม ใบแก่ ผลดิบ และเปลือกต้น มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 156.88–246.07 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 45.37–89.19 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด พบว่า สารสกัดที่แตกต่างกันมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) สารสกัดใบแก่และ Trolox มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$) แต่พบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) แตกต่างกับสารสกัดดอกตูม ผลดิบ และเปลือกต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$) ในส่วนของสารสกัดที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (IC_{50}) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$) ได้แก่ สารสกัดดอกตูมกับสารสกัด ใบแก่ และสารสกัดเปลือกกับ Kojic acid และพบว่า สารสกัดดอกตูมและสารสกัดใบแก่ มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (IC_{50}) แตกต่างจากสารกัดผลดิบ และสารสกัดเปลือกกับ Kojic acid อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

5. ผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยวิธี Agar well diffusion

จากการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ *S.aureus E.coli P.aeruginosa* และ *B.cereus* ทำการเพาะแบคทีเรียโดยเลี้ยงลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Muller Hinton broth และใช้ยาปฏิชีวนะ Ceftriazone เป็นสารมาตรฐาน เติมสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำที่ความเข้มข้น 500 250 และ 125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า สารสกัดผลดิบของสารภีน้ำที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *S.aureus* ได้ดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < .05$) โดยมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสการยับยั้งเท่ากับ 18.29±0.05 มิลลิเมตร และสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้รองลงมาโดยมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสการยับยั้งเท่ากับ 10.31±0.02 มิลลิเมตร ซึ่งในแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดที่ส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำที่ความเข้มข้น 500 250 และ 125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

จากตาราง 3 เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ของสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ พบว่า ผลดิบมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสัมพันธ์กับปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด มีค่า r เท่ากับ 0.996 และพบว่า ผลดิบยังมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ค่า r เท่ากับ 0.868 ในขณะที่ดอกตูมมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) สูงที่สุด ค่า r เท่ากับ 0.928

จากตาราง 4 พบว่า สารสกัดจากดอกตูม ใบแก่ ผลดิบ เปลือกต้น และ Ceftriazone ที่ระดับความเข้มข้น 500 250 และ 125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสเชื้อแบคทีเรียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

ตาราง 2

ร้อยละสารสกัดหยาบ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ของสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ

	% Yield Crude Extract	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract)	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g extract)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) (µg/ml)	ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (IC_{50}) (µg/ml)
ดอกตูม	7.65	246.07±0.64^{A}	77.59±0.45^{A}	13.00±0.62^{A}	17.60±0.48^{A}
ใบแก่	6.03	195.91±0.83^{B}	63.80±0.75^{B}	14.89±0.16^{B}	18.44±0.29^{A}
ผลดิบ	10.45	261.17±0.84^{C}	89.19±1.45^{C}	11.29±0.55^{C}	16.10±0.77^{B}
เปลือกต้น	12.71	156.88±2.28^{D}	45.37±1.00^{D}	16.37±0.50^{D}	20.59±0.24^{C}
Trolox	-	-	-	14.96±0.65^{B}	-
Kojic acid	-	-	-	-	20.58±0.34^{C}

* $^{A, B, C, D}$ ตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

ตาราง 3

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ของสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ

สารสกัด	สารสำคัญ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)		
		ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})
ดอกตูม	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	1		
	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	0.461	1	
	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})	0.759	0.928	1
ใบแก่	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	1		
	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	-0.302	1	
	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})	0.232	0.857	1
ผลดิบ	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	1		
	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	0.996	1	
	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})	0.868	0.909	1
เปลือกต้น	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	1		
	ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด	-0.118	1	
	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50})	0.442	0.839	1

ตาราง 4

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรคของสารสกัดด้วยวิธี Agar well diffusion

สารสกัด	เชื้อแบคทีเรีย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส±SD (มิลลิเมตร) ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)		
		125	250	500
ดอกตูม	*S.aureus*	12.29±0.07[a]	13.41±0.15[b]	15.75±0.07[c]
	E.coli	6.35±0.01[a]	7.66±0.01[b]	9.32±0.04[c]
	P.aeruginosa	2.11±0.02[a]	4.78±0.10[b]	6.82±0.01[c]
	B.cereus	1.56±0.01[a]	2.35±0.50[b]	3.27±0.04[c]
ใบแก่	*S.aureus*	10.91±0.03[a]	12.07±0.05[b]	13.59±0.04[c]
	E.coli	5.32±0.05[a]	5.74±0.05[b]	9.11±0.01[c]
	P.aeruginosa	1.91±0.06[a]	3.22±0.02[b]	5.68±0.04[c]
	B.cereus	1.20±0.02[a]	1.68±0.01[b]	2.44±0.03[c]
ผลดิบ	*S.aureus*	13.25±0.04[a]	15.22±0.02[b]	18.29±0.05[c]
	E.coli	7.14±0.011[a]	8.46±0.01[b]	10.31±0.02[c]
	P.aeruginosa	3.23±0.04[a]	5.34±0.02[b]	8.55±0.01[c]
	B.cereus	1.85±0.05[a]	2.11±0.01[b]	4.21±0.02[c]
เปลือกต้น	*S.aureus*	7.25±0.06[a]	8.32±0.02[b]	9.66±0.02[c]
	E.coli	4.88±0.10[a]	6.52±0.01[b]	7.84±0.04[c]
	P.aeruginosa	1.49±0.13[a]	2.13±0.03[b]	3.13±0.02[c]
	B.cereus	0.82±0.05[a]	1.58±0.03[b]	1.85±0.02[c]
Ceftriazone	*S.aureus*	16.29±0.06[a]	20.19±0.05[b]	22.72±0.04[c]
	E.coli	9.18±0.03[a]	13.78±0.10[b]	17.30±0.02[c]
	P.aeruginosa	7.67±0.02[a]	10.24±0.04[b]	12.48±0.03[c]
	B.cereus	3.39±0.16[a]	6.23±0.02[b]	8.34±0.02[c]

* [a, b, c] ตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวนอนแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq .05$)

6. ผลการศึกษาการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

จากการศึกษาเพื่อให้ได้ตำรับของโลชันที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานทั้งนี้ได้อ้างอิงจากมาตรฐานอุตสาหกรรม เอส (มอก. เอส 15-2562) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2019) โดยทำการตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชันที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผลดิบของสารภีน้ำ ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสที่สูง รวมทั้งยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิดได้แก่ *S.aureus E.coli P.aeruginosa* และ *B.cereus* ได้ด้วย และเมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติของเครื่องสำอางโลชัน พบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชันที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผลดิบของสารภีน้ำมีลักษณะเนื้อโลชันเนียนละเอียด สีเหลืองอ่อนขุ่นทึบแสง ไม่มีกลิ่น ไม่มีอัตราการไหล เมื่อนำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของโลชันเท่ากับ 6.15±0.34 ไม่เกิด Creaming และ Cracking จากนั้นทดสอบความคงสภาพของโลชัน โดยการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 45±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำเช่นนี้จนครบ 6 ครั้ง นำมาวางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชันที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผลดิบของสารภีน้ำที่ได้ยังคงมีสภาพไม่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมของผลิตภัณฑ์ ดังตาราง 5

ตาราง 5

ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และความคงตัวของโลชัน ของตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและตำรับพื้น ที่สังเกตเห็นหลังเตรียมเสร็จที่อุณหภูมิห้อง และทดสอบความคงตัวเป็นเวลา 6 cycle

เวลาที่ประเมิน	**ตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ผสมสารสกัด**	
	t=0	t=6 cycle
ลักษณะเนื้อโลชัน	เนียนละเอียด	เนียนละเอียด ค่อนข้างหนืด
การไหลของผลิตภัณฑ์	ไม่ไหลเลย	ไม่ไหลเลย
สี	เหลืองอ่อน	เหลืองอ่อน
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
pH	6.15±0.34	6.16±1.28
Creaming	ไม่เกิด	ไม่เกิด
Cracking	ไม่เกิด	ไม่เกิด

การอภิปรายผล

จากการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคของสารสกัดสารภีน้ำ เพื่อตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสารสกัดสารภีน้ำสำหรับต่อยอดในเชิงพาณิชย์ โดยนำส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ ได้แก่ ดอกตูม ใบแก่ ผลดิบ และเปลือกต้น มาทำการอบและสกัดโดยวิธีการแช่ด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95% พบว่า สารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวข้นหนืดสีเหลืองอ่อน (ดอกตูม) สีเขียวเข้ม (ใบแก่ ผลดิบ) และสีดำ (เปลือกต้น) สารสกัดหยาบจากเปลือกมีร้อยละสารสกัดหยาบมากที่สุดเท่ากับ 12.71% รองลงมาคือ ผลดิบเท่ากับ 10.45% เมื่อนำมาศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า ผลดิบและดอกตูม มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (261.17±0.84 และ 246.07±0.64 มิลลิกรัม สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดตามลำดับ) ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง (89.19±1.45 และ 77.59±0.45 มิลลิกรัม สมมูลของเคอร์ซิตินต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด ตามลำดับ) Ruangchakpet and Sajjaanantakul (2007) ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันของสารภีน้ำ ได้แก่ อายุ 5 6 7 และ 8 เดือน หลังติดดอก พบว่า สารสกัดสารภีน้ำอายุ 6 เดือน หลังติดดอก มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (345.8 มิลลิกรัม กรดแกลลิกต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) และมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (49.0 มิลลิกรัม เคทเทคินต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับอายุ 5 7 และ 8 เดือน และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ พบว่า สารสกัดหยาบสารภีน้ำมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่า แต่ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่า และผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Wetwitayaklung et al. (2009) ที่ทำการหาปริมาณฟีนอลิกในผลสารภีน้ำสดที่มีอายุ 1 2.5 3 และ 4 เดือน ที่พบว่า ผลดิบอายุ 1 เดือน ปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด (2.4286 มิลลิกรัม กรดแกลลิกต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) ในขณะที่ผลสารภีน้ำที่มีอายุเพิ่มขึ้นปริมาณฟีนอลิกจะลดลง เมื่อนำผลของสารภีอายุ 2.5 เดือน ที่แช่ใน 15% w/w NaCl นาน 3 วัน จะมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุด (2.4286 มิลลิกรัม กรดแกลลิกต่อน้ำหนักสด 100 กรัม) และเมื่อแช่ใน 15% w/w NaCl นานยิ่งขึ้น มีผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกลดลง จากผลการทดลองที่ได้ในครั้งนี้ที่มีผลการทดลองที่แตกต่างกันอาจจะเนื่องจากผลดิบสารภีน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นผลที่ออกหลังจากติดดอกแล้วประมาณ 5 ถึง 6 เดือน และอาจเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศของต้นสารภีน้ำที่นำมาใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสกัดสารสำคัญอีกด้วย (Homklob et al., 2011) และนอกจากนี้อาจเนื่องมาจากบทบาทหน้าที่ในพืช ดอก ที่จะเป็นจะต้องมีการสะสมสารประกอบโพลิฟีนอล (Polyphenol) เพื่อที่จะใช้ในการป้องกันและกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมาจากความเข้มของแสงที่พืชได้รับ Chua (2016) และ Machiek et al. (1990) กล่าวว่า ธรรมชาติของผลไม้ส่วนใหญ่จะมีปริมาณฟีนอลิก และพบมากช่วงผลดิบ และอาจจะพบกรดแกลลิกได้ตั้งแต่ผลอ่อน และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยให้ผลแก่มากขึ้น เนื่องจากกรดแกลลิกสามารถเปลี่ยนเป็นสารอื่น ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH Radical scavenging activity จะพบว่า สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ แสดงในรูปฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และค่า IC_{50} ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระของส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำทั้ง 4 ส่วน แปรผันตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โดยผลดิบและดอกตูมมีความสามารถในกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่าใบ และเปลือกต้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะแสดงด้วยค่า IC_{50} คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างพืชที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ (DPPH) ลดลงครึ่งหนึ่ง ค่า IC_{50} ที่ต่ำจึงแสดงถึงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูง และจากผลการศึกษาจะพบว่า ผลดิบ มีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด คือ 11.29±0.55 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับดอกตูมที่มีค่า IC_{50} อยู่ที่ 13.00±0.62 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox ที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 14.96±0.65 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร การทดลองพบว่า มีค่า IC_{50} ของสารมาตรฐาน Trolox มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Koodkaew and Sukonkhajorn (2018) โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 13 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยสารประกอบ

ฟีนอลิกมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยหมู่ฟีนอลสามารถรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระและกลายเป็นอนุมูลของสารประกอบฟีนอลที่เสถียร เช่น สาร Lansic acid Kokosanolide Dukunolide D E และ F และ 3-oxo-24-cycloarten-21-oic acid เป็นต้น ที่ทำลายวงจรของความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระในเซลล์ได้ (Saenprakob, 2018; Kiang et al., 1967; Mayanti et al., 2009; Kulkarni & Aradhya, 2005) จากศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำ โดยทดสอบฤทธิ์ยับยั้ง เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Kojic acid พบว่าสารสกัดผลดิบสารภีน้ำมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 16.10±0.77 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน Kojic acid มีค่า IC_{50} เท่ากับ 20.58±0.34 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า มีค่า IC_{50} ที่แตกต่างกับงานวิจัยของ Piao et al. (2002) ที่สารละลายมาตรฐาน Kojic acid มีค่า IC_{50} เท่ากับ 12.78 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และของ Masuda et al. (2005) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.36 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากผลดิบและส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่าสารละลายมาตรฐาน Kojic acid ทั้งนี้ความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสอาจเนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลที่พบในสารภีน้ำมีสารประกอบฟีนอลหลายชนิด เช่น kojic acid kaempferol และ quercetin ที่เป็นสารยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสที่สำคัญ (Kim & Uyama, 2005; Solano et al., 2006) นอกจากนี้ฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำอาจจะมาจากผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้เช่นกัน (Alam et al., 2011)

จากการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบเคทีเรียก่อโรคทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ *S.aureus E.coli P.aeruginosa* และ *B.cereus* ของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำพบว่าสารสกัดผลดิบของสารภีน้ำที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *S.aureus* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<.05$) โดยมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสการยับยั้งเท่ากับ 18.29±0.05 มิลลิเมตร และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อทั้ง 4 ชนิดพบว่า สารสกัดส่วนต่าง ๆ สารภีน้ำสามารถยับยั้งเชื้อ *S.aureus* ได้ สำหรับเชื้อ *S.aureus* เป็นเชื้อแบคทีเรียก่อโรคติดเชื้อที่ผิวหนังและเยื่อบุผิวในคนและสัตว์บางชนิด เป็นสาเหตุการเกิดโรคติดเชื้อที่ผิวหนัง ปอด ตุ่มพุพอง โรคริตเตอร์ ผิวหนังหลุดลอก ฝี เป็นต้น (Mishra et al., 2016; Yucharoen et al., 2023) จากการศึกษาสาระสำคัญในส่วนต่าง ๆ ของสารภีน้ำพบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสูงกว่าสารสกัดดอกตูม ใบแก่และเปลือกต้น จึงนำสารสกัดผลดิบสารภีมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางบำรุงผิว ที่ช่วยดูแลผิวพรรณแล้วยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S.aureus* สาเหตุการเกิดโรคติดเชื้อทางผิวหนังได้อีกด้วย

การตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางของโลชันที่มีส่วนผสมสารสกัดจากผลดิบสารภีน้ำจะทำการอ้างอิงจากมาตรฐานอุตสาหกรรมเอส (มอก. เอส 15-2562) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2019) พบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชันที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากผลดิบของสารภีน้ำที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีลักษณะเนื้อโลชันเนียนละเอียด มีสีเหลืองอ่อนขุ่นทึบแสง ไม่มีกลิ่น ไม่มีอัตราการไหลค่าความเป็นกรด-ด่างของโลชันอยู่ที่ 6.15±0.34 ไม่เกิด Creaming และ Cracking และเมื่อทำการประเมินความคงตัวของตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางด้วยวิธี heating-cooling cycle ผลิตภัณฑ์โลชันที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีความคงสภาพของโลชัน ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิม ซึ่งผลจากการศึกษาเป็นการนำเอาพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่มีอยู่มาหาสารสำคัญและพัฒนาเป็นตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชัน ที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับพืชสมุนไพรได้เพิ่มมากขึ้น โดยมีข้อมูลสนับสนุนทางวิทยาศาสตร์ต่อสรรพคุณจนสามารถที่จะต่อยอดในเชิงพาณิชย์และยังเป็นเป็นการเพิ่มมูลค่าสารภีน้ำ

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษา

โครงสร้างของสารออกฤทธิ์และคุณสมบัติด้านอื่นเพิ่มเติม รวมทั้งนำตำรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโลชันที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบหาปริมาณสารปนเปื้อนต่าง ๆ และเข้าสู่กระบวนการทดสอบอาการแพ้ เพื่อพัฒนาต่อยอดออกสู่ท้องตลาดในเชิงพาณิชย์ในอนาคตต่อไป

References

Alam, N., Yoon, K. N., Cha, Y. J., Kim, J. H., Lee, K. R., & Lee, T. S. (2011). Appraisal of the antioxidant, phenolic compounds concentration, xanthine oxidase and tyrosinase inhibitory activities of Pleurotus salmoneostramineus. *African Journal of Agricultural Research, 6*(6), 1555-1563. doi: 10.5897/AJAR10.1145

Bagul, U. S., & Sivakumar, S. M. (2016). Antibiotic susceptibility testing: A review on current practices. *International Journal of Pharmaceutics, 6*(3), 11-17. https://bit.ly/3ZXOydO

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, K. S. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis, 2,* 71-79. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005

Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *International Journal of Food Microbiology, 94*, 223-253. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

Chang, T. S. (2009). An updated review of tyrosinase inhibitors. *International Journal of Molecular Sciences, 10*(6), 2440–2475. https://doi.org/10.3390/ijms10062440

Chua, L. S. (2016). Untargeted MS-based small metabolite identification from the plant leaves and stems of *Impatiens balsamina*. *Plant Physiology and Biochemistry: PPB, 106*, 16–22. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.040

Chuah, E. L., Zakaria, Z. A., Suhaili, Z., Bakar, S. A., & Desa, M. N. M. (2014). Antimicrobial activities of plant extracts against methicillin-susceptible and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of Microbiology Research, 4*(1), 6-13. doi:10.5923/j.microbiology.20140401.02

Eiamthaworn, K., Kaewkod, T., Bovonsombut, S., & Tragoolpua, Y. (2022). Efficacy of *Cordyceps militaris* extracts against some skin pathogenic bacteria and antioxidant activity. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland), 8*(4), 327. https://doi.org/10.3390/jof8040327

Gracelin, D. H. S, Britto, A. J. D., & Kumar, B. J. R. (2013). Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals in five Pteris Species. *International Journal of Pharmaceutical Sciences, 5*(1), 105-107. https://www.innovareacademics.in/journal/ijpps/Vol5Suppl1/6258.pdf

Halaban, R., Patton, R. S., Cheng, E., Svedine, S., Trombetta, E. S., Wahl, M. L., Ariyan, S., & Hebert, D. N. (2002). Abnormal acidification of melanoma cells induces tyrosinase retention in the early secretory pathway. *The Journal of Biological Chemistry, 277*(17), 14821–14828. https://doi.org/10.1074/jbc.M111497200

Homklob, J., Winitchai, S., Rimkeeree, H., Luangprasert, N., & Haruthaithanasunti, V. (2011) Development of rice bran wax lip gloss containing liposome of indian gooseberry (*Phyllanthus emblica* L.) extracts. *Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry* (pp. 630-640). Bangkok: Kasetsart University (in Thai)

Jez, J. M., Bowman, M. E., Dixon, R. A., & Noel, J. P. (2000). Structure and mechanism of the evolutionarily unique plant enzyme chalcone isomerase. *Nature Structural Biology, 7*(9), 786–791. https://doi.org/10.1038/79025

Joomwdong, A., Neungsean, P., & Boonmee, N. (2018). The study on physical and chemical quality of Ma KoK Nam (*Elaeocarpus hygrophilus* Kurz.) fruit. *Agricultural Science Journal, 49*(1), 479-482. (in Thai)

Khan, M. T. H. (2007). Molecular design of tyrosinase inhibitors: A critical review of promising novel inhibitors from synthetic origins. *Pure and Applied Chemistry, 79*, 2277–2295. https://doi.org/10.1351/pac200779122277

Kiang, A. K., Tan, E. L., Lim, Habaguchi, F. Y., Nakanishi, K. K., Fachan, L., & Ourisson, G. (1967). Lansic acid, a bicyclic triterpene. *Tetrahedron Lett, 37*, 3571-3574. doi:10.1016/S0040-4039(01)89797-5

Kim, Y. J., & Uyama, H. (2005). Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future. *Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS, 62*(15), 1707–1723. https://doi.org/10.1007/s00018-005-5054-y

Klinsoonthorn, N., Nutsatapana, C., & Mapradit, P. (2013). Prohibited substances in acne melasma whitening cosmetic products in lower central provinces during 2010-2013. *Thai Food and Drug Journal, 20*(3), 28-36. (in Thai)

Kongwong, R., & Wattananamkul, V. (2011). A study of Harmful cosmetics usage behavior among female teenagers in Ubon Ratchathani Province. *Isan Journal of Pharmaceutical Sciences, 7*(1), 76-87. (in Thai)

Koodkaew, I., & Sukonkhajorn, P. (2018). Antioxidant and anti-tyrosinase properties of stem, leaf, flower and seed from garden balsam. *Khon Kaen Agriculture Journal, 46*(1), 1242-1247. (in Thai)

Konning, G. H., Agyare, C., & Ennison, B. (2004). Antimicrobial activity of some medicinal plants from Ghana. *Fitoterapia, 75*(1), 65–67. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2003.07.001

Krasantisuk, S., & Runnarong, H. (2006). *The development of skin care ceresin lotion* (Unpublished Independent study). Mahidol University. Nakhon Pathom. (in Thai)

Kulkarni, A. P., & Aradhya, S. M. (2005). Chemical changes and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. *Food Chemistry, 93*(2), 319-324. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.029

Leelapornpisit, P. (2008). *Cosmetics for skin* (2nd ed.). Bangkok: Odeonstore Company Limited. (in Thai)

Leelapornpisit, P. (1991). *Cosmetic emulsions* (2nd ed.). Chiang Mai: Faculty of Pharmacy, Chiang Mai University. (in Thai)

Lin, J. W., Chiang, H-M., Lin, Y-C., & Wen, K-C. (2008). Natural products with skin-whitening effects. *Journal of. Food and Drug Analysis, 16*(2), 1-10. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2366

Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Billot, J. (1990). *Fruit phenolics*. Florida: CRC Press.

Mason, H. S. (1948). The chemistry of melanin. III. Mechanism of the oxidation of trihydroxyphenylalanine by tyrosinase. *Journal of Biological Chemistry, 172*, 83–99. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)35614-X

Masuda, T., Yamashita, D., Takeda, Y., & Yonemori, S. (2005). Screening for tyrosinase inhibitors among extracts of seashore plants and identification of potent inhibitors from *Garcinia subelliptica*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 69*(1), 197–201. https://doi.org/10.1271/bbb.69.197

Merola, J. M., Shane, M., Ruth, F. W., & Lance, B. (2008). Exogenous Ochronosis. *Dermatology Online Journal, 14*(10), 6. https://escholarship.org/uc/item/3b67z1vb

Mishra, A. K., Yadav, P., & Mishra, A. (2016). A systemic review on Staphylococcal Scalded Skin Syndrome (SSSS): A rare and critical disease of neonates. *The open microbiology journal, 10*, 150–159. https://doi.org/10.2174/1874285801610010150

Niyomdecha, M., & Lohawittayanan, D. (2016). Synthesis of Oseltamivir derivatives with anti-tyrosinase for making whitening skin. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University, 3*(4), 66-81. (in Thai)

Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of natural products, 63*(7), 1035–1042. https://doi.org/10.1021/np9904509

Piao, L. Z., Park, H. R., Park, Y. K., Lee, S. K., Park, J. H., & Park, M. K. (2002). Mushroom tyrosinase inhibition activity of some chromones. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 50*(3), 309–311. https://doi.org/10.1248/cpb.50.309

Pop, C., Vlase, L., & Tamas, M. (2009). Natural resources containing arbutin: Determination of arbutin in the leaves of *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch. acclimated in Romania. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37*(1), 129–132. doi:10.15835/nbha3713108

Prommuak, C., D-Eknamkul, W., & Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extract. *Separation and Purification Technology, 62*, 444-448. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.02.020

Ruangchakpet, A., & Sajjaanantakul, T. (2007). Effect of Spanish Plum (*Elaeocarpus hygrophilus* Kurz.) Maturity on total phenolics, flavonoids and antioxidant activity. *Agricultural Science Journal, 38*(5),127-130. (in Thai)

Saeed, N., Khan, M. R., & Shabbir, M. (2012). Antioxidant activity total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. *BMC Complementary and Alternative Medicine, 12*, 221-223.

Saenprakob, P. (2018). Phenolic contents and Antioxidant Activities of Local Edible Plantsin Roi Et province. *Thai Agricultural Research Journal, 36*(3), 293-301. (in Thai)

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology, 299*, 152-178. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Solano, F., Briganti, S., Picardo, M., & Ghanem, G. (2006). Hypopigmenting agents: An updated review on biological, chemical and clinical aspects. *Pigment Cell Research, 19*(6), 550–571. https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.2006.00334.x

Song, K. K., Huang, H., Han, P., Zhang, C. L., Shi, Y., & Chen, Q. X. (2006). Inhibitory effects of cis- and trans-isomers of 3,5-dihydroxystilbene on the activity of mushroom tyrosinase. *Biochemical and Biophysical Research Communications, 342*(4), 1147–1151. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.12.229

Vajragupta, O. (2007). *Antioxidant* (2nd ed.). Bangkok: New Thammada Press (Thailand) Co., Ltd. (in Thai)

Wetwitayaklung, P., Sarunyakasitharin, K., & Phaechamud, T. (2009). Total phenolic content and antioxidant activity of fresh and preserved fruits of *Ellaeocarpus hygrophilus* Kurz. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal, 4*(1), 21-28. (in Thai)

Widerström, M., Wiström, J., Sjöstedt, A., & Monsen, T. (2012). Coagulase-negative staphylococci: Update on the molecular epidemiology and clinical presentation, with a focus on *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus saprophyticus*. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: Official Publication of the European Society of Clinical Microbiology, 31*(1), 7–20. https://doi.org/10.1007/s10096-011-1270-6

Yabuta, T. (1924). The constitution of kojic acid, a gamma-pyrone derivative formed by *Aspergillus oryzae* from carbohydrates. *Journal of the Chemical Society Perkin 1, 125*, 575–587. https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1924/ct/ct9242500575

Yamada, R., Yoshie, T., Wakai, S., Asai-Nakashima, N., Okazaki, F., Ogino, C., Hisada, H., Tsutsumi, H., Hata, Y., & Kondo, A. (2014). Aspergillus oryzae-based cell factory for direct kojic acid production from cellulose. *Microbial Cell Factories, 13*, 71. https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-71

Yucharoen, R., Buncharoen, P., & Srisuksomwong, P. (2023). Development of nourishing skin cream containing Siw Gliang Rice Extract. *YRU Journal of Science and Technology, 8*(3), 40-48. (in Thai)

Zaidi, K. U., Ali, S. A., & Ali, A. S. (2016). Effect of purified mushroom tyrosinase on melanin content and melanogenic protein expression. *Biotechnology Research International, 2016*, 9706214. https://doi.org/10.1155/2016/9706214

เครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
Automatic Slide Staining Machine and Preliminary Tissue Analysis Using Image Analysis Technique

กีรดิษ สายพัทลุง[1]* สุขุมาล เหรียญทอง[1] รุจิราภา งามสระคู[1] อะเคื้อ กุลประสูติดิลก[2] และเพชร นันทิวิชิตชัย[3]
Keeradit Saipattalung[1]*, Sukhuman Rianthong[1], Rujirapha Ngamsakoo[1],
Akua Kulprasutidilok[2] and Petch Nantiwichitchai[3]
[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[1]Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[2]Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University
[3]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
[3]Faculty of Industrial Technology, Chitralada Technology Institute
*Corresponding author: keeradit@pnru.ac.th
Received: May 3, 2024
Revised: July 12, 2024
Accepted: July 18, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้นำเสนอเครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ เพื่อการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยระบบดังกล่าวมีการออกแบบกระบวนการย้อมสีชิ้นเนื้อด้วยวิธีลูทีนสแตนนิ่ง ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานทางพยาธิวิทยาคลินิกที่ใช้สารละลายเคมี 7 ชนิด การย้อมสีจะดำเนินการตามขั้นตอนมาตรฐานของห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช กรมแพทย์ทหารอากาศ ประเทศไทย ทั้งนี้การพัฒนาระบบอัตโนมัตินี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์ย้อมสีที่นำเอาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงกว่า 1 ล้านบาท โดยระบบที่พัฒนาขึ้นใช้อุปกรณ์และวัสดุภายในประเทศ จึงทำให้มีต้นทุนที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบย้อมสีอัตโนมัติดังกล่าว พบว่า หัวจับสไลด์มีความเร็วในการเคลื่อนที่แกน Y เฉลี่ย 1.95 ถึง 2.04 เซนติเมตรต่อวินาที และแกน X เฉลี่ย 4.51 ถึง 4.99 เซนติเมตรต่อวินาที โดยกระบวนการย้อมสีชิ้นเนื้อจะใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 ชั่วโมง 26 นาที หลังจากนั้นผู้ปฏิบัติงานจะนำชิ้นเนื้อที่ผ่านการย้อมสี ใส่เข้าไปภายในกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลเพื่อจัดทำภาพนิ่ง และนำภาพนิ่งไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคประมวลผลภาพที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Pycham เพื่อระบุตำแหน่งบริเวณที่ชิ้นเนื้ออาจเป็นมะเร็งหรือพยาธิสภาพผิดปกติโดยผลการวิเคราะห์เบื้องต้นตรวจพบตำแหน่งที่อาจเป็นเนื้อร้าย 0 ถึง 5 จุด ขึ้นอยู่กับชิ้นเนื้อแต่ละชิ้น เมื่อประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนในระบบย้อมสีอัตโนมัตินี้ คำนวณว่าจุดคุ้มทุนจะอยู่ที่จำนวนการทดสอบชิ้นเนื้อ 156.44 ครั้ง ซึ่งหมายความว่า หากมีการทดสอบชิ้นเนื้อตั้งแต่ 157 ครั้งขึ้นไป ระบบนี้จะสร้างผลกำไรที่เกินกว่าเงินลงทุน อนึ่งควรตระหนักว่าการวิเคราะห์ภาพที่กล่าวถึงนี้ เป็นเพียงขั้นตอนการประเมินเบื้องต้น โดยผลวินิจฉัยที่แท้จริงต้องอาศัยการตรวจพิสูจน์ทางห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านพยาธิวิทยาคลินิก

คำสำคัญ: ระบบสมองกลฝังตัว ย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อ วิเคราะห์ชิ้นเนื้อ เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

Abstract

This research presents an automatic slide staining machine and preliminary tissue analysis using image analysis techniques for systematic analysis. The system involves designing a staining process for tissue samples using the H&E (Hematoxylin and Eosin) staining method, a standard pathological technique that utilizes seven chemical solutions. The staining process follows the standard procedures of the Pathology Laboratory at Bhumibol Adulyadej Hospital, Royal Thai Air Force, Thailand. The primary objective of developing this automated system is to reduce the reliance on imported, expensive staining equipment by utilizing locally sourced materials and equipment, resulting in significantly lower costs. Results of testing the efficiency of the automated staining system revealed the following performance: The slide gripper had an average Y-axis movement speed of 1.95–2.04 cm/s and an average X-axis movement speed of 4.51–4.99 cm/s, and the tissue staining process takes an average of 1 hour and 26 minutes to complete. After staining, put the put the stained tissue into a digital microscope to create a still image and analyze the still image using an image processing technique developed with the Pycham program to identify areas where the tissue might be cancerous or have abnormal pathology. The initial analysis results detect 0 to 5 possible malignant areas, depending on each tissue piece. The cost-benefit analysis for investing in this automated staining system calculated the break-even point to be at 156.44 tissue sample tests. This means that if 157 or more tissue samples are tested, the system will generate profits exceeding the initial investment cost. It is important to note that the image analysis mentioned here is only a preliminary assessment step. The actual diagnosis must rely on further laboratory testing and evaluation by clinical pathology experts.

Keywords: embedded system, slide staining, analysis of biopsy, image processing

บทนำ

เทคโนโลยีส่วนใหญ่เกิดจากภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก คือ การนำเทคโนโลยีมาเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต ควบคุมคุณภาพ (Golnabi, 2007) ลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ซึ่งเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ และเทคโนโลยีต่าง ๆ ยังสามารถนำไปประยุกต์ได้ในหลากหลายวงการ เช่น การบริการและความปลอดภัย ปลอดภัย (Prasad, 2020; Duchon, 2017; Rehman, 2021) การแพทย์ การเกษตร (Phiphithirankarn, 2022; Madure, 2019; Muniraj, 2020) เป็นต้น ซึ่งหากกล่าวถึงการนำเทคโนโลยีไปใช้ เกิดประโยชน์ และมีผู้กระทบต่อการดำรงชีวิตมากที่สุดคือ การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ในด้านการแพทย์ ซึ่งเทคโนโลยีในการแพทย์มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากความต้องการในการรักษาโรคที่มีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว จึงมีการคิดค้นเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เข้ามาช่วยในการบริการทางการแพทย์ต่อมนุษย์ (Pierrot, 1999; Kulkarni, 2020), การวิเคราะห์โรคมะเร็งด้วยภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (Pacholczyk, 2012) ทั้งในด้านการตรวจ การรักษาพยาบาล การป้องกันโรค การกายภาพบำบัด และด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังสร้างความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องอีกด้วยสำหรับทางการแพทย์ โดยการนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยในการทำงานในแต่ละขั้นตอน ซึ่งสามารถทำให้การรักษาพยาบาลสามารถทำได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว

การนำเอาเทคโนโลยีที่มีทันสมัย เข้ามามีบทบาทอย่างต่อเนื่องในงานที่เกี่ยวกับการแพทย์ เพื่อความรวดเร็วในการรักษา การวิเคราะห์โรค หรือความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การใช้แขนกลเพื่อผสมสารเคมี การใช้ ซีเอ็นซี เพื่อดึงเอาซีรั่ม (Serum) ในเลือด การใช้แขนกลในงานด้านการผ่าตัด การใช้รังสีในการรักษา เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่ทันสมัยนั้นมีประโยชน์ แต่ในทางกลับกันเครื่องมือ หรืออุปกรณ์เหล่านี้จะมีราคาสูง ทำให้การเข้าถึงเครื่องมือที่จะใช้ในการรักษาเข้าถึงได้ยาก เช่น เครื่องย้อมชิ้นเนื้อ ซึ่งใช้สำหรับการวิเคราะห์โรค โดยเฉพาะโรคมะเร็ง ซึ่งเป็นโรคที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอันดับ 1 จากสถิติโดยสถาบันมะเร็งแห่งชาติในปี 2565 พบว่า ประเทศไทยจะมีผู้ป่วยโรคมะเร็งมากกว่า 1 แสนรายต่อปี (เฉลี่ย 400 คนต่อวัน) นอกจากนี้ข้อมูลสำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในปี 2564 ยังพบว่า โรคมะเร็ง และเนื้องอกต่าง ๆ เป็นกลุ่มโรคที่ทำให้คนไทยเสียชีวิตมากที่สุด (อัตรา 128 คนต่อประชากร 100,000 คน) (Chulalongkorn 9 Airport Hospital, 2024; Medical Digital Division, National Cancer Institute, 2022)

ทางผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาการทำงานของเครื่องย้อมชิ้นเนื้อ เพื่อลดความเสี่ยงให้กับมนุษย์ในการทำงานร่วมกันกับสารเคมี และวิเคราะห์ชิ้นเนื้อด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ (image processing) ซึ่งนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้กันอย่างกว้างขว้าง เช่น การคัดแยกสินค้า (Hamzah, 2022) การแยกแยะความสุกของผลไม้ (Phatchuay, 2022; Hira, 2022) การตรวจสอบจุดเสียหายบนผ้า (Nalawade, 2015; Rajan, 2018) การตรวจสอบและการยืนยันลายเซ็น (Akhila, 2021) หรือการตรวจสอบข้อบกพร่องของแผ่นวงจรพิมพ์ (Hinai, 2019) ซึ่งการประยุกต์ใช้งานในข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์แผ่นสไลด์ชิ้นเนื้อ เพื่อหาจุดที่ต้องสงสัยเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์โรค เพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อ โดยกำหนดคุณลักษณะของเครื่องที่ต้องการพัฒนา ให้สามารถย้อมแผ่นสไลด์ชิ้นเนื้อพร้อมกันได้ทีละ 10 แผ่น โดยเมื่อทำแผ่นใส่ในแร็กสำหรับการย้อมใส่ในโถแก้วตำแหน่งตำแหน่งเริ่มต้น กดเริ่มต้นการย้อมเครื่องจะทำการย้อมอัตโนมัติตามขั้นตอนที่วางไว้ เมื่อย้อมสีตามขั้นตอน เครื่องจะส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ปฏิบัติงานให้นำแผ่นสไลด์ชิ้นเนื้อไปใส่ในกล้องใส่เข้าไปภายในกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลเพื่อจัดทำภาพนิ่ง และนำภาพนิ่งไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคประมวลผลภาพ เพื่อระบุตำแหน่งบริเวณที่ชิ้นเนื้ออาจเป็นมะเร็งหรือพยาธิสภาพผิดปกติเบื้องต้น จากนั้นส่งภาพที่ได้ไปยังแพทย์พิจารณาอีกครั้ง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการย้อมสีสไลด์ และวิเคราะห์ชิ้นเนื้อ

2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ

3. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบวิเคราะห์ชิ้นเนื้อด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

4. เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตเครื่องย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อภายในประเทศเทียบกับการนำเข้า

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อ วิธีการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อสามารถทำได้หลายรูปแบบแล้วแต่ความต้องการของผู้เชี่ยวชาญ และลักษณะของเซลล์ชนิดนั้น ๆ โดยการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อบางครั้งอาจเกิดการติดสีมากหรือน้อยเกินไปแตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถจำแนกการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อ ออกมาเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ไวทอลสแตนนิง (Vital Staining) คือ การย้อมสีที่ใช้กับสิ่งมีชีวิตโดยการฉีดสีเข้าไปในร่างกายของสัตว์ทดลอง หรือผสมสีกับเซลล์ที่ยังมีชีวิตนิยมใช้ในการวิจัย (2) ลูทีนสแตนนิง (Routine Staining) คือ การย้อมสีที่ใช้กับการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการจุลพยาธิวิทยาเป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อ เพื่อเป็นการรักษาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงทางพยาธิภาพของเซลล์เนื้อเยื่อและอวัยวะ (3) สเปเชียลสแตนนิง (Special Staining) คือ วิธีการย้อมสีที่เลือกใช้สำหรับการศึกษาสาเหตุของพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นว่ามาจากสิ่งใดหรือสาเหตุใด เช่น การดูแบคทีเรีย เชื้อราหรือสิ่งที่เซลล์สร้างขึ้น โดยขั้นตอนในการย้อมสีชิ้นเนื้อแบบลูทีนสแตนซึ่งมีวิธีการย้อมอยู่ 6 ขั้นตอน (Suvarna, 2012) ดังนี้

1. ดีพาราฟินิเคชัน (Deparaffinization) ขั้นตอนสำหรับการละลายเทียน (waxmedium) ขั้นตอนการละลายเทียนให้หมดไปจากชิ้นเนื้อเยื่อบนสไลด์ ก่อนการย้อมสี เพราะเทียน จะทำหน้าที่เคลือบเซลล์และส่วนอื่น ๆ ของเนื้อเยื่อไม่ให้ติดสีที่ใช้ย้อม เป็นขั้นตอนแรกในการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อทีได้จากการทำพาราฟินเซสชัน (Paraffin Section) เวลาที่ใช้ในการย้อมต่อโถ 3 ถึง 5 นาที

2. ไฮเดรชัน (Hydration) ขั้นตอนการล้างน้ำยาไซลีน (Xylene) ขั้นตอนการล้างน้ำยา ไซลีนให้หมดไปจากชิ้นเนื้อเยื่อ และเตรียมนำสไลด์ชิ้นเนื้อเยื่อเข้าสู่น้ำยาย้อมสี น้ำยาที่ใช้ในการล้างน้ำยาไซลีน ใช้แอลกอฮอล์ต่างความเข้มข้น โดยเรียงลำดับจากความเข้มข้นสูงเพื่อดึงหรือล้างน้ำยาไซลีนออก โดยทั่วไปจะใช้แอททิวแอลกอฮอล์ (Ethyl Aclcohol) และแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ซึ่งเวลาที่ใช้ต่อโถ 1 ถึง 2 นาที รวม 4 ถึง 8 นาที

3. สแตนนิง (Staining) ขั้นตอนการย้อมสีเนื้อเยื่อบนสไลด์ขั้นตอนการย้อมสีเนื้อเยื่อบนสไลด์ มีวิธีการแตกต่างกันออกไปทั้งวิธีธรรมดา (routine stain) และวิธีการพิเศษ (special stain) และภายหลังการย้อมสีชื้อเนื้อเยื่อจะต้องติดสีย้อมเสมอ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการย้อม 2 ถึง 3 วินาที หรือ 24 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำยาที่ใช้ในการทดสอบ

4. ดีไฮเดรชัน (Dehydration) ในการย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อ หมายถึง กระบวนการกำจัดน้ำออกจากชิ้นเนื้อที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทางพยาธิวิทยา เพื่อให้สามารถตัดและย้อมสีเนื้อเยื่อ ซึ่งแช่ชิ้นเนื้อในแอลกอฮอล์ 70% จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นเป็น 80% 90% 95% และ 100% โดยเวลาในแต่ละขั้นตอนประมาณ 0.5 นาที ถึง 1 นาที

5. คลีนนิง (Cleaning) ขั้นตอนการทำให้สไลด์ไม่มีฟองอากาศ ทำให้ชิ้นเนื้อเยื่อบนสไลด์ปราศจากน้ำ และพร้อมกันนั้นจะเป็นสื่อกลางนำตัวละลายให้เข้ากันได้กับน้ำยาเคลือบใสในขั้นตอนการเมาส์ติ้ง ซึ่งเวลาที่ใช้ประมาณ 2 ถึง 3 นาที

6. เมาท์ติง (Mounting) ขั้นตอนในการทำให้กล้องสามารถมองได้ชัดขึ้นซึ่งทำให้เห็นภาพที่ชัดเจน ถูกต้องตามความจริง

ปฏิกิริยาในการติดสี ในงานการย้อมสีชิ้นเนื้อเยื่อ คือ สิ่งที่ควรเข้าใจเพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติงานย้อมสีได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพซึ่งที 5 ปฏิกิริยา คือ (1) ไดเร็คสแตน (Direct Staining) เป็นปฏิกิริยาในการติดสีโดยอาศัยคุณสมบัติของสีซึมแทรกเข้าไปในชิ้นเนื้อเยื่อขณะจุ่มชิ้นเนื้อลงในสีนั้น เมื่อชิ้นเนื้อติดสีแล้วจะไม่เปลี่ยนไปติดสีอื่นอีก (2) อินไดเร็คสแตน (Indirect Staining) เป็นปฏิกิริยาที่ต้องอาศัยตัวกลาง เรียกว่า มอเด้น (Mordants) ช่วยในการติดสีของเนื้อเยื่อซึ่งปกติเป็นสารพวกโลหะหนัก (3) ฟิสิคอลสแตน (Physical Staining) เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการละลายตัวของสีในส่วนประกอบของเซลล์ (4) เคมีคอลสแตนนิ่ง (Chemical Staining) เป็นปฏิกิริยา อ๊อกซิเดชัน (Oxidation) และรีดักชัน (Reduction) ที่ช่วยให้การติดสีเป็นไปอย่างถูกต้องครบถ้วน (5) แอพซอฟชันพาโนมิน่า (Absorption Phenomena) เป็นปฏิกิริยาการติดสีเฉพาะสารประกอบพื้นผิวภายนอกของเซลล์ในเนื้อเยื่อกับสีที่ใช้ย้อม

จุดคุ้มทุน (break-even point) เป็นจุดที่มีผลกำไรเป็นศูนย์ ซึ่งผลกำไร มาจากรายได้ลบค่าใช้จ่าย ดังนั้นจุดคุ้มทุนจึงหมายถึง จุดที่มีรายได้ เท่ากับค่าใช้จ่าย จุดคุ้มทุนทำให้ทราบถึงปริมาณการผลิตที่ทำให้ผลกำไรเป็นศูนย์ ซึ่งการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (break-even analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของต้นทุนรวม (cost) รายได้ (revenue) และผลกำไร (profit) ที่แปรผันไปตามปริมาณการผลิต (volume) บางครั้งเรียกว่า การวิเคราะห์ต้นทุน-ปริมาณการผลิต-ผลกำไร (cost-volume-profit analysis) ชนิดของต้นทุน ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน คือ ต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน และต้นทุนรวม ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุน เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิต และต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิต จึงจำเป็นต้องแยกชนิดของต้นทุนคงที่ (fixed cost) และต้นทุนแปรผัน (variable cost) ออกจากกันให้ชัดเจน (Blank, 2012; Sullivan, 2012; Singkarlsiri, 2003; Logisticafe, 2009; (Rijiravanich, 2007; Tongsukawong, 2023) โดยต้นทุนคงที่ หมายถึง ต้นทุนที่ไม่แปรผันตามปริมาณการผลิต เช่น ต้นทุนการสร้างอาคาร ค่าประกัน เนื่องจากเป็นต้นทุนที่ต้องลงทุนเพื่อดำเนินการในหลายส่วนที่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นต้องมี

ไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมีมาก มีน้อย หรือไม่มีก็ตาม ส่วนต้นทุนแปรผัน หมายถึง ต้นทุนที่แปรผันตามปริมาณการผลิต เช่น ต้นทุนแรงงานทางตรง ต้นทุนวัสดุ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต ต้นทุนรวม เป็นผลรวมของต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน ทั้งส่วนของการลงทุนที่เป็นปัจจัยพื้นฐานในการสนับสนุนการผลิต และการลงทุนด้านการผลิต ซึ่งการหาปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน ซึ่งเป็นจุดที่มีกำไรเป็นศูนย์ หรือเป็นจุดที่รายได้เท่ากับต้นทุน ดังภาพ 1

สูตรการคำนวณหาจุดคุ้มทุน จากขั้นตอนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถนำมาเขียนเป็นสูตรการคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้ดังนี้

$$V = vN \quad (1)$$

$$C = F + V = F + vN \quad (2)$$

$$R = pN \quad (3)$$

$$P = R - C \quad (4)$$

ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน คือ

$$\therefore N^* = \frac{F}{p - v} \quad (5)$$

กำหนดให้ F = ต้นทุนคงที่

V = ต้นทุนแปรผัน

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

C = ต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายรวม

N = ปริมาณการผลิต

R = รายได้

p = ราคาขายต่อหน่วย

P = กำไร

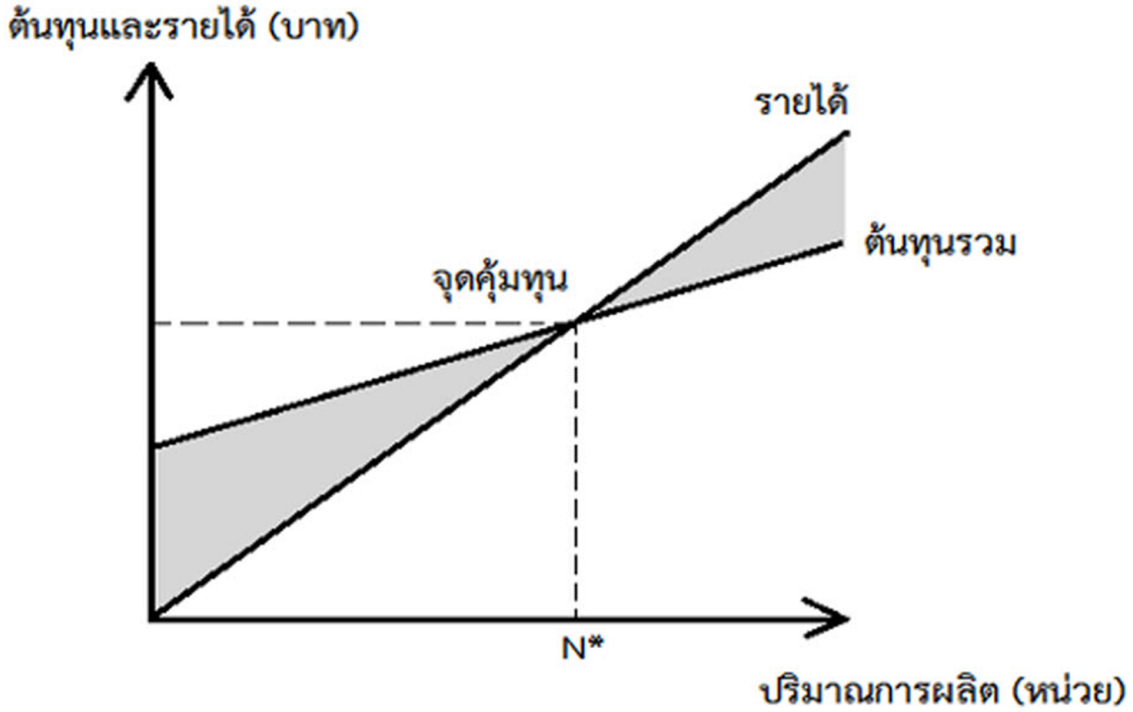
N* = ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน

p – v = ส่วนผลให้ต่อหน่วย (marginal contribution)

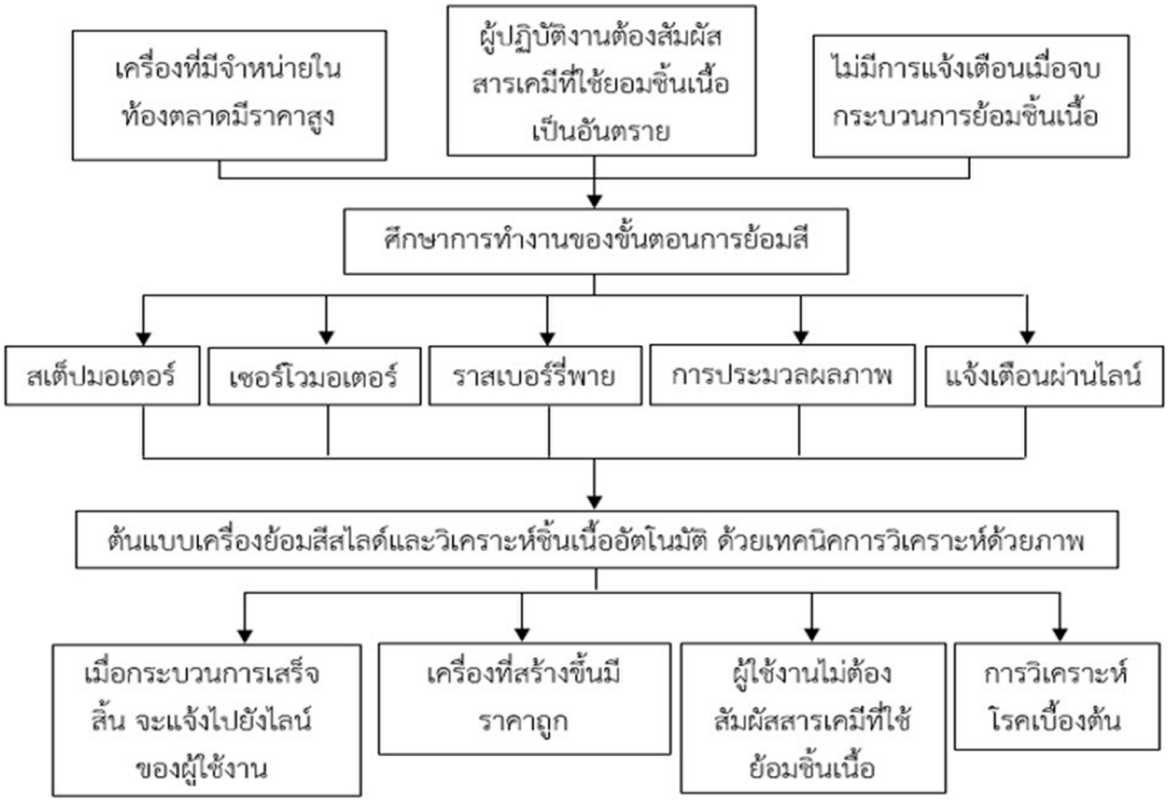
กรอบแนวคิดการวิจัย

แนวคิดการย้อมสีแบ่งออกเป็นโครงสร้างทั้งหมด 3 โครงสร้าง ซึ่งจะแบ่งเป็นโครงสร้างการย้อมสไลด์ ได้แก่ ปัญหา กระบวนการวิจัย และผลที่ได้จากการวิจัย ดังภาพ 2

จากภาพ 2 รูปแบบการทำงานของเครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ จะเห็นได้ว่า ปัญหาของราคาเครื่องจริงที่นำเข้าต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงกว่า 1 ล้านบาท (Express Lab Werks, LLC, 2024) และบางโรงพยาบาลไม่มีเครื่องย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อทำให้ต้องส่งชิ้นเนื้อไปตรวจในโรงพยาบาลที่มีระยะไกล ทำให้ผลวิเคราะห์มีความล่าช้า ผู้ปฏิบัติยังต้องสัมผัสสารเคมีที่ใช้ย้อมสีชิ้นเนื้อโดยตรง นอกจากนี้ ยังไม่มีกระบวนการแจ้งเตือนเมื่อจบกระบวนการ โดยการสร้างเครื่องย้อมชิ้นเนื้อต้องศึกษาการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์ ราสเบอร์รี่พาย เพื่อควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ พร้อมการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยระบบจะทำการควบคุมให้กระบวนการย้อมทำงานตามขั้นตอนจากจุดที่ 1 ไปจนถึงจุดที่ 11 จากนั้นผู้ปฏิบัตินำแผ่นสไลด์ไปเข้ากล้องจุลทรรศน์ที่สามารถประมวลผลวิเคราะห์ และชี้ตำแหน่งการติดสีที่อาจเป็นโรคได้ ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ซึ่งเครื่องที่พัฒนาขึ้นจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องสัมผัสสารเคมีที่ใช้ย้อมชิ้นเนื้อ และสามารถวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์โรคของแพทย์ได้



ภาพ 1 จุดคุ้มทุน



ภาพ 2 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการการย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อทั้งจากข้อมูลปฐมภูมิโดยลงพื้นที่ห้องปฏิบัติงาน LAB Pathology หรือห้องชิ้นเนื้อและเซลล์วิทยาของโรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช กรมแพทย์ทหารอากาศ เพื่อสอบถามขั้นตอน และศึกษาวิธีการย้อมชิ้นเนื้อจากเครื่องที่โรงพยาบาลมีอยู่แล้ว และทำการศึกษาจากข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งเป็นการศึกษาการย้อมสีชิ้นเนื้อแบบลูทีนสแตนซึ่งมีวิธีการย้อมอยู่ 6 ขั้นตอน (Suvarna et al., 2012) ซึ่งมีลำดับในการย้อมดังภาพ 3

จากภาพ 3 เป็นขั้นตอนในกระบวนการย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อที่เป็นมาตรฐานของโรงพยาบาลภูมิพล อดุลยเดช กรมแพทย์ทหารอากาศ โดยจากขั้นตอนการย้อมสีจะมีการบวนการ ดังนี้ โดยจะเริ่มต้นจากการย้อมในน้ำยาไซลีนไปจนถึงน้ำยาไซลีนอีกครั้ง โดยจะมีการยกแร๊กสไลด์ชิ้นเนื้อขึ้นมาพักทุก ๆ 250 วินาที

2. ทำการออกแบบเครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพตามคุณสมบัติที่ออกแบบไว้ในขั้นต้น

การออกแบบโครงสร้างสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ โครงสร้างของเครื่องย้อมส่วนประกอบของโครงสร้างภายในเครื่องย้อมจะทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาด 30 มิลลิเมตร x 30 มิลลิเมตร ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ห้อง ห้องที่ 1 สำหรับติดตั้งชุดมอเตอร์แกน X และแกน Y พร้อมทั้งโถสำหรับใส่สารเคมีทั้งหมด 11 โถ ส่วนที่ 2 สำหรับติดตั้งกล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็ก โดยโครงสร้างภายในเครื่องย้อมจะทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาด 30 มิลลิเมตร x 30 มิลลิเมตร ซึ่งโครงสร้างโดยรวมจะมีขนาด 311 มิลลิเมตร x 1,202 มิลลิเมตร x 600 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) และโครงสร้างภายนอกเครื่องย้อมจะทำจากแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตรทำสีดำ และสีเหลือง โดยโครงสร้างภายนอกของเครื่องย้อมจะทำจากเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร ทำสีตามที่กำหนด ซึ่งโครงสร้างหลายส่วนซึ่งโครงสร้างภายนอกจะทำการพับเหล็กให้เป็นไปตามโครงสร้างภายใน ดังภาพ 4

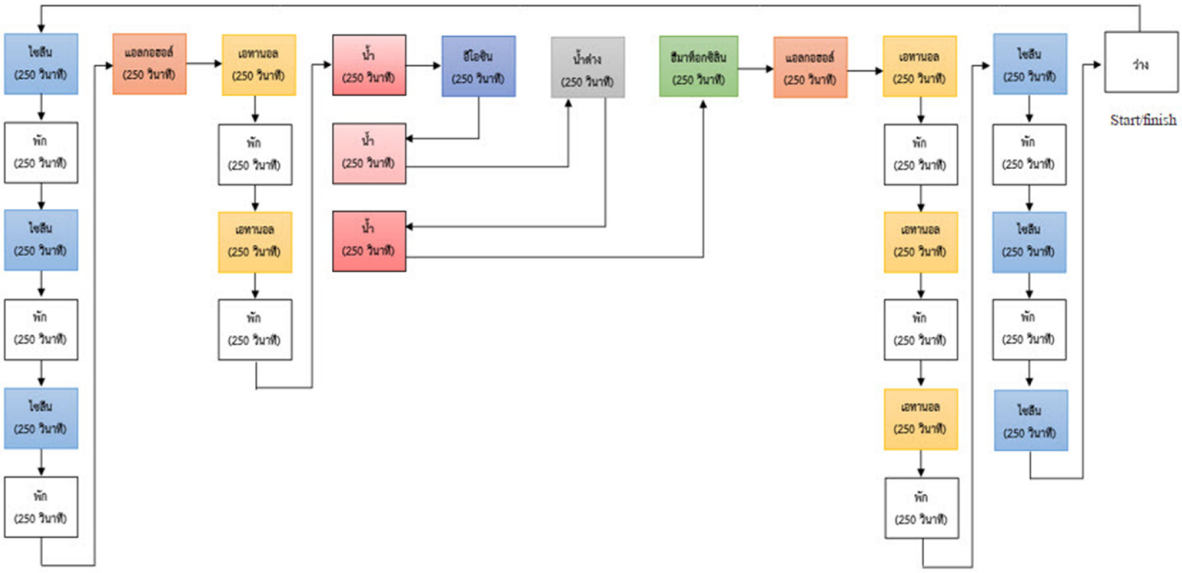
3. ทำการสร้างเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพตามที่ออกแบบไว้ และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม (raspberry pi) สเต็ปมอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์ มือจับ กล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็ก จอสัมผัส จียูไอ (GUI--Graphical User Interface)

4. ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องย้อม จะเริ่มต้นจากบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ไปยังบอร์ดสเต็ปมอเตอร์ไดรฟ์ทั้ง 2 ตัว ไปยังจอควบคุม และเชื่อมวงจรไปยังเซอร์โวมอเตอร์ ดังภาพ 5

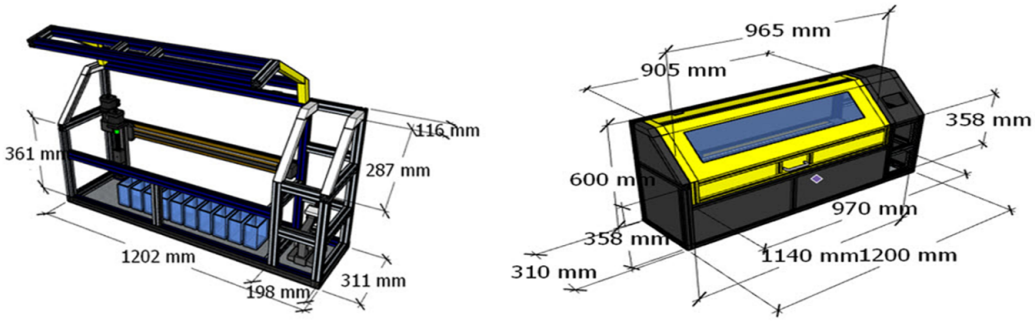
จากภาพ 5 การเชื่อมต่อในส่วนของการควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์ และจอแสดงผล ซึ่งวงจรจะเริ่มต้นจากแหล่งจ่ายขนาด 12 โวลต์ จ่ายไฟให้กับสเต็ปมอเตอร์ไดรฟ์ทั้ง 2 ตัว เพื่อควบคุมให้สเต็ปมอเตอร์ให้ทำงาน โดยหน่วยประมวลผลหลักของระบบ คือ บอร์ดราสเบอร์รี่พาย จะทำการเชื่อมต่อสำหรับการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ผ่าน GPIO23 สเต็ปมอเตอร์ไดรฟ์ตัวที่ 1 (Dir1) ผ่านขา GPIO35 และ (Pul1) ผ่านขา GPIO37 สเต็ปมอเตอร์ไดรฟ์ตัวที่ 2 (Dir2) ผ่านขา GPIO38 และ (Pul2) ผ่านขา GPIO40 และบอร์ดราสเบอร์รี่พายเชื่อมต่อไปยังจอแสดงผล (MISO) ผ่านขา GPIO10 เชื่อมต่อไปยังจอแสดงผล (MOSI) ผ่านขา GPIO9 เชื่อมต่อไปยังจอแสดงผล (SCK) ผ่านขา GPIO11 เชื่อมต่อไปยังจอแสดงผล (IRQ) ผ่านขา GPIO25

5. ทำการทดสอบการทำงานของเครื่อง ทั้งการทดสอบการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ การหยิบจับแร๊กแผ่นสไลด์ชิ้นเนื้อ และการทดสอบการย้อมชิ้นเนื้อ ซึ่งชิ้นเนื้อที่นำมาทดสอบจะเป็นชิ้นเนื้อที่โรงพยาบาลภูมิพลจัดเก็บไว้ ซึ่งเป็นชิ้นภายในเต้านมสำหรับการวิเคราะห์มะเร็งเต้านมในเพศหญิง พร้อมการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อด้วยภาพ

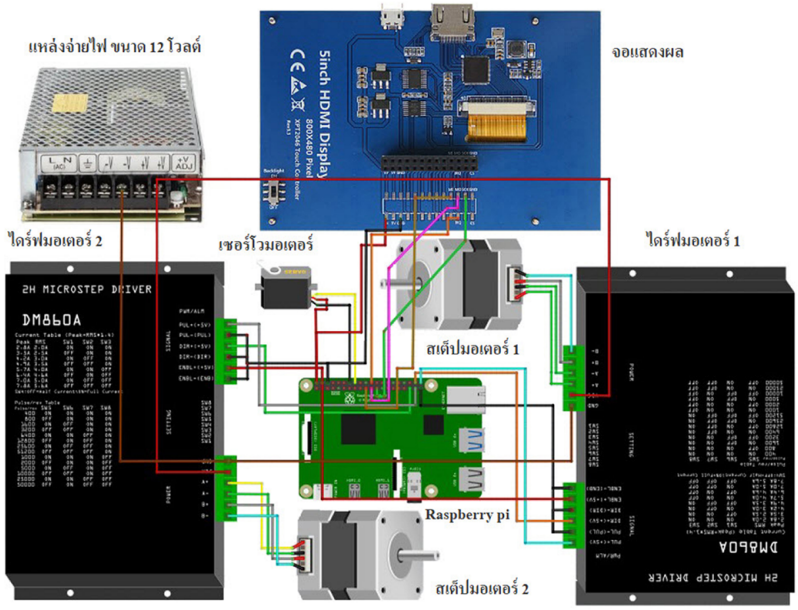
6. สรุปผลการทำงานของเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ



ภาพ 3 ลำดับการย้อมสีชิ้นเนื้อของเครื่องย้อม



ภาพ 4 โครงสร้างของเครื่องย้อม



ภาพ 5 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องย้อม

ผลการวิจัย

1. เครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

เป็นการประกอบตามแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งโครงสร้างทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ และแผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร โดยความยาวของช่องใส่โถย้อมอยู่ที่ 96.7 เซนติเมตร ช่องติดตั้งจอและวงจรควบคุมภายในอยู่ที่ 20.1 เซนติเมตร ความสูงจากพื้นอยู่ที่ 60 เซนติเมตร ดังภาพ 6(a) และซึ่งรางเลื่อนในแนวแกน X มีความยาว 816 มิลลิเมตร และรางเลื่อนในแนวแกน Y มีความยาว 332 มิลลิเมตร

2. ผลการทดสอบสเต็ปมอเตอร์แกน Y เคลื่อนที่ขึ้นลง

เป็นการทดสอบหาเวลา และความเร็วในการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์แกน Y เคลื่อนที่จากด้านบนลงด้านล่าง และด้านล่างขึ้นด้านบน ซึ่งได้เวลา และความเร็วเฉลี่ย ดังนี้ (1) ผลการเคลื่อนที่จากด้านบนลงด้านล่าง ซึ่งมีระยะในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 15 เซนติเมตรโดยระยะดังกล่าวจะเป็นระยะที่แกนเลื่อนขึ้นเลยขอบของโถแก้ว ซึ่งเป็นระยะของเครื่องที่ทำการออกแบบ ซึ่งใช้เวลาในการเคลื่อนที่เฉลี่ยอยู่ที่ 7.71 วินาที มีความเร็วเฉลี่ย 1.95 เซนติเมตรต่อวินาที (2) ผลการเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นด้านบน ซึ่งมีระยะในการเคลื่อนที่อยู่ที่ 15 เซนติเมตร ซึ่งใช้เวลาในการเคลื่อนที่เฉลี่ยอยู่ที่ 7.37 วินาที มีความเร็วเฉลี่ย 2.04 เซนติเมตรต่อวินาที

3. ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์แกน X

การทดสอบการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์แกน X ซึ่งเป็นการทดสอบหาเวลา และความเร็วในการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์แกน X โดยทำการทดสอบสเต็ปมอเตอร์แกน Y เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 0 ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ มีระยะทาง 69.5 เซนติเมตร โดยระยะดังกล่าวจะเป็นระยะที่แกนไปถึงโถแก้สุดท้ายของการย้อม ซึ่งเป็นระยะของเครื่องที่ทำการออกแบบ ซึ่งผลการทดสอบหาเวลา และความเร็วในการเคลื่อนที่ ดังตาราง 1

จากตาราง 1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์แนวแกน X จากตำแหน่งที่ 0 (Begin) ไปถึงตำแหน่ง ต่าง ๆ ในแต่ละระยะทาง มีความความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 4.51 เซนติเมตรต่อวินาที ถึง 4.99 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเกิดจากการทดสอบการเคลื่อนไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของโถแก้วที่ใช้ในการย้อมทั้งหมด 11 โถ โดยการทำงานของเครื่องสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

4. ผลการทดสอบการทำงานของการย้อมตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนสิ้นสุดการทำงาน

การทดสอบการเคลื่อนที่ของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด ซึ่งผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด คือการทดสอบการทำงานเต็มกระบวนการของการย้อมสีสไลด์ ซึ่งใช้เวลาตลอดกระบวนการอยู่ที่ 86 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 26 นาที

5. ผลการทำงานของเครื่องย้อมชิ้นเนื้อในกระบวนการย้อมสี และการวิเคราะห์ภาพชิ้นเนื้อหลังจากการย้อมสีด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

จากการทดลองการทำงานเครื่องย้อมชิ้นเนื้อที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีชิ้นเนื้อนั้นใช้เวลาในการทำงานตามกระบวนย้อมสี 86 นาที ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อทั้งหมดจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 2 สไลด์ จากผู้ปฏิบัติสไลด์ชิ้นเนื้อเอากล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลขนาดเล็กที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องย้อม จากนั้นถ่ายภาพเซลล์นำเอาสู่โปรแกรมวิเคราะห์ภาพบนโปรแกรม Pycham ทำการวิเคราะห์ภาพเพื่อหาตำแหน่งที่น่าสงสัยว่าผิดปกติ เสี่ยงต่อการเป็นโรค โดยพิจารณาจุดที่น่าสงสัยบริเวณที่มีการจับกลุ่มของเซลล์ขนาดใหญ่กว่าตำแหน่งอื่น ๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ ดังภาพ 7

จากภาพ 7(a) ภาพ 7(c) ภาพ 7(e) ภาพ 7(g) ภาพ 7(i) ภาพ 7(k) ภาพ 7(m) ภาพ 7(o) ภาพ 7(q) และภาพ 7(s) เป็นภาพสไลด์ชิ้นเนื้อทั้งหมดที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ขนาดเล็กสำหรับการถ่ายภาพชิ้นเนื้อหลังจากการย้อมสี จากนั้นนำภาพเข้าโปรแกรม Pycham เพื่อหาตำแหน่งที่น่าสงสัยว่าผิดปกติ เสี่ยงต่อการเป็นโรค โดยภาพ 7(b) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 5 จุด ภาพ 7(d) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด และเกิดพองอากาศเล็กน้อยบนสไลด์ ภาพ 7(f) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด ภาพ 7(h) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด ภาพ 7(j) มีตำแหน่งที่น่า

สงสัยจำนวน 0 จุด และเกิดพองอากาศเล็กน้อยบนสไลด์ ภาพ 7(l) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด ภาพ 7(n) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด ภาพ 7(p) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 3 จุด ภาพ 7(r) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด ภาพ 7(t) มีตำแหน่งที่น่าสงสัยจำนวน 1 จุด โดยเมื่อภาพเข้าวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสามารถระบุได้เหมือนกันทุกครั้ง

6. ผลการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

เครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ สามารถพิจารณาหาจุดคุ้มทุนของเครื่อง ซึ่งการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน ของเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ มีรายละเอียดต้นทุนและรายได้ต่าง ๆ ดังนี้

ต้นทุนคงที่ คำนวณมาจากต้นทุนของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ได้แก่ เหล็ก ชุดสเต็ปมอเตอร์ กล้องจุลทรรศน์ โครงสร้าง กล้อง รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 35,200 บาท

ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย ได้แก่ ต้นทุนสารเคมี คิดเป็นเงิน 500 บาทต่อครั้ง ค่าไฟฟ้า 5 ยูนิต ๆ ละ 5 บาท คิดเป็นเงิน 25 บาทต่อครั้ง รวมมีต้นทุนแปรผันคือ 525 บาทต่อครั้ง

รายได้ต่อการทดสอบ คือ 750 บาทต่อครั้ง

จากสมการที่ 6 สามารถคำนวณหาปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน ได้ คือ

$$N^* = \frac{F}{p - v} \qquad (6)$$

$$= \frac{35,200}{750-525}$$

$$= 156.44 \text{ ครั้ง}$$

กำหนดให้ F = ต้นทุนคงที่

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

p = ราคาขายต่อหน่วย

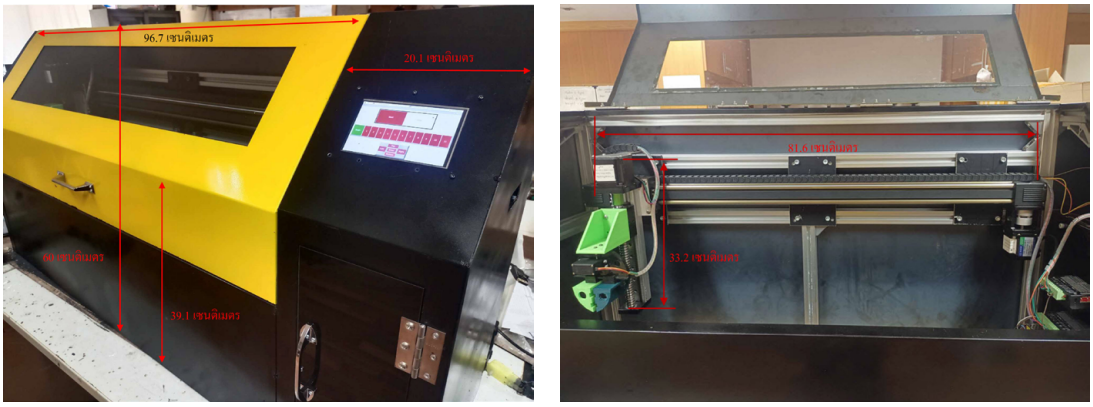
N* = ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน

จากภาพ 8 จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน คือ 156.44 ครั้ง ซึ่งเป็นจำนวนครั้งของการทดสอบที่ทำให้เงินลงทุนมีค่าเท่ากับรายได้ หากต้องการผลกำไร จะต้องมีการทดสอบชิ้นเนื้อตั้งแต่ 157 ครั้งขึ้นไป

การอภิปรายผล

การเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน Y มีความความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ขึ้นลง 1.95 เซนติเมตรต่อวินาที ถึง 2.04 เซนติเมตรต่อวินาที จากตาราง 1 การเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ในแนวแกน X จากตำแหน่งที่ 0 (begin) ไปถึงตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละระยะทาง มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 4.51 เซนติเมตรต่อวินาที ถึง 4.99 เซนติเมตรต่อวินาที

จากตาราง 2 จะเห็นว่าระยะเวลาในการทำงานของเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพจะใช้เวลาที่ 1 ชั่วโมง 26 นาที เครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ ที่พัฒนาขึ้นสามารถย้อมสีสไลด์ชิ้นเนื้อได้อย่างถูกต้องตามกระบวนการย้อมสีชิ้นเนื้อแบบลูทีนสแตนซึ่งมีวิธีการย้อมอยู่ 6 ขั้นตอน ซึ่งการย้อมมีฟองอากาศเกิดขึ้นน้อย ซึ่งทำให้สีที่ย้อมชิ้นเนื้อติดอย่างสม่ำเสมอทั้งชิ้นเนื้อ ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ พิจารณาโรค จากภาพ 7 เป็นการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อที่ย้อมด้วยเครื่องย้อมสีสไลด์อัตโนมัติและวิเคราะห์ชิ้นเนื้อเบื้องต้นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ ซึ่งระบบสามารถชี้จุดที่น่าสงสัยว่าผิดปกติด้วยการสร้างกรอบรอบจุดที่น่าจะผิดปกติ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อมจะอยู่ที่ 156.44 ครั้ง ซึ่งเป็นจำนวนครั้งของการทดสอบที่ทำให้เงินลงทุนมีค่าเท่ากับรายได้ หากต้องการผลกำไร จะต้องมีการทดสอบชิ้นเนื้อตั้งแต่ 157 ครั้งขึ้นไป

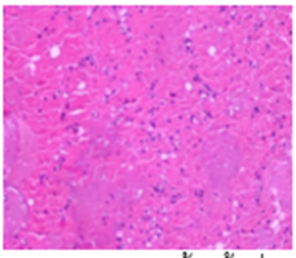


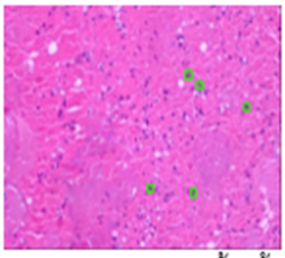
ภาพ 6 เครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยภาพ

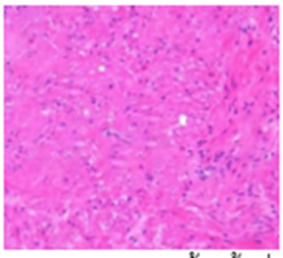
ตาราง 1

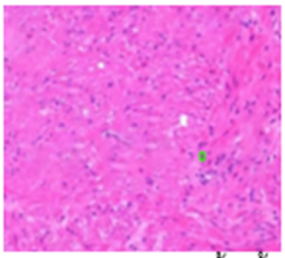
ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์แกน X

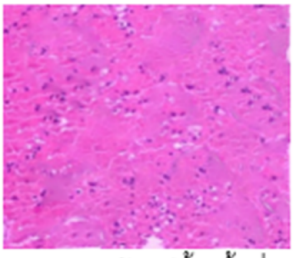
ตำแหน่งเริ่มต้น	ตำแหน่งปลายทาง	ระยะทาง (เซนติเมตร)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ความเร็วเฉลี่ย (cm/s)
0	1	4.5	0.99	4.51
0	2	11	2.26	4.87
0	3	17.5	3.51	4.99
0	4	23.5	5.08	4.63
0	5	30	6.61	4.54
0	6	36.5	7.92	4.61
0	7	43.5	9.24	4.71
0	8	50	10.62	4.71
0	9	56.5	11.88	4.76
0	10	63	13.55	4.65
0	11	69.5	14.07	4.94

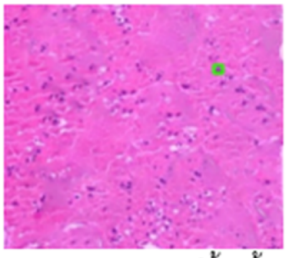

(a) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 1

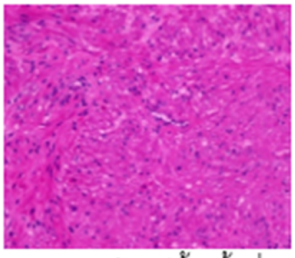

(b) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 1

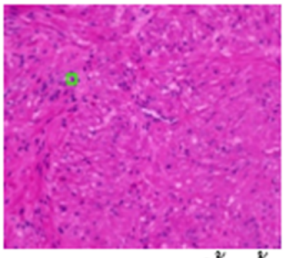

(c) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่2

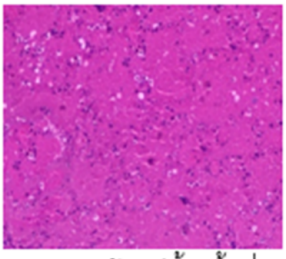

(d) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 2

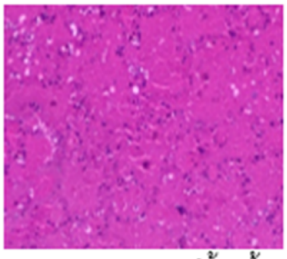

(e) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 3

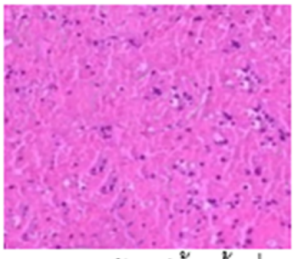

(f) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 3

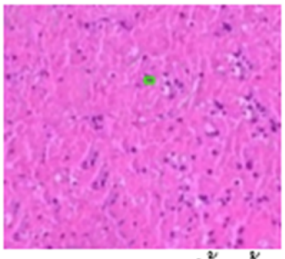

(g) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 4

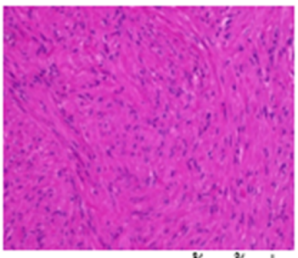

(h) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 4

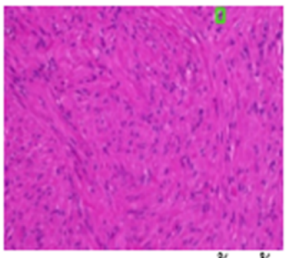

(i) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 5

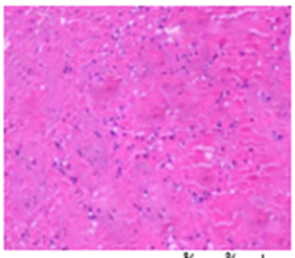

(j) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 5

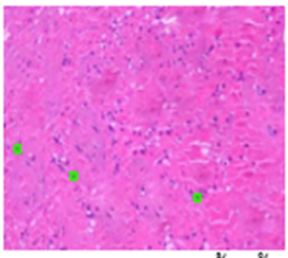

(k) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 6

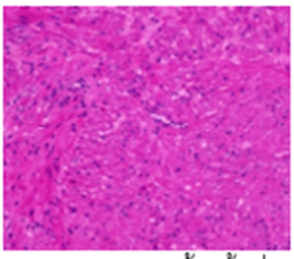

(l) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 6

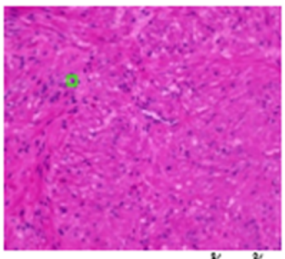

(m) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 7

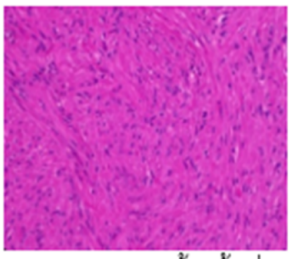

(n) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 7

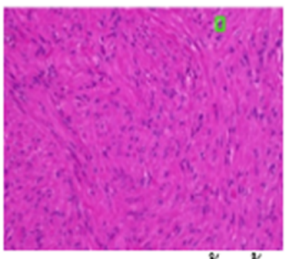

(o) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 8


(p) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 8

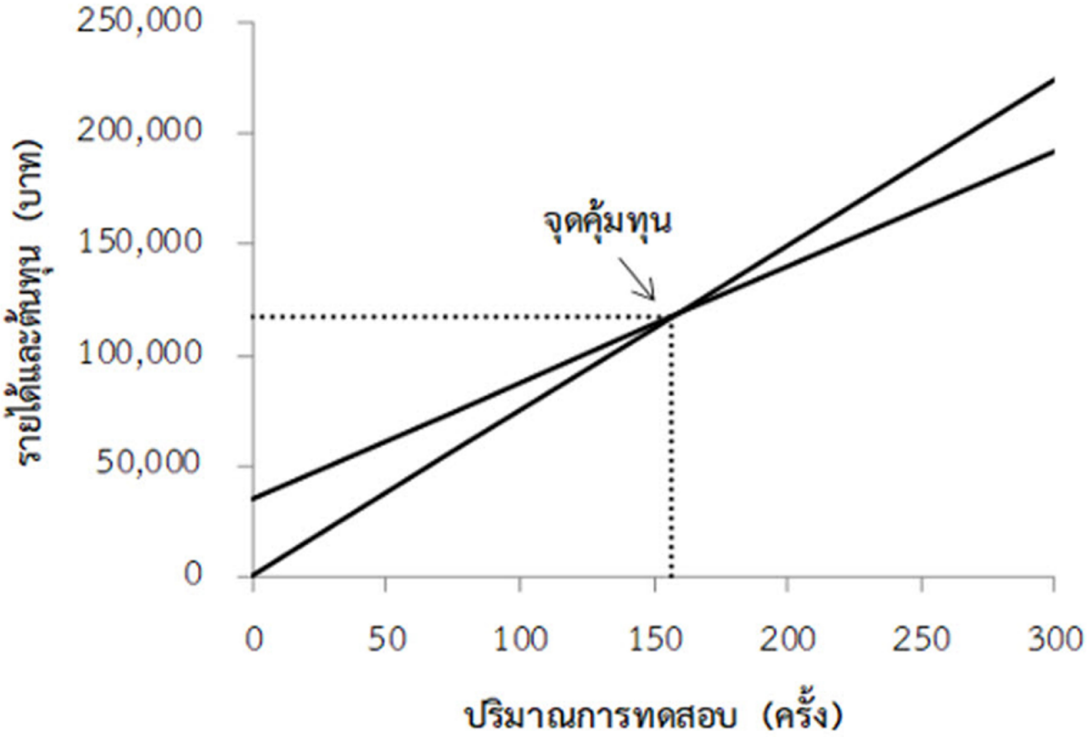

(q) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 9


(r) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 9


(s) ผลการย้อมสีชิ้นเนื้อที่ 10


(t) ผลการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อสไลด์ที่ 10

ภาพ 7 ผลการย้อมสี และการวิเคราะห์ชิ้นเนื้อ



ภาพ 8 จุดคุ้มทุนของเครื่องย้อม

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองการพัฒนาเครื่องย้อมสีสไลด์และวิเคราะห์ชิ้นเนื้ออัตโนมัติทั้งหมดทำงานได้ดีในระดับที่น่าพอใจ สามารถนำไปใช้ในการย้อมสีชิ้นเนื้อได้ แต่ต้องพัฒนาคำสั่งการควบคุมและการทำงานให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้น ดังนี้ (1) โครงสร้างของเครื่องย้อมควรมีขนาดเล็กลง เนื่องจากน้ำหนักของเครื่องทำให้เครื่องย้ายลำบาก (2) การวิเคราะห์ภาพควรแยกแยะถึงความเสี่ยงของการเกิดโรคแต่ละโรคได้ (3) พิจารณาสเต็ปมอเตอร์ที่สามารถทำงานในแนวแกน Y ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (4) ควรลดต้นทุนการผลิตเครื่องให้ต่ำกว่า 32,000 บาท โดยปรับเปลี่ยนวัสดุโครงสร้างจากอลูมิเนียมโปรไฟล์เป็นเหล็กกล่องขนาดเล็กแทนเพื่อลดต้นทุนการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย ปีงบประมาณปี 2566 และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สำหรับการสนับสนุน ส่งเสริม และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตลอดโครงการ รวมถึง โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช กรมแพทย์ทหารอากาศ กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตลอดโครงการ

References

Akhila, B., Nikhila, G., Lakshmi, A., Jahnavi, G., & Himabindhu, J. (2021). Signature verification using image processing and neural networks. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 9*(8), 596-a603. https://ijcrt.org/papers/IJCRT2108073.pdf

Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). New York: McGraw – Hill.

Chulalongkorn 9 Airport Hospital. (2024). *Thailand cancer statistics*. Retrieved from https://ch9airport.com/th/. (in Thai)

Duchon, F., Bucka, P., Szabova, M., Dekan, M., Beno, P., & Tolgyessy, M. (2017). Image processing of motion for security applications. *European Scientific Journal September, 13*(27),1857–7881. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n27p44

Express Lab Werks, LLC. (2024). *Sakura 6131 Tissue-Tek Prisma A1-S Automated Slide Stainer w/ Special Stain.* Retrieved from https://bit.ly/3YYe2XB

Hamzah, A. A., & Abbas, A. F. (2022). Developed an automated design sorting system according to outer edges of object. *The Scientific World Journal, 2022*, 1-10. https://doi.org/10.1155/2022/9439093

Hira, S., & Lande, S. (2022). Detection of fruit ripeness using image processing. *International Journal of Health Sciences, 6*(S6), 3874–3886. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS6.10146

Hinai, R., Farh, A., & Hasani, S. A. (2019). Image processing based automatic color object sorting using PLC system. *International Journal of Electrical and Electronics Research, 7*(2), 50-62. https://bit.ly/4hGhk99

Golnabi, H., & Asadpour, A. (2007). Design and application of industrial machine vision systems. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 23*(6), 630-637. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.02.005

Kulkarni, P., Valvi, V., Ukey, S., Bhise, A., & Gosavi, S. (2020). Mechanical arm for amputee. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7*(6), 1378 – 1380. https://bit.ly/4faJp73

Logisticafe. (2009). *Break-even point*. Retrieved from http://www.logisticafe.com/2009/09/break-even-point/ (in Thai)

Madure, O., & Borkar, S. (2019). Analysis of a biomimetic anthropomorphic robotic hand/prosthetic. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 7*(10), 1 – 6. https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.10001

Muniraj, M., Arulmozhiyal, R., & ilakia, T. (2020). Development of sensor-less control of BLDC actuator for agricultural robotic arm. *International Journal of Scientific & Technology Research, 9*(4), 514–517. https://bit.ly/3AHxHSg

Medical Digital Division, National Cancer Institute. (2022). *Hospital-based cancer registry Thailand 2021*. Retrieved from https://www.nci.go.th/th/cancer_record/download/HOSPITAL-BASED_2021.pdf (in Thai)

Nalawade, S., Dabade, P., Adhav, D., & Shingote, M. (2015). Fabric defect detection using image processing techniques. International Journal for Scientific Research & Development, 3(1), 628-629. https://ijsrd.com/Article.php?manuscript=IJSRDV3I1336

Prasad, D. V. S., Niharika, Ch., Vishwaja, R., Srinidhi, R., & Preethi, A. (2020). Object detection and tracking using image processing. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 8*(6), 398. https://ijcrt.org/papers/IJCRT2006056.pdf

Phiphithirankarn, P., Sattaso, T., Boonla, W., & Wiriyanamchai, W. (2022). The development of autonomus tomato harvesting robot arm by image processing. *Udonthani Rajabhat university Journal of Sciences and Technology, 10*(1), 143-161. (in Thai)

Pierrot, F., Dombre, E., Dégoulange, E., Urbain, L., Caron, P., Boudet, S., Gariépy, J., & Mégnien, J. (1999). Hippocrate: A safe robot arm for medical applications with force feedback. *Medical Image Analysis, 3*(3), 285-300. https://doi.org/10.1016/S1361-8415(99)80025-5

Pacholczyk, B., Fabiańska, A., Kusińska, R., Potemski, P., Kordek, R., & Jankowski, S. (2012). Analysis of cancer tissues by means of spectroscopic methods. *Contemporary Oncology (Poznan, Poland), 16*(4), 290–294. https://doi.org/10.5114/wo.2012.30056

Phatchuay, S., Yooyen, A., & Ketcham, M. (2022). Coffee ripeness classification with HSV image processing. *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal, 4*(3), 369-381. (in Thai)

Rehman, A. U., Ullah, N., Shehzad, N., & Mohsan, S. A. H. (2021). Image processing based detecting and tracking for security system. *International Journal of Engineering (IJE), 13*(1), 1 – 11. https://bit.ly/4fpvE4v

Rijiravanich, W., & Ploimekha, S. (2007). *Engineering economics* (10th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)

Rajan, R., & Gopinath, S. (2018). Detection & classification of fabrics defects using image processing and neural network. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 6*(2), 170-174. https://ijcrt.org/papers/IJCRT1813326.pdf

Singkarlsiri, C. (2003). *Engineering economics* (3rd ed.). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok. (in Thai)

Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2012). *Engineering economy* (15th ed.). London: Pearson Education.

Suvarna, K. S., Layton, C., & Bancroft. (2012). *Bancroft's theory and practice of histological techniques: Expert consult: Online and print* (7th ed.). London: Churchill Livingstone

Tongsukawong, A. (2023). *Variable costs and cost-volume-profit analysis*. Retrieved from http://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc_02.pdf (in Thai)

ผลของผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งต่อผิวหนังผู้สูงอายุ ในจังหวัดปทุมธานี

Effects of Lotion Containing Freeze-Dried *Aloe Vera* Extract on Elderly Skin in Pathum Thani Province

วรรณิสา โตมะโน[1] จันทรรัตน์ จาริกสกุลชัย[1]* รัฐพล ศิลปรัศมี[1] จิรณัฐ บัวอาจ[1] และสุพิชฌาย์ ผุยสุ[1]

Wannisa Tomano[1], Juntarat Jaricksakulchai[1]*, Ratthapol Sillaparassamee[1]

Jiranat Buaart[1] and Supitcha Phuysu[1]

[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

[1]Faculty of Public Health, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province

*Corresponding author: juntarat.ja@vru.ac.th

Received: May 15, 2024

Revised: July 13, 2024

Accepted: July 19, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยกึ่งทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง (2) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งที่มีความคงตัว และ (3) เพื่อศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้สูงอายุชาย/หญิงมีภาวะผิวแห้ง จำนวน 60 คน กลุ่มควบคุม 30 คน และกลุ่มทดลอง 30 คน หลังใช้โลชัน 4 สัปดาห์ เก็บข้อมูลค่าความชุ่มชื้นและค่าการสูญเสียน้ำจากผิวหนัง วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน ผลการศึกษาพบว่า (1) สารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งที่ความเข้มข้นร้อยละ 6-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ร้อยละ 16.43–66.22 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 143.92 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (2) ผลิตภัณฑ์โลชันที่ส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีความคงตัวดี (3) ผลการทดสอบประสิทธิภาพหลังใช้ผลิตภัณฑ์โลชันที่ส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิว เท่ากับ 34.24 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับค่าการสูญเสียน้ำจากผิวหนัง กลุ่มทดลองมีค่าการสูญเสียน้ำจากผิวหนัง เท่ากับ 6.82 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการศึกษาสรุปว่า สารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีความคงตัวดี และมีผลต่อผิวหนังผู้สูงอายุด้านการเพิ่มความชุ่มชื้นและลดการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนัง สามารถนำไปเป็นแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพจากธรรมชาติเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและต่อยอดเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: ว่านหางจระเข้ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ความชุ่มชื้นผิวหนัง การสูญเสียน้ำจากผิวหนัง

Abstract

The objectives of this quasi-experimental research were (1) to study the antioxidant activity of freeze-dried aloe vera extract, (2) to develop a lotion product containing freeze-dried aloe vera extract that is stable, and (3) to study the results of using lotion products containing freeze-dried aloe vera extract. The sample groups consisted of 60 elderly men and women with dry skin, divided into 30 control groups and 30 experimental groups. Data were collected by measuring skin moisture levels and transepidermal water loss of skin after using the lotion for 4 weeks. Data were analyzed using descriptive statistics and statistics comparing means between two independent sample groups. The results of the study found that (1) freeze-dried aloe vera extract at concentrations of 6–200 micrograms per milliliter had antioxidant activity of 16.43–66.22% with an IC_{50} value of 143.92 micrograms per milliliter. (2) Lotion products containing freeze-dried aloe vera extract have good stability. (3) The results of the efficiency test after using the lotion product containing freeze-dried aloe vera extract found that the experimental group had an average skin moisture level of 34.24, which was significantly increased at the .05 level. For the transepidermal water loss of skin, the experimental group had a transepidermal water loss value of 6.82, which was significantly decreased at the .05 level. The results of this study conclude that lotion products containing freeze-dried aloe vera extract have good stability and have an effect on the skin of the elderly in terms of increasing skin moisture and decreasing skin transepidermal water loss. This can be used as a guideline to develop the natural health products to add value and further commercialization.

Keyword: aloe vera, freeze dry, skin moisture, transepidermal water loss

บทนำ

ผิวหนังมีหน้าที่ปกป้องร่างกายเป็นด่านแรกของระบบภูมิคุ้มกันร่างกาย ป้องกันร่างกายจากสภาพแวดล้อมภายนอก และการสูญเสียสารสำคัญจากภายในร่างกาย (Lim, 2024) เมื่อเข้าสู่วัยผู้สูงอายุมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งในช่วงวัยนี้เป็นช่วงวัยที่เริ่มเข้าสู่ภาวะเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย การเปลี่ยนแปลงของผิวหนังในผู้สูงอายุเริ่มจากการมีสภาวะเซลล์ผิวหนังแห้ง ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง ผิวหนังบาง การสร้างสารสำคัญหรือเซลล์ผิวหนังลดลง ส่งผลทำให้ผิวหนังมีลักษณะเหี่ยวย่น และเกิดบาดแผลได้ง่ายเมื่อถูกรบกวนด้วยการเกา ขีดข่วน หรือมีการขัดถูอย่างรุนแรง หรือหากผิวหนังถูกกดทับเป็นเวลานาน ระบบไหลเวียนโลหิตไม่ดี เกิดบาดแผลได้ง่าย และอาจส่งผลให้บาดแผลที่เกิดขึ้นจะหายช้า เนื้อเยื่อไขมันที่อยู่ภายในชั้นไขมัน และการทำงานของต่อมไขมันถูกผลิตน้อยลง ผลดังกล่าวอาจส่งผลกระทบทำให้ผิวแห้งและเกิดอาการคัน ส่วนปัญหาความเสื่อมของเซลล์ผิวหนังที่ถูกกระตุ้นจากปัจจัยภายนอก เช่น มลพิษ แสงแดด และสารอนุมูลอิสระที่ส่งผลต่อความเสื่อมของเซลล์ผิวหนัง ภาวะความเครียดออกซิเดชัน ที่ส่งผลทำให้เกิดการทำงานของโปรตีนในร่างกายเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะโครงสร้างโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักของผิวหนัง การเสื่อมลงของการสร้างคอลลาเจน ไกลโคสะมิโนไกลแคน ส่งผลทำให้เกิดภาวะเซลล์ผิวหนังเสื่อมลง หน้าที่ของเกราะป้องกันผิวลดลง (Katta, 2020) เมื่อภาวะผิวหนังไม่แข็งแรงถูกทำลายจากสิ่งรบกวนได้ง่ายเป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยในผู้สูงอายุ และเป็นภาวะที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตจึงได้มีการนำผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพมาดูแลและเพิ่มความแข็งแรงของผิวหนังกันอย่างแพร่หลาย

ปัจจุบันมีการนำสมุนไพรทั้งที่เป็นสมุนไพรเดี่ยวและชนิดที่ปรุงเป็นตำรับยามาใช้รักษาอาการเจ็บป่วยพื้นฐานเพื่อทดแทนยาแผนปัจจุบันและได้ผลลัพธ์ไปในทางที่ดี ซึ่งประเทศไทยมีการปลูกพืชสมุนไพรหลากหลายชนิดทั่วทั้งประเทศสมุนไพรบางชนิดหาได้ง่ายและราคาถูก และมีการศึกษาค้นคว้าและวิจัยทางด้านการรักษาอาการเจ็บป่วย พัฒนาเพื่อความสะดวกการใช้งาน และมีความปลอดภัยต่อสุขภาพเป็นแนวทางการส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นในการนำมาดูแลสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุขได้ตระหนักถึงความสำคัญของการพัฒนาสมุนไพร ดังเห็นได้จากแผนพัฒนาการสาธารณสุขตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม แห่งชาติฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๖๖ –๒๕๗๐) โดยกำหนดแผนพัฒนาการสาธารณสุขไว้ในสองแผนงานหลัก คือ ในแผนงานสาธารณสุขมูลฐาน มีงานสมุนไพรกับการสาธารณสุขมูลฐานและแผนยาและชีววัตถุและได้ส่งเสริมในการที่ประชาชนนำสมุนไพร มาใช้ในการดูแลรักษาและส่งเสริมสุขภาพตนเอง ซึ่งมีอยู่ในชุมชนเกือบทุกพื้นที่ทั่วประเทศ โดยนำภูมิปัญญาดั้งเดิมของคนไทยมาใช้แก้ปัญหาทางสุขภาพ

ว่านหางจระเข้เป็นสมุนไพรที่มีสารประกอบออกฤทธิ์เป็นยาหลายชนิด เช่น สารกลุ่มเบต้าแคโรทีน สารกลุ่มเอนไซม์ กลุ่มเกลือแร่ และสรรพคุณหลากหลายทั้งสามารถบรรเทาอาการของโรคผิวหนังหลายชนิด เช่น แผลไหม้พุพอง เกิดจากความร้อนที่ไม่ร้ายแรงแผลที่เกิดจากการทำครัว เช่น กลุ่มแอนทราควิโนน กลุ่มกรดไขมัน และกลุ่มฮอร์โมน ส่งผลให้ว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ทางยาหลากหลายโดยเฉพาะการออกฤทธิ์ทางผิวหนัง เช่น ฤทธิ์การต้านการอักเสบ ต้านแบคทีเรีย กระบวนการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์ กระตุ้นไคโตไคน์ และการต้านอนุมูลอิสระ ว่านหางจระเข้จึงถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นยารักษาแผล เช่น แผลจากน้ำร้อนลวก แผลพุพอง และแผลที่มีการอักแสบว่านหางช่วยบรรเทาอาการโรคได้ (Sawaddichai, Im-iam, Saensanoh, Inthawattana & Chaiyamongkol, 2018) ส่งผลให้ว่านหางจระเข้ถูกนำมาพัฒนาให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ โดยนำสารสกัดว่านหางจระเข้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ แต่จากการศึกษางานวิจัยพบว่าสารสำคัญที่พบได้จากสารสกัดว่านหางจระเข้เป็นกลุ่มสารสำตัญที่มีความไวต่อการถูกออกซิไดซ์จากความร้อนได้ง่าย และการถูกออกซิไดซ์ส่งผลให้ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดลดลง ทำให้สรรพคุณทางการรักษาลดลงเช่นกัน

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการป้องกันผิวหนังในกลุ่มผู้สูงอายุ และความสำคัญในการเพิ่มความคงตัวของสารสกัดว่านหางจระเข้ จึงได้ทำการพัฒนาตำรับผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งที่มีประสิทธิภาพเพิ่มความชุ่มชื้นและลดการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนัง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการส่งเสริมคุณภาพชีวิตต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งที่มีความคงตัว

3. เพื่อศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความแก่ของผิวหนังเกิดจาก 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยภายในร่างกาย (intrinsic aging) อายุที่เพิ่มขึ้นเกิดความเสื่อมของเซลล์ผิวหนัง และเกิดจากการสัมผัสกับปัจจัยภายนอก (extrinsic aging) เช่น แสงยูวี ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการเกิดความแก่ของผิวหนัง (Naylor, 2011) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของผิวหนัง ที่เกิดขึ้นจากการเกิดความแก่ของผิวหนังจากปัจจัยภายในและการสัมผัสกับปัจจัยภายนอก (Krutmann et al., 2017) ปัจจุบันปัจจัยภายนอกที่สำคัญที่ส่งผลกระทบแก่ผิวหนัง คือ ความร้อน รังสี ฝุ่น สารเคมีที่กระตุ้นให้เกิดกระบวนการสร้างอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย (Schikowski & Huls, 2020)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแก่ของผิวหนังที่เกิดจากปัจจัยหลัก คือ อายุที่เพิ่มขึ้น และความเสื่อมของเซลล์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชัน (Green et al., 2011) ส่งผลทำให้เกิดความเสื่อมของผิวหนังมากขึ้นทำให้ผิวหนังขาดความยืดหยุ่น ชั้นหนังกำพร้าบางลง 10-15 เปอร์เซ็นต์ การสร้างเซลล์ผิวหนังน้อยลง (Dobos, 2015) ส่งผลทำให้ผิวหนังบางลง เกิดการบาดเจ็บง่าย ชั้นหนังแท้

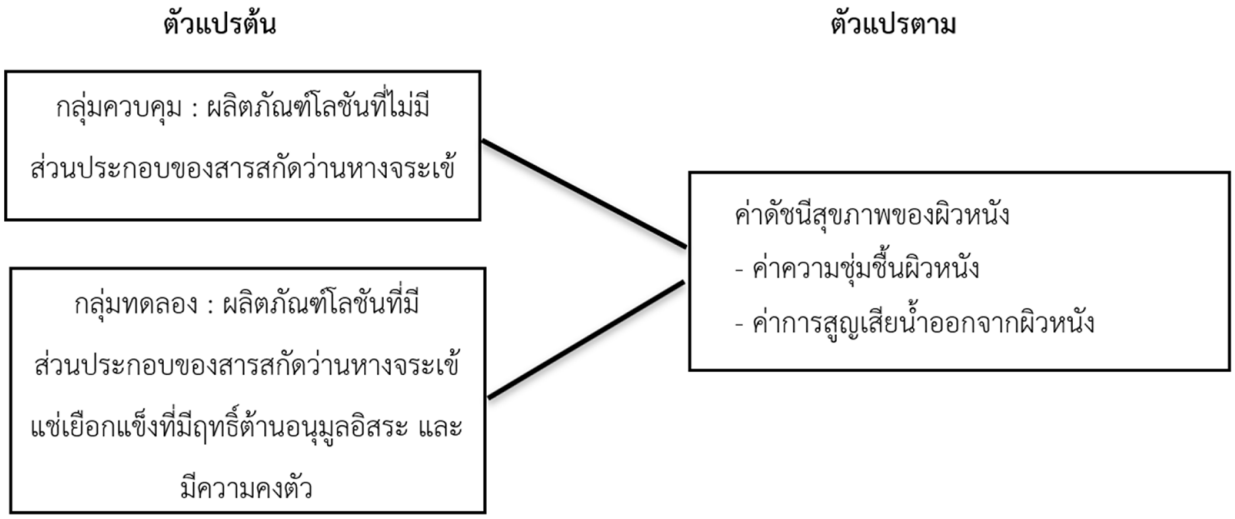
บางลงเนื่องจากเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายคอลลาเจนไม่สมดุลและมีปริมาณเพิ่มขึ้น ประกอบกับจำนวนเซลล์ fibroblasts ในชั้นหนังแท้ลดลง ส่งผลทำให้ความยืดหยุ่นของผิวหนังลดลง (Gkogkolou, 2012) ทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันของผิวหนังลดลง ความสามารถในการป้องกันการสูญเสียสารสำคัญ เช่น ไขมัน สารความชุ่มชื้นธรรมชาติ และกรดไขมันจำเป็น ภายใต้ผิวหนังลดลงส่งผลทำให้เกิดภาวะผิวหนังอ่อนแอ (Lee, Watson & Kleyn, 2020)

ภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) คือภาวะที่มีอนุมูลอิสระ (free radical) ในร่างกายมากจนสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณไม่เพียงพอส่งผลให้เกิดการทำลายออกซิเดชัน (oxidative damage) ต่อดีเอ็นเอ โปรตีน ไขมัน และโมเลกุลขนาดต่าง ๆ สารอนุมูลอิสระหรือสารออกซิแดนท์และการถูกรบกวนจากปัจจัยภานอก เช่น มลพิษ หรือเชื้อโรคต่าง ๆ ส่งผลทำให้ผิวหนังอ่อนแอ เกิดภาวะผิวเสื่อมก่อนวัย และเกิอาการไม่พึงประสงค์ได้ (Leung et al., 2020)

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารต้านอนุมูลอิสระขากธรรมชาติอาจเป็นแนวทางที่ช่วยลดผลกระทบการเกิดความเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายได้โดยเฉพาะเซลล์ผิวหนัง (Kancheva, 2013) พืชจากธรรมชาติเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ และได้ถูกนำมาศึกษาโดยสกัดสารสำคัญมาศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ (Gomes-Rochette et al., 2016)

ว่านหางจระเข้ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Aloe vera* (L.) Burm.f. เป็นพืชที่ในวงศ์ Asphodelaceae ถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์แผนโบราณ สารสำคัญมีส่วนสารประกอบทางชีวภาพจำนวนมาก ส่วนใหญ่เป็นแอนทราควิโนน และพอลิแซ็กคาไรด์ มีฤทธิ์สมานบาดแผล แผลไฟไหม้ แมลงกัดต่อย และการต้านการอักเสบ และต้านจุลชีพ ต้านเนื้องอก ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านไวรัส (García et al., 2019)

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 1 ภาพแสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. สารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

2. ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีความคงตัว

3. ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีผลต่อสุขภาพของผิวหนังผู้สูงอายุ

วิธีดำเนินงานวิจัย

รูปแบบการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental research) แบบ 2 กลุ่มประกอบด้วย กลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง โดยวัดก่อนและหลังการทดลอง (two-group pretest-posttest design)

1. การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

1.1 การเตรียมสารสกัดว่านหางจระเข้แบบแช่เยือกแข็ง

เตรียมว่านหางจระเข้ โดยนำว่านหางจระเข้มาปอกผิวใบและล้างทำความสะอาดจนเมือกสีเหลืองหมด ทิ้งไว้เพื่อผึ่งลมให้แห้ง ที่อุณหภูมิประมาณ 28+2 องศาเซลเซียส นำว่านหางจระเข้มาตัดเป็นชิ้นขนาดความหนาเท่า ๆ กัน ชั่งน้ำหนักก่อนทำให้แห้ง นำว่านหางจระเข้ใส่ในถาดอะลูมิเนียม แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Christ, Gamma 2-16LSC) ภายใต้สภาวะความดัน 0.03 มิลลิบาร์ และอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาทำการสกัดสารสกัดจากว่านหางจระเข้ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 7 วัน ชั่งตัวอย่างว่านหางจระเข้บดหยาบ 500 กรัม แช่ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร เมื่อครบกำหนดระยะเวลา นำไปประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง rotary evaporator จนได้สารสกัดหยาบนำมาศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่อไป

1.2 การศึกษาฤทธิ์ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญ โดยวิธี DPPH (2,2′-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging assay (Sillapsrussamee, Jaricksakulchai & Sawangsaleerat, 2022)

การเตรียมสารละลายสารสกัดว่านหางจระเข้แบบแช่เยือกแข็ง

นำสารสกัดหยาบว่านหางจระเข้มาเจือจางให้มีความเข้มข้นจำนวน 4 ความเข้มข้น ช่วง 6-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 6 x 10-5 M

ชั่งสาร DPPH 2.4 มิลลิกรัมทำการละลายใน 95 เปอร์เซ็นต์เอทานอล ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในภาชนะขวดสีชา

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

นำสารละลายสารสกัดว่านหางจระเข้แต่ละความเข้มข้นปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย DPPH 2 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น SPECORD PLUS ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร บันทึกผลและหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำมาคำนวณหา % DPPH radical scavenging

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = [(A0-As)/A0] \times 100 \quad (1)$$

โดย A0 = ค่าการดูดกลืนแสงตั้งต้น และ
As = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมสารตัวอย่าง

คำนวณหาค่า IC_{50} ได้จากกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด (X) และ % DPPH radical scavenging (Y) โดยเทียบค่า IC_{50}

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง ที่มีความคงตัว

2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

พัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบครีมประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ส่วนประกอบที่ละลายในน้ำมัน Glyceryl

Stearate (and) PEG-100 Stearate Ceteary alcohol Stearyl alcohol และน้ำมันขาว ส่วนประกอบที่ละลายในน้ำ DI water Xanthan gum และ Propylene glycol ให้ความร้อนทั้ง 2 ส่วนด้วยเครื่องหลอม รุ่น WT100-1 ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ 70–75 องศาเซลเซียส และปั่นผสม ด้วยเครื่องปั่น รุ่น SR30 ทั้ง 2 ส่วนที่ความเร็ว 8,000 rpm เป็นเวลา 4-5 นาที เข้าด้วยกันจนได้เป็นเนื้อครีม จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 45-50 องศาเซลเซียส เตรียมผลิตภัณฑ์ 2 ตำรับ สูตรที่ 1 สูตรผลิตภัณฑ์พื้นฐาน (ไม่มีสารสกัด) สูตรที่ 2 สูตรผลิตภัณฑ์ (มีสารสกัด) เติมสารสกัดว่านหางจระเข้ลงในผลิตภัณฑ์ครีมที่ความเข้มข้นที่ได้จากความเข้มข้นที่ศึกษาจากฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

2.2 การศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง เมื่อพัฒนาตำรับจนได้ผลิตภัณฑ์ครีมศึกษาตัวอย่างทั้ง 2 ตำรับ ตำรับละ 200 กรัม โดยบรรจุลงในภาชนะกระปุกแก้วปิดฝาให้สนิท นำไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 สภาวะ (สัมผัสแสงและไม่สัมผัสแสง (ห่อหุ้มด้วยวัสดุทึบแสง)) ตั้งไว้จนครบ 8 สัปดาห์ประเมินความคงตัวทางกายภาพและทางเคมีของสูตรตำรับที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ ลักษณะเนื้อ ความหนืด สี กลิ่น และค่าความเป็นกรด-ด่าง บันทึกอุณหภูมิห้องขณะประเมินความคงตัว

3. การศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งต่อผิวหนังผู้สูงอายุ ในจังหวัดปทุมธานี

3.1 การศึกษาความปลอดภัยของลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งด้วยวิธี Closed patch test

บริเวณทดสอบ คือ ท้องแขนด้านล่างที่ทำความสะอาดผิวซับให้แห้ง ทาตัวอย่าง 2 มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร กำหนดตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งของน้ำ และผลิตภัณฑ์พื้นฐาน (ไม่มีสารสกัด) และผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้ ตามลำดับ ปิดทับด้วยกระดาษกรองและพลาสเตอร์กันน้ำ เมื่อครบกำหนดเวลา 48 ชั่วโมง ประเมินรอยแดงผิวหนังหลังจากเปิดแผ่นทดสอบภายใน 30 นาที ตามเกณฑ์ Cosmetic Toiletry and Fragrance Association--CTFA อ่านผลซ้ำอีกครั้งหลังจาก 48 และ 72 ชั่วโมง คำนวณค่าดัชนีการระคายเคือง (Mean Irritation Index--M.I.I) ที่ได้จากผลรวมคะแนนทั้งหมด (ผื่นแดงและอาการบวมน้ำ) ต่อจำนวนอาสาสมัครทั้งหมดที่ทำการทดสอบ

3.2 การศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์ครีมที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งต่อผิวหนังผู้สูงอายุ

ชี้แจงรายละเอียดการทดสอบ การสุ่มตัวอย่างเพื่อเข้ากลุ่มการรักษา 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุมให้ใช้ผลิตภัณฑ์พื้นฐาน (ไม่มีสารสกัด) และกลุ่มทดลองให้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้ ทำโดยวิธีการจับฉลาก หากอาสาสมัครจับได้หมายเลขคี่ คือ กลุ่มควบคุม และหากจับฉลากได้หมายเลขคู่ คือ กลุ่มทดลองที่ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้ โดยให้อาสาสมัครใช้ผลิตภัณฑ์ ปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร บริเวณท้องแขนด้านในส่วนล่าง จำนวน 2 ครั้งต่อวัน เช้าและเย็น หลังอาบน้ำ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

การประเมินค่าดัชนีสุขภาพของผิวหนัง ได้แก่ ค่าความชุ่มชื้นผิวหนังด้วยเครื่อง Corneometer®MPA 6 และค่าการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนังด้วยเครื่อง Tewameter®MPA 6 อาสาสมัครแต่ละคนจะได้รับการประเมินและติดตาม โดยต้องประเมินครั้งแรกเป็นค่าก่อนเข้าร่วมการวิจัย และประเมินผลหลังใช้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ จังหวัดปทุมธานีทั้งชายและหญิงที่มี (อายุตั้งแต่ 60 ปีเป็นต้นไป)

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ ผู้สูงอายุที่พักอาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ที่มีผิวแห้ง (วัดด้วยเครื่อง Corneometer®MPA มีค่าต่ำกว่า 30) ทั้งเพศชายและเพศหญิง จำนวนกลุ่มละ 30 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 30 คน และกลุ่มทดลอง จำนวน 30 คน

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป G*Power Version 3.0.10 อำนาจทดสอบ (power analysis) จากค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้

อย่างน้อยที่สุดที่ระดับ 80% กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 และกำหนดขนาดอิทธิพลในระดับกลาง (medium effect size) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 30 คน ดังนั้นใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยมีเกณฑ์ดังนี้ เกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) ผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปทั้งเพศชาย และเพศหญิงที่มีปัญหาผิวแห้ง และผู้ที่ยินยอมเข้าร่วมโครงการ เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria) คือ ผู้ที่มีบาดแผลบริเวณผิวหนังที่ต้องการทดสอบ และผู้ที่รับยาแก้แพ้ช่วงเวลาก่อนเข้าร่วมโครงการ 4 สัปดาห์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย มี 2 ส่วน คือ ผลิตภัณฑ์ครีมที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้ และเครื่องมือประเมินค่าดัชนีสุขภาพของผิวหนัง คือ ค่าความชุ่มชื้นผิวหนัง และค่าการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนังของอาสาสมัครก่อนและหลังใช้ผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. ผู้วิจัยจะนำผลิตภัณฑ์ครีมที่มีส่วนประกอบผ่านการทดสอบความปลอดภัยเบื้องต้น และมีการตรวจสอบความปลอดภัยข้อมูลจาก MSDS--Material Safety Data Sheet เกรดเป็นไปตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์กลุ่มเครื่องสำอาง

2. เครื่องมือประเมินค่าดัชนีสุขภาพของผิวหนัง คือ ค่าความชุ่มชื้นผิวหนัง และค่าการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนังมีการสอบเทียบมาตรฐานที่ค่าความแม่นยำ + 0.5%

การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ COA No. 0029/2566 (REC No. 0029/2566) รับรองวันที่ 8 กันยายน 2566

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยขอหนังสืออนุญาตถึงชุมชนพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้เพื่อชี้แจงถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการศึกษาและเก็บข้อมูล

2. หลังจากได้รับอนุญาตแล้วผู้วิจัยเข้าพบผู้ดูแลชุมชนในพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง

3. เก็บข้อมูลตามขั้นตอนและตรวจสอบความสมบูรณ์ถูกต้องแล้วนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) เปรียบเทียบค่าดัชนีสุขภาพของผิวหนัง คือ ค่าความชุ่มชื้นผิวหนัง และค่าการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนังก่อนใช้และหลังใช้ผลิตภัณฑ์ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติ Independent samples t-test

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

1.1 ผลการเตรียมสารสกัดว่านหางจระเข้แบบแช่เยือกแข็ง

ได้สารสกัดว่านหางจระเข้แบบแช่เยือกแข็ง ทีมีลักษณะผงแห้งสีเขียวอ่อน ด้วยวิธีการแช่สกัด (maceration) โดยได้สารสกัดหยาบ (crude extract) ที่มีลักษณะของเหลวข้นสีเขียวอ่อน และมีความวาว

1.2 ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสำคัญโดยวิธี DPPH radical scavenging assay

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้น 6–200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่า สารสกัดว่านหางจระเข้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ

16.43–66.22 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 143.92 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในการทดลองครั้งนี้เลือกสารสกัดว่านหางจระเข้ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งต่อไป

2. ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง ที่มีความคงตัว

2.1 ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันมีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์โลชันตำรับพื้นฐาน พบว่า ตำรับมีลักษณะเนื้อเนียนละเอียด ค่อนข้างหนืด สีขาวขุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่เกิดการแยก จึงถูกนำไปพัฒนาต่อ โดยตั้งตำรับที่มีปริมาณสารสกัดว่านหางจระเข้ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 และประเมินลักษณะทางกายภาพ พบว่า ตำรับที่ 2 (สารสำคัญร้อยละ 2) มีลักษณะเนื้อเนียนละเอียด ค่อนข้างหนืด สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นว่านหางจระเข้ ไม่เกิดการแยกชั้น

2.2 การศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์โลชันมีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง

จากการทดสอบความคงตัวของสูตรตำรับทั้ง 2 ตำรับที่สภาวะอุณหภูมิห้องทั้งแบบสัมผัสแสงและไม่สัมผัสแสง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 32.8 องศาเซลเซียส) พบว่า ทั้ง 2 ตำรับ สภาวะสัมผัสแสง และไม่สัมผัสแสง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี – กายภาพ (ด้านลักษณะเนื้อผลิตภัณฑ์ การแยกชั้น สี กลิ่น ความข้นหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง) ด้วยการประเมินด้วยการสังเกตุจากผู้วิจัย

3. ผลการศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งต่อผิวหนังผู้สูงอายุ ในจังหวัดปทุมธานี

3.1 การศึกษาความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งด้วยวิธี Closed patch test

จากผลการศึกษาพบว่า ทั้งสูตรที่ 1 พื้นฐาน (ไม่มีสารสกัด) และสูตรที่ 2 (มีสารสกัด) ไม่พบลักษณะการระคายเคือง มีค่าเฉลี่ยดัชนีความระคายเคือง เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.20 สรุปได้ว่าทั้ง 2 สูตรไม่ระคายเคือง

3.2 ผลการศึกษาผลการใช้ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งแรงต่อผิวหนังผู้สูงอายุ

3.2.1 ผลการศึกษาค่าความชุ่มชื้นผิวหนังผู้สูงอายุ

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยชุ่มชื้นผิวหนังก่อนใช้ผลิตภัณฑ์ในผู้สูงอายุ ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิวของกลุ่มควบคุม เท่ากับ 21.83±0.75 และค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของกลุ่มทดลอง: สูตรที่ 2 เท่ากับ 22.57±1.20 ดังแสดงในตาราง 1

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิวหนังหลังใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้สูงอายุ ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิวหนังของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง สูตรที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิวหนังของกลุ่มควบคุม เท่ากับ 22.75±0.89 และค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นของกลุ่มทดลอง สูตรที่ 2 เท่ากับ 34.24±0.93 ดังแสดงในตาราง 2

1.2 การศึกษาค่าการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุ (transepidermal water loss)

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังของผู้สูงอายุ (transepidermal water loss) ก่อนใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้สูงอายุระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังของผู้สูงอายุ ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จากการประเมินด้วยเครื่องมือ โดยค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังของกลุ่มควบคุม เท่ากับ 12.75±0.09 และค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังของกลุ่มทดลอง สูตรที่ 2 เท่ากับ 13.98±0.13 ดังแสดงในตาราง 3

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังหลังใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้สูงอายุ ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง สูตรที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุของกลุ่มควบคุมเท่ากับ 13.21±0.15 และค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุของกลุ่มทดลอง สูตรที่ 2 เท่ากับ 6.82±0.21 ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 1

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิวหนังผู้สูงอายุระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองก่อนใช้ผลิตภัณฑ์ ด้วยสถิติ Independent sample t-test

กลุ่ม	n	Mean	SD	t	p-value
กลุ่มควบคุม: สูตรที่ 1 (ไม่มีสารสกัด)	30	21.83	0.75	2.31	.565
กลุ่มทดลอง: สูตรที่ 2 (สารสกัด 2%)	30	22.57	1.20		

หมายเหตุ: *p-value<.05

ตาราง 2

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความชุ่มชื้นผิวหนังผู้สูงอายุระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังใช้ผลิตภัณฑ์ ด้วยสถิติ Independent sample t-test

กลุ่ม	n	Mean	SD	t	p-value
กลุ่มควบคุม: สูตรที่ 1 (ไม่มีสารสกัด)	30	22.75	0.89	3.98	.012*
กลุ่มทดลอง: สูตรที่ 2 (สารสกัด 2%)	30	34.24	0.93		

หมายเหตุ: *p-value<.05

ตาราง 3

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองก่อนใช้ผลิตภัณฑ์ ด้วยสถิติ Independent sample t-test

กลุ่ม	n	Mean	SD	t	p-value
กลุ่มควบคุม: สูตรที่ 1 (ไม่มีสารสกัด)	30	12.75	0.09	4.09	.432
กลุ่มทดลอง: สูตรที่ 2 (สารสกัด 2%)	30	13.98	0.13		

หมายเหตุ: *p-value<.05

ตาราง 4

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังใช้ผลิตภัณฑ์ ด้วยสถิติ Independent sample t-test

กลุ่ม	n	Mean	SD	t	p-value
กลุ่มควบคุม: สูตรที่ 1 (ไม่มีสารสกัด)	30	13.21	0.15	2.31	.001*
กลุ่มทดลอง: สูตรที่ 2 (สารสกัด 2%)	30	6.82	0.21		

หมายเหตุ: *p-value<.05

การอภิปรายผล

จากสมมติฐานข้อที่ 1 สารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่า สารสกัดว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 16.43–66.22 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 143.92 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้เนื่องจากสารสกัดว่านหางจระเข้มีส่วนประกอบของสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพของว่านหางจระเข้ คือ polysaccharide และมีการออกฤทธิ์ลดการอักเสบซึ่ง เป็นสารกลุ่ม glycoprotein (Tangjitjareonkun & Supabphol, 2015) แต่สลายตัวได้ง่ายทางกลุ่มวิจัยจึงทำการทำให้แห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็งเพื่อคงคุณสมบัติของการออกฤทธิ์ จึงส่งผลให้สารสกัดว่านหางจระเข้ที่ทำให้แห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hosseinimehr et al. (2010) ที่ทำการพัฒนาให้อยู่ในตำรับครีม พบว่า ประสิทธิภาพของครีมที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าครีม silver sulfadiazine และมีประสิทธิภาพการลดขนาดของบาดแผลให้เล็กลงอย่างชัดเจน

จากสมมติฐานข้อที่ 2 ว่า ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีความคงตัว พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ก่อนศึกษาความคงตัวและหลังศึกษาความคงตัวเป็นระยะ 8 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกัน โดยตำรับมีลักษณะเนื้อเนียนละเอียด ค่อนข้างหนืด สีขาวขุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่เกิดการแยก จึงถูกนำไปพัฒนาต่อ โดยตั้งตำรับที่มีปริมาณสารสกัดว่านหางจระเข้ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 และประเมินลักษณะทางกายภาพ พบว่า ตำรับที่ 2 (สารสำคัญร้อยละ 2) มีลักษณะเนื้อเนียนละเอียด ค่อนข้างหนืด สีเหลืองอ่อน มีกลิ่นว่านหางจระเข้ ไม่เกิดการแยกชั้น สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้เนื่องจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตำรับมีการใช้สารเพิ่มความข้นหนืด Carbopol 940 ที่มีคุณสมบัติทนสภาวะความเป็นกรดและด่างได้ดีจึงส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Estabragh (2023) ที่ศึกษาการใช้สารเพิ่มความข้นหนืดในการเพิ่มความคงตัวของตำรับผลิตภัณฑ์ซึ่งพบว่า สารเพิ่มความข้นหนืด Carbopol 940 สามารถเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ได้ดี

จากสมมติฐานข้อที่ 3 ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งมีผลต่อสุขภาพของผิวหนังผู้สูงอายุ พบว่า ทั้ง 2 ตำรับ ไม่พบลักษณะการระคายเคือง และมีผลต่อสุขภาพผิวหนังผู้สูงอายุด้านการเพิ่มความชุ่มชื้น ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็ง พบว่า สามารถเพิ่มความชุ่มชื้นแก่ผิวหนังผู้สูงอายุหลังใช้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และด้านการสูญเสียน้ำจากผิวหนังผู้สูงอายุ พบว่า ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดจากว่านหางจระเข้แช่เยือกแข็งสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเกราะป้องกันผิวหนังได้ดี จึงสามารถลดการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนังได้ เนื่องจากเกราะป้องกันผิวหนังทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนัง แต่ด้วยการรบกวนจากปัจจัยภายในและภายนอกที่ทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชัน ทำให้การทำงานของเซลล์ที่อยู่บริเวณเกราะผิวหนังถูกทำลายทำให้ค่าการสูญเสียน้ำออกจากผิวหนังเพิ่มขึ้น หากลดการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน ด้วยสารต้านอนุมูลอิสระส่งผลให้เกราะป้องกันผิวหนังสามารถทำงานได้ดี และช่วยป้องกัน

การสูญเสียน้ำออกจากผิวหนัง และสามารถกักเก็บความชุ่มชื้นได้ดี (Djawad & Anggraini, 2021) สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้เนื่องจากสารสกัดว่านหางจระเข้มีสารกลุ่ม growth factor ช่วยกระตุ้นกระบวนการสมานแผล (wound healing inhibitor) และสารสำคัญกลุ่มน้ำตาลที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของเซลล์และต้านอักเสบได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hajheydari et al. (2014) ที่ศึกษาของเจลเฉพาะที่ว่านหางจระเข้ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ประเมินคะแนนรอยโรคอักเสบพบว่า มีประสิทธิภาพการฟื้นฟูผิวได้ดี

ข้อเสนอแนะ

1. ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้ เป็นแนวทางส่งเสริมสุขภาพช่วยลดภาวะผิวแห้งในกลุ่มผู้สูงอายุ โดยอาจทำการศึกษาขยายผลในกลุ่มอื่นเช่นกลุ่มคนที่มีภาวะผิวแห้งมากจากโรคอื่น ๆ

2. ผลิตภัณฑ์โลชันที่มีส่วนประกอบของสารสกัดว่านหางจระเข้สามารถเป็นแนวทางในการส่งเสริมนโยบายการใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติในกลุ่มผลิตภัณฑ์สุขภาพเป็นการเพิ่มมูลค่าต่อยอดเชิงพาณิชย์ต่อไป

References

Djawad, K., & Anggraini, D. (2021). The effectiveness of Oral Superoxide Dismutase (SOD) on total antioxidant status, Transepidermal Water Loss (TEWL) and sebum concentration in photo aging skin. *Medical science of Ukraine, 17*(1), 47-56. https://doi.org/10.32345/2664-4738.1.2021.06

Dobos, G., Trojahn, C., Lichterfeld, A., D Alessandro, B., Patwardhan, S. V., Canfield, D., Blume-Peytavi, U., & Kottner, J. (2015). Quantifying dyspigmentation in facial skin ageing: An explorative study. *International Journal of Cosmetic Science, 37*(5), 542–549. https://doi.org/10.1111/ics.12233

Hajheydari, Z., Saeedi, M., Morteza-Semnani, K., & Soltani, A. (2014). Effect of Aloe vera topical gel combined with tretinoin in treatment of mild and moderate acne vulgaris: A randomized, double-blind, prospective trial. *The Journal of Dermatological Treatment, 25*(2), 123–129. https://doi.org/10.3109/09546634.2013.768328

Hosseinimehr, S. J., Khorasani, G., Azadbakht, M., Zamani, P., Ghasemi, M., & Ahmadi, A. (2010). Effect of aloe cream versus silver sulfadiazine for healing burn wounds in rats. *Acta Dermatovenerologica Croatica: ADC, 18*(1), 2–7. PMID: 20361881

García, M. H., Juárez, J. A. T., & Jiménez, A. D. (2019). Importance and properties of aloe vera in the production of hair shampoo. *The Journal of Middle East and North Africa Sciences, 5*(7), 18-23. https://bit.ly/3O1fKBe

Gkogkolou, P., & Böhm, M. (2012). Advanced glycation end products: Key players in skin aging?. *Dermato-Endocrinology, 4*(3), 259–270. https://doi.org/10.4161/derm.22028

Gomes-Rochette, N. F., Da Silveira Vasconcelos, M., Nabavi, S. M., Mota, E. F., Nunes-Pinheiro, D. C., Daglia, M., & De Melo, D. F. (2016). Fruit as potent natural antioxidants and their biological effects. *Current Pharmaceutical Biotechnology, 17*(11), 986–993. https://doi.org/10.2174/1389201017666160425115401

Kancheva, V. D., & Kasaikina, O. T. (2013). Bio-antioxidants - a chemical base of their antioxidant activity and beneficial effect on human health. *Current Medicinal Chemistry, 20*(37), 4784–4805. https://doi.org/10.2174/09298673113209990161

Katta, R., Sanchez, A., & Tantry, E. (2020). An anti-wrinkle diet: Nutritional strategies to combat oxidation, inflammation and glycation. *Skin therapy letter, 25*(2), 3–7. PMID: 32196147

K Green, A. C., Hughes, M. C., McBride, P., & Fourtanier, A. (2011). Factors associated with premature skin aging (photoaging) before the age of 55: A population-based study. *Dermatology (Basel, Switzerland), 222*(1), 74–80. https://doi.org/10.1159/000322623

Krutmann, J., Bouloc, A., Sore, G., Bernard, B. A., & Passeron, T. (2017). The skin aging exposome. *Journal of Dermatological Science, 85*(3), 152–161. https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2016.09.015

Lee, C. M., Watson, R. E. B., & Kleyn, C. E. (2020). The impact of perceived stress on skin ageing. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology: JEADV, 34*(1), 54–58. https://doi.org/10.1111/jdv.15865

Leung, M. H. Y., Tong, X., Bastien, P., Guinot, F., Tenenhaus, A., Appenzeller, B. M. R., Betts, R. J., Mezzache, S., Li, J., Bourokba, N., Breton, L., Clavaud, C., & Lee, P. K. H. (2020). Changes of the human skin microbiota upon chronic exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon pollutants. *Microbiome, 8*(1), 100. https://doi.org/10.1186/s40168-020-00874-1

Lim, K. M. (2021). Skin epidermis and barrier function. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(6), 3035. https://doi.org/10.3390/ijms22063035

Naylor, E. C., Watson, R. E., & Sherratt, M. J. (2011). Molecular aspects of skin ageing. *Maturitas, 69*(3), 249–256. https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.04.011

Raeisi Estabragh, M. A., Sajadi Bami, M., Dehghannoudeh, G., Noudeh, Y. D., & Moghimipour, E. (2023). Cellulose derivatives and natural gums as gelling agents for preparation of emulgel-based dosage forms: A brief review. *International Journal of Biological Macromolecules, 241*, 124538. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124538

Schikowski, T., & Hüls, A. (2020). Air pollution and skin aging. *Current Environmental Health Reports, 7*(1), 58–64. https://doi.org/10.1007/s40572-020-00262-9

Sawaddichai, C., Im-iam, S., Saensanoh, S., Inthawattana, W., & Chaiyamongkol, K. (2018). *Aloe vera*. *The Journal of Prapokklao Hospital Clinical Medical Education Center, 35*(3), 324-328. (in Thai)

Sillaparassamee, R., Jaricksakulchai, J., & Sawangaleerat, R. (2022). Effect of organic agriculture wastes Sandoricum koetjape for health product development anti–oxidation to commercialization, Sa Kaeo Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 17*(1), 103-112. (in Thai)

Tangjitjareonkun, J., & Supabphol., R. (2015). Application of *Aloe vera* on wound healing. *Journal of Medicine and Health Sciences, 22*(3), 53-67. (in Thai)

การออกแบบและวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการหดตัวของชิ้นงานหล่ออินเวสต์เมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ Cast-Designer

Design and Analysis of Shrinkage Defect for an Investment Casting Piece by Cast-Designer Software

สุเมธิณี หูชัยภูมิ[1] และพัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์[1]
Sumethinee Hoochaiyaphum[1] and Patpimol Suwankan[1]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Received: June 4, 2024
Revised: August 1, 2024
Accepted: August 6, 2024

บทคัดย่อ

จากการตรวจสอบความบกพร่องของชิ้นงาน Body OTC Steady ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรซีเอ็นซีที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) พบว่า ปัญหาความบกพร่องของชิ้นงานส่วนใหญ่ คือ การเกิดโพรงหดตัวในกระบวนการแข็งตัวของโลหะเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อที่จะลดปัญหาความบกพร่องดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการลดปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน Body OTC Steady โดยการจำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Cast-Designer เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดความสูญเสียที่ไม่จำเป็น รวมไปถึงการช่วยวิเคราะห์แนวโน้มในการผลิตที่ทำได้อย่างแม่นยำ ซึ่งการจำลองพฤติกรรมการไหลแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่หนึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน กรณีที่สองศึกษาการออกแบบระบบป้อนเติมโลหะเหลวขึ้นใหม่ทั้งหมด 3 โมเดล จากผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่สองการออกแบบระบบป้อนเติมโลหะเหลวทำให้ชิ้นงานเกิดปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุดคือ มีทางวิ่ง (runner) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 อัน ทางเข้า ($gate_1$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 6 อัน และทางเข้า ($gate_2$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 อัน โดยพบข้อบกพร่องประเภทการหดตัวในระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ที่ 0.685 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมถึง 1.220 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: กระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ การหดตัว โปรแกรมแคสดีไซน์เนอร์ การจำลองการหล่อโลหะ

Abstract

From quality inspection of the defect of Body OTC Steady components, which are part of CNC machines manufactured by the investment casting process, it was found that the major issue is the occurrence of shrinkage porosity during the solidification of the metal alloy in the mold. To mitigate the problem, this research focuses on reducing the volume of shrinkage porosity in the Body OTC Steady components by simulating the casting process using Cast-Designer software. This aims to enhance efficiency, reduce unnecessary losses, and provide accurate production trend analysis. The flow behavior simulation is divided into two case studies: the first involves current conditions, while the second redesigns the gating system into three models. The study reveals that in the second case, the design of the gating system with the least shrinkage porosity volume includes two rectangular runners, six rectangular $gate_1$, and two square $gate_2$, resulting in a shrinkage porosity defect in the new model rate of 0.685%, which is lower than the current model by 1.220%.

Keywords: investment casting, shrinkage, cast-designer, casting simulation

บทนำ

การหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) เป็นเทคนิคการผลิตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อสร้างชิ้นส่วนโลหะที่ซับซ้อน ความแม่นยำสูงและผิวละเอียด (Cherdsak & Chanyut, 2004) โดยที่ในกระบวนการผลิตจะมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ทำให้ได้ชิ้นงานหล่อที่ดีที่สุด ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ รูปร่างของชิ้นงาน อุณหภูมิของโลหะเหลว (melt temperature) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (mold temperature) อุณหภูมิขณะเทหล่อ (pouring temperature) และความเร็วในการไหลของโลหะเหลว (velocity) โดยปัจจัยที่กล่าวมานั้นล้วนส่งผลต่อข้อบกพร่อง (defect) ของชิ้นงาน ความต้องการชิ้นงานหล่อที่มีความแม่นยำสูงยังเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการที่เข้มงวดของอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ โดยบริษัท พรีซิชั่น แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด เป็นผู้เชี่ยวชาญในการผลิตงานหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) ที่มีคุณภาพสูง ผลิตภัณฑ์มีตั้งแต่ชิ้นส่วนขนาดเล็กมากจนไปถึงชิ้นส่วนขนาดใหญ่และหนัก ซึ่งครอบคลุมอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตั้งแต่ภาคพื้นดินถึงบนฟ้า ในทุกกระบวนการผลิตจะพิจารณาการคำนวณวัสดุอย่างเหมาะสมเพื่อใช้วัสดุในการผลิตอย่างดี เหลือวัสดุเหลือใช้น้อยที่สุดและยังคงรักษาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปให้มีคุณภาพสูงและตรงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) ได้ให้ความสำคัญกับการรวมเทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เข้ากับอุตสาหกรรมการผลิตมากขึ้น โดยการจำลองจะเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) รวมทั้งการจำลองเหล่านี้ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถคาดการณ์และลดข้อบกพร่องของชิ้นงานหล่อให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยการใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์การไหลของโลหะมีความก้าวหน้าและแม่นยำสูงขึ้นส่งผลให้มีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจได้ดีขึ้น (Campbell, 2015) จากปัญหาการผลิตชิ้นงาน Body OTC Steady เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรซีเอ็นซี มักพบข้อบกพร่อง (defect) ที่อาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานได้จากขั้นตอนการเทหล่อโลหะ ยกตัวอย่างเช่น การเกิดโพรงอากาศ (gas porosity) รูพรุน (void) โลหะหลอมเหลวไม่เต็มแม่พิมพ์ (misrun) การเย็นตัวที่ไม่ประสานกัน (cold shut) การหดตัวของชิ้นงานหล่อ (shrinkage) เป็นต้น

โดยจากการศึกษาพบว่า ซอฟต์แวร์จำลองกระบวนการหล่อเป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและเพื่อให้ได้ระบบป้อนเติมโลหะเหลวที่

เหมาะสม เพื่อผลิตชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพ การศึกษานี้ใช้ AutoCAST-X ในการจำลองการหล่ออลูมิเนียมลิเธียม LM6 ที่มีรูปร่างซับซ้อนเพื่อลดข้อบกพร่องรูพรุนจากการหดตัว การหล่อด้วยรูล้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ไม่พบตำหนิที่ผิวชิ้นงานแต่พบรูพรุนจากการหดตัวภายใน มีการแก้ไขโดยการใส่ฉนวนหนา 10 มิลลิเมตร รอบรูล้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทำให้ไม่พบรูพรุนทั้งภายในและภายนอกหลังการหล่อ (Gajbhiye, Choudhari, Raut, Narkhede & Bhandarkar, 2014) โดยอีกหนึ่งงานวิจัยที่มีรูปแบบในการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันอย่าง การศึกษาการจำลองกระบวนการแข็งตัวและการพยากรณ์รูพรุนจากการหดตัวในแบบหล่อสำหรับกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยทำการจำลองเพื่อวิเคราะห์กระบวนการแข็งตัวและพยากรณ์การเกิดรูพรุนจากการหดตัวในชิ้นส่วนที่หล่อด้วยอลูมิเนียมสำหรับกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยใช้โปรแกรม ProCAST ผลการจำลองกระบวนการแข็งตัวแสดงให้เห็นถึงการแข็งตัวทีละส่วนของชิ้นงานและพบแนวโน้มการเกิดปัญหาการเติมของเหลวไม่ทันและเกิดรูพรุน (Liu, Liao & Zuo, 2010) งานวิจัยที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่ง ผู้วิจัยได้ศึกษาการวิเคราะห์ทางความร้อนของกระบวนการหล่อสำหรับโลหะโดยใช้ด้วยโปรแกรม ANSYS เพื่อจำลองรูปแบบการแข็งตัว ผลการจำลองทำให้เข้าใจถึงลำดับการแข็งตัวภายในชิ้นงาน ทำให้ระบุจุดร้อนที่แข็งตัวทีหลังสุดได้ ดังนั้นงานวิจัยจึงแสดงประโยชน์ของการจำลองเชิงตัวเลขในการยกระดับกระบวนการการหล่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Sankalp, Sankalp, Jaiswal & Verma, 2019) ยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจอีกชิ้นหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับงานหล่อ คือ การศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขของกระบวนการเติมและการแข็งตัวของการหล่อท่อรวมไอดีอลูมิเนียมอัลลอยด์ A356 ด้วยแรงดันต่ำได้ดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ ProCAST โดยมีการปรับปรุงระบบทางเข้า (gating system) ให้เหมาะสมเพื่อกำจัดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ผลปรากฏว่า ระบบทางเข้าที่มีรูเทเพียงหนึ่งอันพบว่าการเติมเต็มไม่เสถียร เกิดการแข็งตัวไม่เป็นไปตามลำดับและพบโพรงหดตัว (shrinkage porosity) จำนวนมาก ได้มีการปรับปรุงระบบทางเข้า (gating system) โดยการเพิ่มทางวิ่ง (runner) หนึ่งอันและทางเข้า (ingate) สองอัน เวลาในการเติมเพิ่มจาก 4 วินาที เป็น 4.5 วินาที การเติมเต็มมีความเสถียรมากขึ้นแต่มีการแข็งตัวไม่เป็นไปตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ที่จุดร้อนของชิ้นงาน จึงได้มีการปรับปรุงระบบทางเข้า (gating system) อีกครั้ง โดยการเพิ่มรูล้น (riser) และทุ่นเย็น (chill) ทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพภายในที่ดีและไม่พบข้อบกพร่องใด ๆ (Jiang & Fan, 2014) งานวิจัยที่น่าสนใจอีกชิ้นหนึ่ง ผู้วิจัยได้ศึกษาการจำลองการผลิต Steel Flywheel ที่พัฒนาขึ้นใหม่เพื่อเป็นต้นแบบในการหล่อทราย ผลการจำลองสามารถนำมาใช้คาดการณ์ข้อบกพร่องในการหล่อ เช่น Shrinkage Porosity Blow Holes และ Cold Shut โดยใช้ซอฟต์แวร์ ADSTEFAN ในการจำลอง ผลของการจำลองลักษณะการไหล (fluid flow) ของแบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้ว่าโลหะเหลวเติมเต็มได้อย่างราบเรียบสม่ำเสมอ ผลการจำลองการแข็งตัว (solidification) เริ่มต้นการแข็งตัวจากส่วนที่บางที่สุดไปยังส่วนที่หนาที่สุดและสิ้นสุดที่รูล้น โดยแบบจำลองที่มีการปรับแก้ไขมีแนวโน้มว่าจะเกิดข้อบกพร่องน้อยกว่าแบบจำลองต้นแบบและผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) พบว่าการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูล้นจาก 50 เป็น 60 มิลลิเมตร มีการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ลดลงอย่างมากถึง 98 เปอร์เซ็นต์ (Navee & Sunil, 2014) งานวิจัยที่น่าสนใจอีกชิ้นหนึ่ง คือ การศึกษาการจำลองตัวเลขของพารามิเตอร์ของระบบทางเข้า (gating system) สำหรับการหล่อโลหะแมกนีเซียม เพื่อวิเคราะห์ผลของการออกแบบระบบทางเข้า (gating system) ที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบทางเข้า (gating system) ทั้งสี่อย่าง คือ ความสูงของทางเข้า ความกว้างของทางเข้า ความสูงของทางวิ่ง และความกว้างของทางวิ่ง โดยจำลองกระบวนการเติมเต็มและการแข็งตัวผ่านซอฟต์แวร์ MAGMASOFT และผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพอใจด้วยผลผลิตที่สูงและปริมาตรโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ลดลง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการหล่อ ได้แก่ ความสูงของทางวิ่ง (Zhizhong, Henry & Xiang, 2008) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจอีกเรื่องหนึ่ง งานวิจัยเรื่องนี้เกี่ยวกับการเติมเต็มเปลือกเซรามิก จุดมุ่งหมาย คือ การเปรียบเทียบระบบทางเข้า (gating system) ที่มีการเติมเต็มจากด้านบนและการเติมเต็มจากด้านล่างว่ามีผลอย่างไรต่อชิ้นงานด้วยการจำลองจากซอฟต์แวร์ ProCAST ผลการจำลองพบว่าการเติมเต็มจากด้านล่างขึ้นด้านบนมีการเติมเต็มที่สม่ำเสมอและราบเรียบกว่าการเติมเต็มจากด้านบนลงด้านล่าง (Ondrej &

Ales, 2019) งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบระบบป้อนเติมโลหะเหลวที่น่าสนใจได้แก่ การวิเคราะห์ระบบทางเข้าของชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมกรณีศึกษาชิ้นงานรูปทั่ง งานวิจัยนี้ศึกษารูปร่างลักษณะทางเข้าที่มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว โดยใช้โปรแกรม Cast-Designer ในการจำลองพฤติกรรมในงานหล่อ พบว่า ทางเข้าสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีรูปทรงแบนและทางเข้าสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีรูปทรงป้อมทำให้ชิ้นงานมีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวน้อย (Kantithat, Nuttaporn & Sumethinee, 2020) อีกหนึ่งงานวิจัยที่มีรูปแบบในการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันอย่าง การศึกษาตัวแปรในกระบวนการผลิตสายพานตีนตะขาบด้วยโปรแกรม Cast-Designer สำหรับแบบหล่ออินเวสต์เมนต์เพื่อลดการหดตัว ศึกษาการจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลวสำหรับขึ้นรูปชิ้นส่วนสายพานตีนตะขาบที่มีลักษณะเฉพาะ เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดความสูญเสียที่ไม่จำเป็น รวมไปถึงการช่วยวิเคราะห์แนวโน้มในการผลิตที่ทำได้อย่างแม่นยำ (Swatdisan, Wongseedakaew & Suwankan, 2023) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจอีกเรื่องหนึ่งวิจัย งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ในแม่พิมพ์งานหล่ออินเวสต์เมนต์ ศึกษาการออกแบบชุดแม่พิมพ์สำหรับชิ้นงานตะขอ 3 แบบ โดยแม่พิมพ์เป็นแบบมีทางเข้าของโลหะเหลวทางเดียว มีการจัดวางเรียงชิ้นงานเป็นมุมเอียงลงกับระนาบแนวนอน 30 45 และ 60 องศา โดยใช้โปรแกรม Cast-Designer (Patpimol, Nuttaphong & Phimraphas, 2022) งานวิจัยที่น่าสนใจอีกเรื่อง ได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและปรับปรุงระบบทางเข้าและจ่ายโลหะเหลวพบว่า พื้นที่หน้าตัดของทางเข้าที่เหมาะสม คือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลียมผืนผ้า และสี่เหลี่ยมคางหมู (Nimbulkar & Dalu, 2014)

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาการออกแบบระบบทางเข้า (gating system) สำหรับชิ้นงานด้วยกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) โดยจะกล่าวถึงวิธีการแก้ปัญหาการเกิดข้อบกพร่อง ได้แก่ การหดตัวของชิ้นงานหล่อ (shrinkage porosity) และชิ้นงานไม่สมบูรณ์ในการหล่อที่ผลิตจากวัสดุเหล็กเกรด AISI 4140 โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเติมเต็มของโลหะเหลวในแม่พิมพ์ ขอบเขตการศึกษา คือ ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของการหล่อ เช่น ลดการเกิดการหดตัว (shrinkage porosity) และลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการหล่อ โดยมีการศึกษาปริมาตรการเกิดการหดตัว (shrinkage porosity) เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นงานหล่อคุณภาพสูง

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานหล่อสามารถลดข้อบกพร่องของชิ้นงานจากการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) และลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการหล่อ

สมมติฐานการวิจัย

ตำแหน่งของทางเข้าของโลหะเหลวมีผลต่อการไหลที่ไม่ราบเรียบ ซึ่งเป็นที่มาของข้อบกพร่องตามดและรูพรุนในชิ้นงานหล่อ

วิธีการดำเนินการวิจัย

กระบวนการหล่อโลหะ คือ การขึ้นรูปชิ้นงานจากโลหะเหลวโดยการเทโลหะเหลวใส่ในแม่พิมพ์ (Groover, 2007) ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่สำคัญ คือ รูเท (sprue) ทางวิ่ง (runner) ทางเข้า (gate) รูล้น (riser) ตามลำดับ ซึ่งการออกแบบส่วนประกอบเหล่านี้อาศัยทฤษฎีพื้นฐานของกลศาสตร์ของไหล (Cengel & Cimbala, 2006) ในปัจจุบันโปรแกรม Cast-Designer เป็นโปรแกรมหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อจำลองกระบวนการการหล่อโลหะโดยเฉพาะ ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

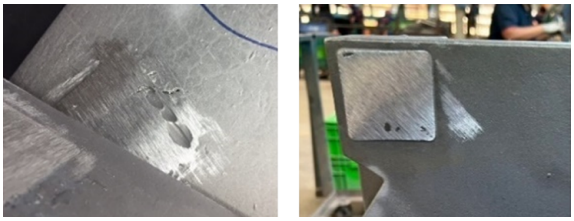
1. ศึกษาปัญหาจากระบบป้อนเติมรูปแบบเดิม

จากการตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการหล่อขึ้นรูปโดยบริษัท พรีซิชั่น แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด พบว่า หลังจากการเทหล่อขึ้นรูปชิ้นงานสำเร็จแล้ว ชิ้นงานส่วนใหญ่จะยุบตัวและมีข้อบกพร่องภายนอก ดังภาพ 1 จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่า โพรงหดตัวที่เกิดขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากตำแหน่งทางเข้าของโลหะเหลวไม่เหมาะสมทำให้

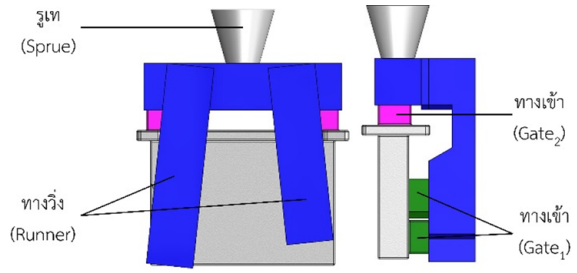
โลหะเหลวไม่สามารถไหลเพื่อไล่อากาศออกจากแม่พิมพ์ได้อย่างราบรื่น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยจึงได้มีการนำโปรแกรม Cast-Designer มาช่วยในการจำลองพฤติกรรมงานหล่อเพื่อทำนายลักษณะการเกิดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยจะพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากลักษณะการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ทางผู้วิจัยจึงจำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานดังกล่าวโดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่หนึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน กรณีที่สองศึกษาออกแบบการจำลองสถานการณ์ระบบป้อนเติมโลหะเหลวขึ้นรูปแบบใหม่ (new model)

โดยระบบป้อนเติมโลหะเหลวรูปแบบเดิมที่เกิดความบกพร่องจะประกอบไปด้วย รูเท 1 อัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 95 มิลลิเมตร สูง 80 มิลลิเมตร ทางวิ่ง (runner) 2 อัน หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 70x70 มิลลิเมตร ทางเข้า ($gate_1$) 2 อัน และทางเข้า ($gate_2$) 2 อัน หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 50x50 มิลลิเมตร แบบจำลองสามมิติของระบบป้อนเติมโลหะเหลวรูปแบบเดิม ดังแสดงภาพ 2

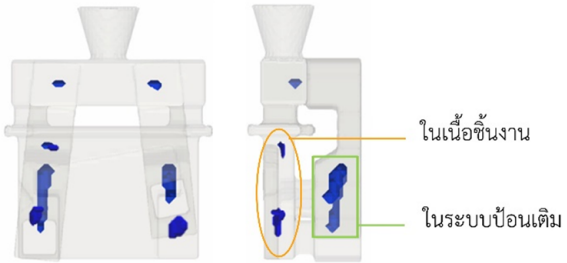
ซึ่งในการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ปรากฏว่าชิ้นงานมีการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) อยู่ที่ 1.905 เปอร์เซ็นต์ และมีตำแหน่งที่เกิดโพรงหดตัวที่บริเวณเนื้อชิ้นงานและบริเวณระบบป้อนเติม ดังภาพ 3 การพิจารณาในเงื่อนไขนี้จะสังเกตบริเวณที่มีการเกิดโพรงหดตัว ซึ่งผลการจำลองพบว่า ตำแหน่งการเกิดโพรงหดตัวในโปรแกรมจำลองเกิดโพรงหดตัวในเนื้อชิ้นงานและทางวิ่ง (runner) ซึ่งทำให้เนื้อชิ้นงานบริเวณทางเข้า ($gate_1$) มีโลหะเหลวไม่เพียงพอสำหรับการเติมเต็ม จึงทำให้เกิดเป็นโพรงภายหลังการเย็นตัวเพิ่มขึ้นได้ซึ่งสอดคล้องกับผลการเทจริงข้างต้น



ภาพ 1 ข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว



ภาพ 2 แบบจำลองระบบป้อนเติมโลหะเหลวของระบบป้อนเติมรูปแบบเดิม



ภาพ 3 ผลการจำลองลักษณะการเกิดโพรงหดตัวของระบบป้อนเติมรูปแบบเดิม

2. ขั้นตอนการออกแบบระบบป้อนเติมโลหะเหลว

การจำลองเพื่อศึกษากระบวนการเทหล่อโลหะเหลวมีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานหล่อจำนวนมาก การทดลองนี้ถูกกำหนดอุณหภูมิเทหล่อโลหะเหลว 1700 องศาเซลเซียส มีวัสดุที่ใช้ในการหล่อเป็น AISI4140 และกำหนดตัวแปร (variable) ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานประเภทการหดตัว การคำนวณหาเวลาในการเทนั้น (Narongsak, 2019) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 เวลาในการเทหล่อ (t)

$$t = K_1\sqrt{W} \qquad (1)$$

โดย t คือ เวลาในการเท หน่วย วินาที

W คือ น้ำหนักของชิ้นงาน หน่วย กิโลกรัม

K_1 = 2.0 สำหรับงานที่มีหน้าตัดหนา ๆ

แทนค่าในสมการที่ 1 $t = 2\sqrt{15.95}$

$= 7.987$ sec

และสมการที่ 2 คือ ความเร็วในการไหลของโลหะเหลว (v)

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

โดย v คือ ความเร็วในการไหล หน่วย เมตรต่อวินาที
g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง หน่วย เมตรต่อวินาทีกำลังสอง
h คือ ความสูงของรูเท หน่วย มิลลิเมตร

และสมการที่ 3 คือ การคำนวนเพื่อออกแบบพื้นที่หน้าตัดรูเท

$$A_1 = \pi(r)^2 \quad (3)$$

โดย A_1 คือ พื้นที่หน้าตัดรูเท หน่วย ตารางมิลลิเมตร
r คือ รัศมีของรูเท หน่วย มิลลิเมตร

แทนค่า $A_1 = \pi(r)^2$

$= \pi(25)^2$

=1963.5 ตารางมิลลิเมตร

การคำนวณอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของระบบแบบไร้ความดัน ซึ่งเหมาะสำหรับการหล่อที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนของโลหะเหลวน้อยที่สุด อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดจะเป็น รูเท: ทางวิ่ง: ทางเข้า เป็น 1: 3: 3 จะได้

รูเท 1963.5x1 = 1963.5 ตารางมิลลิเมตร

ทางวิ่ง 1963.5x3 = 5891 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งทางวิ่งจะถูกแบ่งเป็น 2 ทาง จะได้ 2945.5 ตารางมิลลิเมตร

ทางเข้า 1963.5x3 = 5891 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งทางเข้าจะถูกแบ่งเป็น 6 ทาง จะได้ 982 ตารางมิลลิเมตร

ตาราง 1

แสดงน้ำหนักของระบบป้อนเติมทั้ง 4 แบบ

แบบจำลอง	น้ำหนักของชิ้นงาน
รูปแบบเดิม	15.95 กิโลกรัม
โมเดลที่ 1	
โมเดลที่ 2	
โมเดลที่ 3	

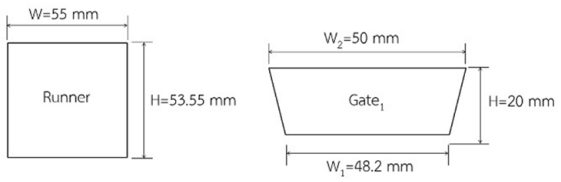
3. ออกแบบการจำลองสถานการณ์ระบบป้อนเติมโลหะเหลวรูปแบบใหม่ (new model)

โดยจากผลการจำลองระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมในครั้งแรกปรากฏว่า ชิ้นงาน Body OTC Steady นั้น ปรากฏโพรงหดตัวจำนวนมากและทางบริษัทมีความต้องการให้ศึกษาการออกแบบระบบป้อนเติมโลหะเหลว ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงแก้ไขโดยการศึกษาการออกแบบระบบป้อนเติมโลหะเหลวขึ้นมาใหม่ซึ่งเป็นการปรับปรุงเพื่อลดปริมาณการเกิดโพรงหดตัว โดยการออกแบบและแก้ไขในครั้งนี้ได้แนวคิดในการออกแบบทางวิ่งและทางเข้าได้มาจากการศึกษาทฤษฎีเบอร์นูลลีและงานวิจัยข้างต้นจึงได้แบบจำลองสามมิติขึ้นมาใหม่ 2 โมเดล ได้แก่ โมเดลที่ 1 ดังภาพ 8 (ก) มีการออกแบบทางวิ่ง (runner) เป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 55x53.55 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน ทางเข้า ($gate_1$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ขนาด 48.2x50x20 มิลลิเมตร จำนวน 6 อัน

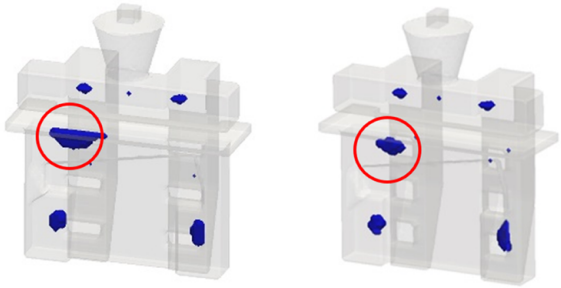
โมเดลที่ 2 ดังภาพ 8 (ข) มีการออกแบบทางวิ่ง (runner) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 55x53.55 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน ทางเข้า ($gate_1$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 32x30.7 มิลลิเมตร จำนวน 6 อัน

และได้นำโมเดลดังกล่าวมาจำลองด้วยซอฟต์แวร์ จากผลการจำลองพบว่า โมเดลที่ 1 มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวอยู่ที่ 1.367 เปอร์เซ็นต์ และโมเดลที่ 2 มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวอยู่ที่ 0.881 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งสองโมเดลมีโพรงหดตัวเกิดที่บริเวณด้านบนของชิ้นงานเป็นจำนวนมาก ดังภาพ 6

ซึ่งผู้วิจัยมีความต้องการในการลดปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว ซึ่งผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัวของ 2 โมเดลแรก พบว่า โมเดลที่ 2 มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวน้อยกว่าโมเดลที่ 1 จึงมีแนวคิดในการนำระบบป้อนเติมของโมเดลที่ 2 มาศึกษาต่อโดยการใส่ทางเข้า ($gate_2$) เพิ่ม เพื่อช่วยในการเติมเนื้อโลหะบริเวณนั้น จึงเป็นที่มาของโมเดลที่ 3 ดังภาพ 8 (ค) มีการออกแบบทางวิ่ง (runner) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 55x53.55 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน ทางเข้า ($gate_1$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 32x30.7 มิลลิเมตร จำนวน 6 อัน ซึ่งจะเหมือนกับในโมเดลที่ 2 และเพิ่มทางเข้า ($gate_2$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 50x50x10 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน

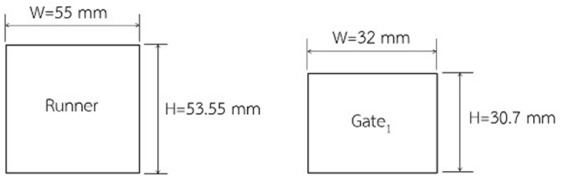


ภาพ 4 ขนาดของทางวิ่ง (runner) และทางเข้า ($gate_1$) ของโมเดลที่ 1

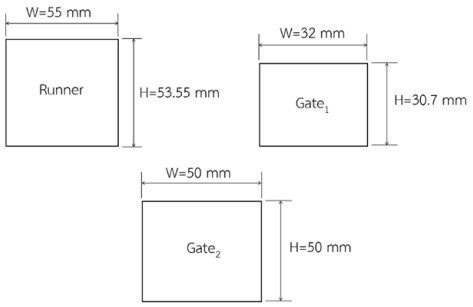


(ก) โมเดลที่ 1 (ข) โมเดลที่ 2

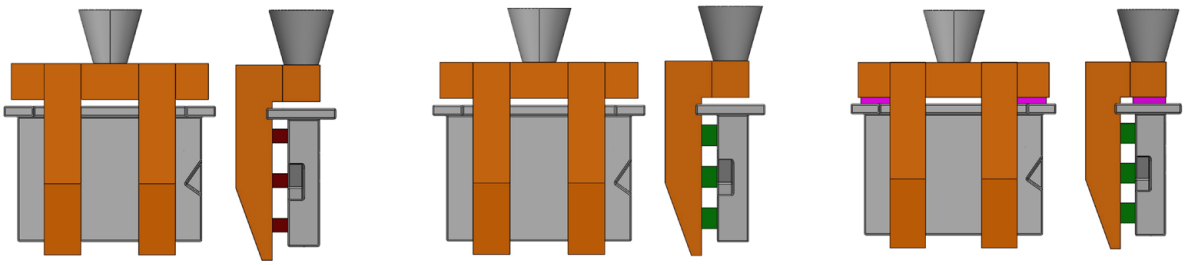
ภาพ 6 ผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว



ภาพ 5 ขนาดของทางวิ่ง (runner) และทางเข้า ($gate_1$) ของโมเดลที่ 2



ภาพ 7 ขนาดของทางวิ่ง (runner) และทางเข้า ($gate_1$) ของโมเดลที่ 3



(ก) (ข) (ค)

ภาพ 8 แบบจำลองระบบป้อนเติมโลหะเหลวของโมเดลใหม่ทั้ง 3 โมเดล (ก) โมเดลที่ 1 (ข) โมลเดลที่ 2 (ค) โมเดลที่ 3

ผลการวิจัย

ผลการจำลองพฤติกรรมของระบบป้อนเติมโลหะเหลวของทั้ง 3 โมเดล ที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่นั้น สามารถสรุปผลได้ ดังนี้ ลักษณะการไหล (fluid fraction) การจำลองลักษณะการไหลของโมเดลที่ 1 โมเดลที่ 2 และโมเดลที่ 3 จะแสดงแบบจำลองลักษณะการไหลดังตาราง 2 ซึ่งลักษณะการไหลของโมเดลที่ 1 และโมเดลที่ 2 ณ ช่วงเวลาที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีการไหลเข้าโพรงแบบทั้งด้านซ้ายและขวาของชิ้นงาน การไหลเติมเต็มจึงมีลักษณะใกล้เคียงกัน ณ ช่วงเวลาที่ 60 เปอร์เซ็นต์ มีการไหลเติมเต็มจากทางด้านหลังทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้น และค่อย ๆ ลดลง ณ ช่วงเวลาที่ 80 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของโมเดลที่ 3 ณ ช่วงเวลาที่ 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีการไหลเข้าโพรงแบบทั้งด้านบนและด้านหลังของชิ้นงานทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนตั้งแต่ช่วงแรก และค่อย ๆ ลดลง ณ ช่วงเวลาที่ 40 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

เวลาในการเติมเต็ม (fill time) ในการพิจารณาการป้อนเติมในปริมาณต่าง ๆ ของทั้ง 3 โมเดล พบว่า การไหลป้อนเติมทำได้ดี มีพฤติกรรมการไหลที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด และสามารถป้อนเติมได้เต็มแม่พิมพ์ทั้ง 3 โมเดล ลักษณะการแข็งตัว (solidification) ผลการจำลองนี้จะพิจารณาลักษณะการแข็งตัวในช่วงเวลาสุดท้ายของทั้ง 3 โมเดล โดยผลในการจำลองปรากฏว่าบริเวณที่แข็งตัวช้าที่สุด คือ บริเวณร่องตรงกลางชิ้นงาน ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับผลการจำลองระบบป้อนเติมรูปแบบเดิม โดยลักษณะการแข็งตัวสามารถบอกถึงตำแหน่งที่แข็งตัวลำดับสุดท้ายและยังสามารถทำนายถึงจุดที่จะเกิดโพรงหดตัวที่ชิ้นงานได้อีกด้วย และลักษณะของการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ในการจำลองปรากฏว่าชิ้นงานมีการเกิดโพรงหดตัวในเนื้อชิ้นงานและบริเวณระบบป้อนเติม ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับผลการจำลองของระบบป้อนเติมรูปแบบเดิม ผลของการจำลองทั้ง 3 หัวข้อแสดงในตาราง 3

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cast-Designer ของทั้ง 3 โมเดลพบว่าระบบจ่ายโลหะเหลวที่ออกแบบขึ้นมาใหม่นั้นมีประสิทธิภาพในการจ่ายโลหะเหลวได้ดี สามารถลดปริมาณการเกิดโพรงหดตัวได้ทั้ง 3 โมเดล แต่เมื่อพิจารณาจากผลของทั้ง 4 หัวข้อแล้ว พบว่า โมเดลที่ 3 สามารถลดปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวได้มากถึง 1.220 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะการไหล (fluid fraction) ที่เกิดการตีวนน้อย อากาศจึงเข้าไปปะปนกับเนื้อโลหะเหลวน้อยทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวน้อยไปด้วย เวลาในการเติมเต็ม (fill time) ของโมเดลที่ 3 ใช้เวลาอยู่ที่ 7.647 วินาที และเวลาในการแข็งตัวของโมเดลที่ 3 ใช้เวลาอยู่ที่ 263.844 วินาที

1. การเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ของระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่

- ลักษณะการไหล (fluid fraction) ของทั้ง 2 โมเดล จะพิจารณาในช่วง 20 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีลักษณะการไหลที่ใกล้เคียงกัน คือ เติมเต็มมาจากด้านบนและด้านหลังพร้อม ๆ กัน ดังตาราง 4 เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาที่ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมที่บริเวณทางวิ่ง (runner) จะมีการปะปนของอากาศอยู่ในโพรงแบบมากกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ ซึ่งทำให้การไล่อากาศออกจากโพรงแบบเป็นไปได้ยากส่งผลทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวได้ง่ายและระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่จะมีลักษณะการไหลเติมเต็มที่ราบเรียบกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบเดิม

- เวลาในการเติมเต็ม (fill time) ของทั้ง 2 โมเดล มีเวลาในการเติมเต็มที่แตกต่างกันโดยระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมใช้เวลาในการเติมเต็มน้อยกว่ากว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ แสดงในตาราง 7

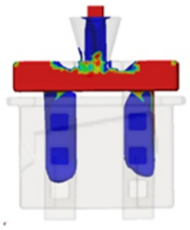
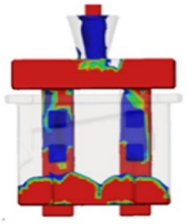
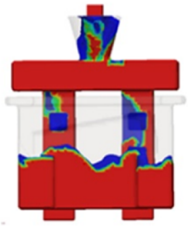
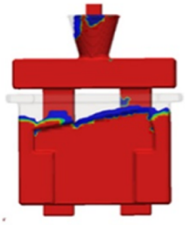
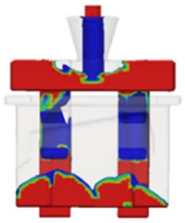
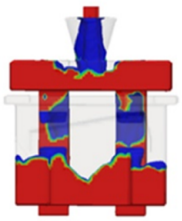
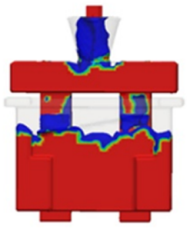
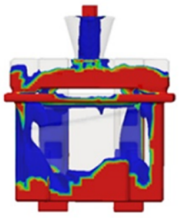
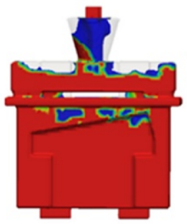
- ลักษณะการแข็งตัว (solidification) ของทั้ง 2 โมเดล มีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย เริ่มจากระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมซึ่งจะมีการแข็งตัวตำแหน่งสุดท้ายอยู่ที่บริเวณร่องกลางชิ้นงาน บริเวณทางเข้า ($gate_1$) และบริเวณทางวิ่ง (runner) และในส่วนของระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่มีการแข็งตัวอยู่ที่บริเวณเดียวกันกับระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมแต่สังเกตจากสีในตาราง 5 จะเห็นได้ว่าระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมมีปริมาตรมากกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ ความร้อนสะสมในชิ้นงานจึงมากกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ ซึ่งส่งผลให้การเย็นตัวลงของระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมช้ากว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ ถึง 150 วินาที ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่าระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมอาจจะ

เกิดข้อบกพร่องที่ชิ้นงานมากกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ โดยเวลาในการแข็งตัวของระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมใช้เวลาในการแข็งตัวมากกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ แสดงในตาราง 7

- ลักษณะการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ของทั้ง 2 โมเดล ในการเปรียบเทียบปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวนี้จะเปรียบเทียบการเกิดโพรงหดตัวแค่เฉพาะในเนื้อชิ้นงาน ไม่ได้นำปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวในระบบป้อนเติมมาทำการเปรียบเทียบด้วย โดยทั้ง 2 โมเดลมีลักษณะแตกต่างกันอย่างมาก เริ่มจากระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมมีตำแหน่งที่เกิดโพรงหดตัวอยู่ที่บริเวณทางวิ่ง (runner) และในเนื้อชิ้นงาน และส่วนของระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่มีตำแหน่งที่เกิดโพรงหดตัวอยู่ที่บริเวณทางวิ่ง (runner) และในเนื้อชิ้นงานแต่เกิดในปริมาตรที่ลดลง ดังแสดงในตาราง 6 โดยระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมมีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวมากกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 2

แบบจำลองลักษณะการไหลของโมเดลทั้ง 3 โมเดล ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ

M	ลักษณะการไหล (fluid fraction)				
	20 เปอร์เซ็นต์	40 เปอร์เซ็นต์	60 เปอร์เซ็นต์	80 เปอร์เซ็นต์	100 เปอร์เซ็นต์
1					
2					
3					

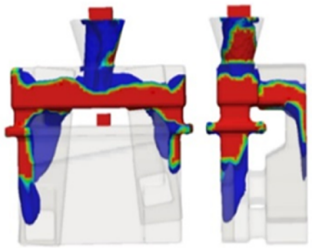
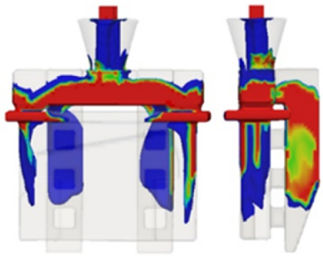
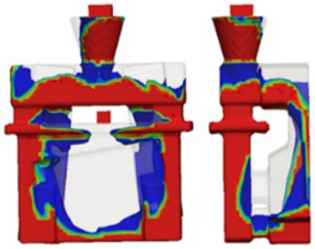
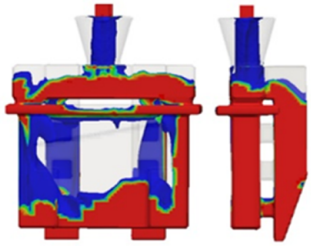
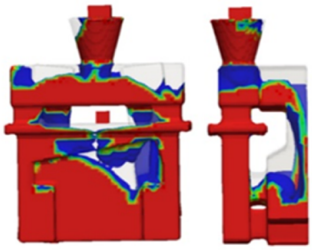
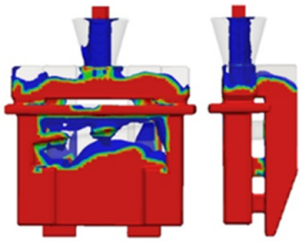
ตาราง 3

ผลการจำลองเวลาในการเติมเต็ม เวลาในการแข็งตัว และปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวของโมเดลใหม่ทั้ง 3 แบบ

ผลการจำลอง	โมเดล		
	โมเดลที่ 1	โมเดลที่ 2	โมเดลที่ 3
เวลาในการเติมเต็ม (วินาที)	7.365	6.870	7.647
เวลาในการแข็งตัว (วินาที)	265.062	257.609	263.844
ปริมาตรโพรงหดตัว (เปอร์เซ็นต์)	1.367	0.881	0.685

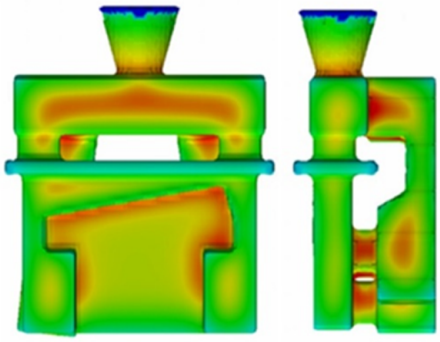
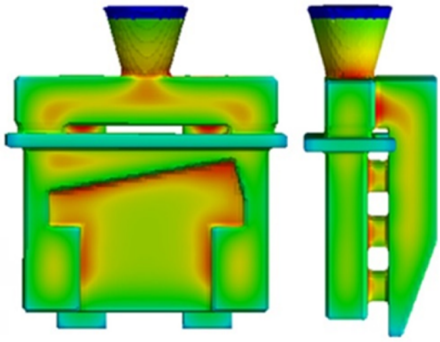
ตาราง 4

การเปรียบเทียบผลลักษณะการไหล (fluid fraction)

ลักษณะการไหล (fluid fraction)			
รูปแบบเดิม		รูปแบบใหม่	
20%		20%	
40%		40%	
60%		60%	

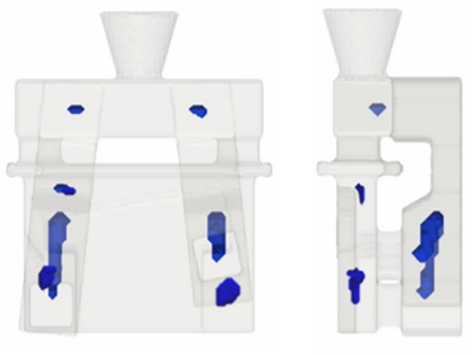
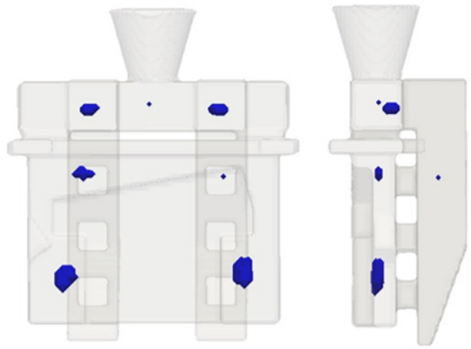
ตาราง 5

การเปรียบเทียบผลการจำลองลักษณะการแข็งตัว (solidification)

ลักษณะการแข็งตัว (solidification)	
รูปแบบเดิม	รูปแบบใหม่
	

ตาราง 6

การเปรียบเทียบผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity)

โพรงหดตัว (shrinkage porosity)	
รูปแบบเดิม	**รูปแบบใหม่**
	

ตาราง 7

การเปรียบเทียบผลการจำลองเวลาในการเติมเต็ม เวลาในการแข็งตัว และปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวของทั้ง 2 รูปแบบ

ผลการจำลอง	ระบบป้อนเติม	
	รูปแบบเดิม	รูปแบบใหม่
เวลาในการเติมเต็ม (วินาที)	7.288	7.647
เวลาในการแข็งตัว (วินาที)	433.797	281.578
ปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว (เปอร์เซ็นต์)	1.905	0.685

สรุปผล

เมื่อพิจารณาการออกแบบและการจำลองสถานการณ์การไหลของโลหะเหลวเพื่อแก้ไขปัญหาประเภทการหดตัว สามารถสรุปได้ว่าระบบป้อนเติมโลหะเหลวรูปแบบใหม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความสมบูรณ์มากที่สุด คือ ระบบป้อนเติมโลหะเหลวที่มีทางวิ่ง (runner) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 อัน ทางเข้า ($gate_1$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 6 อัน และทางเข้า ($gate_2$) หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 2 อัน และแบ่งการพิจารณาผลออกเป็น 4 หัวข้อดังนี้ หัวข้อที่หนึ่ง ลักษณะการไหล (fluid fraction) พบว่า ระบบป้อนเติมโลหะเหลวรูปแบบใหม่มีการไหลที่ดีกว่ารูปแบบเดิม เนื่องจากเกิดการตีวนน้อย เมื่อเกิดการตีวนน้อยการแทรกตัวของอากาศภายในโลหะเหลวก็จะมีปริมาณน้อย ซึ่งเป็นลักษณะการไหล (fluid fraction) ที่ดี หัวข้อที่สอง ผลของเวลาในการเติมเต็ม (fill time) พบว่า ระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่มีเวลาในการเติมเต็มที่เหมาะสมกว่ารูปแบบเดิม เนื่องจากทำให้เกิดลักษณะการไหลที่ดี โพรงแบบจึงมีอุณหภูมิภายในค่อนข้างสม่ำเสมอสำหรับการเย็นตัว ซึ่งมีเวลาในการเติมเต็ม 7.647 วินาที หัวข้อที่สาม ผลของเวลาในการแข็งตัว (solidification time) พบว่า ระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่มีการสะสมความร้อนน้อยกว่ารูปแบบเดิม โดยเวลาในการแข็งตัวของระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่ใช้เวลา 281.578 วินาที ซึ่งการสะสมความร้อนภายในชิ้นงานจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทการหดตัว และหัวข้อสุดท้ายผลของการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) พบว่า ระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมและระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่มีตำแหน่งการเกิดโพรงหดตัวที่คล้ายกัน แต่ระบบป้อนเติมโลหะเหลวรูปแบบใหม่มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวอยู่ที่ 0.685 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง

น้อยกว่าระบบป้อนเติมรูปแบบเดิมถึง 1.220 เปอร์เซ็นต์ สำหรับประโยชน์ของการใช้เทคนิคการจำลองพฤติกรรมที่เห็นได้ชัด คือ ลดเวลาการแก้ไขด้วยวิธีการเดิม ลดค่าใช้จ่าย ลดการสูญเสียวัสดุโดยไม่จำเป็น โดยระบบป้อนเติมรูปแบบใหม่มีปริมาตรชิ้นงานลดลงจาก 6758 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 5103 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลดลงถึง 1655 ลูกบาศก์เซนติเมตร การแก้ไขจุดบกพร่องทำได้ง่ายขึ้น เมื่อได้ผลสรุปที่ดีที่สุดแล้วจึงนำพารามิเตอร์นั้นมาแก้ไขที่แม่พิมพ์และการใช้เทคนิคการจำลองพฤติกรรมยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ CIT-2022-GRAD-20 และบริษัท โฟร์ดี คอร์ปอเรชั่น จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนโปรแกรม Cast Designer เป็นเครื่องมือสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ และบริษัท พรีซิชั่น แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาชิ้นงานตัวอย่างและการผลิตชิ้นงานด้วยกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting)

References

Campbell, J. (2015). *Foundry technology*. London: Butterworth.

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid mechanics fundamentals and applications*. Singapore: McGraw hill

Cherdsak, A., & Chanyut, K. (2004). The study of basic rules and principles for designing gate and runner of locking knob in lighting industries using casting process simulation technique. The Conference on Mechanical Engineering. *Network of Thailand: ME-NETT.18* (pp. 18-45). Khon Kaen: ME-NETT. https://bit.ly/3UUAa1W (in Thai)

Hebsur, N., & Mangshetty, S. (2014). Casting simulation for sand casting of flywheel. *International Journal of Research in Advent Technology, 2*(8), 82-86. https://bit.ly/4fvU6Rs

Groover, M. P. (2007). *Fundamentals of modern manufacturing*. USA: John Wiley and Sons.

Gajbhiye, A. K., Choudhari, C. M., Raut, D. N., Narkhede, B. E., & Bhandarkar, B. M. (2014). Minimization of shrinkage porosity in a sand-casting process by simulation in AUTOCAST-X Software with Experimental Validation by Destructive testing. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 4*(5), 18-27. https://www.slideshare.net/slideshow/ijmer-45061827/35832830

Jiang, W., & Fan, Z. (2014). Gating system optimization of low-pressure casting A356 aluminum alloy intake manifold based on numerical simulation. *China Foundry, 11*(2),119-124. https://bit.ly/3yGfgvY

Kantithat, P., Nuttaporn, P., & Sumethinee, H. (2020). *Analysis of gating system for anvil casting: A case study* (Bachelor's thesis). King Mongkut's University of Technology North Bangkok. Bangkok. (in Thai)

Liu, J. X., Liao, R. D., & Zuo, Z. X. (2010). Numerical study on solidification process and shrinkage porosity for engine block casting. *Applied Mechanics and Materials, 37-38*, 753-757. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.37-38.753

Nimbulkar, S. L., & Dalu, R. S. (2014). Design and optimization of gating and feeding system for casting: A review. *In Conference on Advances in Civil and Mechanical Engineering Systems, 23-24 Dec. 2014* (pp. 1-6). Surat, India: Government College of Engineering, Amravati in association with SVNIT

Patpimol, S., Nuttaphong, S., & Phimraphas, N. (2022). A study of flow behavior of AISI 430 stainless steel in invastment casting by analysis program. *Defence Technology Acodemic Journal, 3*(9), 72-79. (in Thai)

Sankalp, J., Sankalp, V., Jaiswal, S., & Verma, S. (2019). Thermal analysis of casting using ANSYS. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 7*(8), 671-679. https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=24839

Sun, Z., Hu, H., & Chen, X. (2008). Numerical optimization of gating system parameters for a magnesium alloy casting with multiple performance characteristics. *Journal of Materials Processing Technology, 199*, 256-264. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.08.036

Swatdisan, T., Wongseedakaew, K., & Suwankan, P. (2023). The study of factors in track shoe manufacturing process with cast designer program for investment casting to reduce shrinkage. *The Journal of Industrial Technology, 19*(3), 32-44. doi: 10.14416/j.ind.tech.2023.12.001 (in Thai)

Thammachote, N. (2562). *Foundry engineering*. Bangkok: SE-Education Public Company Limited. (in Thai)

Vratny, O., & Herman, A. (2019). Importance of a type of gating system in investment casting technology. *Acta Polytechnica, 59*(6), 601-610. doi:10.14311/AP.2019.59.0601.

เครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน

Automatic 3-Wire Braiding Machine from Waste Materials to Create Raw Materials for Community Products

สุขุมาล เหรียญทอง[1] กีรดิษ สายพัทลุง[1]* รุจิราภา งามสระคู[1] อะเคื้อ กุลประสูติดิลก[2] และเพชร นันทิวิชิตชัย[3]
Sukhuman Rianthong[1], Keeradit Saipattalung[1]*, Rujirapha Ngamsakoo[1],
Akua Kulprasutidilok[2] and Petch Nantiwichitchai[3]
[1]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[1]Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[2]Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University
[3]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
[3]Faculty of Industrial Technology, Chitralada Technology Institute
*Corresponding author: keeradit@pnru.ac.th
Received: May 3, 2024
Revised: July 21, 2024
Accepted: July 30, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการถักเปีย 3 สายแบบอัตโนมัติ โดยใช้กลไกและระบบมอเตอร์ขับเคลื่อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งเดิมใช้แรงงานคนในการถักด้วยมือ ซึ่งมีอัตราการผลิตค่อนข้างต่ำ โดยสามารถถักเปียได้เพียง 6 ถึง 7 เมตรต่อชั่วโมงต่อคน หรือเฉลี่ย 6.5 เมตรต่อชั่วโมง หากผู้ปฏิบัติงานถักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะได้เปียถักยาวประมาณ 52 เมตรเท่านั้น โดยเครื่องจักรจะใช้มอเตอร์และกลไกทางกลศาสตร์สำหรับขับเคลื่อนการถัก แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพด้วยการกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์การถักคงที่ที่ 30 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของมอเตอร์ชุดเก็บเปียตั้งแต่ 3 ถึง 23 รอบต่อนาที จากนั้นทำการประเมินคุณสมบัติของเส้นเปียที่ได้ ด้วยการประเมินดังนี้ (1) ประเมินขนาดของเส้นเปียด้วยการประมวลผลภาพเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐานชุมชนที่ 1 เซนติเมตร พบว่า ขนาดเส้นเปียจากเครื่องจักรอยู่ในช่วง 1.17 ถึง 1.72 เซนติเมตร และ (2) ทดสอบความแข็งแรงของเส้นเปียด้วยการดึง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานชุมชนที่ 514.85 นิวตัน พบว่าเส้นเปียจากเครื่องจักรมีความแข็งแรงอยู่ในช่วง 295.18 ถึง 472.19 นิวตัน โดยความแข็งแรงที่ได้คำนวณจากแรงดึงที่คิดเป็นกิโลกรัมแรง (kgf) จากผลการทดสอบ สภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานเนื่องจากได้ขนาดและความแข็งแรงใกล้เคียงกับที่ชุมชนต้องการ คือ กำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์การถักคงที่ 30 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของมอเตอร์ชุดเก็บเปียที่ 15 รอบต่อนาที ซึ่งจะใช้เวลาในการถักเฉลี่ย 1.136 นาทีต่อความยาว 5 เมตร จุดคุ้มทุนของการผลิตอยู่ที่ความยาว 934.78 เมตร โดยการพัฒนาเครื่องจักรถักเปีย 3 สายอัตโนมัตินี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนถักด้วยมือตามวิธีดั้งเดิม โดยสามารถลดระยะเวลาและเพิ่มปริมาณการผลิตได้อย่างมาก

คำสำคัญ: เปีย 3 สาย เศษวัสดุ อัตโนมัติ การถ่ายทอด ผลิตภัณฑ์ชุมชน

Abstract

This research focuses on developing an automatic 3-strand rattan weaving machine driven by a motor mechanism. The primary goal is to increase efficiency and reduce the time required for producing raw materials for community products, which were traditionally hand-woven by human labor, a process with relatively low productivity rates. Typically, a worker could only weave 6-7 meters of rattan per hour, or an average of 6.5 meters per hour. If a worker wove for 8 hours, they would produce approximately 52 meters of woven rattan. The prototype utilizes a motor and mechanical mechanism to drive the weaving process. Its performance was evaluated by setting the weaving motor speed at a constant 30 Revolutions Per Minute--RPM and testing the rattan collection motor speed between 3-23 RPM. Subsequently, the researchers assessed the properties of the woven rattan strands produced by the prototype, including: Size Evaluation: Using image processing techniques, the rattan strand diameter was measured and compared to the community standard of 1 centimeter (cm). The strands produced by the machine had diameters ranging from 1.17 to 1.72 cm. Strength Testing: The rattan strand strength was tested through tensile testing and compared to the community standard of 514.85 Newtons (N). The machine-woven strands exhibited strengths ranging from 295.18 to 472.19 N. The strength is calculated from the tensile force calculated in kilograms-force (kgf). Based on the test results, the optimal operating conditions were determined as follows: because the size and strength are close to what the community needs. Weaving motor speed: 30 RPM and Rattan collection motor speed: 15 RPM. At these settings, the machine could weave 5 meters of rattan in approximately 1.136 minutes. Furthermore, the breakeven point or production level that justifies the investment cost was calculated to be 934.78 meters. The development of this automatic 3-strand rattan weaving machine prototype significantly improved the efficiency of producing raw materials for community products compared to traditional hand-weaving methods. It reduced production time and substantially increased output quantities.

Keywords: braid 3 line, recycle materials, automatic, transferring, product.

บทนำ

โครงการเคหะชุมชนฉลองกรุง เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร (National Housing Authority, 2023) เป็นโครงการที่อยู่อาศัยซึ่งอยู่ในความดูแลของการเคหะแห่งชาติ (กคช.) ก่อสร้างตั้งแต่ปี 2537 บนพื้นที่กว่า 426 ไร่ มีที่พักอาศัยทั้งหมด 3,599 หน่วย ทั้งนี้การบริหารจัดการดังกล่าวแบ่งโซนได้ทั้งสิ้น จำนวน 5 โซน ประกอบไปด้วยชุมชนเคหะฉลองกรุงโซน 2 5 และ 6 ชุมชนลำผักชี และชุมชนลำพะอง จะมีจำนวนครัวเรือน 327 ครัวเรือน โดยกลุ่มประชากรในชุมชนส่วนใหญ่มีอายุมาก ส่งผลให้เกิดการว่างงานของคนในชุมชน รายได้ของครัวเรือนลดลง จากปัญหาดังกล่าว จึงทำให้เกิดการจัดตั้งกลุ่มแม่บ้านชุมชนหมู่บ้านการเคหะชุมชนฉลองกรุงขึ้น เพื่อรวมกลุ่มหารายได้เสริมให้กับสมาชิก โดยกลุ่มได้ดำเนินการจัดทำผลิตภัณฑ์ ต่าง ๆ เช่น พรมเช็ดเท้า ที่รองหม้อ ผ้าถูพื้น เสื่อ ดังภาพ 1 ที่เน้นการนำวัสดุเหลือใช้มาเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เศษผ้าจากโรงงาน ซองกาแฟ หลอดน้ำ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีความโดดเด่นของกลุ่ม คือ ผลิตภัณฑ์จากเศษผ้า ซึ่งมีกลุ่มแม่บ้านและงานวิจัยมากมายนำเศษผ้ามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (Puongsanthia, 2021; Techathanased, 2019;

Amnueypornsakul, 2014; Kraikaew, 2021; Sasongkoah, 2014; Seehavatanakul, 2023; Sangrit, 2012; Chatakananda, 2013) จากนั้นดำเนินการถักผ้าด้วยมือเพื่อผลิตเป็นสินค้าของชุมชน จากการลงพื้นที่และการพูดคุยกับกลุ่มแม่บ้านทั้ง 5 โซน พบว่า ปัญหาในการดำเนินงานของกลุ่มนั้น คือ ความล่าช้าในการสร้างวัตถุดิบขั้นต้น คือ การถักเส้นเปียที่ใช้ระยะเวลาในการถักด้วยมือต่อคนอยู่ที่ 1 ชั่วโมง อยู่ที่ 6 ถึง 7 เมตร ซึ่งผู้ถักต้องมีความชำนาญ หากมีการเปลี่ยนแปลงผู้ถักก็จะเกิดปัญหาตามมา คือ ความแน่นของเส้นเปียที่ไม่สม่ำเสมอ ขนาดของเปียไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเกิดจากผู้ถักไม่มีความชำนาญ อีกทั้งการนั่งถักเปียเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดปวดหลังได้อีกด้วย

ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือ หรือสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ทดแทนการใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน จำพวกเครื่องทำอาหาร (Kumar, 2019; Syamsudduha, 2013) เครื่องล้างจาน (Venkatesh, 2017) เครื่องรีดผ้าอัตโนมัติ (Bashir, 2019; Li, 2022) จากการพัฒนาในข้างต้นนั้น ยังมีการออกแบบและพัฒนาเครื่องถักเปียสำหรับวัสดุต่าง ๆ เช่น ถักเชือกขนาดเล็กทั้งแบบ 3 สาย (Hussain, 2021) ถักเป็นเส้นกลม (Jan, 2015; Songyifan, 2020; Kumbhalkar, 2013) ถักแบบ 5 สายซึ่งเป็นเครื่องขนาดใหญ่ (Pickett, 2000) ซึ่งมีวิธีการทำงานที่แตกต่างกันออกไป และยังมีการออกแบบเครื่องถักที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม (Khade, 2019) ดังนั้นผู้วิจัยมีความประสงค์พัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้จะเป็นประโยชน์แก่ชุมชน โดยจะทำการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ ที่สามารถควบคุมความแน่นของเปีย และขนาดของเปีย เพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน เพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนในรูปแบบต่าง ๆ ตามความต้องการของชุมชน อันส่งผลให้สามารถผลิตงานต่าง ๆ ออกขายเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อความต้องการของตลาด ซึ่งรูปแบบการทำงานของการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน จะเห็นได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากมีอยู่ 4 ลักษณะ คือ ความแน่นของเส้นเปียที่ไม่สม่ำเสมอ อาการปวดหลังจากการนั่งถักเปียเศษวัสดุด้วยมือเป็นเวลานาน ระยะเวลาในถักเปียนาน โดยการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน ต้องศึกษาการทำงานของกลไกการถักเปียแบบอัตโนมัติ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการถักเปีย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และระบบจัดเก็บเปียหลังจากการถักเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้ คือ การถักเปีย 3 สายแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งสามารถช่วยลดอาการปวดหลังของผู้ปฏิบัติเนื่องจากเป็นกลุ่มแม่บ้าน ลดเวลาในการถักเปีย ความสม่ำเสมอของความแน่นของเปีย และเพิ่มจำนวนเส้นเปียในการถักเปียในแต่ละรอบ พร้อมทั้งมีระบบการเก็บเปียที่ถักแล้วอย่างอัตโนมัติ ซึ่งกลุ่มแม่บ้านสามารถลดเวลาในการผลิตสินค้าชุมชนที่นำเปียไปผลิตได้รวดเร็วขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

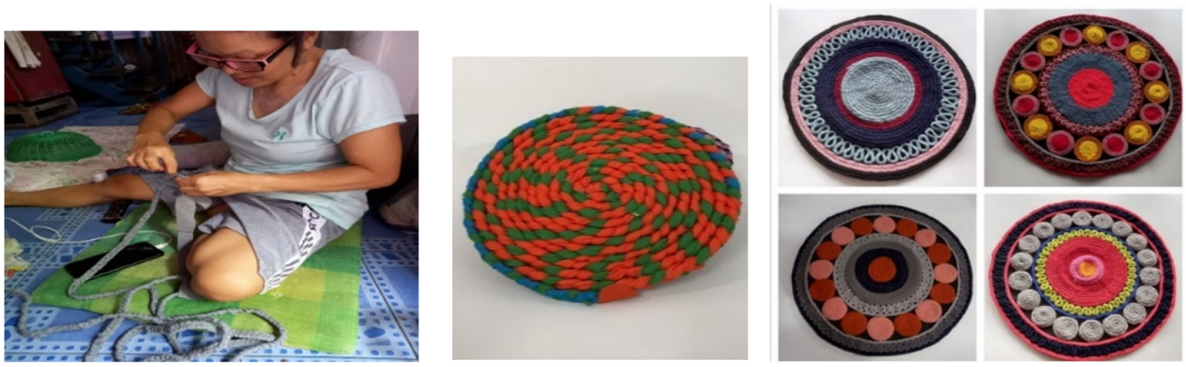
1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องถักเปียอัตโนมัติจากเศษวัสดุ

2. เพื่อเพิ่มความเร็วในการถักเปียสำหรับเป็นวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน

3. เพื่อผลิตเปียที่มีคุณภาพ ด้านขนาด และความแน่นที่สม่ำเสมอ

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การถักเปียถัก หมายถึง เอาเส้นเชือกหรือหวายเป็นต้นไขว้สอดประสานกันให้เป็นลวดลายต่าง ๆ บ้าง ให้เป็นเส้นและเป็นผืนบ้าง ให้ติดต่อกันบ้าง ส่วนเปีย หมายถึง ผมที่ไว้ยาวบริเวณท้ายทอย ผมที่ถักห้อยยาวลงมา ผมเปีย หรือ หางเปีย ก็เรียก เรียกลายที่ถักตอก 3 ขาไขว้กันว่า ลายเปีย หรือ ลายผมเปียดังนั้น ถักเปีย จึงมีความหมายว่า การนำเส้นเชือก หวาย หรือวัสดุอื่น ๆ ที่เป็นเส้น แบ่งออกเป็น 3 ขา แล้วนำมาไข้วกัน (Allen, 2023) โดยเปียแบบต่าง ๆ จะถูกเรียกชื่อตามลักษณะของการถัก หรือ ตามรูปลักษณ์ของเปีย ไม่ว่าจะเป็น เปียสาม เปียก้างปลา เปียนูน เปียน้ำตก เปียตะขาบ และยังมีชื่อเรียกอื่น ๆ อีกมาก และบางครั้งจะถูกเรียกตามจำนวนเส้นเปีย เช่น เปียสาม เปียสี่ เปียห้า เป็นต้น ดังภาพ 2



ภาพ 1 การถักเปียของกลุ่มแม่บ้านแบบเดิม และผลงานของกลุ่มแม่บ้านในชุมชน

ภาพ 2 การถักเปียแบบต่าง ๆ

Note. From *Four strand braid,* by Tummue, 2018, retrieved from https://tum-mue.blogspot.com/2018/11/3-four-strand-braid.html#

จุดคุ้มทุน (break-even point) เป็นจุดที่มีผลกำไรเป็นศูนย์ ซึ่งผลกำไร มาจากรายได้ลบค่าใช้จ่าย ดังนั้นจุดคุ้มทุน จึงหมายถึง จุดที่มีรายได้ เท่ากับค่าใช้จ่าย จุดคุ้มทุนทำให้ทราบถึงปริมาณการผลิตที่ทำให้ผลกำไรเป็นศูนย์ ซึ่งการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของต้นทุนรวม รายได้ และผลกำไร ที่แปรผันไปตามปริมาณการผลิต บางครั้งเรียกว่า การวิเคราะห์ต้นทุน-ปริมาณการผลิต-ผลกำไร ชนิดของต้นทุน ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน คือ ต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน และต้นทุนรวม ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุน เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิต และต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิต จึงจำเป็นต้องแยกชนิดของต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันออกจากกันให้ชัดเจน (Blank, 2012; Sullivan, 2012; Singkarlsiri, 2003; Logisticafe, 2009; Rijiravanich, 2007; Tongsukawong, 2023)

สูตรการคำนวณหาจุดคุ้มทุน จากขั้นตอนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถนำมาเขียนเป็นสูตรการคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้ ดังนี้

$$V = vN \quad (1)$$

$$C = F+V = F+ vN \quad (2)$$

$$R = pN \quad (3)$$

$$P = R-C \quad (4)$$

ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน คือ

$$\therefore N^* = \frac{F}{p-v} \quad (5)$$

กำหนดให้ F = ต้นทุนคงที่

V = ต้นทุนแปรผัน

v = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

C = ต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายรวม

N = ปริมาณการผลิต

R = รายได้

p = ราคาขายต่อหน่วย

P = กำไร

N* = ปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน

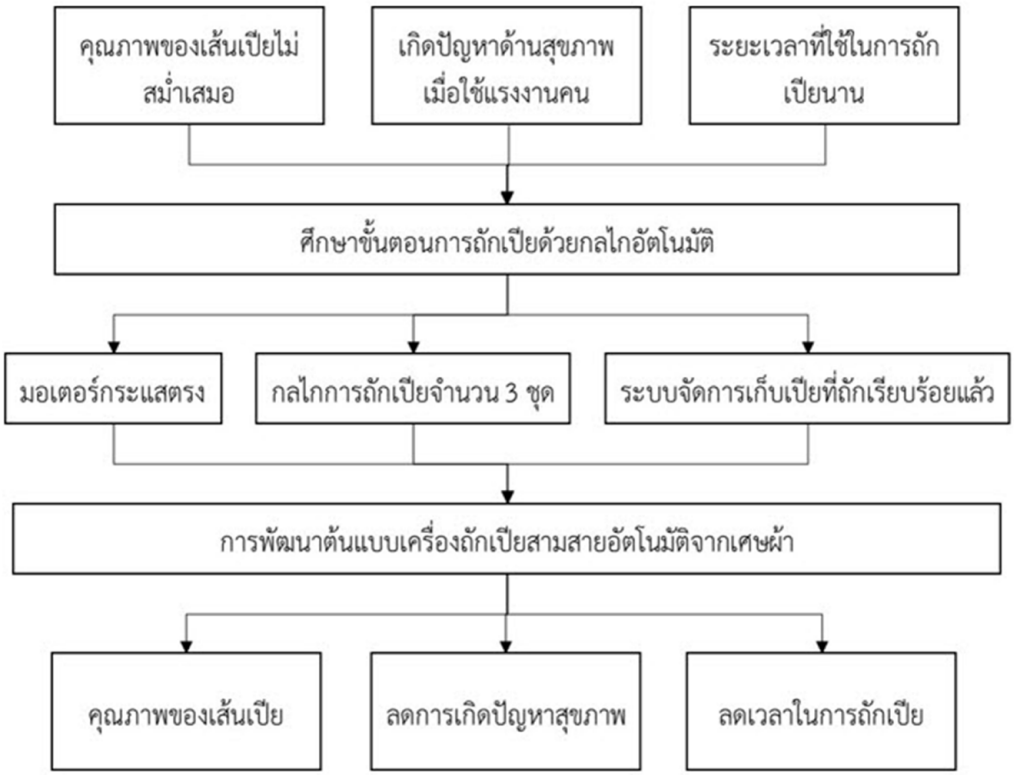
p-v = ส่วนผลให้ต่อหน่วย

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั่วไปมักเน้นที่การควบคุม 3 ส่วนหลัก คือ ความเร็ว ทิศทางการหมุน และแรงบิด ซึ่งมีวิธีในการควบคุมที่นิยมใช้ ได้แก่ (1) การควบคุมแรงดัน เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เพื่อปรับความเร็ว (2) การควบคุมแบบ PWM--Pulse Width Modulation - ใช้สัญญาณพัลส์ที่มีความถี่คงที่แต่ปรับความกว้างพัลส์ เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้มอเตอร์ (3) การควบคุมกระแสสนาม เพื่อปรับกระแสที่ขดลวดสนามแม่เหล็กเพื่อควบคุมแรงบิด (ใช้กับมอเตอร์แบบแยกกระตุ้น) (4) การใช้วงจรขับ (driver circuit) - วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เช่น วงจร H-Bridge สำหรับควบคุมทิศทางการหมุนซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมมอเตอร์อย่างแพร่หลาย (5) ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นวิธีที่ใช้เซนเซอร์วัดความเร็วหรือตำแหน่งของมอเตอร์ แล้วนำข้อมูลมาปรับการควบคุมให้แม่นยำยิ่งขึ้น

กรอบแนวคิดการวิจัย

แนวคิดการย้อมสีแบ่งออกเป็นโครงทั้งหมด 3 โครงสร้าง ซึ่งจะแบ่งเป็นโครงสร้างของกรอบแนวคิดในการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน ประกอบไปด้วย ปัญหา กระบวนการวิจัย และผลที่ได้จากการวิจัย ดังภาพ 3

จากภาพ 3 รูปแบบการทำงานของการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน จะเห็นได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจะมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ (1) ความแน่นของเส้นเปียที่ไม่สม่ำเสมอ (2) อาการปวดหลังจากการนั่งถักเปียเศษวัสดุด้วยมือเป็นเวลานาน (3) ระยะเวลาในถักเปียนาน โดยการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน ต้องศึกษาการทำงานของกลไกการถักเปียแบบอัตโนมัติ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการถักเปีย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และระบบจัดเก็บเปียหลังจากการถักเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้ คือ การถักเปีย 3 สายแบบอัตโนมัติได้ครั้งละ 3 เส้น ลดอาการปวดหลังของผู้ปฏิบัติเนื่องจากเป็นกลุ่มแม่บ้าน ลดเวลาในการถักเปีย ความสม่ำเสมอของความแน่นของเปีย และเพิ่มจำนวนเส้นเปียในการถักเปียในแต่ละรอบ พร้อมทั้งมีระบบการเก็บเปียที่ถักแล้วอย่างอัตโนมัติ ซึ่งกลุ่มแม่บ้านสามารถลดเวลาในการผลิตสินค้าชุมชนที่นำเปียไปผลิตได้รวดเร็วขึ้น



ภาพ 3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการการถักเปีย 3 สาย

2. ทำการการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องถัก ประกอบด้วย (1) มอเตอร์ชุดถักขนาด 24V (2) เฟืองอะคริลิค หนา 6 มิลลิเมตร กว้าง 265 มิลลิเมตร (3) ฐานเครื่องถัก เป็นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 310 มิลลิเมตร ยาว 640 มิลลิเมตร สูง 120 มิลลิเมตร (4) ลูกวิ่งในราง ขนาดยาว 640 มิลลิเมตร กว้าง 9.45มิลลิเมตร (5) กล่องใส่เศษผ้าสำหรับการถัก (6) โรสำหรับเก็บเส้นเปีย (7) มอเตอร์ชุดเก็บเส้นเปีย 24V (8) ชุดรับส่งลูกวิ่งบนร่าง ซึ่งเชื่อมอยู่กับเฟืองด้านล่าง มี 2 ชุด (9) แผ่นรองเสริมความหนาให้ชุดเฟืองอยู่ในระดับเท่ากัน (10) แผ่นร่างด้านนอกขนาดยาว 630 มิลลิเมตร กว้าง 310 มิลลิเมตร (11) แผ่นขนาดร่างด้านใน

3. ทำการสร้างเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ

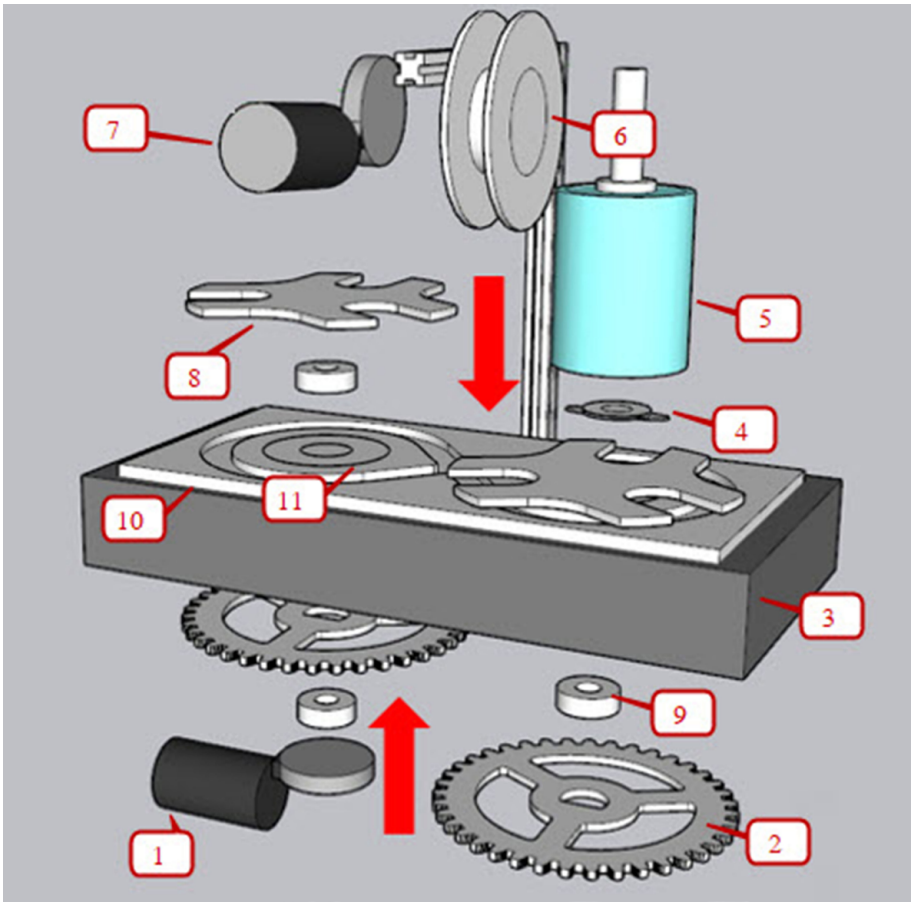
4. การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ซึ่งจะประกอบบอร์ดอาดูโน เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ซึ่งจะเป็นหน่วยที่ทำการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของเครื่องถัก และควบคุมมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักแล้ว ผ่านบอร์ดควบคุมมอเตอร์ ขนาด 24 โวลต์ 40 แอมป์ ดังภาพ 5

จากภาพ 5 วงจรควบคุมชุดกลไกเครื่องถักจะมีการต่อวงจรเพื่อควบคุม ดังนี้ (1) ต่อพอร์ตไฟเลี้ยง +5 โวลต์ จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา Vcc ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว (2) ต่อพอร์ตกราวด์ GND จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา GND ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว (3) ต่อพอร์ต D5 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา RPWM (ขา 1) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 (4) ต่อพอร์ต D6 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา LPWM (ขา 2) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 (5) ต่อพอร์ต D7 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา L_EN (ขา 4) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 (6) ต่อพอร์ต D8 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา R_EN (ขา 3) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 (7) ต่อพอร์ต D9 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา RPWM (ขา 1) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2 (8) ต่อพอร์ต D10 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา LPWM (ขา 2) ของ

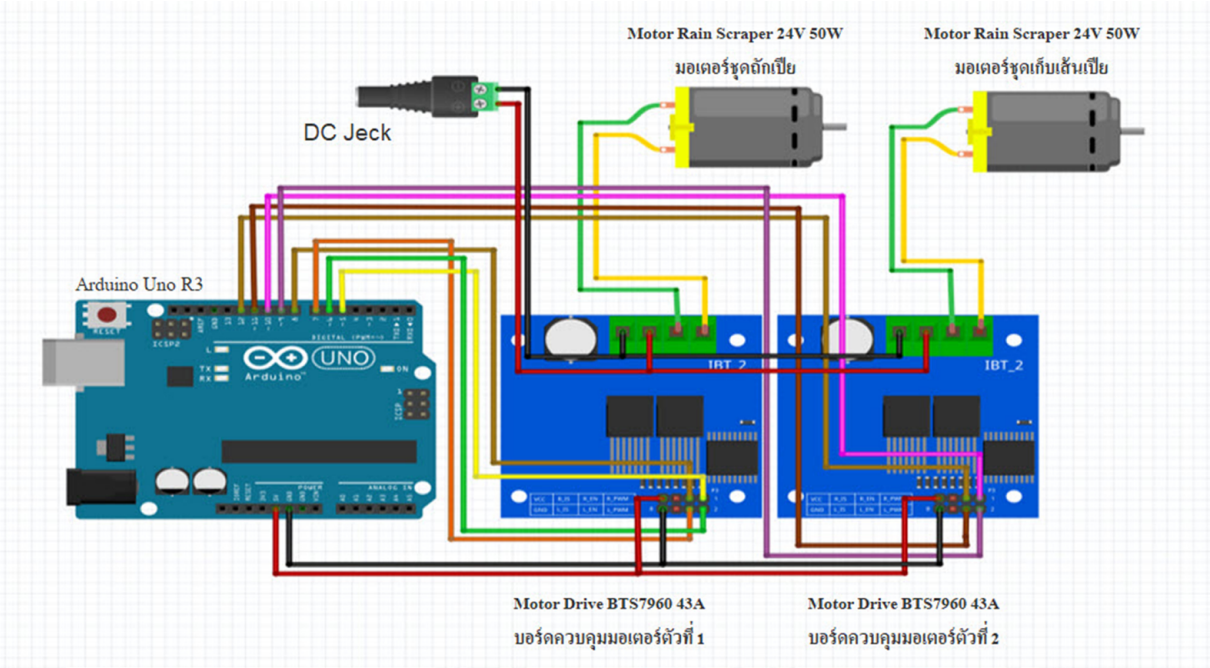
บอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2 (9) ต่อพอร์ต D11 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา L_EN (ขา 4) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2 (10) ต่อพอร์ต D12 จากบอร์ดอาดูโนไปยังขา R_EN (ขา 3) ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2 (11) ต่อไฟ +24 โวลต์จากแหล่งจากภายนอกไปยังขา S+ ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว (12) ต่อไฟ GND จากแหล่งจากภายนอกไปยังขา S- ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว (13) ต่อมอเตอร์ตัวที่ 1 ไปยังขา M+ ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 (14) ต่อมอเตอร์ตัวที่ 1 ไปยังขา M- ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 1 (15) ต่อมอเตอร์ตัวที่ 2 ไปยังขา M+ ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2 (16) ต่อมอเตอร์ตัวที่ 2 ไปยังขา M- ของบอร์ดควบคุมมอเตอร์ตัวที่ 2

5. ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องถักเปีย 3 สายที่ความเร็วต่าง ๆ ซึ่งกลไกการทำงานของเครื่องถักจะเริ่มต้นจากการควบคุมมอเตอร์ชุดถักให้หมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งจะหมุนเฟืองชุดที่ 1 จากนั้นเฟืองชุดที่ ก็ไปขับเฟืองชุดที่ 2 ให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาทำให้เกิดการหมุนสลับกันเพื่อส่งชุดถังที่บรรจุเศษผ้าสำหรับการถักจำนวน 3 ถัง ให้หมุนสลับกันในร่อง โดยเมื่อชุดถักเริ่มถัก มอเตอร์ชุดเก็บก็เริ่มทำการเก็บเส้นเปียที่ถักเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะทดสอบการถักทุกความเร็วจำนวน 10 เส้น จากนั้นทำการทดสอบขนาดความกว้างของเส้นเปียด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ทดสอบความแข็งแรงของเส้นเปียด้วยการทดสอบแรงดึง ทดสอบการถักเปียที่ความยาว 5 เมตร และจุดคุ้มทุนของเครื่องถัก

6. สรุปผลการทำงานของเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน



ภาพ 4 แบบเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ



ภาพ 5 วงจรควบคุมชุดกลไกเครื่องถัก

ผลการวิจัย

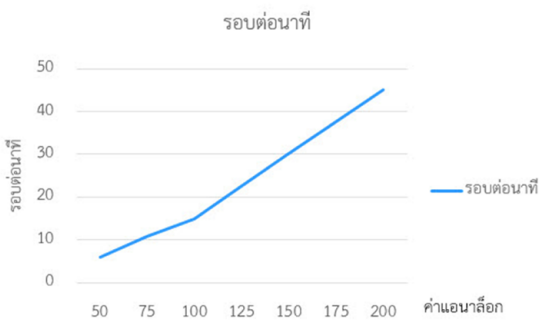
1. การทดสอบหาความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของเครื่องถัก ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 24 โวลต์ ความเร็วมี 110 rpm ซึ่งผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับการสั่งงานผ่านพอร์ตแอนาล็อกของอาดูโน ซึ่งมีผลการทดสอบดังตาราง 1 และการทดสอบหาความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักแล้ว ซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์ ความเร็ว 110 rpm ซึ่งผลการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับการสั่งงานผ่านพอร์ตแอนาล็อกของอาดูโน ซึ่งมีผลการทดสอบดังตาราง 2

2. ผลการถักเปียในความเร็วต่าง ๆ ซึ่งจะทำการจำกัดความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของเครื่องถักไว้ที่ 30 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นความเร็วที่ชุดกล่องบรรจุเศษผ้าไหลเลื่อนภายในรางที่ดีที่สุด และปรับความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักจะทำการปรับค่าตั้งแต่ 3 6 8 11 13 15 17 19 21 และ 23 รอบต่อนาที ซึ่งผลการถักจะได้ดังภาพ 6

ตาราง 1

ความเร็วมอเตอร์ของเครื่องถัก

ลำดับ	ค่าแอนะล็อก	รอบต่อนาที
1	50	6
2	75	10.67
3	100	15
4	125	22.67
5	150	30
6	175	37.67
7	200	45

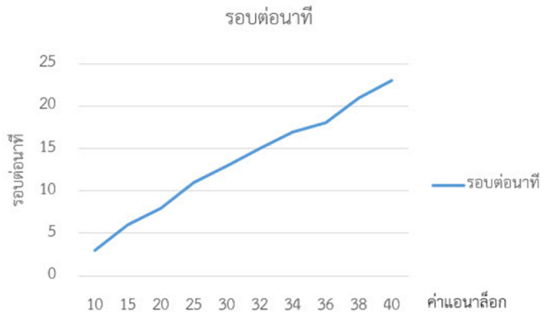


ภาพ 6 ความเร็วรอบของมอเตอร์ชุดถักเปีย

ตาราง 2

ความเร็วมอเตอร์ของชุดเก็บเส้นเปีย

ลำดับ	ค่าแอนะล็อก	รอบต่อนาที
1	10	3
2	15	6
3	20	8
4	25	11
5	30	13
6	32	15
7	34	17
8	36	18
9	38	21
10	40	23



ภาพ 7 ความเร็วรอบของมอเตอร์ชุดเก็บเส้นเปีย

(a) ความเร็วชุดเก็บที่ 3 รอบต่อนาที

(b) ความเร็วชุดเก็บที่ 6 รอบต่อนาที

(c) ความเร็วชุดเก็บที่ 8 รอบต่อนาที

(d) ความเร็วชุดเก็บที่ 11 รอบต่อนาที

(e) ความเร็วชุดเก็บที่ 13 รอบต่อนาที

(f) ความเร็วชุดเก็บที่ 15 รอบต่อนาที

(g) ความเร็วชุดเก็บที่ 17 รอบต่อนาที

(h) ความเร็วชุดเก็บที่ 19 รอบต่อนาที

(i) ความเร็วชุดเก็บที่ 21 รอบต่อนาที

(j) ความเร็วชุดเก็บที่ 23 รอบต่อนาที

ภาพ 8 เส้นเปียที่ได้จากการเครื่องถักเส้นเปีย 3 สาย

3. ผลการวัดขนาดความกว้างของเส้นเปียที่ทำจากเครื่องถักเส้นเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยทำการถักเปียที่ความเร็วต่าง ๆ ซึ่งได้ผลของการถักจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งการทดสอบจะจำกัดความเร็วมอเตอร์การหมุนของเครื่องถักไว้ที่ 30 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักจะทำการปรับค่า ตั้งแต่ 3 6 8 11 13 15 17 19 21 และ 23 รอบต่อนาที ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับเส้นเปียมาตรฐานตามขนาดที่ชุมชน ดังภาพ 9

จากภาพ 9 การทดสอบความกว้างของเส้นเปียด้วยการประมวลผลภาพ ซึ่งจะเป็นการวัดขนาดเส้นเปียที่ถักได้ ด้วยการวิเคราะห์ภาพซึ่งตั้งค่าสีระบบ HSV ไว้ที่ Hmin=97 Hmax=124 Smin=133 Smax=216 Vmin=56 Vmax=255 และค่าขนาดพื้นที่ที่ 310 เพื่อแยกแยะขนาดเส้นเปีย เพื่อสร้างตัวเลขประกอบ โดยการวัดจะเริ่มวัดความกว้างจากเส้นเปียมาตรฐานได้ 1.00 เซนติเมตร ส่วนเส้นที่ถักด้วยเครื่องที่จำกัดความเร็วมอเตอร์การหมุนของเครื่องถักไว้ที่ 30 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักจะทำการปรับค่า ตั้งแต่ 3 ถึง 23 รอบต่อนาที สามารถวัดความกว้างได้ที่ 1.17 เซนติเมตร 1.43 เซนติเมตร 1.23 เซนติเมตร 1.38 เซนติเมตร 1.46 เซนติเมตร 1.60 เซนติเมตร 1.65 เซนติเมตร 1.66 เซนติเมตร 1.69 เซนติเมตร และ 1.72 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า หากความเร็วชุดเก็บเร็วขึ้นจะทำให้ขนาดเส้นเปียจะใหญ่ขึ้น

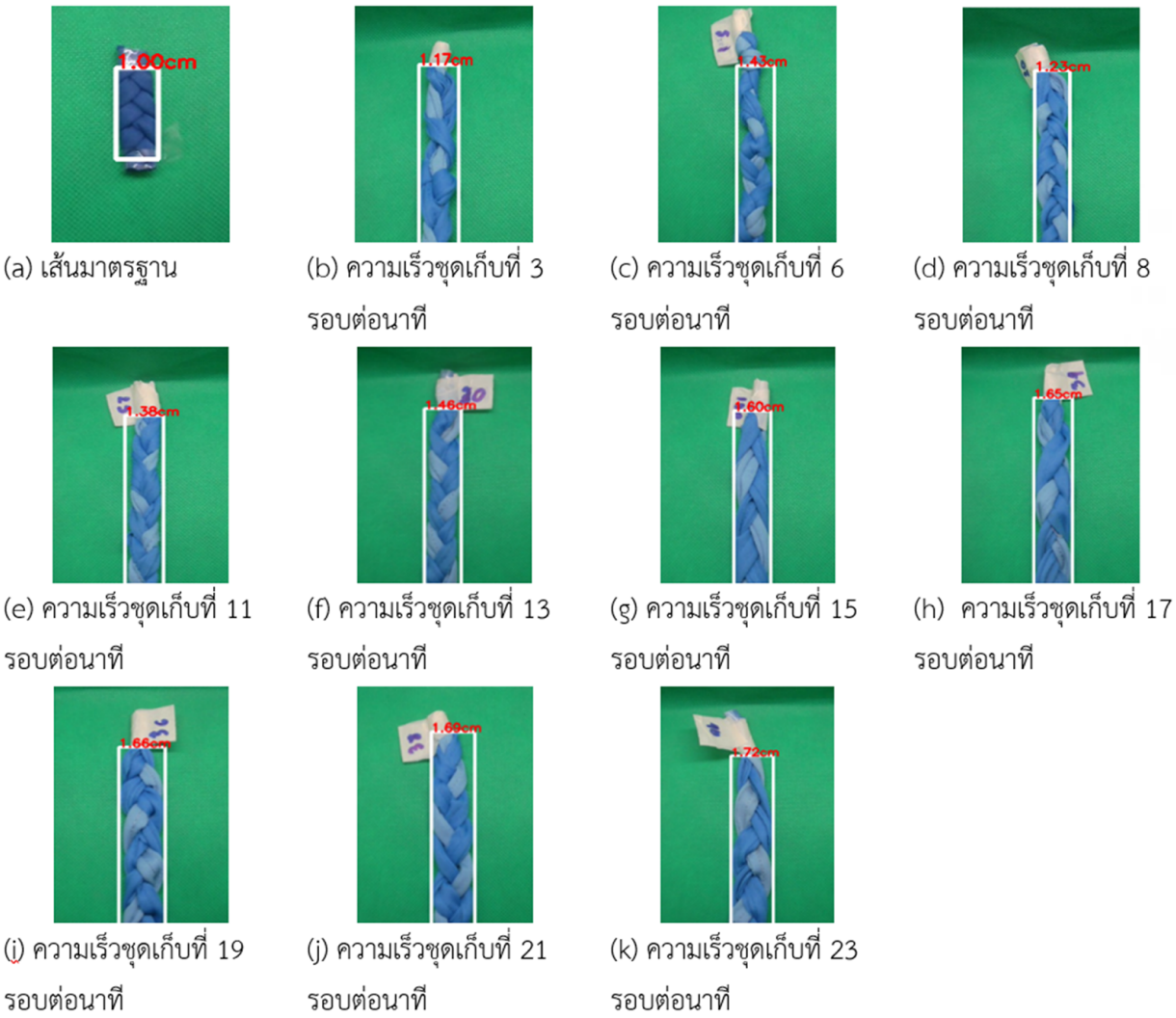
4. ผลการทดสอบความแข็งแรงของเส้นเปียด้วยการทดสอบแรงดึง

จากการพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน เมื่อดำเนินการเริ่มถักเปียในความเร็วต่าง ๆ ซึ่งได้ผลการถักที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการทดสอบจะทำการจำกัดความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของเครื่องถักไว้ที่ 30 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักจะทำการปรับค่าตั้งแต่ 3 ถึง 23 รอบต่อนาที ในข้อที่ 3 แล้วนั้น จะทำการหาความแข็งแรงของเส้นเปียด้วยการทดสอบแรงดึงซึ่งมีวิธีการทดสอบ ซึ่งจะใช้มอเตอร์ขนาด 24 โวลต์ 350 วัตต์ 450 รอบต่อนาที ดึงโหลดเซลล์ขนาด 50 กิโลกรัม ดังภาพ 10 เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงกับเส้นเปียมาตรฐานตามขนาดที่ชุมชน ดังภาพ 11

จากภาพ 11 การทดสอบความกว้างของเส้นเปียด้วยการประมวลผลภาพ ซึ่งวัดความกว้างเส้นเปียมาตรฐานได้ 1.00 เซนติเมตร ส่วนเส้นที่ถักด้วยเครื่องที่จำกัดความเร็วมอเตอร์การหมุนของเครื่องถักไว้ที่ 30 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักจะทำการปรับค่า ตั้งแต่ 3 6 8 11 13 15 17 19 21 และ 23 รอบต่อนาทีนั้นสามารถวัดความแข็งแรงของด้วยการดึง

จากภาพ 11(a) เส้นเปียมาตรฐานที่ชุมชนถักด้วยมือ มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.00 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 52.5 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 514.85 นิวตัน และจากภาพ 11(b) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 3 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ 1.17 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 42.75 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 419.23 นิวตัน และจากภาพ 11(c) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 6 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.43 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 34.95 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 342.74 นิวตัน และจากภาพ 11(d) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 8 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.23 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 30.1 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 295.18 นิวตัน และจากภาพ 11(e) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 11 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.38 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 41.50 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 406.98 นิวตัน และจากภาพ 11(f) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 13 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.46 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 43.10 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 422.67 นิวตัน และจากภาพ 11(g) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 15 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.60 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่อง

จะทำการวัดค่าได้ 48.15 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 472.19 นิวตัน และจากภาพ 11(h) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 17 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.65 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 42.5 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 416.78 นิวตัน และจากภาพ 11(i) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 19 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.66 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 39.5 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 387.36 นิวตัน และจากภาพ 11(j) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 21 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.69 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 44.10 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 432.47 นิวตัน และจากภาพ 11(k) เส้นเปียที่ถักด้วยความเร็วชุดเก็บที่ 23 รอบต่อนาที มีความกว้างของเส้นเปียอยู่ที่ 1.72 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเริ่มดึงเส้นเปียเครื่องจะทำการวัดค่าได้ 37.5 กิโลกรัมแรง (kgf) หรือเท่ากับ 367.75 นิวตัน ดังตาราง 3

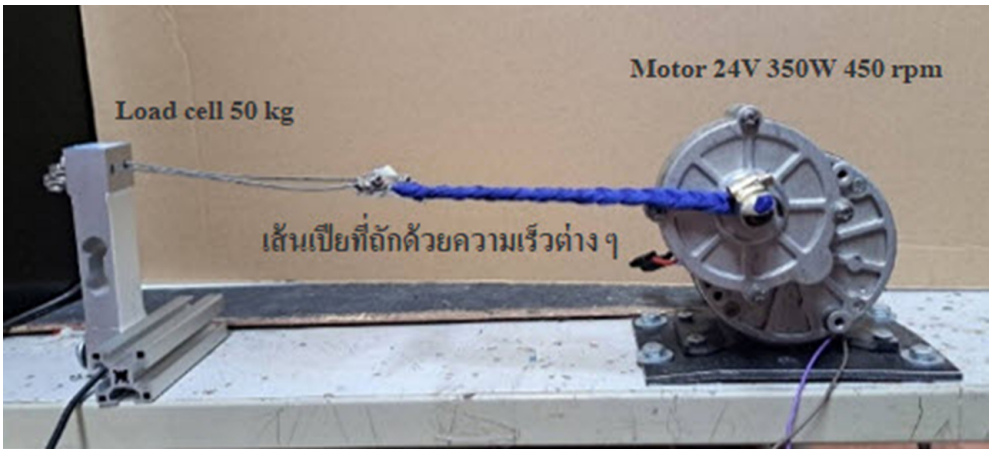


(a) เส้นมาตรฐาน (b) ความเร็วชุดเก็บที่ 3 รอบต่อนาที (c) ความเร็วชุดเก็บที่ 6 รอบต่อนาที (d) ความเร็วชุดเก็บที่ 8 รอบต่อนาที

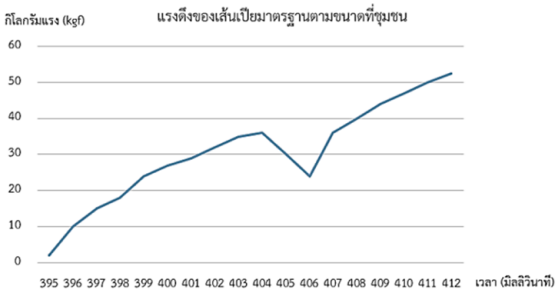
(e) ความเร็วชุดเก็บที่ 11 รอบต่อนาที (f) ความเร็วชุดเก็บที่ 13 รอบต่อนาที (g) ความเร็วชุดเก็บที่ 15 รอบต่อนาที (h) ความเร็วชุดเก็บที่ 17 รอบต่อนาที

(i) ความเร็วชุดเก็บที่ 19 รอบต่อนาที (j) ความเร็วชุดเก็บที่ 21 รอบต่อนาที (k) ความเร็วชุดเก็บที่ 23 รอบต่อนาที

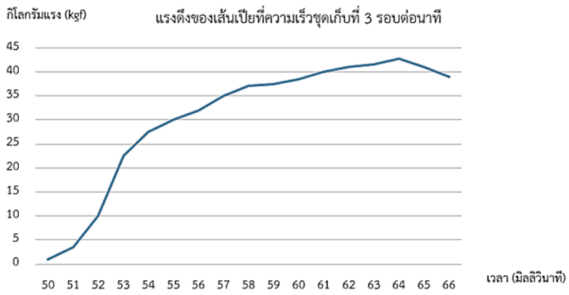
ภาพ 9 การทดสอบขนาดของเส้นเปีย 3 สายด้วยการประมวลผลภาพ



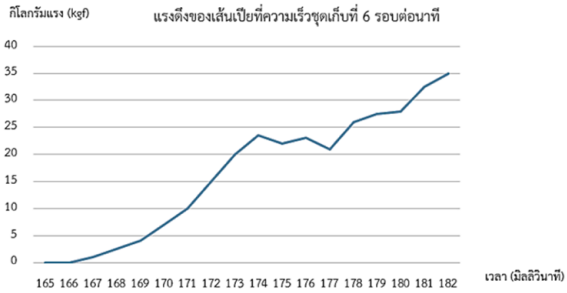
ภาพ 10 วิธีการทดสอบความแข็งแรงของเส้นเปีย 3 สาย



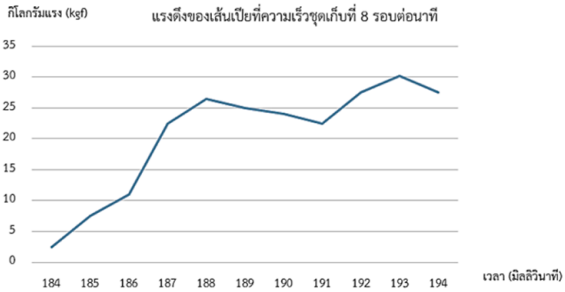
(a) เส้นเปียมาตรฐานตามขนาดที่ชุมชน



(b) ความเร็วชุดเก็บที่ 3 รอบต่อนาที



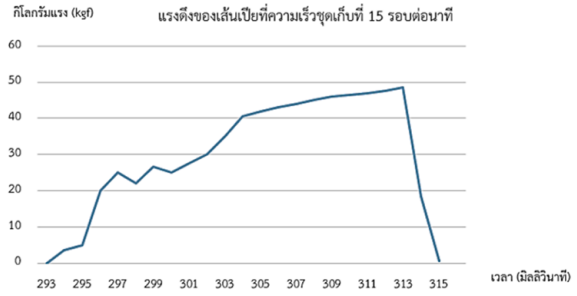
(c) ความเร็วชุดเก็บที่ 6 รอบต่อนาที



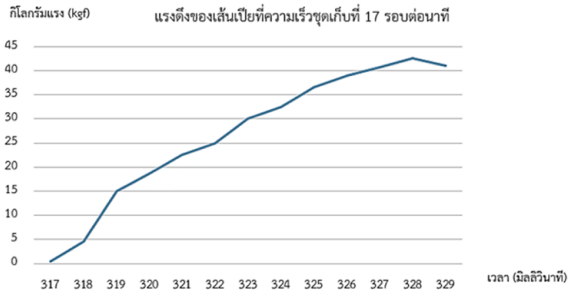
(d) ความเร็วชุดเก็บที่ รอบต่อนาที 8

(e) ความเร็วชุดเก็บที่ รอบต่อนาที 11

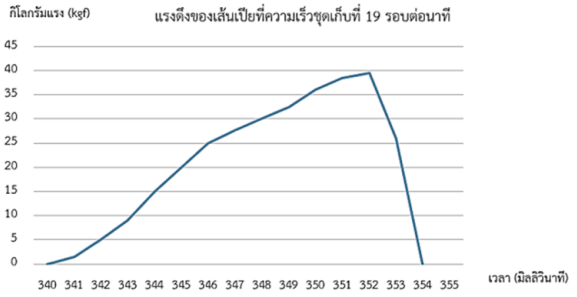
(f) ความเร็วชุดเก็บที่ รอบต่อนาที 13



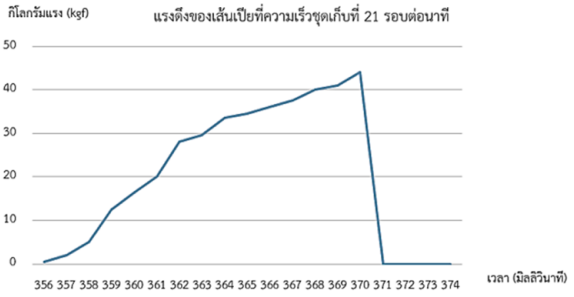
(g) ความเร็วชุดเก็บที่ รอบต่อนาที 15



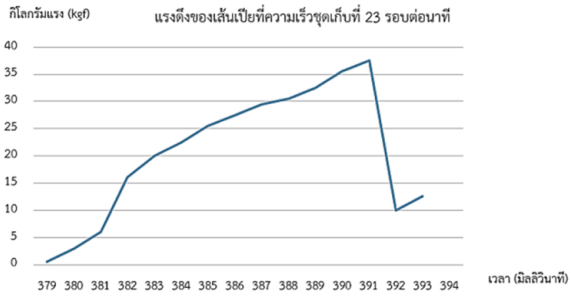
(h) ความเร็วชุดเก็บที่ รอบต่อนาที 17



(i) ความเร็วชุดเก็บที่ 19 รอบต่อนาที



(j) ความเร็วชุดเก็บที่ 21 รอบต่อนาที



(k) ความเร็วชุดเก็บที่ 23 รอบต่อนาที

ภาพ 11 วิธีการทดสอบความแข็งแรงของเส้นเปีย 3 สาย

5. ผลการทดสอบการถักเปียยาว 5 เมตร

ผลการทดสอบการถักเปียที่ความยาว 5 เมตร ซึ่งเป็นการทดสอบที่ความเร็วชุดเก็บที่ 15 รอบต่อนาที กับความเร็วชุดถักที่ 30 รอบต่อนาที เนื่องจากมีเส้นเปียที่ถักได้จากการทดสอบมีขนาดและความแข็งแรงใกล้เคียงกับมาตรฐานของชุมชนมากที่สุด เพื่อหาเวลาในการถักเปีย 3 สาย จำนวน 10 ครั้ง แล้วหาเวลาเฉลี่ยในการถัก ดังตาราง 4

จากตาราง 3 ผลการทดสอบการถักเปียที่ความยาว 5 เมตร ที่ความเร็วชุดเก็บที่ 15 รอบต่อนาที กับความเร็วชุดถักที่ 30 รอบต่อนาที ซึ่งเวลาเฉลี่ยในการถักอยู่ที่ 1.136 นาที

6. ผลการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องถัก

การพัฒนาเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อทำงานแทนการถักเปียของกลุ่มแม่บ้าน เพื่อความรวดเร็วในการสร้างวัตถุดิบขั้นต้น ซึ่งจากเดิมการถักเปีย 3 สายที่ใช้ระยะเวลาในการถักด้วยมือต่อคนอยู่ที่ 6 ถึง 7 เมตรต่อชั่วโมง คิดค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.5 เมตรต่อชั่วโมง หาก 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง จะสามารถถักเปีย 3 สายได้ 52 เมตร คิดต้นทุนต่าง ๆ ได้ ดังนี้

ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบเป็นค่าผ้า และค่าแรงตัดผ้าให้มีขนาดเท่ากัน (เหมาต่อผืน) คิดเป็นเงิน 2.44 บาทต่อเมตร และต้นทุนค่าแรงงาน 500 บาทต่อวัน 1 วันทำได้ 52 เมตร คิดเป็นเงิน 9.62 บาทต่อเมตร รวมมีต้นทุนแปรผันคือ 12.06 บาทต่อเปีย 3 สาย 1 เมตร สำหรับเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ จากเศษวัสดุเพื่อสร้างวัตถุดิบขั้นต้นสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน จากตาราง 3 ผลการทดสอบการถักเปียที่ความยาว 5 เมตรจะใช้เวลา 1.136 นาที หาก 1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง จะสามารถถักเปีย 3 สายได้ 422 เมตร คิดต้นทุนต่าง ๆ ได้ ดังนี้ ต้นทุนคงที่คำนวณมาจากต้นทุนของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ ได้แก่ เหล็ก โครงสร้างอะคริลิค ชุดใส่ผ้า ท่อน้ำทิ้ง มอเตอร์ เฟืองมอเตอร์ และโหลเก็บผ้า รวมมูลค่า 6,020 บาท ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบเป็นค่าผ้า และค่าแรงตัดผ้าให้มีขนาดเท่ากัน (เหมาต่อผืน) คิดเป็นเงิน 2.44 บาทต่อเมตร ค่าไฟฟ้า 2 ยูนิต ๆ ละ 5 บาท ถักเปีย 3 สายได้ 5 เมตร คิดเป็นเงิน 2 บาทต่อเมตร และต้นทุนค่าแรงงาน 500 บาทต่อวัน 1 วันทำได้ 422 เมตร คิดเป็นเงิน 1.18 บาทต่อเมตร รวมมีต้นทุนแปรผันคือ 5.62 บาทต่อเปีย 3 สาย 1 เมตร

การคำนวณจุดคุ้มทุนโดยการเปรียบเทียบระหว่างการถักเปียด้วยมือและการใช้เครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติที่มีลักษณะของต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่ว่าจะตัดสินใจเลือกแบบใดก็ตาม ผลลัพธ์หรือสินค้าที่ได้ออกมาจะมีคุณภาพใกล้เคียงกัน มีผลทำให้รายได้ที่เกิดขึ้นเท่ากัน ดังนั้น จึงเป็นการเปรียบเทียบเฉพาะต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเท่านั้น ซึ่งจุดคุ้มทุนในที่นี้จะหมายถึงจุดที่ทั้งการถักเปียด้วยมือและการใช้เครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติมีปริมาณการผลิตและค่าให้จ่ายที่เท่ากัน นั่นคือ $C1=C2$ และ $N1=N2=N^*$ เมื่อกำหนดให้ 1 แทนการถักเปียด้วยมือ และ 2 แทนเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติ ดังภาพ 10 โดยที่ C1 คือ ต้นทุนรวมของการถักเปียด้วยมือ C2 คือ ต้นทุนรวมของการถักเปียด้วยเครื่องถักเปีย N1 คือ ปริมาณการผลิตของการถักเปียด้วยมือ N2 คือ ปริมาณการผลิตของการถักเปียด้วยเครื่องถักเปีย

จากภาพ 10 จะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิต ณ จุดคุ้มทุน คือ 934.78 เมตร ซึ่งเป็นปริมาณการผลิตที่ทำให้การถักเปียด้วยมือและการใช้เครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติที่เท่ากัน แต่หากในระยะยาว ต้นทุนการผลิตของเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติจะมีต้นทุนที่ถูกกว่า

ตาราง 3

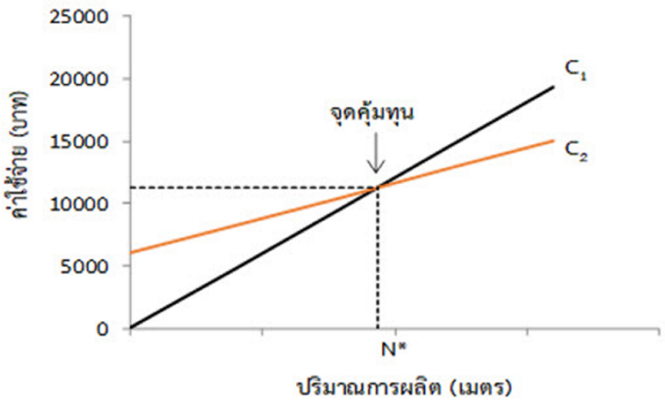
ผลการทดสอบขนาดและความแข็งแรงจากการถักเปียที่ความเร็วต่าง ๆ

ลำดับ	ความเร็วการหมุนชุดถัก (รอบต่อนาที)	ความเร็วชุดเก็บเส้นเปีย(รอบต่อนาที)	ขนาด (เซนติเมตร)	ความแข็งแรง (นิวตัน)
1	ขนาดมาตรฐานที่ชุมชนถักด้วยมือ		1.00	514.85
1	30	3	1.17	419.23
2	30	6	1.43	342.74
3	30	8	1.23	295.18
4	30	11	1.38	406.98
5	30	13	1.46	422.67
6	30	15	1.60	472.19
7	30	17	1.65	416.78
8	30	19	1.66	387.36
9	30	21	1.69	432.47
10	30	23	1.72	367.75

ตาราง 4

ผลการทดสอบการถักเปียที่ความยาว 5 เมตร

ครั้งที่	ความยาว (เมตร)	เวลา (นาที)	ครั้งที่	ความยาว (เมตร)	เวลา (นาที)
1	5	1.15	6	5	1.07
2	5	1.06	7	5	1.12
3	5	1.11	8	5	1.09
4	5	1.12	9	5	1.21
5	5	1.20	10	5	1.23
ค่าเฉลี่ย					1.136



ภาพ 12 จุดคุ้มทุนของเครื่องถักเปีย 3 สาย

การอภิปรายผลและสรุปผล

1. จากตาราง 1 และตาราง 2 ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว โดยความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของเครื่องถักจะมีค่าตั้งแต่ 6 รอบต่อนาที ถึง 45 รอบต่อนาที ที่การควบคุมค่าแอนะล็อกตั้งแต่ 50 ถึง 200 ส่วนความเร็วมอเตอร์ที่ควบคุมการหมุนของชุดเก็บเปียที่ถักแล้วจะมีค่าตั้งแต่ 3 รอบต่อนาที ถึง 23 รอบต่อนาที ที่การควบคุมค่าแอนะล็อกตั้งแต่ 10 ถึง 40

2. จากผลการทดสอบขนาดความกว้างของเส้นเปียด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งจากภาพ 6 จะสามารถวัดค่าความกว้างของเส้นเปียมาตรฐานที่ชุมชนต้องการอยู่ที่ 1.00 เซนติเมตร ส่วนค่าความกว้างของเส้นเปียที่เครื่องถักเปียที่พัฒนาขึ้นจะอยู่ระหว่าง 1.17 ถึง 1.72 เซนติเมตร

3. ผลการทดสอบความแข็งแรงของเส้นเปียด้วยการทดสอบแรงดึง ซึ่งจะเป็นการวัดความแข็งแรงของเส้นเปียด้วยการทดสอบแรงดึง ซึ่งจะใช้มอเตอร์ขนาด 24 โวลต์ 350 วัตต์ 450 รอบต่อนาที ดึงโหลดเซลล์ขนาด 50 กิโลกรัม เพื่อเปรียบเทียบกับเส้นเปียมาตรฐานที่ชุมชนต้องการ ซึ่งจากภาพ 8 จะสามารถวัดค่าความแข็งแรงของเส้นเปียมาตรฐานที่ชุมชนต้องการอยู่ที่ 514.85 นิวตัน ส่วนค่าความแข็งแรงของเส้นเปียที่เครื่องถักเปียที่พัฒนาขึ้นจะอยู่ระหว่าง 295.18 ถึง 472.19 นิวตัน

4. ผลการทดลองที่ทำให้เส้นเปียมีขนาดแล้วความแข็งแรงน้อยกว่าเส้นเปียมาตรฐานของชุมชนเนื่องจากความดึงของเส้นเชือกที่ออกจากล่องปล่อยไม่สม่ำเสมอทำให้ขนาดและความแข็งแรงจึงไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

5. ผลการทดสอบการถักเปียที่ความยาว 5 เมตร ที่ความเร็วชุดเก็บที่ 15 รอบต่อนาที กับความเร็วชุดถักที่ 30 รอบต่อนาที ซึ่งเวลาเฉลี่ยในการถักอยู่ที่ 1.136±0.094 นาที

6. ผลการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องถักจะอยู่ที่ 934.78 เมตร ซึ่งเป็นปริมาณการผลิตที่ทำให้การถักเปียด้วยมือและการใช้เครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติที่เท่ากันกับแบบเดิม แต่หากในระยะยาว ต้นทุนการผลิตของเครื่องถักเปีย 3 สายอัตโนมัติจะมีต้นทุนที่ถูกกว่า เนื่องจากการถักเปียด้วยมือจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง ได้เส้นเปียเพียง 6 ถึง 7 เมตร ซึ่งช้ากว่าใช้เครื่องถัก

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยปีงบประมาณปี 2566 และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สำหรับการสนับสนุน ส่งเสริม และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตลอดโครงการ รวมถึงโครงการเคหะชุมชนฉลองกรุง เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานตลอดโครงการ

References

Allen, M. (2023). *The fascinating history of braids you never knew about*. Retrieved from https://www.byrdie.com/history-of-braids. (in Thai)

Amnueypornsakul, P. (2014). *Study for use scrap fabric waste in small industrial to create a new design approach to consumers* (Master's thesis). Silpakorn University. Nakhon Pathom. (in Thai)

Bashir, S. A. M. A., & Tuljapure, S. B. (2019). Design of low cost semi-automatic dry ironing machine for laundries. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), 9*(5), 113-124. https://bit.ly/3YDe5XD

Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). New York: McGraw – Hill.

Chatakananda, L., Rattananaraphan, J., & Tempiam, S. (2013). *Value-added products from textile waste: Household items and souvenirs*. Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Hussain, S. Z., Ali, S. M., & Imran, T. (2021). *Automatic braiding machine*. Topi, Swabi: Faculty of Mechanical Engineering Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering and Technology.

Jan, K. (2015). *Development of 3D braiding concept for multi-axial textile preforms* (Doctoral dissertation). University of Manchester. England.

Khade, M. S., Askar, P. S., Meshram, A. P., Aglawe, P. N., Deshmukh, S. G., Gangreddiwar,S. S., & Halmare, A. (2019). Design of continuity process of cable in braiding machine in cable industry. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), 6*(4), 345-348. https://www.jetir.org/papers/JETIR1904F57.pdf

Kraikaew, P. (2021). *Furniture creation using waste fabric from industrial factories* (Research report). Bangkok: Suphan Buri College of Fine Arts, Institute of Fine Arts Development. (in Thai)

Kumar, A., Prakash, A., Datta, P., Kumar, R., & Sharma, A. G. (2019). Automatic cooking machine using arduino. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8*(2), 650-653. https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i2/B1659078219.pdf

Kumbhalkar, M. A., Mate, S. V., Dhote, S., & Gondane, M. (2013). Enhance production rate of braiding machine using speed reduction technique. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME), 2*(2), 2319 – 3182. http://www.irdindia.in/journal_ijtarme/pdf/vol2_iss2/9.pdf

Li, F., Zhang, M., Chen, S., & Hang, L. (2022). Design and research of an Intelligent Ironing Machine. *SSRG International Journal of Polymer and Textile Engineering, 9*(1), 11-13. doi: 10.14445/23942592/IJPTE-V9I1P103

Logisticafe. (2009). *Break-even point*. Retrieved from http://www.logisticafe.com/2009/09/break-even-point/. (in Thai)

National Housing Authority. (2023). *Chalong Krung Community Housing Project, Nong Chok District, Bangkok*. Retrieved from https://www.nha.co.th/en/. (in Thai)

Puongsanthia, N. (2021). *Study and development of room divider from macramae knitting techniques for textile products* (Master's thesis). Rajamangala University of Technology PhraNakhon. Bangkok. (in Thai)

Pickett, A. K., Schneider, M., Wulfhorst, B., & Langer, P. J. (2000). Design and manufacture of 3D-braided textiles as a reinforcement for composites. *Materials for Transportation Technology, 1*, 169-175. https://doi.org/10.1002/3527606025.ch28

Rijiravanich, W., & Ploimekha, S. (2007). *Engineering economics* (10th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)

Sasongkoah, T., Ariya-kruea, K., Sariganont, J., & Saliganon, C. (2014). *Design and development of textile household products from waste fabric using hand tufted technique for Ban Kiang Ngam community enterprise group, Nakhon Nayok province* (Research report). Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Seehavatanakul, P., & Jaiton, A. (2023). Development of artificial flower products from Remnant of fabric with coating technique by community enterprise and artificial craft in Khao Kaew Srisomboon, Thung Saliam, Sukhothai. *Suan SunandhaAcademic & Research Review Journal, 17(*1), 12–25. (in Thai)

Sangrit, P. (2012). *The study and development of handbags crafted from water hyacinth for foreign tourists: Case study-Wicker Handbags of Bangsai Arts and Crafts Centre of H.M. Queen Sirikit of Thailand* (Master's thesis). Srinakharinwirot University. Bangkok. (in Thai)

Singkarlsiri, C. (2003). *Engineering economics* (3rd ed.). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok. (in Thai)

Songyifan, S., Hexinhai, H., Nhao, L. j., Zhangzhiyi, Z., & Zhagliang, Z. (2020). Design of a new braiding device with 3D integral active yarn carried. *Industria Textila, 71*(06), 557-561. doi: 10.35530/IT.071.06.1706

Syamsudduha, A. A., Pratiwi, D., Yudistari, A. R., Hindharta, J., & Agushinta, R. D. (2013). Future smart cooking machine system design. *Telkomnika, 11*(4), 827-834. https://bit.ly/3Ck9aDj

Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2012). Engineering economy (15th ed.). London: Pearson Education.

Techathanased, P., Choommongkon, P., Konsongsan, T., & Chatkam, P. (2019). The development of cloth bags from pieces of the fabric, Ton Yang Village, Chan Cha Sub-District, Mae Chan District, Chiang Rai Province. *The Journal of Accounting Review, Chiang Rai Rajabhat University: JAR CRRU, 4*(1), 1-13. (in Thai)

Tongsukawong, A. (2023). *Variable costs and cost-volume-profit analysis*. Retrieved from http://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc_02.pdf. (in Thai)

Tummue. (2018). *Four strand braid.* Retrieved from https://tum-mue.blogspot.com/2018/11/3-four-strand-braid.html. (in Thai)

Venkatesh, R. B., & SivaramKumar, V. (2017). Design and fabrication of automatic dishwasher machine. *International Conference on Emerging trends in Engineering, Science and Sustainable Technology (ICETSST-2017)* (pp. 26-31). Erode, India: Erode Sengunthar Engineering College. https://bit.ly/40Dgynq

การพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุจากการวิเคราะห์และจำแนกปัจจัยมนุษย์ด้วยเนอีฟเบย์

The Forecasting Aircraft Accident from Human Factors Analysis and Classification Systems by Naive Bayes

บุญญวัฒน์ อักษรกิตติ์[1]* และวรรษมนต์ สันติศิริ[1]
Boonyawat Aksornkitti[1]* and Watsamon Santisiri[1]
[1]สถาบันเทคโนโลยีการบินและอวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
[1]Institute of Aviation and Aerospace Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok
*Corresponding author: boonyawatgun@gmail.com
Received: July 19, 2024
Revised: October 10, 2024
Accepted: October 16, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุ และ (2) เพื่อวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น ด้วยวิธีเฉพาะเจาะจงจากอากาศยานพาณิชย์แอร์บัส รุ่น A320-A321 ที่มีรายงานเกิดอุบัติเหตุช่วงการลงจอดและมีรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุเสร็จสมบูรณ์ด้วยปัจจัย เช่น เวลา สภาพอากาศ จำนวนทางวิ่ง HFACS เป็นต้น ตั้งแต่ปี ค.ศ.2013-2023 ที่ จำนวน 67 ชุด แบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดฝึกสอน จำนวน 54 ชุด และชุดทดสอบ จำนวน 13 ชุด เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าความถี่ ร้อยละ และเนอีฟเบย์ ผลการวิจัยพบว่า (1) สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุ คือ ข้อจำกัดทางกายภาพ และข้อผิดพลาดของมนุษย์ เป็นต้น และ (2) ประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ ได้เท่ากับ 0.69

คำสำคัญ: พยากรณ์ อากาศยาน อุบัติเหตุ ปัจจัยมนุษย์ เนอีฟเบย์

Abstract

This research aim (1) to analyzes cause of aircraft accident and (2) to measure the efficiency of aircraft accident forecasting. Using non-probability sampling with purposive sampling method from Airbus commercial aircraft type A320-A321 which had an accident during landing and has completed investigate due to the factors such as time, weather condition, number of runways, and HFACS from year 2013-2023, total 67 datasets. All set were divided to train data to 54 datasets and testing data to 13 datasets. Data were analyzed by frequency, percentage, Naïve Bayes. Result found, (1) cause of aircraft accident are physical limitation and human error etc. (2) The efficiency of aircraft accident forecasting equal to 0.69.

Keywords: forecasting, aircraft, accident, human factors, naive bayes

บทนำ

นอกจากการขนส่งทางอากาศเป็นหนึ่งในวิธีการขนส่งที่ปลอดภัยที่สุดแล้ว ยังจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ และธุรกิจต่าง ๆ ทั่วโลก (De Castroverde, 2024) รวมถึงอุบัติเหตุในการขนส่งทางอากาศในเชิงพาณิชย์มีอัตราน้อยมากเมื่อเทียบกับการขนส่งแบบอื่น (Rookeaw et al., 2022) อย่างไรก็ตามแม้ว่าโอกาสเกิดอุบัติเหตุในการขนส่งทางอากาศยานจะมีน้อยมาก แต่หากเกิดขึ้นมาแล้วย่อมอาจจะทำให้เกิดการบาดเจ็บ เสียชีวิต เสียทรัพย์สิน และบริษัทที่เกี่ยวข้องหรือสายการบินอาจจะต้องสูญเสียชื่อเสียงตลอดจนความภักดีของผู้โดยสารที่มาใช้บริการส่งผลให้เกิดความขาดทุนหรือล้มละลายได้ (Kitcharoen, 2021)

ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์ข้อเท็จจริงจากข้อมูลงานวิจัยด้านการพยากรณ์อุบัติเหตุในอุตสาหกรรมการบินและส่วนที่เกี่ยวข้อง จากบทความและวรรณกรรมดังนี้ เช่น Yeoum and Lee (2013); Ison (2015); Mathur et al. (2017); Kaji et al. (2019); Mehta et al. (2021); Caetano (2022); Silagyi and Liu (2023) พบว่าการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุนั้นนิยมใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร (machine learning) เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ เช่น การถดถอยโลจิสติกส์ (logistics regression) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (support vector machine) ป่าสุ่ม (random forest) เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K nearest neighbors) เนอีฟเบย์ (Naive Bayes) และโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) สำหรับตัวแปรต้นนั้น พบว่า เป็นรุ่นของอากาศยาน วัตถุประสงค์ของภารกิจ สภาพอากาศยาน ดังงานวิจัยของ Mehta et al. (2021) เวลาในการเกิดอุบัติเหตุ ทางวิ่งที่ใช้ จำนวนลูกเรือ อายุของนักบิน ดังงานวิจัยของ Silagyi and Liu (2023) และเห็นด้านปัจจัยมนุษย์ ดังงานวิจัยของ Lazaro et al. (2024)

จากบทนำข้างต้นคณะผู้วิจัยสนใจจะทำงานวิจัยในหัวข้อการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุจากการวิเคราะห์และจำแนกปัจจัยมนุษย์ (HFACS) ด้วยเนอีฟเบย์ เนื่องจาก HFACS ถูกนำไปใช้วิเคราะห์ปัจจัยในสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุในหลายด้านและเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ละเอียด และเนอีฟเบย์เนื่องจากง่ายและรวดเร็วในการทำนายของชุดข้อมูลทดสอบและทำงานได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องอื่น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุและวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุ
2. เพื่อวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์และจำแนกปัจจัยมนุษย์

การวิเคราะห์และจำแนกปัจจัยมนุษย์ หรือ Human Factors Analysis and Classification System--HFACS ได้ถูกพัฒนาโดย Dr.Scott Shappell และ Dr.Doug Wiegmann

ซึ่งการวิเคราะห์นี้เดิมทีกองทัพเรือของสหรัฐอเมริกา ใช้เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ปัจจัยมนุษย์ในแง่มุมต่าง ๆ ของการบิน สำหรับการวิเคราะห์นี้มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองสวิสชีส (Swiss Cheese) ของ ศาสตราจารย์ James Reason ภายในแต่ละระดับของ HFACS ตามภาพ 1 โดยมีการแบ่งเป็น 4 ชั้น จากล่างขึ้นบน ดังนี้ (Skybrary, 2024)

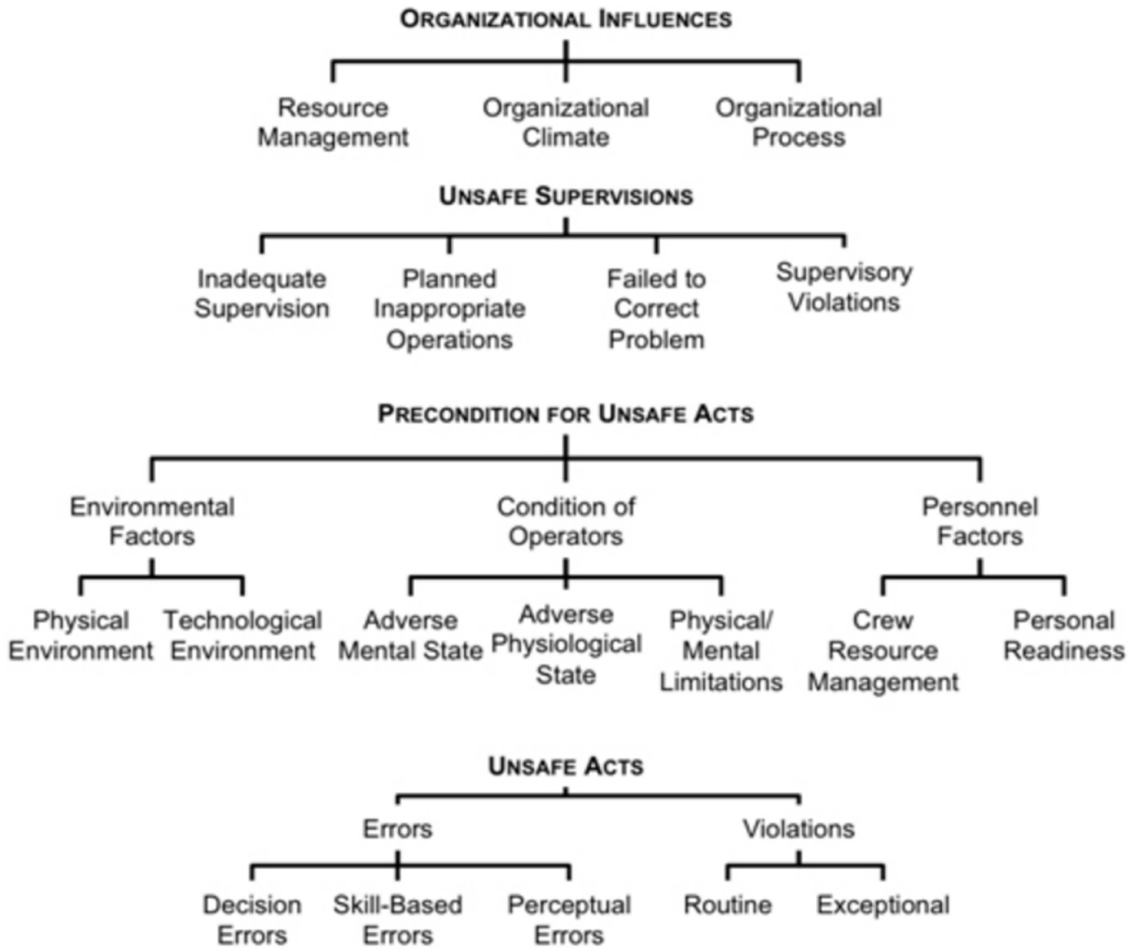
1. การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (unsafe act) ในที่นี้ คือ ผู้ปฏิบัติงาน แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ข้อผิดพลาด (error) มีหมวดหมู่ย่อยอีก 3 ตัว และการละเมิด (violation) มีหมวดหมู่ย่อยอีก 2 ตัว

2. เงื่อนไขเบื้องต้นสำหรับการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (preconditions for unsafe acts) แบ่งออกเป็นสามประเภท คือ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมรอบตัวผู้ปฏิบัติงาน (environmental factors) มีหมวดหมู่ย่อย 2 ตัว ปัจจัยด้านสภาพของผู้ปฏิบัติงาน (condition of operators) มีหมวดหมู่ย่อย 3 ตัว และปัจจัยด้านบุคคล (personal factors) มี

3. หมวดหมู่ย่อย 2 ตัว

4. การกำกับดูแลที่ไม่ปลอดภัย (unsafe supervision) แบ่งออกเป็นสี่ประเภท คือ การกำกับดูแลที่ไม่เพียงพอ (inadequate supervision) วางแผนการดำเนินงานที่ไม่เหมาะสม (plan inappropriate operation) ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ (fail to correct known problem) และการละเมิดการกำกับดูแล (supervisory violation)

5. อิทธิพลขององค์กร (organizational influences) แบ่งออกเป็นสามประเภท คือ การจัดการทรัพยากร (resource management) บรรยากาศขององค์กร (organizational climate) และ กระบวนการดำเนินงาน (operational process)



ภาพ 1 Human Factors Analysis and Classification System

Note. From *Human factors analysis and classification system* by Skybrary, 2024, retrieved from https://skybrary.aero/articles/human-factors-analysis-and-classification-system-hfacs

ขั้นตอนในการใช้ HFACS เพื่อประเมินปัจจัยสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุสามารถทำได้ ดังนี้ (Kinanti, 2024)

1. อ่าน วิเคราะห์ และระบุรายงานอุบัติเหตุ

2. ระบุสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ด้วยรายการตรวจสอบ (checklist)

3. ทำการจำแนกปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุ

ทั้งนี้ HFACS ได้ถูกนำไปใช้วิเคราะห์ปัจจัยในสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุในหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมการก่อสร้าง การให้บริการสาธารณะ เช่น ด้านการขนส่งทางบก ด้านการขนส่งทางราง ด้านการขนส่งทางอากาศ ด้านการขนส่งทางน้ำ และด้านการบริการสุขภาพ เป็นต้น (Jalali et al., 2023) ซึ่งคณะผู้วิจัยเลือกใช้เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยในสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุในหลายด้านและเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ละเอียดซึ่งจะทำให้การป้องกันเป็นไปง่ายยิ่งขึ้น

เนอีฟเบย์

เนอีฟเบย์ (Naive Bayes) เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised machine learning) ที่ได้รับความนิยมซึ่งใช้สำหรับงานจำแนกประเภท และเป็นส่วนหนึ่งของอัลกอริธึมปัญญาประดิษฐ์รูปแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับสร้างเนื้อหาใหม่ ๆ (Generative AI) ได้อย่างหลากหลายแบบอัตโนมัติโดยที่ไม่ต้องมีมนุษย์เข้ามาช่วย ทฤษฎีบทของเบย์ (Bayes' theorem) อธิบายความน่าจะเป็นของเหตุการณ์โดยอาศัยความรู้ก่อนหน้าเกี่ยวกับเงื่อนไขที่อาจเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์นั้น ตาม (1) (Ray, 2024)

$$P(c|x) = \frac{\mathrm{P(x|c)P(c)}}{\mathrm{P(x)}} \quad (1)$$

โดยที่

$\mathbf{P(c|x)}$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีแอตทริบิวต์เป็น $\boldsymbol{x}$ จะมีคลาส $\mathbf{c}$

$\mathbf{P(x|c)}$ คือ ความน่าจะเป็นซึ่งเป็นความน่าจะเป็นของตัวทำนายที่กำหนดคลาส

$\mathrm{P(c)}$ คือ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าของคลาส

$\mathrm{P}(\boldsymbol{x})$ คือ ความน่าจะเป็นก่อนหน้าของตัวทำนาย

เนอีฟเบย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์อุบัติเหตุทางอากาศ เช่น งานวิจัยของ Caetano (2022); Kajic et al. (2019); Zhang and Mahadevan (2021); Zhao et al. (2022) ด้านการพยากรณ์ผลการแข่งขันกีฬา เช่น งานวิจัยของ Jongmuanwai and Poommarin (2022) ด้านการแพทย์ เช่น งานวิจัยของ Jirapanthong and Banluesapy (2022) เป็นต้น

ข้อดีและข้อจำกัดของเนอีฟเบย์ ข้อดี คือ ง่ายและรวดเร็วในการทำนายของชุดข้อมูลทดสอบ ทำงานได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องอื่น ๆ เช่น การถดถอยโลจิสติกหรือแผนผังการตัดสินใจ และต้องการข้อมูลการฝึกน้อยกว่า และเหมาะสมกับตัวแบบหมวดหมู่มากกว่าตัวแปรตัวเลข ส่วนข้อจำกัด คือ หากความน่าจะเป็นเป็นศูนย์หรือมีทศนิยมที่มีจำนวนน้อยมาก ๆ จะส่งผลให้กับตัวแปรในหมวดหมู่ (Vadapalli, 2023)

การวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์

เมทริกซ์แห่งความสับสน (confusion matrix) คือ ตารางของผลลัพธ์การพยากรณ์และผลลัพธ์ของปัญหาการจำแนกประเภท ตามภาพ 2 (Satangmongkol, 2023)

จากภาพ 2 "Actual" คือ ค่าจริง "Forecasting" คือ ค่าพยากรณ์ "TP" คือ ค่าที่เราพยากรณ์ว่าเป็น Yes และค่าจริงก็เป็น Yes "FN" คือ ค่าที่เราพยากรณ์ว่าเป็น No แต่ค่าจริงเป็น Yes "FP" คือ ค่าที่เราพยากรณ์ว่าเป็น Yes แต่ค่าจริงเป็น No "TN" คือ ค่าที่เราพยากรณ์ว่าเป็น No และค่าจริงก็เป็น No โดยที่ค่า "TP" "FN" "FP" และ "TN" จะเป็นค่าความถี่จากการเปรียบเทียบจากค่าจริงและค่าพยากรณ์ ทั้งนี้ค่าจากเมทริกซ์แห่งความสับสนสามารถนำไปสร้างการวัดประสิทธิภาพต่าง ๆ (Simplilearn, 2024) ได้ดังนี้

1. Accuracy คือ การวัดประสิทธิภาพความถูกต้องโดยรวมของโมเดล โดยค่าจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และยิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการวัดประสิทธิภาพนั้นยิ่งดี (2)

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2)$$

2. Precision คือ การวัดประสิทธิภาพความสามารถของแบบจำลองในการจำแนกค่าบวกอย่างถูกต้อง โดยค่าจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และยิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการวัดประสิทธิภาพนั้นยิ่งดี (3)

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (3)$$

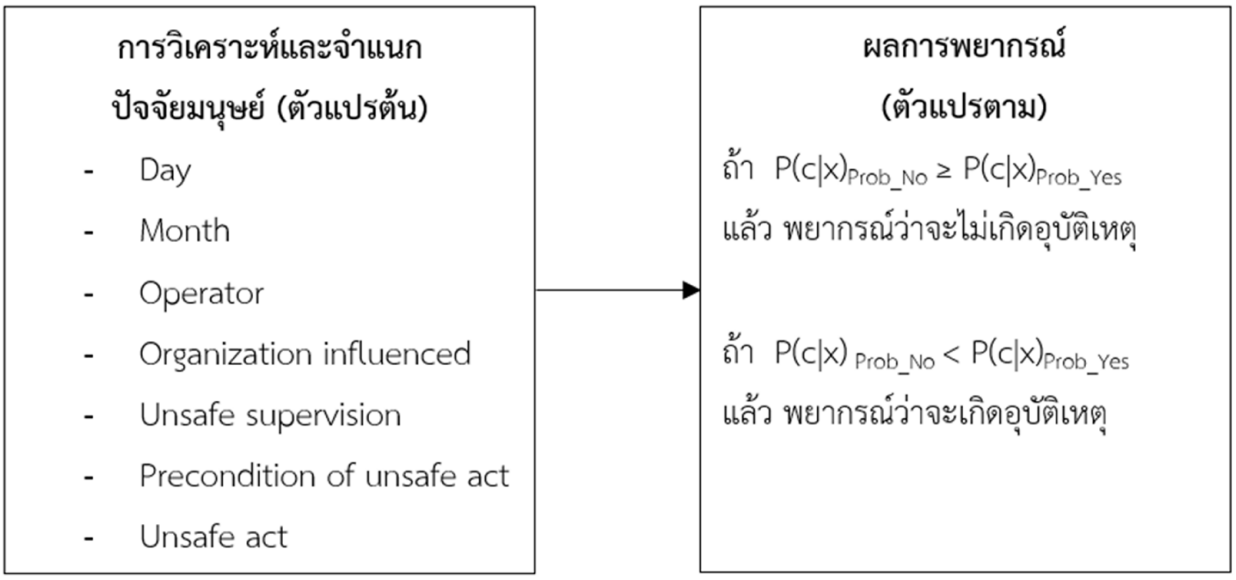
3. Recall คือ การวัดประสิทธิภาพความสามารถของแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าบวก โดยค่าจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และยิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการวัดประสิทธิภาพนั้นยิ่งดี (4)

$$Recall = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (4)$$

Forecasting / Actual	Yes	No
Yes	TP	FN
No	FP	TN

ภาพ 2 Confusion matrix

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยเก็บข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) อากาศยานอุบัติเหตุจากฐานข้อมูลต่างประเทศมาวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุด้วยการวิเคราะห์และจำแนกปัจจัยมนุษย์ (วัตถุประสงค์ข้อที่ 1) ในการเก็บข้อมูลคณะผู้วิจัยได้ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงมาจำนวน 67 ชุด จากนั้นนำมาแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดฝึกสอน (train data) จำนวน 54 ชุด คิดเป็นร้อยละ 80 และชุดทดสอบ (test data) จำนวน 13 ชุด คิดเป็นร้อยละ 20 (Maayan, 2023) จากนั้นนำชุดฝึกสอนมาสร้างการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุเพื่อวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์โดยเทียบกับชุดทดสอบ (วัตถุประสงค์ข้อที่ 2)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยเรื่องนี้ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (nonprobability sample) ด้วยวิธีเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) เนื่องจากสามารถให้คณะผู้วิจัยสามารถมุ่งเน้นเฉพาะประเด็นที่และรวบรวมข้อมูลเชิงลึกในหัวข้อที่สนใจได้ (Bisht, 2024) ตัวอย่างงานวิจัยด้านการพยากรณ์ที่มีการใช้การสุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น ด้วยวิธีเฉพาะเจาะจง เช่น งานวิจัยของ Schmidinger et al. (2024); Sonny et al. (2023) เป็นต้น

โดยงานวิจัยเรื่องเก็บกลุ่มตัวอย่างจากข้อมูลอากาศยานพาณิชย์ที่มีรายงานเกิดอุบัติเหตุช่วงการลงจอด (landing) เนื่องจากมีสถิติอุบัติเหตุมากสุด (International Civil Aviation Organization, 2023) จากอากาศยานพาณิชย์แอร์บัส (Airbus) รุ่น A320-A321 เนื่องจากเป็นที่รุ่นที่มีสถิติส่งมอบให้สายการบิน (Statista, 2024) และเป็นที่นิยมมากที่สุดในโลก (Amati, 2024) ย้อนหลัง 10 ปี (ค.ศ.2013-2023) ที่มีรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุเสร็จสมบูรณ์

ทำให้ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 67 ชุด จากนั้นนำมาแบ่งเป็น 2 ชุด คือ ชุดฝึกสอน จำนวน 54 ชุด คิดเป็นร้อยละ 80 และชุดทดสอบ จำนวน 13 ชุด คิดเป็นร้อยละ 20

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้การวิจัยในวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 คณะผู้วิจัยได้ออกแบบตารางเก็บข้อมูลในโปรแกรมตารางสำหรับการคำนวณ (spreadsheet) และวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ใช้โปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ในการเขียนสมการที่เกี่ยวข้อง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากที่ออกแบบตารางเสร็จเรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยเก็บข้อมูลทุติยภูมิจากเว็บไซต์วิเคราะห์อากาศยานอุบัติเหตุทางอากาศจากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจะเริ่มตั้งแต่ ค.ศ.2013-2023 ที่อากาศยานรุ่น A320 และ A321 ที่เกิดอุบัติเหตุตอนลงจอด และมีรายงานการสอบสวนอุบัติเหตุเสร็จสมบูรณ์

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วจะใช้สถิติพรรณนา (descriptive statistics) โดยการวิเคราะห์ความถี่ของข้อมูล (frequency) ค่าร้อยละ (percentage) ในการตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised machine learning) ด้วยเนอีฟเบย์ (Naive Bayes) ในการพยากรณ์ และสำหรับการวัดประสิทธิภาพในการพยากรณ์ในวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ด้วยเมทริกซ์แห่งความสับสน (confusion matrix)

ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้มีผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 หัวข้อ คือ (1) การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุ และ (2) การวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ

1. การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุ

จากภาพ 4 เวลาในการเกิดอุบัติเหตุเวลากลางวัน 41 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 61.19 และ เวลากลางคืน 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 38.81

จากภาพ 5 จำนวนทางวิ่งที่มีอุบัติเหตุมากที่สุด คือ 1 ทางวิ่ง จำนวน 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 38.81 และจำนวนทางวิ่งที่มีอุบัติเหตุน้อยสุด คือ 6 ทางวิ่ง จำนวน 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 1.49

จากภาพ 6 สภาพอากาศยานในช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุที่มีมากที่สุด คือ สภาพอากาศยานในช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุช่วงสภาพอากาศปกติ จำนวน 20 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 29.85 และ สภาพอากาศยานในช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุที่มีน้อยที่สุดสภาพอากาศที่มีพายุ จำนวน 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 1.49

จากภาพ 7 อิทธิพลของที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุเกิดมากที่สุดมาจากปัจจัย “Operational process” จำนวน 20 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 29.85 และน้อยที่สุดมาจากปัจจัย “Organization climate” คิดเป็นร้อยละ 1.49

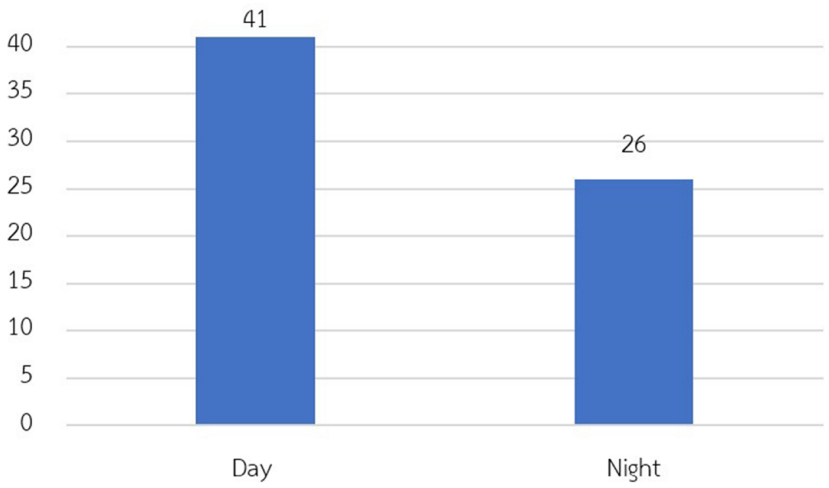
จากภาพ 8 การกำกับดูแลที่ไม่ปลอดภัยที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ เกิดมากที่สุดมาจากปัจจัย “Inadequate supervision” จำนวน 20 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 29.85 ของเหตุการณ์ทั้งหมด และน้อยที่สุดมาจากปัจจัย “Supervisory violation” คิดเป็นร้อยละ 0.00

จากภาพ 9 ในกลุ่มของ “Condition of operators” ปัจจัยที่มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือ ด้าน “Physical limitation” จำนวน 17 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 25.37 ปัจจัยที่ไม่มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ คือ ด้าน “Adverse physiological” คิดเป็นร้อยละ 0.00 และเหตุการณ์ทั้ง 3 ไม่มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ จำนวน 46 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 68.66

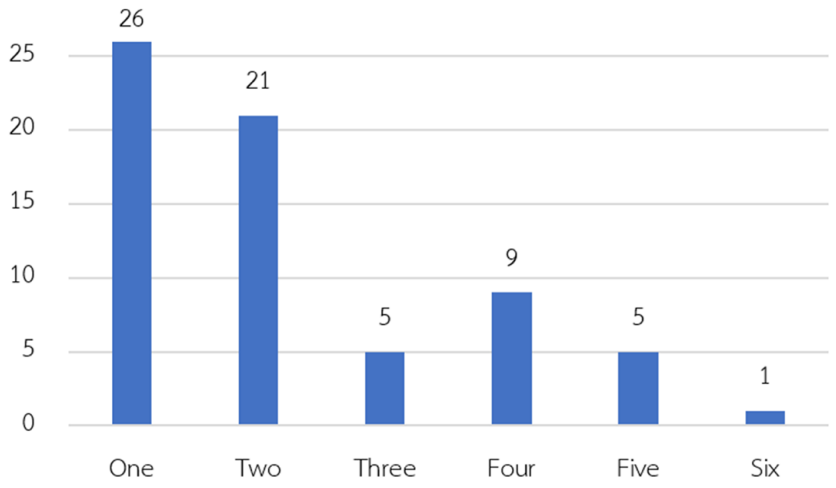
จากภาพ 10 ในกลุ่มของ “Condition of operators” ปัจจัยด้าน “Environmental factors (Technology)” มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ 12 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 17.91 ของเหตุการณ์ทั้งหมด ปัจจัยด้าน “Personnel factors” มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ 20 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 29.85 ของเหตุการณ์ทั้งหมด

จากภาพ 11 ความถี่ของการกระทำที่ไม่ปลอดภัยส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ “Error” มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ 12 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 52.24 ของเหตุการณ์ทั้งหมด “Violation” มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 1.49 ของเหตุการณ์ทั้งหมด

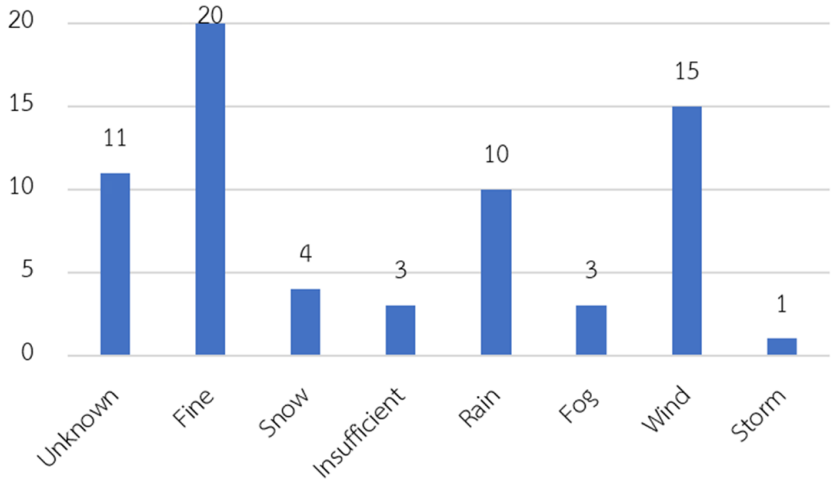
จากภาพ 12 ความถี่ของ “Incident (No)” มีทั้งหมด 41 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 61.19 ความถี่ของ “Accident (Yes)” มีทั้งหมด 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 38.81



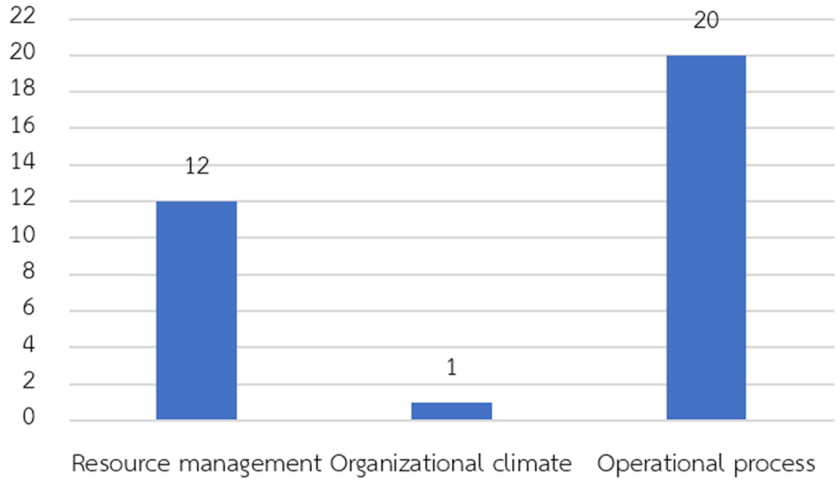
ภาพ 4 จำนวนความถี่ของเวลาในการเกิดอุบัติเหตุ



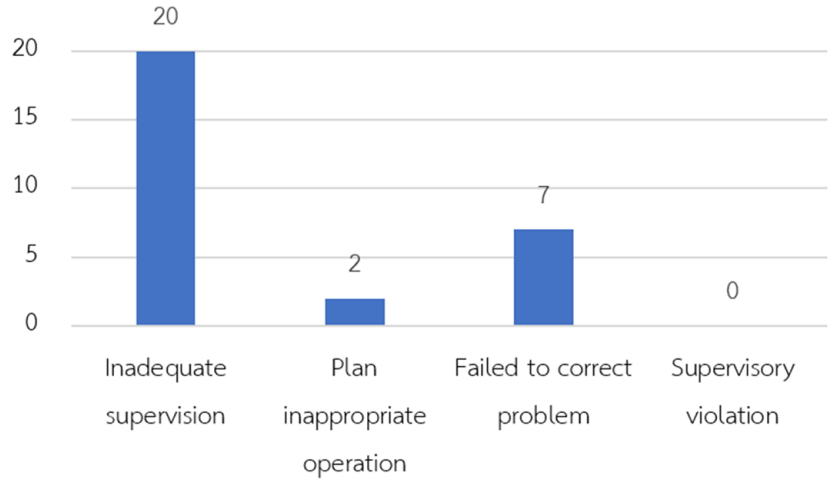
ภาพ 5 จำนวนความถี่ของจำนวนทางวิ่งของท่าอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ



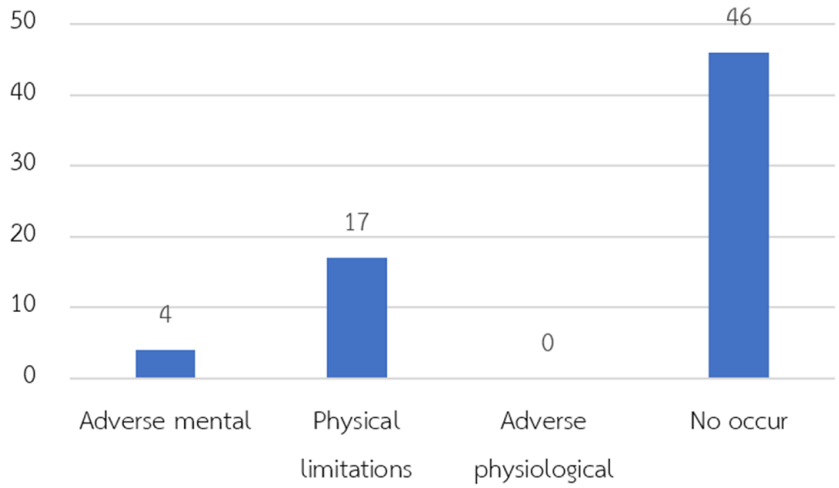
ภาพ 6 จำนวนความถี่ของสภาพอากาศยานในช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุ



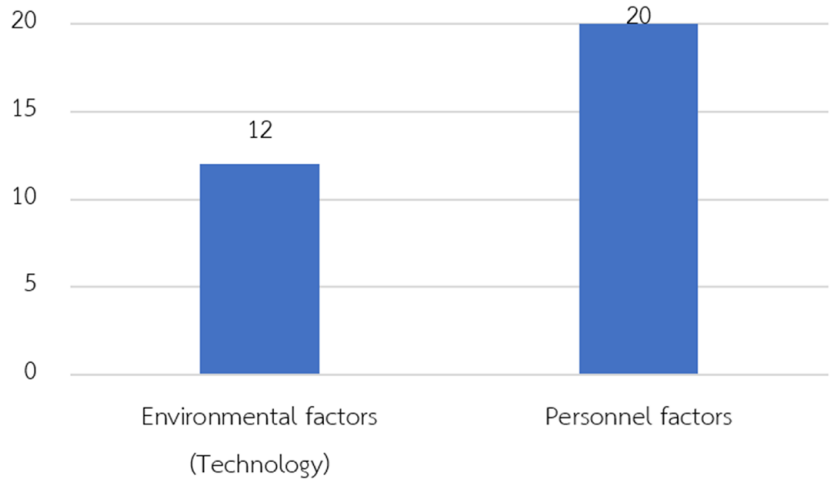
ภาพ 7 จำนวนความถี่ของอิทธิพลขององค์กรที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ



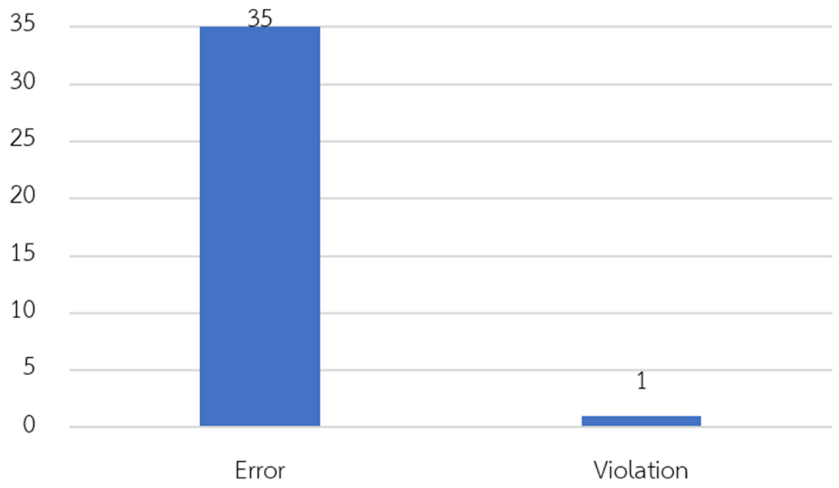
ภาพ 8 จำนวนความถี่ของการกำกับดูแลที่ไม่ปลอดภัยที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ



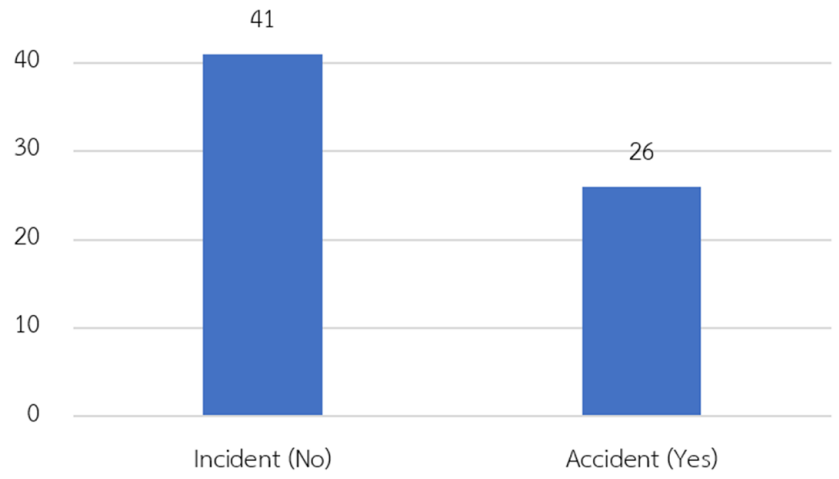
ภาพ 9 จำนวนความถี่ในกลุ่มของ “Condition of operators” 1



ภาพ 10 จำนวนความถี่ในกลุ่มของ “Condition of operators” 2



ภาพ 11 ความถี่ของการกระทำที่ไม่ปลอดภัยส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ



ภาพ 12 ความถี่ของการไม่เกิดและเกิดอุบัติเหตุ

2. การวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ

จากตาราง 1 “Prob_No” คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดอุบัติเหตุ “Prob_Yes” คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดอุบัติเหตุ และ ถ้า “Prob_No” มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ “Prob_Yes” แล้วจะพยากรณ์ว่า ไม่เกิดอุบัติเหตุ แต่หาก “Prob_No” มีค่าน้อยกว่า “Prob_Yes” แล้วจะพยากรณ์ว่าเกิดอุบัติเหตุ

จากตาราง 2 “Actual” คือ ค่าจริงของชุดทดสอบ “Forecasting” คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากชุดทดสอบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันพบว่า สามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องจำนวน 9 คู่ (true) และพยากรณ์ผิดจำนวน 4 คู่ (false) จากนั้นคณะผู้วิจัยได้ใช้สมการที่ 2-4 ในการวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ จากตาราง 3 และแสดงผลการวัดประสิทธิภาพในการพยากรณ์ ตาราง 4

ตาราง 1

การเปรียบเทียบค่า “Prob_No” กับค่า “Prob_Yes”

Number of test data	Prob_No	Prob_Yes	Result (Forecasting)
1	0.000002691171285	0.000000000000000	No
2	0.000000696821136	0.000001853335900	Yes
3	0.000000509215446	0.000000029558786	No
4	0.000005226158522	0.000000351010587	No
5	0.000000469090192	0.000000021450647	No
6	0.000001141344964	0.000000000000000	No
7	0.000000754393253	0.000000005419111	No
8	0.000000032260238	0.000000000000000	No
9	0.000000000000000	0.000000000000000	No
10	0.000000003283631	0.000000453613682	Yes
11	0.000002273283240	0.000000258639380	No
12	0.000000130653963	0.000000077222329	No
13	0.000000016936625	0.000000441013302	Yes

ตาราง 2

การเปรียบเทียบค่าจริง “Actual” กับค่าพยากรณ์ “Forecasting”

Number of test data	Actual	Forecasting	Accuracy
1	No	No	True
2	No	Yes	False
3	No	No	True
4	No	No	True
5	No	No	True
6	No	No	True
7	No	No	True
8	No	No	True
9	Yes	No	False
10	Yes	Yes	True
11	Yes	No	False
12	Yes	No	False
13	Yes	Yes	True

ตาราง 3

เมทริกซ์แห่งความสับสนจากผลการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ

Actual	Forecasting	
	Yes	No
Yes	2	3
No	1	7

ตาราง 4

แสดงผลการวัดประสิทธิภาพในการพยากรณ์

Accuracy	Precision	Recall
0.69	0.67	0.40

สรุปผลและอภิปรายผล

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดอากาศยานอุบัติเหตุ คณะผู้วิจัยได้ใช้สถิติพรรณนา โดยการวิเคราะห์ความถี่ของข้อมูล ค่าร้อยละ พบว่า หัวข้อความถี่ของอิทธิพลขององค์กรที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุมีมากที่สุด คือ ปัจจัย “Operational process” สอดคล้องกับคู่มือการสืบสวนสอบสวนอากาศยานอุบัติเหตุ ที่เน้นให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกำหนดกฎเกณฑ์ของตนเองขึ้นในการปฏิบัติงานในการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น (International Civil Aviation Organization, 2016) การกำกับดูแลที่ไม่ปลอดภัยที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ เกิดมากที่สุดมาจากปัจจัย “Inadequate supervision” ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hutman (2023) ที่ส่วนใหญ่ผู้ปฏิบัติงานไม่ค่อยได้รับคำแนะนำที่เพียงพอจึงทำให้ได้รับอันตรายในการปฏิบัติงาน ในกลุ่มของ “Condition of operators” ปัจจัยที่มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือ ด้าน “Physical limitation” สอดคล้องกันงานวิจัยของ Lyssakov and Lyssakova (2019) หากปัจจัยนี้เกิดขึ้นจะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้มากกกว่า “Adverse Mental” และ “Adverse Physiological” ปัจจัยด้าน “Personal factors” มีส่วนให้เกิดอุบัติเหตุ มากกว่าปัจจัยด้าน “Environmental factors (Technology)” สอดคล้องกับงานวิจัยของ Niu and Krutkrongphan (2024) ว่าปัจจัยด้าน “Personal factors” มีผลมากกว่า “Environmental factors (Technology)” ในการเรียนรู้และปฏิบัติงาน การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Eiampan et al., 2022) ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ “Error” มากกว่า “Violation” สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mathavara and Ramachandran (2022) ที่สาเหตการเกิดอุบัติเหตุมาจาก “Error” มากกว่า “Violation”

จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศยานอุบัติเหตุ คณะผู้วิจัยได้ใช้การเรียนรู้แบบมีผู้สอน ด้วยวิธีเนอีฟเบย์ ในการพยากรณ์ ตามตาราง 1 และได้ค่าความแม่นยำ “Accuracy”ด้วยเมทริกซ์แห่งความสับสน ออกมาได้เท่ากับ 0.69 (หรือประมาณ 0.70) ตามตาราง 4 ซึ่งถือว่า ประสิทธิภาพในการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ดี Hendricks (2024) และเมื่อพิจารณาจากชุดข้อมูลที่ 10 และ 13 (ที่พยากรณ์ว่า จะเกิดอุบัติเหตุ และเป็นการพยากรณ์ที่ถูกต้อง “True”) ในปัจจัย “Fail to correct problem” และ “Violation” พบว่า มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ “1” ทั้งนี้หากทำให้ทั้ง 2 ปัจจัยนี้ลดลงได้ก็อาจจะทำให้สามารถป้องกันอุบัติเหตุไม่ให้เกิดขึ้นได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ปัจจัย “Fail to correct problem” อยู่ใน “Unsafe supervision” ดังนั้นในเหตุการนี้อาจจะใช้

"Organizational influences" หัวข้อ "Operational Process" ในกระบวนการกำกับดูแลให้ความรู้ในด้านที่เกี่ยวข้องตลอดจนมีบทลงโทษหากผู้ปฏิบัติบกพร่องต่อหน้าที่ และปัจจัย "Violation" อยู่ใน "Unsafe act" ดังนั้นในเหตุการณ์นี้อาจจะสืบหาสาเหตุว่าทำไมผู้ปฏิบัติถึงจงใจฝ่าฝืนและอาจจะใช้ "Organizational influences" หัวข้อ "Operational Process" กำหนดบทลงโทษไม่ให้ผู้ปฏิบัติทำการแบบนี้อีก

ทั้งนี้ จากข้อแนะนำในวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 อาจจะเป็นการทำให้โอกาสในการเกิดอุบัติเหตุนั้นลดลงเพราะสถิติการเกิดอุบัติเหตุนั้นไม่สามารถทำให้เป็นศูนย์ได้เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ หรือความประมาทของผู้ปฏิบัติเอง แต่ทั้งนี้บริษัทที่เกี่ยวข้องหรือสายการบินจะมีผลกำไรมากขึ้นหากอัตราการเกิดอุบัติเหตุลดลง ตลอดจนส่งผลให้ผู้โดยสารกลับมาใช้บริการซ้ำอีกครั้ง (Granja et al., 2024)

References

Amati, G. (2024). *Top 5: Airbus' most popular commercial aircraft designs*. Retrieved from https://simpleflying.com/airbus-most-popular-designs-list

Bisht, R. (2024). *What is purposive sampling? methods, techniques, and examples*. Retrieved from https://bit.ly/4fhMhPG

Caetano, M. (2022). Aviation accident and incident forecasting combining occurrence investigation and meteorological data using machine learning. *Aviation, 27*(1), 47-56. https://doi.org/10.3846/aviation.2023.18641

De Castroverde. (2024). *What are the safest forms of transportation?*. Retrieved from https://www.dlgteam.com/blog/what-are-the-safest-forms-of-transportation/

Eiampan, T., Wongkamchang, P., Kosanwat, P., Ruaengmaneeya, N., & Thothong, W. (2022). Safety risk management of human factors in flight operations with the Royal Thai Air Force vertical take-off and landing solar power UAV according to the standards of the International Civil Aviation Organization. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 16*(2), 91-104. (in Thai)

Granja, U., Sanchez, J. M., & Rodriguez, J. V. (2024). Assessing economic performance and aviation accidents using zero-inflated and over-dispersed panel data models. *Journal of Air Transport Management, 118*, 102599. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102599

Hendricks, R. (2024). *What is a good accuracy score in machine learning?*. Retrieved from https://bit.ly/4fGiC2o

Hutman, H., Ellis, M. V., Moore, J. A., Roberson, K. L., McNamara, M. L., Peterson, L. P., Taylor, E. J., & Zhou, S. (2023). Supervisees' perspectives of inadequate, harmful, and exceptional clinical supervision: Are we listening?. *The Counseling Psychologist, 51*(5), 719-755. https://doi.org/10.1177/00110000231172504

International Civil Aviation Organization. (2023). *Accident statistics*. Retrieved from https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx

International Civil Aviation Organization. (2016). *Aircraft accident and incident investigation* (7th ed). Quebec, Canada: ICAO

Ison, D. C. (2015). Comparative analysis of accident and non-accident pilots. *Journal of Aviation Technology and Engineering, 4*(2), 20–31. https://bit.ly/4fCy2Vg

Jalali, M., Dehghan, H., Habibi, E., & Khakzad, N. (2023). Application of "Human Factor Analysis and Classification System" (HFACS) model to the prevention of medical errors and adverse events: A systematic review. *International Journal of Preventive Medicine, 14*, 127. https://doi.org/10.4103/ijpvm.ijpvm_123_22

Jirapanthong, W., & Banluesapy, S. (2022). Towards machine learning algorithm for screening prediction of Covid-19 patients. *Journal of Information Science and Technology, 12*(1), 47-60. (in Thai)

Jongmuanwai, B., & Poommarin, K. (2022). The developing of prediction model Premier League football results with datamining technique. *Journal of Applied Information Technology, 8*(2), 92-101. (in Thai)

Kaji, D., Mehta, D., Sanghani, D., Shah, H., & Malvankar, R. (2019). Study of prediction algorithms on aviation accident dataset using rapid miner. *International Research Journal of Engineering and Technology, 6*(4), 1,670-1,672. https://www.irjet.net/archives/V6/i4/IRJET-V6I4355.pdf

Kinanti, L. (2024). *Human factors analysis and classification system*. Retrieved from https://ewdpi.ub.ac.id/human-factors-analysis-and-classification-system-hfacs/

Kitcharoen, K. (2021). Factors influencing Thai customer loyalty towards a Thailand based airlines company. *Journal of Humanities and Social Science Nakhon Phanom University, 11*(2), 1-16. (in Thai)

Lazaro, F. L., Nogueira, R. R., Valerio, D., & Santos, L. M. (2024). Human factors as predictor of fatalities in aviation accidents: A neural network analysis. *Applied Sciences, 14*(2), 640. https://doi.org/10.3390/app14020640

Lyssakov, N., & Lyssakova, E. (2019). Human factor as a cause of aircraft accidents. *In International Scientific-Practical Conference "Psychology of Extreme Professions"* (pp.130-132). Arkhangelsk region, Russia: Northern (Arctic) Federal University.

Maayan, G. D. (2023). *A practical guide to working with testing and training data in ml projects*. Retrieved from https://bit.ly/3CuFOSI

Mathavara, K., & Ramachandran, G. (2022). *Role of human factors in preventing aviation accidents: An insight*. London: IntechOpen Limited.

Mathur, P., Khatri, S. K., & Sharma, M. (2017). Prediction of aviation accidents using logistic regression model. *In International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems* (pp.725-728). United Arab Emirates: Amity University Dubai.

Mehta, J., Vatsaraj, V., Shah, J., & Godbole, A. (2021). Airplane crash severity prediction using machine learning. *In 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies* (pp.1-6). Kharagpur, India: IEEE. doi: 10.1109/ICCCNT51525.2021.9579711

Niu, L., & Krutkrongphan, S. (2024). The influencing of personal factors, external factors, and environmental factors on online learning satisfaction: A case of Sias university in Zhengzhou, China. *Procedia of Multidisciplinary Research, 2*(5), 1-9. https://bit.ly/4fFDUgp

Ray, S. (2024). *Naive Bayes classifier explained*. Retrieved from https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/09/naive-bayes-explained/

Rookeaw, S., Huangsuwan, S., Noitonglek, K., & Payon, J. (2022). Aircraft accidents in commercial aviation part 1 statistics and facts of the accidents. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 13*(3), 30-42. (in Thai)

Satangmongkol, K. (2023). *Confusion matrix*. Retrieved from https://datarockie.com/blog/confusion-matrix-explained/. (in Thai)

Schmidinger, J., Schroter, I., Gebbers, R., & Vogel, S. (2024). Effect of training sample size, sampling design and prediction model on soil mapping with proximal sensing data for precision liming. *Precision Agriculture, 25*, 1,529-1,555. https://doi.org/10.1007/s11119-024-10122-3

Silagyi, D. V., & Liu, D. (2023). Prediction of severity of aviation landing accidents using support vector machine models. *Accident Analysis and Prevention, 187*(2023), 1-20. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107043

Simplilearn. (2024). *What is a confusion matrix in machine learning?*. Retrieved from https://bit.ly/40zhZTY

Skybrary. (2024). *Human factors analysis and classification system*. Retrieved from https://skybrary.aero/articles/human-factors-analysis-and-classification-system-hfacs

Sonny, B. R., Isip, M. N., Liongson, G. J., & Marquez, J. P. (2023). Road safety management: assessment of the accident severity of identified areas and development of accident prediction model in the city of San Fernando, Pampanga. *International Journal of Progressive Research in Science and Engineering, 4*(6), 70-79. https://journal.ijprse.com/index.php/ijprse/article/view/898

Statista. (2024). *Airbus beats Boeing for deliveries in 2024*. Retrieved from https://bit.ly/40CnAbZ

Vadapalli, P. (2023). *Naive Bayes explained: Function, advantages & disadvantages*. Retrieved from https://www.upgrad.com/blog/naive-bayes-explained/

Yeoum, J. M., & Lee, Y. H. (2013). A study on prediction modeling of Korea military aircraft accident occurrence. *International Journal of Industrial Engineering, 20*(9-10), 562-573. https://doi.org/10.23055/ijietap.2013.20.9-10.1138

Zhang, X., & Mahadevan, S. (2021). Bayesian network modeling of accident investigation reports for aviation safety assessment. *Reliability Engineering and System Safety, 209*, 107371. https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107371

Zhao, L., Zhang, L., & Wang, J. (2022). Text mining classification and prediction of aviation accidents based on TF-IDF-SVR method. *In 4th International Conference on Frontiers Technology of Information and Computer (ICFTIC), Qingdao, China, 2022* (pp. 322-327). Qingdao, China: IEEE

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องงานหล่อทรายจากการจำลองสถานการณ์ การถ่ายเทความร้อน ด้วยโปรแกรม Cast Designer

Sand Casting Defects Analysis from Heat Transfer Simulation by Using Cast Designer

พงศกร ขวัญทอง[1] พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์[1] และเพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์[1]
Phongsakorn Khwanthong[1], Patpimol Suwankan[1] and Penyarat Saisirirat[1]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Received: June 14, 2024
Revised: September 11, 2024
Accepted: September 17, 2024

บทคัดย่อ

ในกระบวนการหล่อ ปัญหาหนึ่งที่พบบ่อย คือ การเกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงานหล่อ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการกระจายความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอในชิ้นงาน ทำให้เกิดบางบริเวณมีการสะสมความร้อนมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เมื่อความร้อนถูกสะสมจนถึงจุดสูงสุด บริเวณดังกล่าวจะหดตัวลงอย่างรวดเร็ว ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น โดยการออกแบบรูล้นเพื่อแก้ไขปัญหาเป็นลักษณะทรงกระบอกกลวงขนาด 8 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร แต่การแก้ไขปัญหานั้นไม่เป็นผลสำเร็จ ทางผู้วิจัยจึงได้นำซอฟท์แวร์ Cast Designer มาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของความร้อนภายในชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น โดยใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมผสม A110 โดยใช้โปรแกรมจะคำนวณและแสดงผลการกระจายของความร้อนในรูปแบบจำลองสามมิติ เพื่อระบุได้ว่าบริเวณใดของชิ้นงานมีการสะสมความร้อนสูงที่สุด โดยจากการวิจัยพบว่า การออกแบบรูล้นในตำแหน่งที่มีการสะสมของความร้อนสูงที่สุดจะช่วยลดปริมาณการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานลงได้เหลือเพียง 0.16 เปอร์เซ็นเท่านั้น

คำสำคัญ: งานหล่อทราย จำลองพฤติกรรมความร้อน โพรงหดตัว รูล้น

Abstract

In sand casting processes, one of the most common defects is shrinkage porosity, which is caused by uneven heat distribution during solidification. Areas with higher heat accumulation cool more slowly, leading to rapid contraction and void formation in the material. This study investigates a single-pattern sand casting model without a riser, analyzing the heat flow using Cast Designer software. Initial attempts to resolve shrinkage by adding cylindrical hollow vents with diameters of 8 mm and 15 mm were unsuccessful. Cast Designer was employed to simulate heat transfer in the casting to identify areas with excessive heat accumulation. The results showed that the shrinkage porosity can be reduced to only 0.16% by placing vents in the areas with the highest heat concentration. The study concludes that optimizing the venting system in these specific areas is essential for minimizing shrinkage porosity.

Keywords: sand casting, heat transfer, shrinkage porosity, pouring

บทนำ

การหดตัวเป็นหนึ่งในข้อบกพร่องที่พบบ่อยที่สุดที่พบในการหล่อโลหะที่ผลิตโดยกระบวนการ เช่น การหล่อทราย ความพรุนประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อโลหะที่แข็งตัวไม่สามารถป้อนการหดตัวที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะเปลี่ยนจากของเหลวเป็นสถานะของแข็ง ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การก่อตัวของช่องว่างหรือรูพรุนภายในการหล่อ สาเหตุหลักของความพรุนของการหดตัว คือ การหดตัวของการแข็งตัวที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เละเมื่อโลหะผสมเหล็กแข็งตัว เหล็กเหลวจะหดตัวประมาณ 3-5% เมื่อเปลี่ยนเป็นของแข็ง จำเป็นต้องมีการป้อนวัสดุหลอมที่มีประสิทธิภาพเพื่อชดเชยการหดตัวนี้ (Nawaz Mahomed, 2021) การหดตัวมีสามขั้นตอน คือการหดตัวของของเหลว โลหะเหลวหดตัวเมื่อเย็นลงก่อนที่จะเริ่มแข็งตัว การหดตัวของของเหลว-ของแข็ง ในช่วงโซนอ่อนซึ่งมีทั้งเฟสของแข็งและของเหลวอยู่ การลดปริมาตรจะเกิดขึ้นทำให้เกิดการหดตัว การหดตัวแบบแข็ง โลหะแข็งยังคงหดตัวต่อไปเมื่อเย็นตัวลง ซึ่งนำไปสู่การหดตัวแบบลวดลาย พฤติกรรมการหดตัวมีความสำคัญเนื่องจากสามารถไปสู่ข้อบกพร่อง (Anna Gowsalya & E. Afshan, 2021) การวิจัยล่าสุดได้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสาเหตุและแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาทั่วไปนี้ ข้อบกพร่องในการหดตัวมีสองประเภทหลักการหดตัวของของเหลวเมื่อเหล็กหลอมเหลวเย็นลงจากอุณหภูมิการเทไปจนถึงอุณหภูมิการแข็งตัว การหดตัวของของเหลวจึงเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราการเย็นตัว การปฏิบัติในการฉีดวัคซีน และปริมาณโลหะผสม ส่งผลต่อโหมดการแข็งตัว การควบคุมขนาดเกรนเกรนออสเทนไนต์ที่มีขนาดเล็กลงจะช่วยลดปัญหาการแยกตัวของเนื้อวัสดุและการหดตัวให้เหลือน้อยที่สุด (Alagarsamy & Kumar, 2021) หนึ่งในงานวิจัยที่ศึกษามีการทำนายหาข้อบกพร่องในการหดตัวในการหล่อโลหะ โดยกล่าวถึงข้อจำกัดในเกณฑ์ที่มีอยู่ เช่น Pellini และ Niyama การศึกษาทบทวนเกณฑ์เหล่านี้และเน้นย้ำถึงข้อเสียที่เกี่ยวข้องกับขนาดและรูปร่างของการหล่อ โดยให้เหตุผลทางทฤษฎีสำหรับเกณฑ์ Niyama และนำเสนอเกณฑ์ใหม่ที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของส่วนต่อประสานการแข็งตัวเฉพาะที่ การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีใช้กฎการแข็งตัวของ Chvorinov (Tavakoli, 2014)

สำหรับในภาคอุตสาหกรรมเองนั้นก็มีการวิจัยเกี่ยวกับการเกิดโพรงหดตัวเช่นกัน โดยวิศวกรที่โรงหล่อการผลิตยานยนต์ กำลังดิ้นรนกับอัตราของเสียที่สูงเนื่องจากข้อบกพร่องที่มีรูพรุนจากการหดตัวในท่อร่วมไอดีอะลูมิเนียมอัลลอยด์ การขัดจังหวะการผลิตเพื่อแก้ไขปัญหาไม่ใช่ทางเลือก ดังนั้นทีมงานจึงหันมาใช้การจำลองเชิงตัวเลขและการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหล่อแม่พิมพ์ถาวรแบบเสมือนจริง นักวิจัยสร้างแบบจำลองกระบวนการที่มีอยู่เป็นครั้ง

แรกโดยใช้ซอฟต์แวร์จำลองการหล่อ เทคนิคดังกล่าวช่วยให้วิศวกรสามารถลดข้อบกพร่องและของเสียได้โดยไม่รบกวนการผลิต การทดลองเสมือนจริงและ DOE ทางสถิติช่วยให้สามารถปรับปรุงกระบวนการหล่อทางอุตสาหกรรมได้จริง (Gunasegaram, 2008) เดิมทีโรงหล่อใช้การทดลองและข้อผิดพลาดในการออกแบบระบบป้อนเพื่อจัดหาโลหะหลอมเหลวเพิ่มเติม แต่นี่ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เป็นทางออกที่ดีกว่า นักวิจัยจากอินเดียสร้างแบบจำลองการหล่ออลูมิเนียมอัลลอยด์ LM6 โดยใช้ซอฟต์แวร์ AutoCAST-X เป้าหมายของพวกเขาคือ การลดความพรุนจากการหดตัวให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการจำลอง ขั้นแรก พวกเขานำเข้าโมเดล 3 มิติลงในซอฟต์แวร์ มันจะสร้างแม่พิมพ์โดยอัตโนมัติและนำไปวิเคราะห์ จากนั้นพวกเขาจำลองการแข็งตัวเพื่อระบุ “จุดร้อน” ซึ่งเป็นพื้นที่สุดท้ายที่จะแข็งตัว จุดร้อนเหล่านี้เป็นจุดที่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องจากการหดตัวมากที่สุด (Gajbhiye, Choudhari, Raut, Narkhede & Bhandarkar, 2014)

สำหรับการใช้โปรแกรมในการจำลองเพื่อปรับปรุงแก้ไขงานหล่อนั้น มีหนึ่งตัวอย่างที่น่าสนใจ คือ เมื่อเร็ว ๆ นี้ นักวิจัย Hardik Rathod, Jay K. Dhulia และ Nirav P. Maniar ได้ทำการศึกษาเพื่อคาดการณ์และวิเคราะห์ข้อบกพร่องในการหดตัวในชิ้นส่วนหล่อทรายที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ LM25 จากนั้นนักวิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์จำลอง ANSYS เพื่อสร้างแบบจำลองกระบวนการแข็งตัวและคาดการณ์พื้นที่ที่มีรูพรุนจากการหดตัว ผลการจำลองเข้ากันได้ดีกับผลการทดลอง โดยคาดการณ์ตำแหน่งของข้อบกพร่องได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์สามารถเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการคาดการณ์ข้อบกพร่องในการหดตัวในการหล่อโลหะ (Rathod, Dhulia & Maniar, 2017) หรือการจำลองชิ้นส่วนเครื่องยนต์บริษัทชั้นนำอย่าง Volksawaken ก็มีการใช้ ProCast เพื่อวิเคราะห์การหล่อซับสูบระบายความร้อนด้วยอากาศและการเติมแม่พิมพ์ด้วยโลหะหลอมเหลว การกระจายอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การแข็งตัว และสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่คาดการณ์ไว้และปริมาณความพรุนของการหดตัว ผลการจำลองประสบความสำเร็จแสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์ความพรุน 2.69% ที่กระจุกตัวอยู่รอบ ๆ รูด้านใน ซึ่งตรงกับข้อบกพร่องในการหล่อจริง เวลาในการแข็งตัวถูกคาดการณ์ไว้ที่ 159.56 วินาที นอกจากนี้ การศึกษาใหม่ที่ตีพิมพ์ใน ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences ได้ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เพื่อสร้างแบบจำลองกระบวนการแข็งตัว โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS แบบจำลองมีเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ 0.11 ม. สูง 0.148 ม. ล้อมรอบด้วยแม่พิมพ์ขนาด 0.225x0.24 ม. เมื่อใช้แบบจำลองนี้ ทีมงานจำลองการแข็งตัวภายใต้อุณหภูมิการหล่อเริ่มต้น (700°C และ 800°C) และอุณหภูมิแม่พิมพ์ (100°C 200°C และ 400°C) ที่แตกต่างกันในการใช้งานด้านการบินและอวกาศและยานยนต์ เนื่องจากไม่มีข้อมูลใหม่ที่ครอบคลุมเกี่ยวกับพฤติกรรมการเติมแม่พิมพ์และการแข็งตัวของ EV31A ทีมงานใช้ซอฟต์แวร์จำลองการหล่อ MAGMASoft เพื่อประเมินส่วนประกอบเครื่องยนต์เฮลิคอปเตอร์ที่มีโครงสร้างซึ่งทำจากโลหะผสม EV31A พวกเขาสร้างโมเดล 3 มิติที่รวมเอารูปร่างที่ซับซ้อน รวมถึงรายละเอียดของระบบเกตและระบบทำความเย็น จากนั้นจึงใช้โมดูลการเติมและการแข็งตัวของ MAGMASoft (Jarosz, Kiełbus & Gryc, 2018)

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะศึกษาผลความร้อนต่อการหดตัวของโลหะ และดูพฤติกรรมของความร้อนที่อาจจะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องต่อชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรม Cast Designer ในการจำลองหาจุดสะสมของชิ้นงานหล่อ และวิธีการแก้ปัญหาผ่านการทดลองปรับแต่งส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องอย่างรูล้น โดยการหาตำขนาดและตำแหน่งการวางที่เหมาะสมโดยใช้การสะสมความร้อนเป็นตัวแปร ซึ่งในที่สุดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความเชื่อถือของโลหะที่ถูกหล่อในหลาย ๆ อุตสาหกรรม การลดการสูญเสียวัสดุและการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพ งานหล่อในอุตสาหกรรม และยังยืนยันความสำคัญของซอฟต์แวร์จำลองว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญและทรงพลังในงานอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันนั่นเอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีผลต่องานหล่อ ในเรื่องของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของความร้อน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์จำลองสถานการณ์ การหดตัวและการพฤติกรรมของความร้อนในชิ้นงานทดสอบ

2. เพื่อลดข้อบกพร่องของการหดตัวที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน

สมมติฐานงานวิจัย

การสะสมของความร้อนใน การออกแบบรูล้นและวางตำแหน่งไม่เหมาะสมเป็นที่มาของการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงานหล่อ

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมอุณหภูมิของโลหะเหลวในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิมจากกระบวนการหล่อทราย (sand casting) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น โดยใช้ผลลัพธ์และวิธีการที่จากงานวิจัยเรื่องการออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย (Watthanabupa, 2020) การออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทรายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จึงได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปัญหาดั้งเดิมและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัว

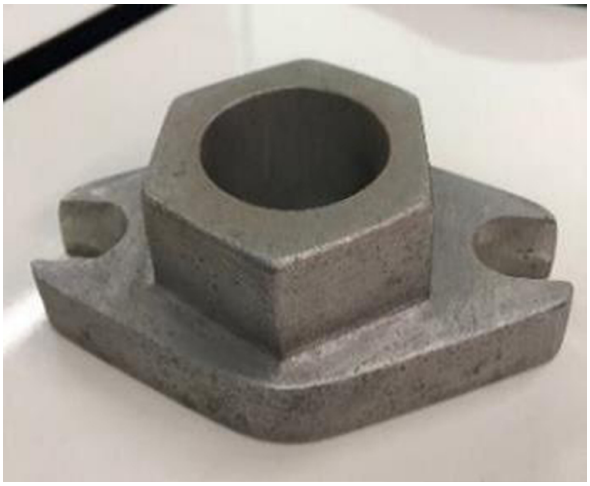
2. ศึกษาวิธีการการแก้ไขปัญหาดั้งเดิมของงานเรื่องการออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย ในการแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ของชิ้นงาน

3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว โดยการใช้โปรแกรม Cast Designer ช่วยในการจำลองพฤติกรรมต่าง ๆ ของ ชิ้นงานในแบบหล่อโดยมีตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้ คือ (1) เวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (2) ลักษณะการไหลของโลหะเหลว (3) เวลาที่ใช้ในการแข็งตัว (4) การจำลองการเกิดโพรงหดตัว (5) อุณหภูมิ

4. ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาและสรุปผล

ศึกษาปัญหาดั้งเดิมของชิ้นงาน

เริ่มต้นศึกษาปัญหาดั้งเดิมและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น สำหรับการพิจารณาและวิเคราะห์ผลการจำลองของชิ้นงาน โดยภาพ 1 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ทำการศึกษาวิจัย สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จะกำหนดไว้ดังตาราง 1 และขนาดของชิ้นงานแสดงไว้ในภาพ 2

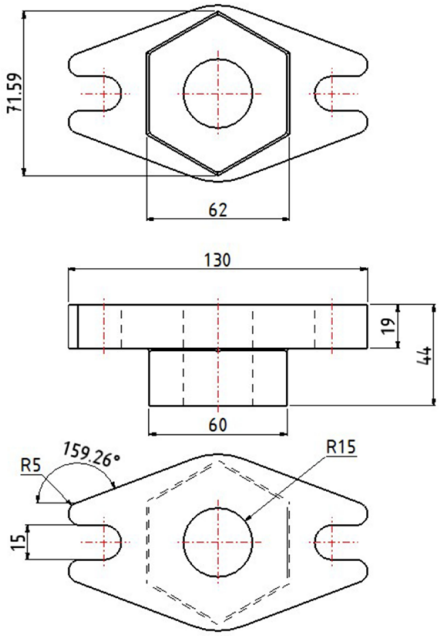


ภาพ 1 ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น

ตาราง 1

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการหล่อ

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	หน่วย
อุณหภูมิในการเท	750	°c
อุณหภูมิของกระสวน	25	°c
วัสดุโลหะเหลว	A1100	
วัสดุของทราย	Sand_Green	



ภาพ 2 แสดงขนาดของชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น

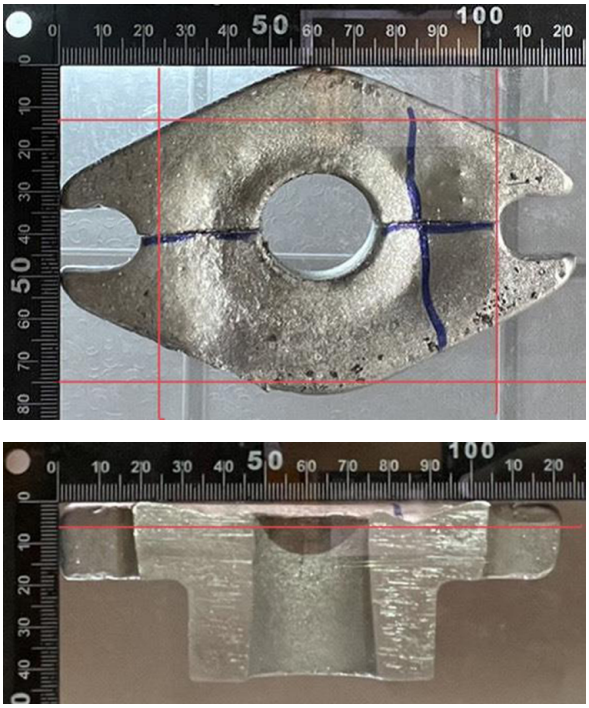
ต่อไปจะเป็นขั้นตอนของการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นของชิ้นงาน โดยจะตรวจสอบด้วยการผ่าชิ้นงานเพื่อดูลักษณะของการยุบตัว จากนั้นตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast Designer เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

1. ตรวจสอบปัญหาของชิ้นงาน

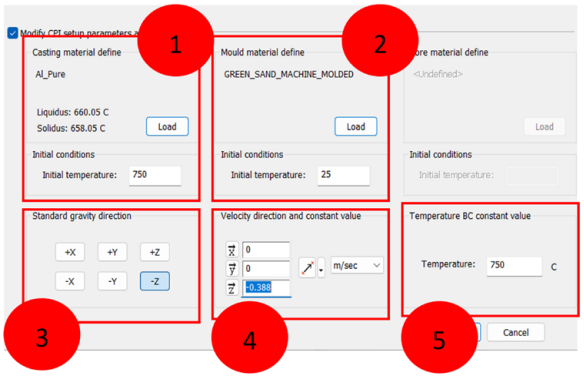
ลักษณะชิ้นงานเทหล่อจริงชิ้นที่ 3 หลังจากเทหล่อจริงพบตำแหน่งของการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity position) ชิ้นงานมีการหดตัวบริเวณตรงกลางรอบ ๆ ไส้แบบของชิ้นงาน ซึ่งบริเวณตรงกลางเป็นจุดที่มีความหนาสูงสุดของชิ้นงานจึงทำให้บริเวณตรงกลางรอบ ๆ ไส้แบบเป็นจุดร้อนของชิ้นงาน เนื่องจากสาเหตุการหดตัวของชิ้นงานนั้นเกิดจากการเย็นตัวของชิ้นงานดังภาพ 3

2. การตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast Designer

หลังจากพบปัญหาในการหล่อจากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและการผ่าชิ้นงานพบว่า เกิดการหดตัวที่บริเวณกึ่งกลางที่มีเนื้อหนา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าพารามิเตอร์ในตาราง 1 กำหนดลงในโปรแกรม การตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast Designer โดยใช้คำสั่ง CPI ของโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ ดังภาพ 4



ภาพ 3 แสดงลักษณะการหดตัวของชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น



ภาพ 4 แสดงการกำหนดค่า หมายเลข (1) ประเภทและอุณหภูมิของวัสดุ (2) ประเภทและอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (3) ทิศทางแรงโน้มถ่วง (4) ทิศทางและความเร็วในการเท (5) อุณหภูมิขณะเท

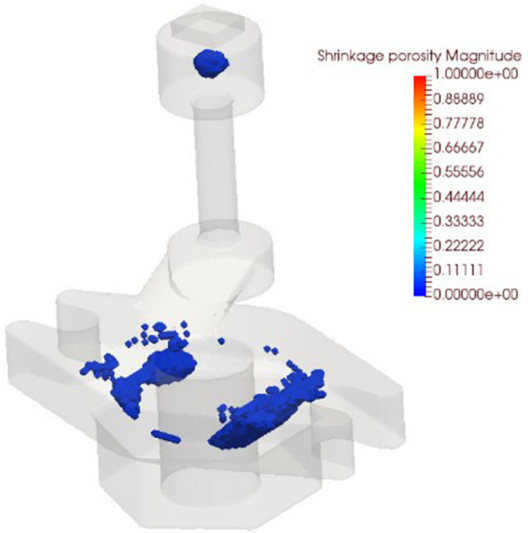
ผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) เราสามารถที่จะตรวจสอบเปอร์เซ็นการเกิดโพรงหดตัวได้ด้วยโปรแกรม Cast designer จะพบว่า มีการเกิดโพรงในหดตัวในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันกับภาพแสดงการผ่าชิ้นงานหล่อจริง ดังภาพ 5 พบว่า มีเปอร์เซ็นของการเกิดโพรงหดตัว 2.74 %

ต่อไป ผู้วิจัยจะทำการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาดั้งเดิมของชิ้นงานนี้ เพื่อจะศึกษาผลลัพธ์ของการออกแบบแก้ไข และนำวิเคราะห์หาวิธีและแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไป

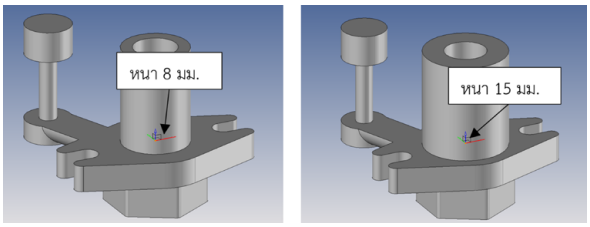
ศึกษาแนวทางการแก้ไขดั้งเดิม

โดยรูปแบบการแก้ไขดั้งเดิมมี 2 รูปแบบ โดยจะทำการจำลองผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม Cast Designer โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ดังตาราง 1 ตามลำดับ คือ (1) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ (2) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ดังภาพ 5 และภาพ 6

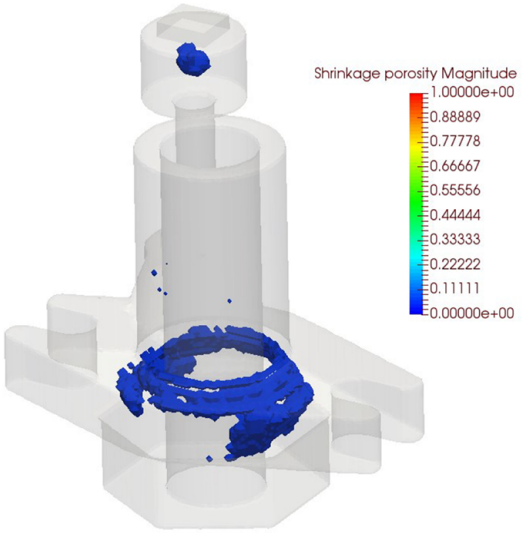
จากผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร จะพบว่า มีการเกิดโพรงหดตัว 2.68 % และ 2.13 % ดังภาพ 7 และภาพ 8 ตามลำดับ



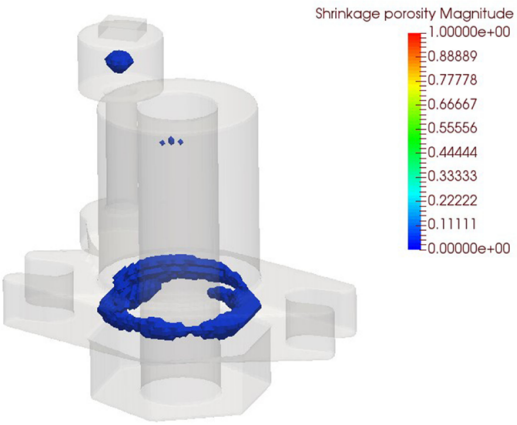
ภาพ 5 แสดงลักษณะการเกิดโพรงหดตัวที่ชิ้นงาน



ภาพ 6 แสดงชิ้นงานทั้งสองรูปแบบ



ภาพ 7 ภาพจำลองการเกิด Shrinkage Porosity ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร



ภาพ 8 ภาพจำลองการเกิดโพรงหดตัวชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร

ดังนั้นจึงสรุปผล ได้ว่าผลของการจำลองชิ้นงานแนวทางการแก้ไขปัญหาดั้งเดิม โดยรูปแบบการแก้ไขดั้งเดิมมี 2 รูปแบบ คือ (1) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ (2) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากยังพบโพรงหดตัวอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ดังนั้น ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ปัญหาของการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานนี้ให้ลุล่วง

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว โดยการใช้โปรแกรม Cast Designer

การสะสมของความร้อนในงานหล่อขณะเทหล่อมีบทบาทสำคัญในการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ในกระบวนการหล่อโลหะ เมื่อโลหะที่หลอมเหลวถูกเทลงในแม่พิมพ์ทราย ความร้อนที่สะสมจะส่งผลต่อการเย็นตัวของโลหะ หากความร้อนในบริเวณหนึ่งไม่สามารถกระจายออกได้อย่างเหมาะสม จะทำให้บริเวณนั้นเกิดการเย็นตัวอย่างช้า ๆ ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดโพรงหดตัว เนื่องจากโลหะมีการหดตัวเมื่อเย็นตัวลง การสะสมของความร้อนที่มากเกินไปจะทำให้โลหะในบริเวณนั้นคงสถานะหลอมเหลวอยู่นานกว่าบริเวณอื่น เมื่อโลหะเย็นตัวและแข็งตัวในที่สุด บริเวณที่มีความร้อนสะสมจะไม่มีโลหะเพียงพอเติมเต็มช่องว่างที่เกิดจากการหดตัว ส่งผลให้เกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงานหล่อ (Atchimarangsi, 2008)

สำหรับการดำเนินงานเพื่อวิเคราะห์เพื่อการศึกษาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในเรื่องการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ของงานหล่อทรายทั้ง 3 รูปแบบนั้น คือ (1) ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น (2) ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ (3) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ทางผู้วิจัยจะวิเคราะห์เปรียบเทียบผลด้วยเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (fill time) เวลาในการแข็งตัวของโลหะ (solidification time) และเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว ซึ่งสภาวะทั้งสามที่เป็นสภาวะที่มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) (Anna Gowsalya & E. Afshan, 2021) และจำลองผลของอุณหภูมิของชิ้นงาน (temperature) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องงานหล่อทราย

การจำลองพฤติกรรมชิ้นงานหล่อ

1. การจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว และการจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน และ โพรงหดตัวทั้งสามชิ้นงาน คือ ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้นชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบ ในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ แบบ 15 มิลลเมตร ดังตาราง 2

2. การจำลองอุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการเติมน้ำโลหะเหลว อุณหภูมิช่วงเวลาเริ่มต้นการแข็งตัว และอุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว ทั้งสามชิ้นงาน คือ ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้นชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร ดังตาราง 3

3. การวัดอุณหภูมิภายใน โดยจะกำหนดตำแหน่งสำหรับการวัดในตำแหน่งต่าง ๆ ของทั้งสามชิ้นงาน และแสดงค่าออกมาเป็นตารางข้อมูล เพื่อทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลอง โดยตำแหน่งที่จะใช้ในการวัด ผู้วิจัยจะกำหนดเป็นจุด P หมายเลขต่าง ๆ ไว้ในเนื้อชิ้นงาน

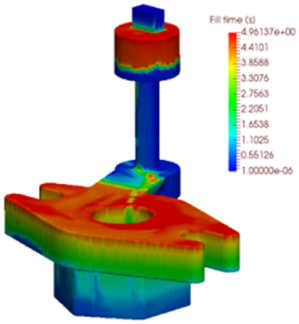
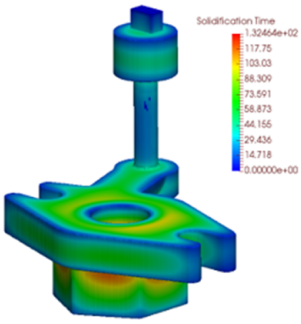
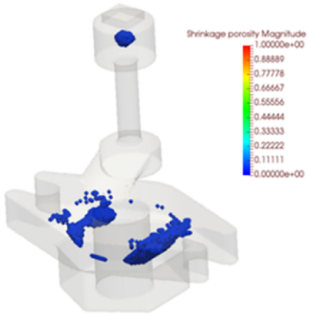
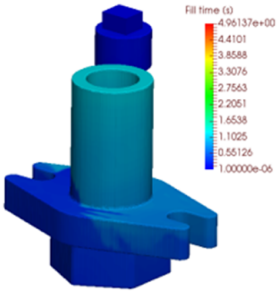
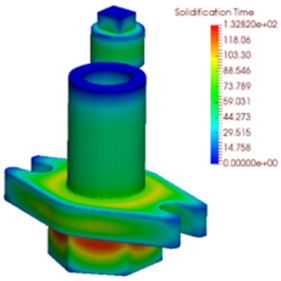
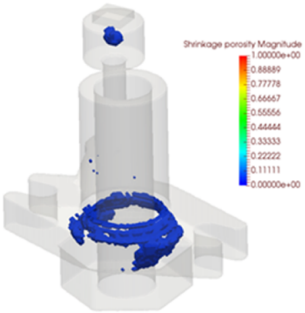
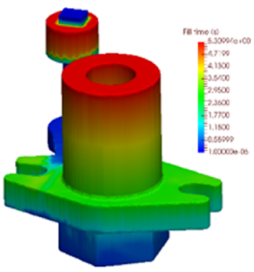
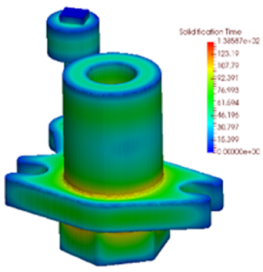
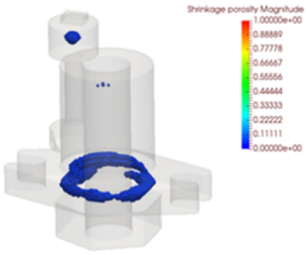
3.2 ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น ดังภาพ 9 และภาพ 10 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 4

3.3 ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร ดังภาพ 11 และภาพ 12 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 5

3.4 ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ดังภาพ 13 และภาพ 14 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 6

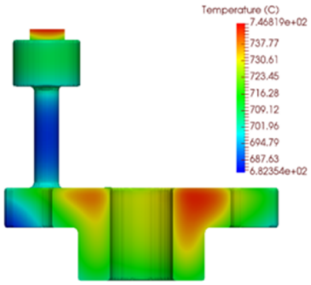
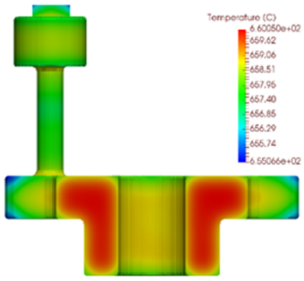
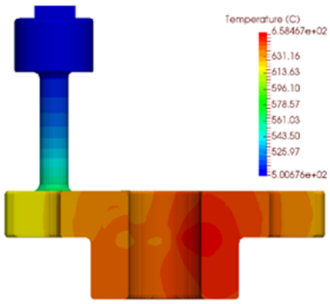
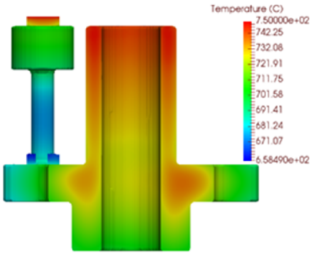
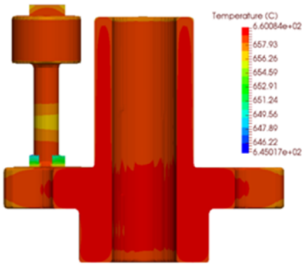
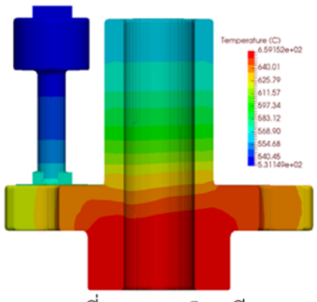
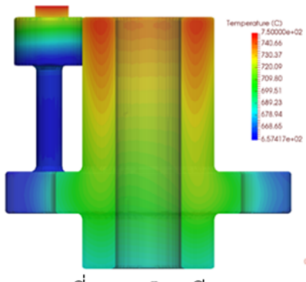
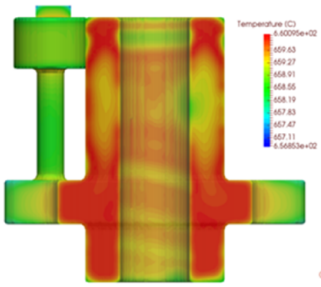
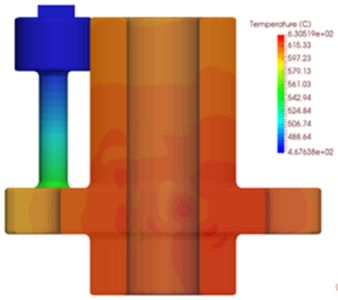
ตาราง 2

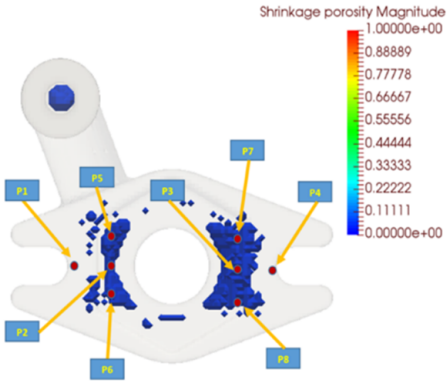
แสดงผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time) การจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time) ทั้งสามชิ้นงาน และโพรงหดตัว (shrinkage porosity)

ชื่อชิ้นงาน/การจำลอง	การจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time)	การจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time)	โพรงหดตัว (shrinkage porosity)
ชิ้นงานที่ 1	 เวลาที่ใช้ = 4.96 วินาที	 เวลาที่ใช้ = 132 วินาที	 เกิดโพรงหดตัว 2.74 %
ชิ้นงานที่ 2	 เวลาที่ใช้ = 4.96 วินาที	 เวลาที่ใช้ = 132 วินาที	 เกิดโพรงหดตัว 2.68 %
ชิ้นงานที่ 3	 เวลาที่ใช้ = 5.31 วินาที	 เวลาที่ใช้ = 138 วินาที	 เกิดโพรงหดตัว 2.13 %

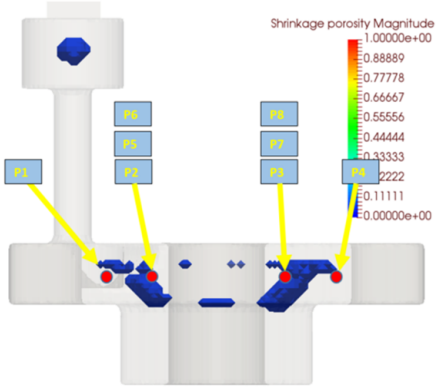
ตาราง 3

แสดงผลการจำลองอุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการเติมน้ำโลหะเหลว อุณหภูมิช่วงเวลาเริ่มต้นการแข็งตัว และอุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว

ชื่อชิ้นงาน/การจำลอง	อุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการเติมน้ำโลหะเหลว (temperature at end filling time)	อุณหภูมิช่วงเวลาเริ่มต้นการแข็งตัว (temperature at start solidification time)	อุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว (temperature at end solidification time)
ชิ้นงานที่ 1	 ณ เวลา ที่ 4.96 วินาที	 ณ เวลา ที่ 67.03 วินาที	 ณ เวลา ที่ 143.87 วินาที
ชิ้นงานที่ 2	 ณ เวลา ที่ 5.12 วินาที	 ณ เวลา ที่ 40.03 วินาที	 ณ เวลา ที่ 145.28 วินาที
ชิ้นงานที่ 3	 ณ เวลา ที่ 5.31 วินาที	 ณ เวลา ที่ 23.8 วินาที	 ณ เวลา ที่ 165.8 วินาที



ภาพ 9 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 และ P8

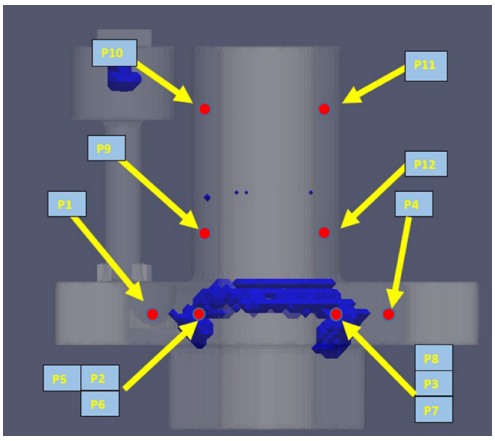


ภาพ 10 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 และ P8

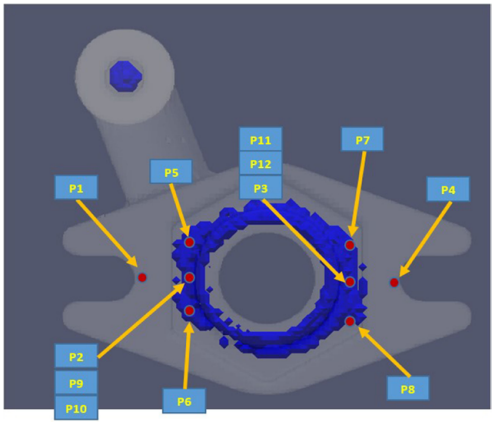
ตาราง 4

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว ชิ้นงานหล่อกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น

จุด	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ (4.96)	อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว (67.03s)	อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว (143.87s)	การเกิดโพรงหดตัว	ตำแหน่งบนชิ้นงาน
P1	719.48	659.71	632.06	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P2	734.56	659.98	643.43	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P3	741.77	659.98	651.01	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P4	735.27	659.89	636.27	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P5	733.86	660.02	633.68	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P6	734.61	660.02	640.76	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P7	742.37	660.03	648.47	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P8	742.11	660.03	650.13	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน



ภาพ 11 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 และ P12

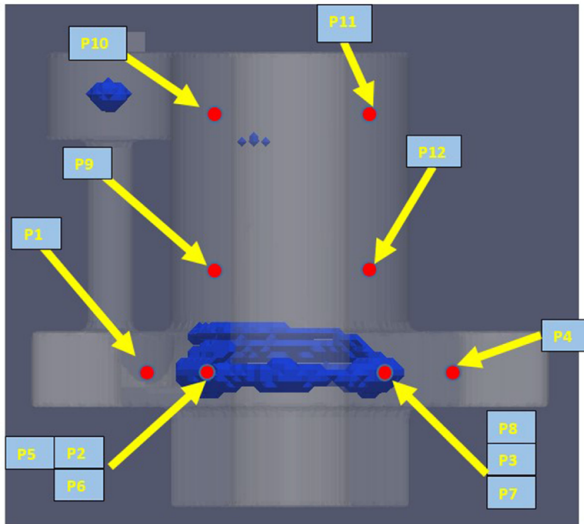


ภาพ 12 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 และ P12

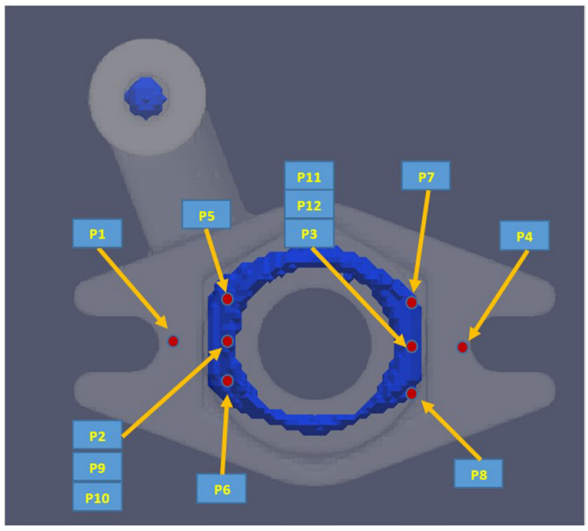
ตาราง 5

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร

จุด	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ (5.12s)	อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว (40.03s)	อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว (145.28s)	การเกิดโพรงหดตัว	ตำแหน่งบนชิ้นงาน
P1	719.55	659.92	634.58	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P2	732. 79	660.04	647.40	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P3	737.29	660.03	652.79	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P4	731.53	660.00	634.82	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P5	731.38	660.03	642.93	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P6	733.20	660.03	649.08	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P7	737.72	660.00	652.79	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P8	737.82	660.02	653.28	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P9	731.624	659.64	606.147	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น
P10	741.63	659.54	567.72	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น
P11	741.54	659.746	567.78	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น
P12	731.6	659.65	607.81	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น



ภาพ 13 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 และ P12



ภาพ 14 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 และ P12

ตาราง 6

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว ชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร

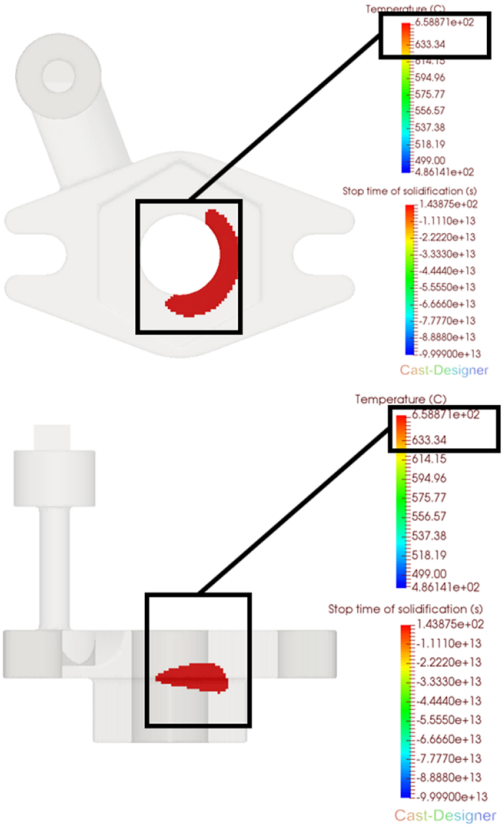
จุด	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ (5.31s)	อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว (23.8)	อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว (165.8s)	การเกิดโพรงหดตัว	ตำแหน่งบนชิ้นงาน
P1	696.98	660.00	614.03595	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P2	711.49	660.00	617.375427	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P3	716.99	659.95	622.123413	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P4	706.33	659.98	613.070007	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P5	708.45	659.98	614.68103	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P6	711.95	659.96	618.757019	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P7	715.48	659.94	621.425964	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P8	716.10	659.92	622.633972	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P9	721.58	659.76	613.829041	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น
P10	734.49	659.65	610.328979	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น
P11	734.52	659.43	612.231628	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น
P12	722.45	659.54	617.980347	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในรูล้น

การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลอง

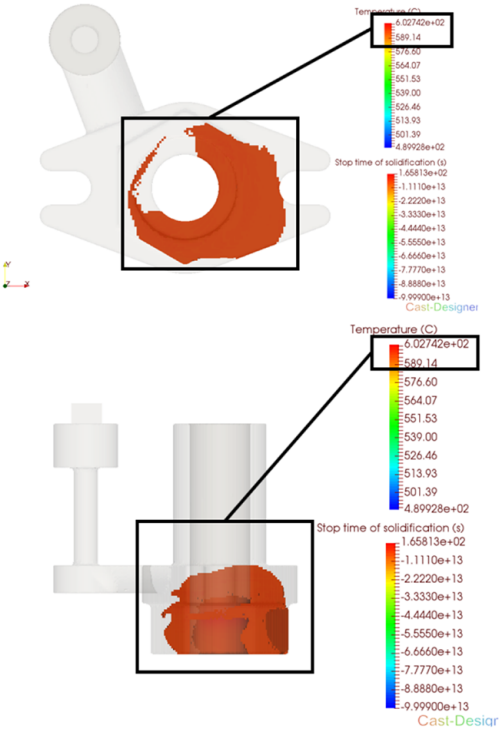
การวิเคราะห์ผลการจำลองที่เกิดขึ้นของ เมื่อพิจารณาจากตาราง 4 5 และ 6 พบว่า สำหรับชิ้นงานหล่อกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น โดยผลที่เกิดขึ้นในตาราง 4 แสดงให้เห็นว่าภาพแสดงอุณหภูมิในกระบวนการหล่อ เป็นการที่ให้มองเห็นภาพรวมของกระบวนการและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการหล่อออกแบบนั้น ๆ อย่างชัดเจน โดยจากจุดวัดอุณหภูมิ ณ P3 P7 และ P8 นั้นมีช่วงอุณภูมิอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับจุดอื่น ๆ ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast designer จะเห็นได้ว่า เป็นบริเวณที่มีการสะสมของความร้อนมากที่สุด โดยเฉพาะในช่วงสภาวะกำลังจะสิ้นสุดการแข็งตัว โดยจากโปรแกรม Cast Designer แสดงผลอุณหภูมิในบริเวณ P3 P7 และ P8 ได้ดังภาพ 15

แต่สำหรับชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร โดยผลที่เกิดขึ้นในตาราง 5 แสดงให้เห็นว่า ภาพแสดงอุณหภูมิในกระบวนการหล่อ จากจุด วัดอุณหภูมิ ณ P2 P3 P5 P6 P7 และ P8 มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่น ๆ ของชิ้นงาน ดังภาพ 16

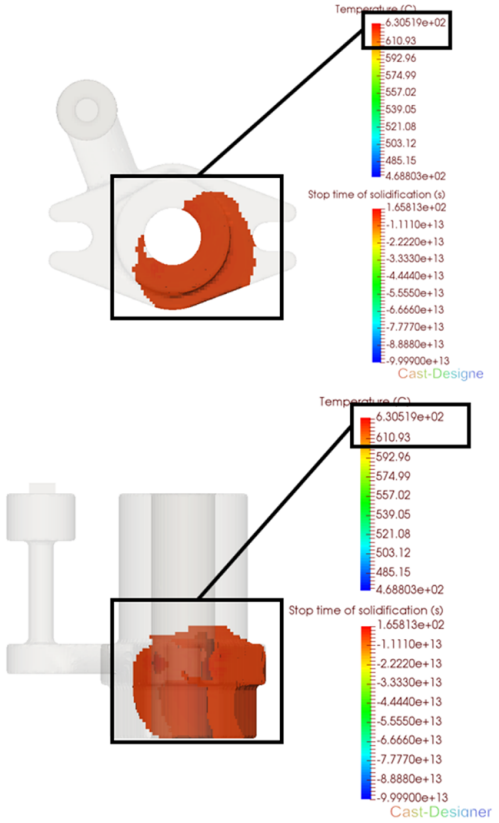
โดยเฉพาะในช่วงสภาวะกำลังจะสิ้นสุดการแข็งตัว แต่ในขณะเดียวกันรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร ที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหากลับมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซึ่งก็หมายความว่า รูล้นมีการแข็งตัวที่เร็วกว่าชิ้นงาน ทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ ซึ่งลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นคล้ายคลึงกันกับชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ดังภาพ 17 ซึ่งแสดงผลของอุณหูมิให้เห็น ดังตาราง 6



ภาพ 15 จุดที่มีการสะสมความร้อนในโซนสีแดงในช่วงการเติมเต็มของโลหะเหลวช่วงอุณหภูมิระหว่าง 633.4 ถึง 658.8 องศา



ภาพ 16 จุดที่มีการสะสมความร้อนในโซนสีแดงในช่วงการเติมเต็มของโลหะเหลวช่วงอุณหภูมิระหว่าง 589.14 ถึง 602.74 องศา



ภาพ 17 จุดที่มีการสะสมความร้อนในโซนสีแดงในช่วงการเติมเต็มของโลหะเหลวช่วงอุณหภูมิระหว่าง 610.93 ถึง 630.51 องศา

จึงสรุปได้ว่าวิธีการแก้ไขปัญหาดังเดิมด้วยการออกแบบรูล้นทรงกระบอกกลวงทั้งสองขนาดขึ้นมานั้นไม่สามารถที่จะแก้ไขการเกิดโพรงหดตัวในตัวชิ้นงานได้ อันเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวของรูล้นมีมากกว่าเนื้อชิ้นงานเอง ดังนั้นในหัวข้อถัดไปผู้วิจัยจะทำการออกแบบวิธีการแก้ปัญหานี้ เพื่อลดปัญหาการเกิดโพรงหดตัวให้ได้นั้นเอง

ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่า ในทุกสภาวะการหล่อจะมีบริเวณที่มีอุณหภูมิสะสมมากที่สุดอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความหนาของงชิ้นงานมากที่สุดเช่นกัน ทำให้เป็นจุดที่มีการเย็นตัวช้าที่สุด เพราะผลในส่วนนี้เองจึงทำให้เกิดการยุบตัวของชิ้นงานเกิดขึ้นด้วย (Muthuraman, Arunkumar & Baskarlal, 2017)

ผู้วิจัยจะทำการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการใช้รูล้น (riser) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการจัดการกับ

การหดตัวที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเย็นตัวของชิ้นงานหล่อ โดยรูล้นนี้จะช่วยเก็บโลหะหลอมเหลวไว้และปล่อยให้ไหลเข้าสู่ชิ้นงานเมื่อเกิดการหดตัว ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงานหล่อ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความหนามากหรือบริเวณที่เย็นตัวช้ากว่าบริเวณอื่น ๆ ประโยชน์ของการใช้รูล้นคือการรักษาสมดุลของมวลโลหะในระหว่างการหล่อ ซึ่งเมื่อโลหะเย็นตัวและแข็งตัว การหดตัวที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงานได้ รูล้นช่วยเติมเต็มช่องว่างนี้ด้วยโลหะหลอมเหลวที่เก็บอยู่ ทำให้ชิ้นงานไม่มีข้อบกพร่องและมีความแข็งแรงสูงขึ้น นอกจากนี้ รูล้นยังช่วยลดการเกิดข้อบกพร่องอื่น ๆ ในชิ้นงานหล่อโดยการควบคุมการหดตัวอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบและการวางตำแหน่งของรูล้นที่เหมาะสมช่วยให้การหล่อเป็นไปอย่างราบรื่น (Loankosonchai, 2001) ลดการสูญเสียวัสดุและเวลาที่ใช้ในการผลิต ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงขึ้นในระยะเวลาที่สั้นลง ดังนั้นรูล้นจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการแก้ไขปัญหาการหดตัวในงานหล่อ ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นและช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบขนาดของรูล้นทรงกระบอกตัน

โดยในการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยจะกำหนดรูปร่างของรูล้นเป็นรูล้นตันทรงกระบอก โดยจะคำนวณหาขนาดของรูล้นจากวิธีการ Modulus Method โดยสมการคือ Modulus--Mc (Loankosonchai, 2001)

$$M_c = V_c / A_c \qquad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

V_c คือ ปริมาตรของงาน

A_c คือ พื้นที่ผิวของงานที่มีการถ่ายเทความ

โดยสำหรับค่า V_c และ A_c ของชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม Cast Designer โดยค่า

V_c = 215223.89 mm^3

A_c = 38477.73 mm^2

ดังนั้น ค่า M_c จึงเท่ากับ 5.567 และสำหรับค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูล้นทรงกระบอกนั้นสามารถหาได้จากสมการ

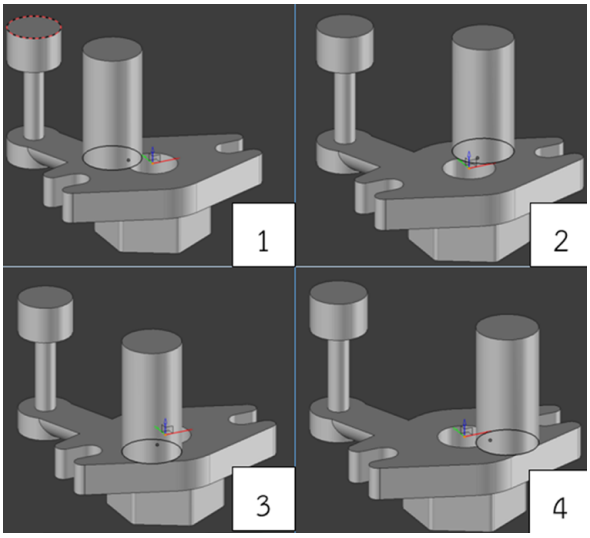
$D = 6 M_c$

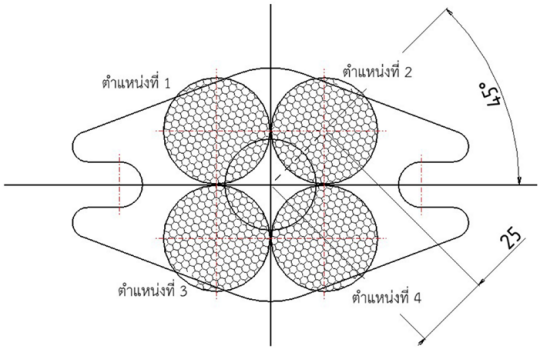
D จึงเท่ากับ 33.4 mm.

ดังนั้นจึงกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูล้นทรงกระบอกตันเท่ากับ 35 มิลลเมตร และสูงเท่ากับ 70 มิลลิเมตรเท่ากับความสูงขอรูเทนั้นเอง

2. กำหนดตำแหน่งการวางรูล้น

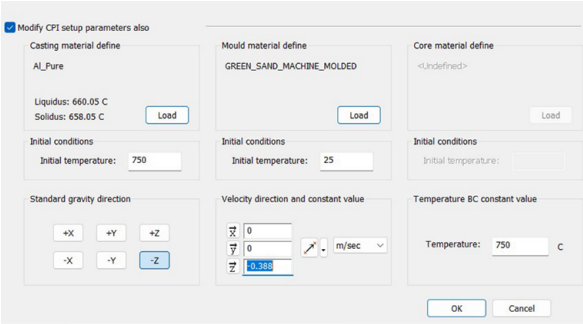
ในการวางตำแหน่งของรูล้นนั้น ผู้วิจัยจะทำการจำลองทดสอบทั้งหมด 4 การทดสอบ โดยได้กำหนดตำแหน่งเปรียบเทียบผลลัพธ์ ของตำแหน่งการวางรูล้นที่เปลี่ยนไปตรวจสอบการเกิดโพรงหดตัวที่ชิ้นงาน เริ่มตั้งแต่ ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 โดยตรวจสอบโพรงหดตัวที่เกิดขึ้น แบ่งเป็นทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ดังภาพ 18





ภาพ 18 แสดงตำแหน่งของการวางรูล้นในตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4

ต่อมาจะกำหนดค่าลงใน CPI ของโปรแกรม Cast Designer เพื่อที่จะทำการจำลองผลการทดสอบของทั้ง 4 การทดลอง โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นค่าเดิมเหมือนกับการจำลองชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น โดยค่าที่กำหนดทั้งหมดเป็นดังภาพ 19



ภาพ 19 แสดงลักษณะการหดตัวของชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น

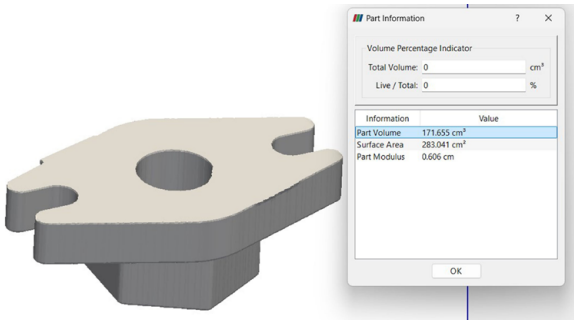
ผลลัพธ์ของการจำลอง

หลังจากการจำลองได้ผลลัพธ์การเกิดโพรงหดตัวของของการออกแบบรูล้นทั้ง 4 ตำแหน่งนั้นสำหรับการหาค่าโพรงหดตัว ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Cast Designer ช่วยในการหาอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชิ้นงาน: ปริมาตรของโพรงหดตัวโดย

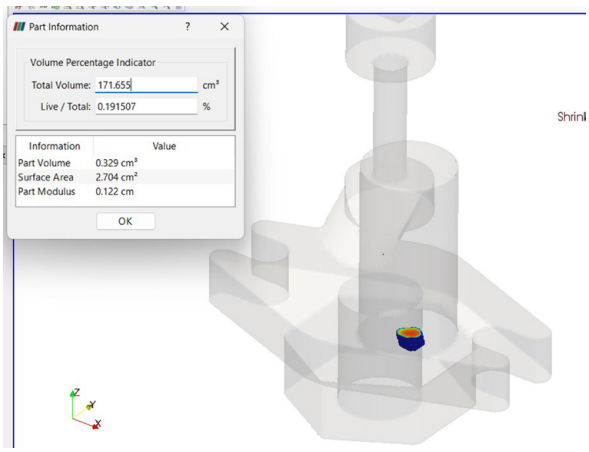
โดยสำหรับปริมาตรของชิ้นงานนั้นผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Cast Designer ช่วยในการคำนวณ ได้ค่าปริมาตรของชิ้นงาน โดยไม่รวมรูเทและทางเข้าเท่ากับ 171.655 cm^3

และสำหรับในการหาค่า Shrinkage Porosity นั้นเราสามารถหาได้ด้วยการใช้โปรแกรม Cast Designer โดยใช้ค่าปริมาตรที่หาได้มากำหนดลงในโปแกรมในช่องของ Total Volume โดยเราจะคิดเพียงในส่วนของโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นในเนื้อชิ้นงานเท่านั้น โดยไม่รวมรูเท รูล้น และทางเข้า จึงสามารถที่จะสรุปผลการหาค่าการเกิดโพรงหดตัวของการวางรูล้นในแต่ละตำแหน่งออกมา ได้ดังนี้ ดังตาราง 7

จากตาราง 7 สรุปได้ว่าตำแหน่งของการวางรูล้นตำแหน่งที่ 4 เป็นตำแหน่งที่เกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นการเกิดโพรงหดตัวภายในเนื้อชิ้นงานเพียง 0.160 % โดยการผลการจำลองในส่วนของรูล้นตำแหน่งที่ 4 จะแสดงไว้ดังตาราง 8 และตาราง 9



ภาพ 20 แสดงปริมาตรของชิ้นงานจากโปรแกรม Cast Designer=171.655cm3



ภาพ 21 แสดงวิธีการหาค่าโพรงหดตัวด้วยโปรแกรม Cast Designer

ตาราง 7

สรุปผลการจำลองผลวิเคราะห์การเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานปรับตำแหน่งรูล้น

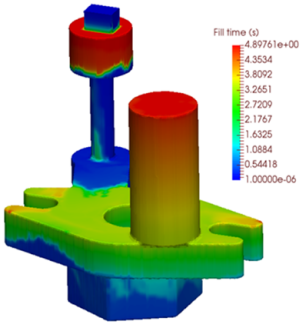
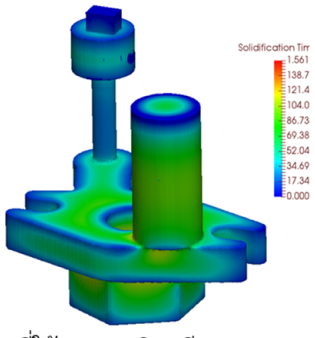
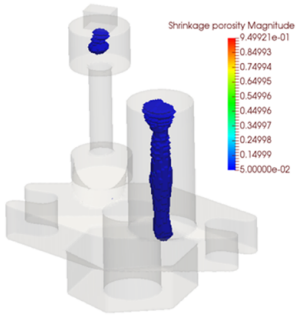
ตำแหน่งของรูล้น	% เกิดโพรงหดตัว
ตำแหน่งที่ 1	0.69%
ตำแหน่งที่ 2	0.169%
ตำแหน่งที่ 3	0.513%
ตำแหน่งที่ 4	0.160%

1. การวัดอุณหภูมิภายใน กำหนดเป็นจุด P มีตำแหน่งในการวัดดังต่อไปนี้

ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร ดังภาพ 22 และภาพ 23 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 10

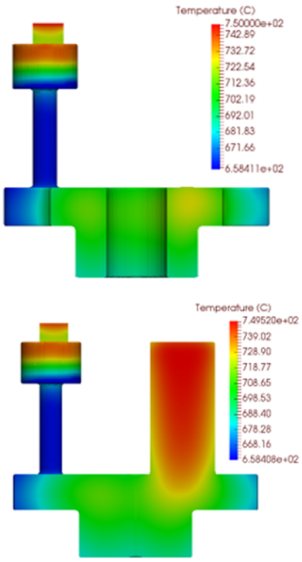
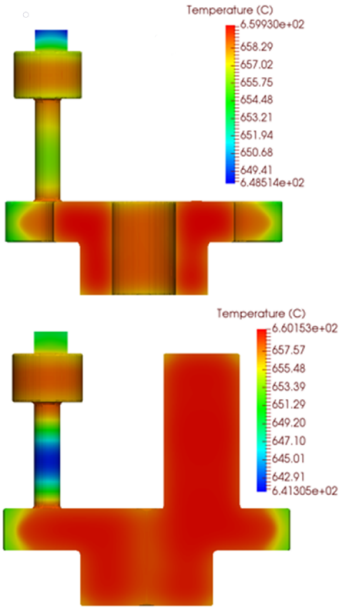
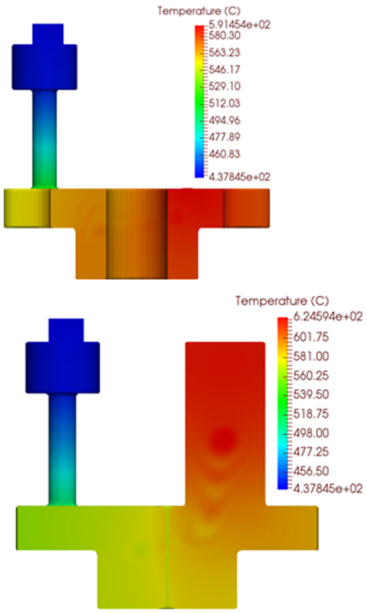
ตาราง 8

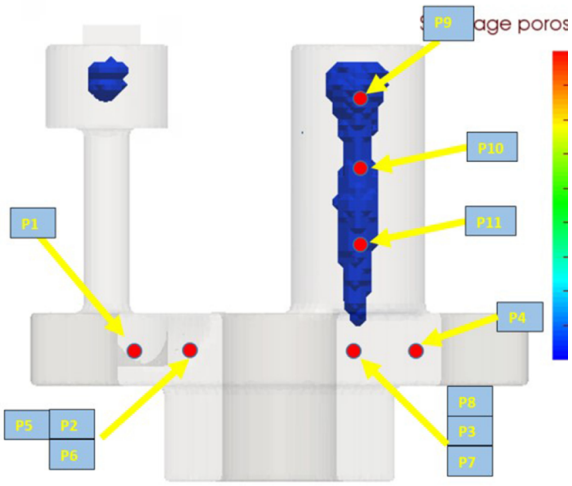
แสดงผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time) การจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time) ทั้งสามชิ้นงาน และ โพรงหดตัว (shrinkage porosity)

ชื่อชิ้นงาน/ การจำลอง	การจำลองเวลาใน การเติมเต็มโลหะเหลว (fill time)	การจำลองเวลาใน การแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time)	โพรงหดตัว (shrinkage porosity)
ชิ้นงานที่ 4	 เวลาที่ใช้ = 4.8 วินาที	 เวลาที่ใช้ = 156 วินาที	 เกิดโพรงหดตัว 0.16 %

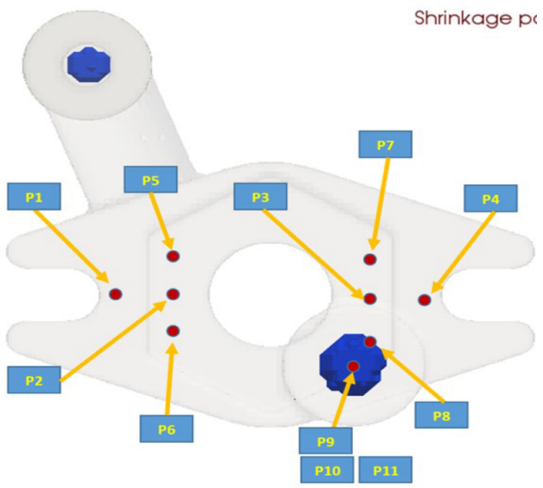
ตาราง 9

แสดงผลการจำลองอุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการเติมน้ำโลหะเหลว อุณหภูมิช่วงเวลาเริ่มต้นการแข็งตัว และอุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว

ชื่อชิ้นงาน/ การจำลอง	อุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุด การเติมน้ำโลหะเหลว	อุณหภูมิช่วงเวลาเริ่มต้น การแข็งตัว	อุณหภูมิช่วงเวลาสิ้นสุด การแข็งตัว
ชิ้นงานที่ 4	 ณ เวลา ที่ 4.9 วินาที	 ณ เวลา ที่ 47 วินาที	 ณ เวลา ที่ 174 วินาที



ภาพ 22 ตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 และ P10



ภาพ 23 ตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 และ P10

ตาราง 10

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัวชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร

จุด	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ (4.9s)	อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว (48.5s)	อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว (183.2s)	การเกิดโพรงหดตัว	ตำแหน่งบนชิ้นงาน
P1	704.70	659.59	564.14	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P2	714.01	659.71	568.47	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P3	724.61	659.75	588.69	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P4	718.00	659.62	588.20	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P5	714.05	659.85	563.51	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P6	713.47	659.82	571.24	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P7	722.56	659.76	581.74	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P8	727.22	659.94	591.65	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P9	741.81	659.90	607.40	เกิดโพรงหดตัว	รูล้น
P10	748.74	659.86	619.91	เกิดโพรงหดตัว	รูล้น
P11	745.99	660.00	616.78	เกิดโพรงหดตัว	รูล้น

2. สรุปผลการทดลองชิ้นงานหล่อรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาจากตาราง 10 โดยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว เพื่อทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของความร้อนที่เกิดขึ้น

โดยผลที่เกิดขึ้นในตาราง 10 แสดงให้เห็นว่า ภาพแสดงอุณหภูมิในกระบวนการหล่อ จากจุด วัดอุณหภูมิ ณ P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 และ P11 จะแสดงให้เห็นความแตกต่างในการเย็นตัวของชิ้นงานหล่อ ที่มีผลต่อเวลาที่เกิดการแข็งตัวและการเกิดโพรงหดตัว โดยที่บริเวณที่เกิดการเกิดโพรงหดตัว จะมีการเย็นตัวที่ช้ากว่าจุดที่ไม่เกิด คือ จุด P9 P10 โดยเฉพาะในช่วงเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว ซึ่งผลการจำลองออกมาแสดงให้เห็นถึง “จุดร้อน” ซึ่งมีการกล่าวถึงผลของจุดร้อน ในงานวิจัยเรื่อง Minimization of Shrinkage Porosity in A Sand Casting Process By Simulation In AUTOCAST-X Software with Experimental Validation by Destructive testing Gajbhiye, Choudhari, Raut, Narkhede and Bhandarkar (2014) ว่า “จุดร้อน” มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัวและแก้ไขได้โดยการวางอุปกรณ์คลายความร้อนไว้บริเวณนั้น Gajbhiye, Choudhari, Raut, Narkhede and Bhandarkar (2014) จึงช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานได้นั้นเอง แตกต่างจากวิธีของงานวิจัยนี้ที่ใช้รูล้นในการย้ายจุดร้อนจากในเนื้อชิ้นงานมาไว้ที่รูล้นเพื่อแก้ไขปัญหา

สำหรับการแก้ไขโดยการออกแบบรูล้นไว้ที่ตำแหน่งที่ 4 ผลลัพธ์ของการเกิดโพรงหดตัวเหลือเพียง เกิดโพรงหดตัว 0.16 % เท่านั้น และหากพิจารณาจากตาราง 7 ซึ่งเป็นสรุปการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานเมื่อวางรูล้นในตำแหน่งที่แตกต่างกันแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า รูล้นที่อยู่ใกล้จุดสะสมความร้อนของชิ้นงานนั้น มีแนวโน้มที่จะเกิดโพรงหดตัวน้อยกว่าจุดที่อยู่ห่างจากจุดสะสมความร้อนมากกว่า เปรียบเทียบได้ระหว่างตำแหน่งการวางรูล้นที่ 1 และ ตำแหน่งการวางรูล้นที่ 3 จะมีค่าเปอร์เซ็นการเกิดโพรงหดตัวที่มากกว่าตำแหน่งการวางที่ 2 และที่ 4 เนื่องจากอยู่ห่างจากจุดสะสมความร้อนมากกว่านั้นเอง

การอภิปรายผลและสรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีผลต่องานหล่อ ในเรื่องของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของความร้อน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์จำลองสถาณการณ์ การหดตัวและการพฤติกรรมของความร้อนในชิ้นงานทดสอบ และเพื่อลดข้อบกพร่องของการหดตัวที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน โดยผลจากการวิจัยที่เกิดขึ้นทำให้สามารถยืนยันได้ว่า การเกิดโพรงหดตัวและพฤติกรรมของความร้อนภายในตัวชิ้นงานมีความเกี่ยวข้องกัน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลลัพธ์การทดสอบเปรียบเทียบกันสองรูปแบบระหว่างชิ้นงานออกแบบดั้งเดิม คือ ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร และชิ้นงานปรับปรุงแก้ไขรูล้นรูปแบบใหม่ คือ ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร โดยจากผลการจำลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในตัวชิ้นงานที่ไม่เท่ากันภายในชิ้นงานทั้งหมดนั้น ส่งผลต่อตำแหน่งของการเกิดโพรงหดตัวอย่างเห็นได้ชัดเจน และการออกแบบรูล้นที่ขนาดและตำแหน่งการวางที่ไม่ถูกต้องนั้น ไม่สามารถที่จะแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวได้

โดยภาพรวมแล้วการใช้โปรแกรมจำลอง Cast Designer ช่วยให้ผู้วิจัยหรือว่าวิศวกร สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหล่อทรายชิ้นงานได้ดีขึ้น ลดข้อบกพร่อง อีกทั้งยังช่วยให้ออกแบบรูล้นในตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสม จะช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวภายในตัวชิ้นงานได้ ประโยชน์ที่ตามมา คือ สามารถช่วยลดเวลา ลดต้นทุนในการทดสอบและผลิตชิ้นงานได้มีคุณภาพมากขึ้นนั้นเอง โดยภาพรวมแล้วการใช้โปรแกรมจำลอง Cast Designer ช่วยให้ผู้วิจัยหรือว่าวิศวกร สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหล่อทรายชิ้นงานได้ดีขึ้น ลดข้อบกพร่อง อีกทั้งยังช่วยให้ออกแบบรูล้นในตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสม จะช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวภายในตัวชิ้นงานได้ ผลิตชิ้นงานได้มีคุณภาพมากขึ้นนั้นเอง

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ CIT-2023-GRAD-32 และบริษัท โฟร์ดี คอร์ปอเรชั่น จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนโปรแกรม Cast Designer เป็นเครื่องมือสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

References

Anna Gowsalya, L., & E. Afshan, M. (2021). *Heat Transfer Studies on Solidification of Casting Process*. London: IntechOpen Limited.

Atchimarangsi, S. (2008). *Reduction of shrinkage defects in cast components for truck frames* (Master's thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok. (in Thai)

Gajbhiye, A. K., Choudhari, C. M., Raut, D. N., Narkhede, B. E., & Bhandarkar, B. M. (2014). Minimization of shrinkage porosity in a sand casting process by simulation in AUTOCAST-X Software with experimental validation by destructive testing. *International journal of modern engineering research (IJMER), 4*(5), 18–27. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:197645910

Gunasegarama, D. (2009). Identification of critical factors affecting shrinkage porosity in permanent mold casting using numerical simulations based on design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology, 209*(3), 1209–1219. doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.03.044

Jalouli, Z., Caillaud, A., Artozoul, J., Ammar, A., & El-Abidi, A., (2021). Modelling of shrinkage formation in casting by the phase field method. *International Journal of Material Forming, 14*(5), 885-899. doi: 10.1007/s12289-020-01602-8

Jarosz, R., Kiełbus, A., & Gryc, A. (2018). Application of computer simulation in EV31A magnesium alloy casting process using MAGMASoft software. *Preprints, 2018*, 2018040108. https://doi.org/10.20944/preprints201804.0108.v1

Loankosonchai, S. (2001). *Design of gating and riser system for aluminium casting* (Master's thesis). King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok (in Thai)

Mahomed, N. (2020). *Shrinkage porosity in steel sand castings: Formation, classification and inspection.* London: IntechOpen Limited.

Muthuraman, V., Arunkumar, S., & Baskarlal, V. P. M. (2017). Modelling and simulation analysis of metal castings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12*(6), 1877-1879. https://bit.ly/3YYCqs4

ParthLakum, Gondaliya, R. D., & Chauhan, H. N. (2016). Shrinkage porosity & temperature distribution analysis of air cooled cylinder liner block of Grey cast iron –ASTM class 35. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education, 2*(3), 596-557. https://bit.ly/3AM7bap

Rathod, H., Jay K. Dhulia, J. K., & Maniar, N. P. (2017). Prediction of shrinkage porosity defect in sand casting process of LM25. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 225*(1), 012237. doi:10.1088/1757-899X/225/1/012237

Sankalp, J., & Sankalp, V. Jaiswal, S., & Verma, S. (2019). Thermal analysis of casting using ANSYS. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 7*(8), 671-679. https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=24839

Santhi, S., Sakri, S. B., Hanumantha Rao, D., & Sundarrajan, S. (2012). Estimation of shrinkage porosity of a cast aluminium alloy. *I-manager's Journal on Mechanical Engineering, 2*(2), 19-25. https://doi.org/10.26634/jme.2.2.1567

Tavakoli, R. (2014). On the prediction of shrinkage defects by thermal criterion functions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 74*, 569–579. https://doi.org/10.1007/s00170-014-5995-0

Watthanabupa, S. (2020). *Design of gating systems in aluminium casting for sand mold* (Bachelor's thesis). King Mongkut's University of Technology North. Bangkok. (in Thai)

การประยุกต์ใช้ระบบนำวิถีด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์สำหรับอากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็ก

Application of a Computer Vision Guidance System for a Small Unmanned Loitering Attack Munition

เสาวคนธ์ ภุมมาลี[1] ณัทกร พราหมอ้น[2] ประสาทพร วงษ์คำช้าง[1] และเจนวิทย์ คำพูล[1]

Saowakon Pummalee[1], Nattagorn Pramona[2], Prasatporn Wongkamchang[1] and Janewit Kampoon[1]

[1]สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

[1]Graduate School, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

[2]ภาควิศวกรรมอากาศยาน โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

[2]Department of Aeronuatical Engineering, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

Received: June 22, 2024

Revised: September 10, 2024

Accepted: September 17, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบนำวิถีด้วยภาพสำหรับควบคุมอากาศไร้คนขับโจมตีขนาดเล็กในการโจมตีเป้าหมายภาคพื้นดิน โดยการประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการคำนวณหาตำแหน่งของเป้าหมายแล้วควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับแบบมัลติโรเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปโจมตีเป้าหมายได้ จากการทดสอบการบินจำนวน 6 เที่ยวบิน ที่มีทิศทางการเห็นภาพที่แตกต่างกัน และบินที่ความสูง 80 เมตรแล้วลดระดับความสูงเพื่อเข้าโจมตีเป้าหมายเป็นแผ่นสีวงกลมขนาด 3 เมตร x 3 เมตร ที่อยู่นิ่งภาคพื้นดิน การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ YOLO v5 และทำการปรับค่าที่เหมาะสมพบว่า YOLO v5 ที่กำหนดค่าความแม่นยำ Confidence threshold เท่ากับ 0.001 มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่า Precision Recall F1 score mAP50 และ mAP50-95 ดีกว่าแบบจำลองอื่น ๆ คือ ค่า Precision นั้นมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.794 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.999 ในขณะที่ค่า Recall มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.993 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 และค่า F1 Score มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.877 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.999 ค่า mAP50 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.948 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.995 ค่า mAP50-95 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.807 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.935

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ ระบบนำวิถี ระบบนำทาง อากาศยานไร้คนขับโจมตี

Abstract

The goal of this research is to create a visual guidance system that can control a small unmanned loitering attack munition that is designed to attack ground targets. By applying artificial intelligence in computer vision to calculate the location of the target and computed a trajectory for controlling the movement of the multi-rotor unmanned aerial vehicle to attack the target. Six flight tests with different visual orientations were performed and flies at a height of 80 meters and then reduces altitude to attack the target in a color-strip circle of size 3 meters x 3 meters that is stationary on the ground. Comparing the performance of YOLO v5 and making appropriate adjustments, it was found that YOLO v5, whose conf-thres value is 0.001, had the best performance with the values Precision, Recall, and the F 1 score, which is better than other models. After that, the trajectory is calculated by taking the difference between the center of the target and the center of each frame at different heights used to create a trajectory to be used in the design of the control system of an unmanned aircraft to attack the target in the future.

Keyword: image processing, guidance, navigation, loitering munition

บทนำ

อากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็ก (Loitering Attack Munitions--LAMs) เป็นอากาศยานไร้คนขับที่มีการออกแบบการติดตั้งวัตถุระเบิดเข้ากับโครงสร้างของอากาศยาน มีการนำมาใช้ในความขัดแย้งนากอร์โน-คาราบาคห์ระหว่างอาร์เมเนียและอาเซอร์ไบจาน จนถือได้ว่าเป็นครั้งแรกของสงครามระบบอาวุธอากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็ก (Voskuijl, 2022) การใช้อากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็กมีการนำไปใช้แพร่หลายมากขึ้นในความขัดแย้งในตะวันออกกลาง แอฟริกา และยุโรปตะวันออก โดยเฉพาะความขัดแย้งระหว่างรัสเซียและยูเครนมีการใช้งานบ่อยครั้งจนเรียกได้ว่าอากาศยานไร้คนขับโจมตีเป็นยุทโธปกรณ์พลิกสถานการณ์ (Kunertova, 2023) มีการนำไปใช้งานในภารกิจลาดตระเวนและสอดแนมและโจมตีเป้าหมายที่มีมูลค่าสูงขณะที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากอากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็กสามารถประกอบรวมระบบได้ง่ายโดยการใช้โครงสร้างของอากาศยานประกอบรวมเข้ากับชุดขับเคลื่อนเช่น เครื่องยนต์ขนาดเล็กหรือมอเตอร์ไฟฟ้าและติดตั้งใบพัดเพื่อใช้เป็นระบบขับเคลื่อนให้กับอากาศยานติดตั้งระบบควบคุมการบินอัตโนมัติเพื่อทำการตั้งโปรแกรมเส้นทางการบินในการนำทางให้อากาศยานไร้คนขับเคลื่อนที่จากจุดวิ่งขึ้นไปยังเป้าหมาย แต่สำหรับอากาศยานไร้คนขับแบบโจมตีเป้าหมายนั้นยังต้องการระบบนำวิถีซึ่งจะทำหน้าที่สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ในขณะที่ทำการบินในอากาศอยู่นั้นให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายภาคพื้นดินได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

การพัฒนาระบบนำทางสำหรับอากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็กแบ่งเป็น 3 วิธี (Lu, Xue, Xia & Zhang, 2018) คือ ระบบการนำทางเฉื่อย (Inertial Navigation System--INS) ระบบนำทางด้วยดาวเทียมระบุพิกัด (GPS-Navigation System) และระบบนำทางด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Vision-based Navigation System) ในการที่ทำให้อากาศยานไร้คนขับพาตัวเองเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และรวดเร็วอย่างปลอดภัย วิธีการนำทางด้วยดาวเทียมระบุพิกัด นั้นมีข้อจำกัดกรณีที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมระบุพิกัดได้ (Luo & Pei, 2007) อีกทั้งกรณีเกิดมีสัญญาณรบกวนในการรับสัญญาณดาวเทียม และระบบ INS นั้น ถ้าใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพซึ่งมีราคาสูง (Conte & Doherty, 2008) ถึงแม้ว่าจะไม่มีวิธีการใดสมบูรณ์ แต่การนำทาง

ด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์หรือภาพซึ่งใช้เซ็นเซอร์รับภาพที่มีราคาถูกและยืดหยุ่นกว่าได้แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบอย่างมากในการนำทางอากาศยานไร้คนขับด้วยภาพ เนื่องจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ การระบุตำแหน่งและการทำแผนที่ด้วยภาพ การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการวางแผนเส้นทางการบิน เป็นองค์ประกอบสำคัญของการนำทางด้วยภาพ ซึ่งมีแนวโน้มทิศทางการวิจัยทางด้านนี้มากยิ่งขึ้น (Arafat, Yeasir, Alam & Moh, 2023)

YOLO--You Only Look Once เป็นอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ที่ใช้งานได้ดีในการระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในภาพ โดย Redmon et al. (2016) นำเสนอ YOLO ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการตรวจจับวัตถุ การออกแบบ YOLO ช่วยให้สามารถฝึกซ้อมแบบ end-to-end และความเร็วแบบเรียลไทม์ ในขณะที่ยังคงความแม่นยำโดยเฉลี่ยในระดับสูง ระบบจะแบ่งภาพที่อินพุตออกเป็นตาราง S×S หากจุดศูนย์กลางของวัตถุตกอยู่ในเซลล์กริด เซลล์กริดนั้น จะมีหน้าที่ตรวจจับวัตถุนั้น แต่ละเซลล์กริดจะทำนายกรอบขอบเขต B และคะแนนความเชื่อมั่นสำหรับกล่องเหล่านั้น คะแนนความเชื่อมั่นเหล่านี้สะท้อนถึงความมั่นใจของแบบจำลองว่ากล่องบรรจุวัตถุและความแม่นยำที่โมเดลคิดว่ากล่องนั้นคาดการณ์ไว้ ความมั่นใจถูกกำหนดให้เป็นตัวชี้วัดของวัตถุที่ทำนายและวัตถุความจริงภาคพื้นดิน หากไม่มีวัตถุอยู่ในเซลล์นั้น คะแนนความเชื่อมั่นควรเป็นศูนย์ มิฉะนั้น คะแนนความเชื่อมั่นควรเท่ากับจุดตัดเหนือสหภาพ (IOU) ระหว่างช่องที่ทำนายกับความจริงภาคพื้นดิน กรอบขอบเขตแต่ละกล่องประกอบด้วยการทำนาย 5 แบบ: x y w h และความมั่นใจ พิกัด (x y) แสดงถึงศูนย์กลางของกล่องที่สัมพันธ์กับขอบเขตของเซลล์กริด w และ h คือ ความกว้างและความสูงที่คาดการณ์โดยสัมพันธ์กับทั้งภาพ สุดท้ายการทำนายความเชื่อมั่นแสดงถึง IOU ระหว่างกล่องที่ทำนายกับกล่องความจริงภาคพื้นดิน ในแต่ละกล่องจะประกอบไปด้วยผลการทำนาย 5 แบบ ได้แก่ x y w h และความเชื่อมั่น โดยพิกัด (x y) แสดงถึง จุดศูนย์กลางของกล่องที่สัมพันธ์กับขอบเขตของเซลล์กริด ส่วน w และ h คือ ความกว้างและความสูงที่คาดการณ์โดยสัมพันธ์กับภาพทั้งหมด ซึ่งในที่สุด การทำนายความเชื่อมั่นนั้น แสดงให้เห็นถึงค่า IOU ระหว่างกล่องที่ถูกทำนายกับกล่องที่เฉลย (ค่าจริงของกล่อง) ตระกูลของการตรวจจับวัตถุแบบ YOLO ส่งผลกระทบที่สำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพการนำไปใช้งานของ computer vision ตั้งแต่เริ่มต้นในปี ค.ศ. 2015 การปรากฏของ YOLO-v1 ได้นำเสนอความก้าวหน้าที่สำคัญ และกลายเป็นสถาปัตยกรรมแรกที่รวมสองงานที่ปกติจะแยกจากกันโดยเป็นการรวมกันของกล่องที่ถูกทำนายและการจำแนกเข้าด้วยกัน

YOLO-v2 ก็ได้ถูกนำเสนอในช่วงเวลาต่อมา (Redmon & Farhadi, 2018) ซึ่งเป็นการปรับปรุงโครงสร้างและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เช่น batch normalization higher resolution and anchor boxes

Redmon and Farhadi (2018) ได้นำเสนอ YOLO-v3 เป็นเวอร์ชันที่ขยายหลายส่วนที่แตกต่างไปจากเวอร์ชันก่อนหน้านี้ด้วยการปรับปรุงให้ดีขึ้น รวมทั้งการแนะนำให้ได้รู้จัก objectness scores ของกล่องที่ถูกคาดการณ์ที่เพิ่มการเชื่อมต่อของ layer ที่เป็นแกนหลักและความสามารถในการทำนายผลที่มีความแตกต่างกันในสามระดับของรายละเอียด จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้นในการตรวจจับวัตถุเป้าหมายขนาดเล็ก

หลังจากนั้นเพียงเวลาไม่นาน YOLO-v4 (Alexey et al., 2020) ก็ได้ถูกนำเสนอในเดือนเมษายน ค.ศ. 2020 ซึ่งได้กลายเป็นรุ่นแรกในตระกูล YOLO ที่ไม่ได้ถูกพัฒนาโดย Joseph Redmon ซึ่งเป็นผู้ริเริ่ม การปรับปรุงรวมถึงการรวมฟีเจอร์ที่ดีขึ้น เทคนิค Bag of Freebies--BoF และ Mish Function คือ Activation Function ออกแบบสำหรับ Neural Network มีความสามารถ Regularize ในตัวเอง และเป็นฟังก์ชันที่ไม่ใช่ฟังก์ชันทางเดียว (non-monotonic)

เวลาต่อมาเพียงไม่กี่เดือน YOLO-v5 ก็ได้ถูกนำเสนอตามมาโดย Nepal and Eslamiat (2022) ซึ่งเป็นเวอร์ชันแรกที่ไม่มีเอกสารงานวิจัย โดย YOLO-v5 นั้น อยู่บนพื้นฐานของ PyTorch บน GitHub repo ที่ให้การเขียนโค้ดแสดงกระบวนการนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ในการค้นหาจุดลงจอดที่ปลอดภัยที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่ระบบการทำงานของอากาศยานไร้คนขับเกิดความล้มเหลวโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ YOLO-v3 YOLO-v4 และ YOLO-v5l ด้วยชุดข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีชื่อว่า DOTA ผลการวิจัยสรุปว่า อัลกอริทึม YOLO-v5l มีประสิทธิภาพดีกว่า YOLO-v4 และ YOLO-v3 ในแง่ของความแม่นยำในการตรวจจับ ในขณะที่การประมวลผลช้าลงเล็กน้อย ทำให้ YOLO-v5

เข้าถึงได้กว้างขวางขึ้น โดยให้ความสำคัญกับการปฏิรูปโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายใน

Chuyi et al. (2022) ได้พัฒนา YOLO-v6 ได้ทำการออกแบบโครงสร้างหลัก (efficientRep) และส่วนเชื่อมต่อ (rep-PAN) modules ด้วยการให้ความสำคัญกับฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การทำกรอบสี่เหลี่ยมที่ถูกสุ่มวาดบนรูปภาพเพื่อตามหาวัตถุเป็นอิสระ (anchor-free) และแนวความคิดของ decoupled head ยังได้ถูกนำเสนอ ซึ่งกล่าวเป็นนัยได้ว่า ชั้นที่เพิ่มขึ้นมาสำหรับการแยกคุณลักษณะจาก the final head ซึ่งแสดงให้เห็นการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวม

Wang et al. (2022) ผู้พัฒนา YOLO-v7 ยังเน้นการปฏิรูปโครงสร้าง โดยพิจารณาปริมาณหน่วยความจำที่ต้องใช้เพื่อเรียกคืนเลเยอร์ในหน่วยความจำและระยะทางที่จำเป็นสำหรับการย้อนกลับของ gradients กล่าวคือ การย้อนกลับของ gradients ที่สั้นกว่า จึงทำให้มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น สำหรับการรวบรวมเลเยอร์สุดท้าย ผู้พัฒนาได้นำเสนอ E-ELAN ซึ่งเป็นการขยายของบล็อกคำนวณ ELAN

ปี ค.ศ. 2023 มีการเปิดตัวเวอร์ชั่นล่าสุดของตระกูล YOLO คือ YOLO-v8 โดยกลุ่มนักพัฒนา Jocher et al. (2023) ชื่อว่า Ultralytics การเปรียบเทียบเบื้องต้นของเวอร์ชันล่าสุดกับเวอร์ชันก่อนหน้าได้แสดงถึงประสิทธิภาพที่มีแนวโน้มที่ดีขึ้น ตามปริมาณงานที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ เมื่อเทียบกับการคำนวณพารามิเตอร์ที่คล้ายกัน

สำหรับงานวิจัยนี้สนใจในด้านการสร้างเส้นทางของอากาศยานไร้คนขับโจมตีขนาดเล็กด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ โดยประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถตรวจจับและติดตามเป้าหมาย และทำการคำนวณค่าความผิดพลาด pixel ระหว่างจุดกึ่งกลางของเป้าหมายและจุดกึ่งกลางของภาพ (Liu et al., 2020) ในการนำทางให้อากาศยานไร้คนขับที่เคลื่อนที่ขณะทำการบินที่ความสูงเข้าโจมตีเป้าหมายภาคพื้นดิน โดยได้ทำการเลือก YOLO v5 มาใช้เพราะด้วยขนาดของโมเดลที่เล็กกว่ามาก มีความเร็วในการประมวณผลสูง ถึงจะมีความแม่นยำน้อยกว่า YOLO อื่นอยู่บ้าง แต่การนำมาใช้งานนั้นมีความสะดวกกว่ามาก เหมาะกับงานที่ต้องการความเร็วโดยเฉพาะใช้กับอากาศยานไร้คนขับที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว เพื่อค้นหาเป้าหมายและประมวลผลในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานให้ไปยังเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้ จากการที่อากาศยานโจมตีเคลื่อนที่จากความสูงบินดิ่งไปหาเป้าหมายภาคพื้นดิน ทำให้ภาพของเป้าหมายที่อากาศยานไร้คนขับมองเห็นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลา จึงเป็นปัญหาที่ท้าทาย อีกทั้งยังไม่ค่อยมีงานวิจัยเรื่องการมองเห็นเป้าหมายของอากาศยานไร้คนขับที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงในการบินมากนัก

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการถ่ายภาพทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับนั้น การควบคุมการหมุนของกล้องที่ติดตั้งอยู่กับอากาศยานจำเป็นต้องศึกษาถึงระบบพิกัดอ้างอิงต่าง ๆ (Beard & McLain, 2012) เพื่อที่จะนำค่ามาใช้ในการคำนวณหาพิกัดของเป้าหมายได้ โดยเริ่มจากการเขียนแผนภาพของระบบพิกัดต่าง ๆ ดังภาพ 1

จากภาพ 1 แสดงระบบพิกัดของอากาศยานไร้คนขับที่ติดตั้งกล้องที่ชี้ไปยังเป้าหมาย กำหนดให้ $\{I\}$ เป็นพิกัดอ้างอิงเฉื่อย $\{B\}$ เป็นระบบพิกัดฉากของโครงสร้างอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้นเมทริกซ์การแปลงพิกัดโครงสร้างอากาศยานไร้คนขับเทียบพิกัดอ้างอิงเฉื่อย $\{I\}$ เท่ากับ T_B^I และ $\{C\}$ เป็นระบบพิกัดฉากของกล้องและกิมเบลที่ติดตั้งอยู่กับโครงสร้างอากาศยานไร้คนขับโดยที่แกนของโครงสร้างกล้องและกิมเบลโดยมีเมทริกซ์การแปลงพิกัด คือ

กำหนดให้ $p_{obj}^C = [x_c \; y_c \; z_c]^T$ คือ ตำแหน่งของเป้าหมายเทียบกับระบบพิกัดฉาก $\{C\}$ ดังนั้นตำแหน่งของเป้าหมายเทียบกับระบบพิกัดอ้างอิงเฉื่อย $\{I\}$ คำนวณได้จากสมการ

$$p_{obj}^I = T_B^I T_C^B \, p_{obj}^C \tag{1}$$

เมื่อตำแหน่งของโครงสร้างอากาศยานไร้คนขับ คือ

$$p_B^I = [x_B \; y_B \; z_B]^T \tag{2}$$

และแกนของพิกัดโครงสร้างอากาศยาน $\{B\}$ หมุนเป็นมุม $R(\phi,\theta,\psi)$ เทียบพิกัดอ้างอิงเฉื่อย $\{I\}$ ดังนั้นเมทริกซ์การแปลงคำนวณได้จากสมการ

$$T_B^I = \begin{bmatrix} c_\theta c_\psi & c_\theta s_\psi & -s_\theta & x_B \\ s_\phi s_\theta c_\psi - c_\phi s_\psi & s_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & s_\phi c_\theta & y_B \\ c_\phi s_\theta c_\psi + s_\phi s_\psi & c_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & c_\phi c_\theta & z_B \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

โดยที่ $c_x = \cos x$ และ $s_x = \sin x$

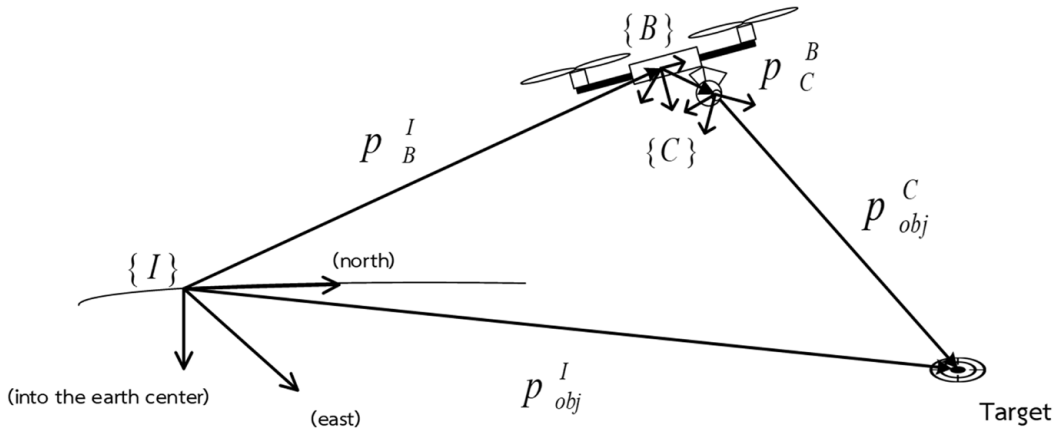
การคำนวณสมการเมทริกซ์การแปลงพิกัดของกล้องและกิมเบล $\{C\}$ เกิดจากการหมุนของกิมเบลเป็นมุมกวาด (azimuth) มีค่าเท่ากับ α และมุมก้มเงย (pitch) เท่ากับ β เทียบกับโครงสร้างอากาศยานไร้คนขับ $\{B\}$ โดยที่ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลของกล้องและจุดศูนย์กลางมวลของอากาศยานมีขนาดเล็กมาก จึงเสมือนเป็นจุดเดียวกันได้ ดังนั้นดังนั้นเมทริกซ์การแปลงจึงมีค่าเท่ากับ

$$T_C^B = \begin{bmatrix} c_\alpha c_\beta & -s_\beta & -c_\alpha s_\beta & 0 \\ c_\beta s_\alpha & c_\alpha & -s_\alpha s_\beta & 0 \\ s_\beta & 0 & c_\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

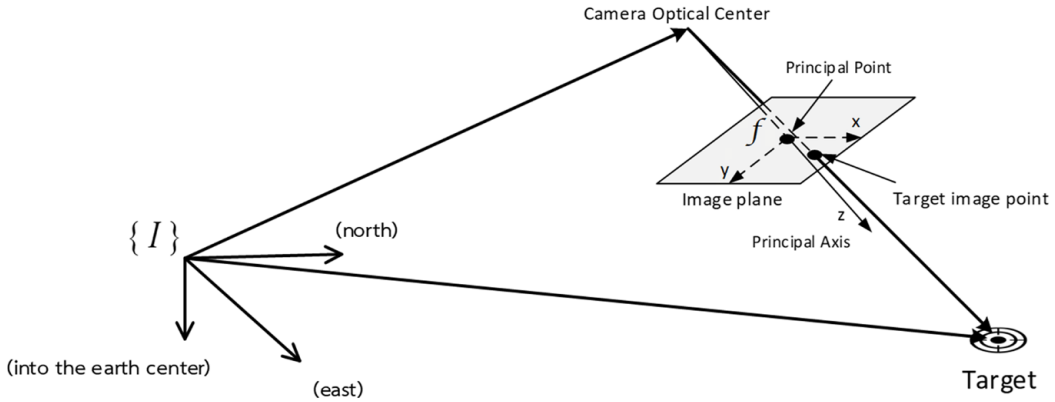
โดยทั่วไปพารามิเตอร์กล้องถ่ายภาพทางกายภาพจะแบ่งออกเป็นพารามิเตอร์ภายนอกและพารามิเตอร์ภายใน พารามิเตอร์ภายนอกใช้สำหรับการคำนวณเพื่อแปลงพิกัดของวัตถุให้เป็นเฟรมพิกัดที่อยู่กึ่งกลางภาพ ในขณะที่พารามิเตอร์ภายในของกล้องจะหมายถึงความยาวโฟกัส ขนาดพิกเซล ค่าสัมประสิทธิ์ความบิดเบือนของภาพ (distortion coefficient) และจุดศูนย์กลางภาพ (Heikkila & Silvén, 1997) วิธีการหนึ่งในการสร้างแบบจำลองกล้องคือ การใช้กล้องรูเข็ม (pinhole camera model) กล้องรูเข็มรุ่นนั้นมีพื้นฐานอยู่บนหลักการของความเป็นเส้นตรง โดยแต่ละจุดในพื้นที่วัตถุจะถูกฉายเป็นเส้นตรงผ่านศูนย์กลางการฉายภาพไปยังระนาบภาพ ดังภาพ 2 แสดงแบบจำลองกล้องรูเข็มรุ่นที่มีระนาบภาพอยู่ด้านหน้าเลนส์ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับเพื่อถ่ายภาพเป้าหมายภาคพื้นดิน เนื่องจากการประมาณค่าพิกัดเป้าหมายภาคพื้นดินนั้นมีการคำนวณที่ซับซ้อนเพราะต้องคิดพารามิเตอร์ของกล้องที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับซึ่งจะต้องใช้การปรับเทียบ ดังนั้นในการวิจัยนี้จะใช้เพียงการคำนวณพิกัดของเป้าหมายบนระนาบของภาพเท่านั้น

การทดลองให้อากาศยานไร้คนขับสามารถตรวจจับและติดตามเป้าหมายในงานวิจัยนี้ ใช้อากาศยานไร้คนขับแบบมัลติโรเตอร์ที่ประกอบขึ้นเอง ติดตั้งกล้องถ่ายภาพที่มีความละเอียด 1920x1080 pixel และความเร็วการบันทึกภาพ 25 เฟรมต่อวินาทีดังภาพที่ 3(ข) เป็นการติดตามเป้าหมายที่อยู่นิ่ง โดยได้ทำเป้าหมายขนาด 3x3 ตารางเมตร เป็นลักษณะดังภาพ 3(ก) วางอยู่นิ่งบนพื้นและทำการบินเก็บภาพ เพื่อนำมาสร้างเป็นชุดข้อมูล (dataset) สำหรับการเทรนแบบจำลองให้ YOLO การทำรูปภาพเพื่อเป็น dataset สำหรับการ training model นั้นจะใช้กล้อง Gopro ในการบินถ่ายวิดีโอเหนือเป้า 3 ระยะ ได้แก่ 5 10 และ 20 เมตร จากนั้นทำการแยก frame จากไฟล์วิดีโอ เพื่อบันทึกเป็นรูปภาพสำหรับทำเป็น dataset ชุด training

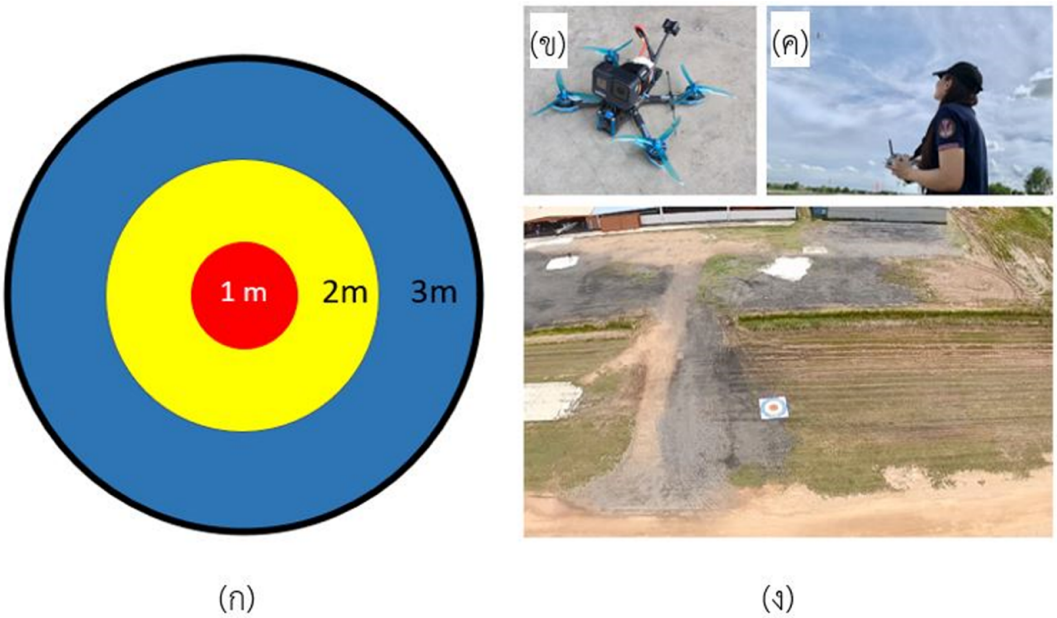
เมื่อได้ Training model เรียบร้อยแล้ว ในการวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมโดยเลือกจาก Yolo v5 ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทดสอบกับข้อมูลภาพที่ได้จากการบินทดสอบจำนวน 6 เส้นทางการบิน ซึ่งทำการบินในเส้นทางการบินเที่ยวบินละ 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 15 วินาทีต่อเที่ยวบิน ที่ระยะห่างจากเป้าหมายประมาณ 100 เมตร ตามข้อจำกัดของกล้องที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ ระยะความสูง 80 เมตร ซึ่งไม่เกินความสูงตามที่สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทยกำหนด ดังภาพ 4 โดยในการบินทดสอบทั้ง 6 เที่ยวบินที่มีระยะห่างกันประมาณ 50 เมตร นั้นจะกำหนดเส้นทางการบินของอากาศยานไร้คนขับที่แตกต่างกันออกไปเพื่อให้ได้ภาพของเป้าหมายปรากฏบนตำแหน่งต่าง ๆ บนฉากรับภาพ รวมถึงผลกระทบที่อาจเกิดจากตำแหน่งของแสงจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นการทดสอบการบินจะเก็บข้อมูลการบินในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากแสงในสภาวะแวดล้อมที่ส่งภาพต่อการถ่ายภาพจากทางอากาศ และในการบินทดสอบนั้นกำหนดให้ความเร็วลมบริเวณสนามบินไม่เกิน 11 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยสังเกตจากกรวยวัดความเร็วลมที่สนามบิน ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองการบินได้ภาพจากแสงในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป



ภาพ 1 ระบบพิกัดของการถ่ายภาพทางอากาศ



ภาพ 2 แบบจำลองกล้องรูเข็มที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับเพื่อถ่ายภาพเป้าหมายภาคพื้นดิน



ภาพ 3 การบินทดสอบการตรวจจับเป้าหมาย (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) อากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการทดลอง (ค) นักบินทำการบังคับอากาศยานไร้คนขับ (ง) ภาพเป้าหมายจากกล้องที่ติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ

การพัฒนาโปรแกรมระบบนำวิถีด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ นั้น มีการพัฒนาเริ่มต้นจากการนำทางด้วยภาพของหุ่นยนต์ตั้งแต่ยุค 1980s เป็นต้นมาตามที่ได้มีทบทวนงานวิจัย (Desouza & Kak, 2002) และในช่วงเวลานั้นก็มีการนำระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในการเป็นระบบช่วยในการบินของเฮิลคอปเตอร์ไร้คนขับ (Koo, Hoffmann, Sinopoli & Sastry, 1998) รวมทั้งอากาศยานไร้คนขับแบบ 4 ใบพัด (Altug, Ostrowski & Taylor, 2005) ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบนำวิถีด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ โดยใช้อัลกอริทึมในการตรวจจับวัตถุ YOLO ในการตรวจจับตำแหน่งเป้าหมาย ในระหว่างการบินทดสอบโดยโปรแกรมจะทำการตรวจหาเป้าหมายที่อยู่ในภาพ ซึ่งหากพบเป้าหมายจะทำการตีกรอบเป้าหมายพร้อมทั้งหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย หลังจากนั้นโปรแกรมจะคำนวณว่าตำแหน่งเป้าหมายนั้นอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของภาพเป็นระยะในแกน x เป็น Δx และในแนวแกน y เป็น Δy ดังภาพ 5 ซึ่งผลต่าง Δx และ Δy นี้จะนำไปคำนวณสัญญาณควบคุมเพื่อให้ชุดมอเตอร์พร้อมใบพัดทั้ง 4 ชุดของอากาศยานไร้คนขับปรับแก้ความเร็วรอบ ทำให้อากาศยานไร้คนขับเปลี่ยนท่าทางการเคลื่อนที่จนกว่าตำแหน่งจุดกึ่งกลางเป้าหมายซ้อนทับกับตำแหน่งจุดกึ่งกลางภาพ หรือสิ้นสุดการบินทดสอบที่ความสูงประมาณ 10 เมตรเพื่อป้องกันการเสียหายของอากาศยานไร้คนขับไม่ให้ชนเป้าหมาย ทำให้อากาศยานไร้คนขับสามารถรักษาแนวการนำวิถีเข้าโจมตีเป้าหมายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

การวัดประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุ

การวัดประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุ สามารถทำได้โดยใช้หลายวิธี ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้หลักการคำนวณค่า Precision Recall และ F1-score ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ได้รับความนิยม ในการวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจจับวัตถุ ดังนั้นในการวัดประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุ จะใช้สมการการคำนวณ ดังนี้

Precision คือ อัตราส่วนของการตรวจจับวัตถุที่ถูกต้อง (true positives) ต่อการตรวจจับวัตถุทั้งหมด (true positives+false positives) ซึ่งหมายถึงจำนวนวัตถุที่ระบบตรวจจับได้ว่าเป็นวัตถุนั้น ๆ และเป็นวัตถุจริง ๆ ด้วย มีสมการ คือ

$$\mathrm{Pr}\,ecision = \frac{tp}{tp + fp} \tag{5}$$

โดยที่ tp (true positive) หมายถึง จำนวนที่ถูกตรวจจับถูกต้องว่า เป็นวัตถุบวก โดยระบบการตรวจจับวัตถุก็ระบุว่า เป็นวัตถุบวก

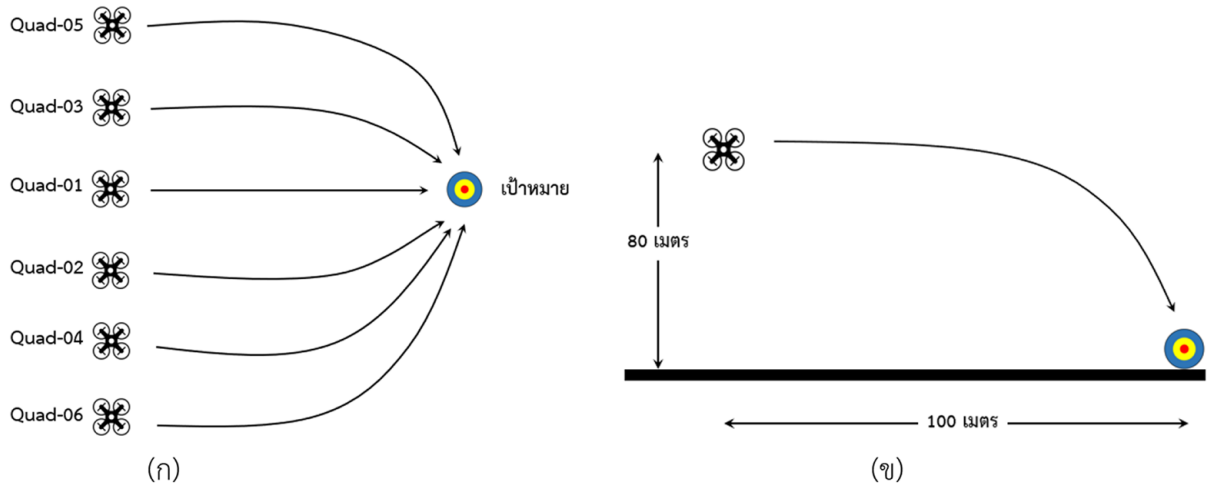
fp (false positive) หมายถึง จำนวนของตัวอย่างที่ถูกตรวจจับถูกต้องว่า เป็นวัตถุลบ (negative) โดยระบบการตรวจจับวัตถุก็ระบุว่า เป็นวัตถุลบ

tn (true negative) หมายถึง จำนวนของตัวอย่างที่ถูกตรวจจับว่า เป็นวัตถุบวก แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่ใช่วัตถุบวก

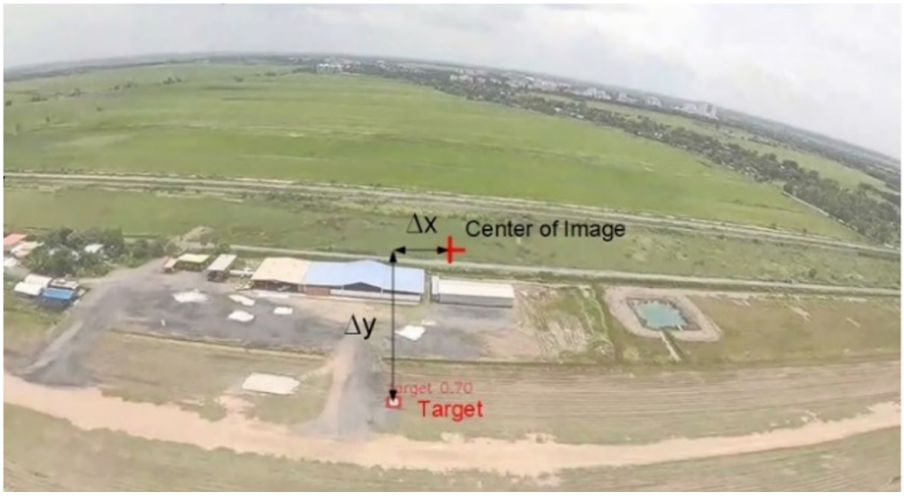
fn (false negative) หมายถึง จำนวนของตัวอย่างที่ถูกตรวจจับว่า เป็นวัตถุลบ แต่ในความเป็นจริงแล้วเป็นวัตถุบวก

Recall คือ อัตราส่วนของการตรวจจับวัตถุที่ถูกต้อง (true positives) ต่อจำนวนวัตถุทั้งหมดที่เป็นวัตถุจริง ๆ ในภาพ (true positives+false negatives) ซึ่งหมายถึงจำนวนวัตถุที่ระบบตรวจจับได้ว่าเป็นวัตถุนั้น ๆ และเป็นวัตถุจริง ๆ ในภาพ มีสมการ คือ

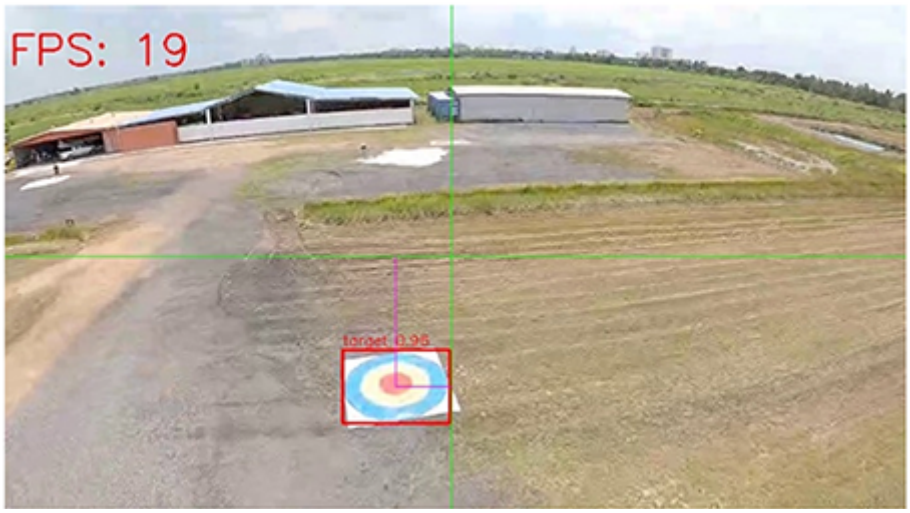
$$\mathrm{Re}\,call = \frac{tp}{tp + fn} \tag{6}$$



ภาพ 4 เส้นทางการบินในการทดลอง (ก) ภาพมองจากด้านบน (ข) ภาพมองจากด้านข้าง



(ก)



(ข)

ภาพ 5 การตรวจจับตำแหน่งเป้าหมาย (ก) การกำหนดค่าระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางภาพและจุดกึ่งกลางภาพเป้าหมาย Δx และ Δy (ข) การตีกรอบเป้าหมายพร้อมทั้งแสดงอัตราเร็วของภาพต่อวินาที (FPS)

F1-score คือ เป็นผลรวมของ Precision และ Recall เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ค่าที่แทนความสามารถในการตรวจจับวัตถุของระบบตรวจจับวัตถุให้เป็นที่เหมาะสม ค่า F1-score จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่าที่มากก็จะแสดงว่าระบบตรวจจับวัตถุมีประสิทธิภาพสูง มีสมการ คือ

$$F1 = \frac{2 \times \Pr ecision \times \operatorname{Re} call}{\Pr ecision + \operatorname{Re} call} \quad (7)$$

Average Precision--AP คือ ค่าความแม่นยำเฉลี่ยคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของ Precision กับ Recall หรือคำนวณได้จากสมการ

$$AP = \sum_{k=1}^{N} P_k \Delta R_k \quad (8)$$

โดยที่ N คือ จำนวนรูปทั้งหมดที่ทายออกมาทั้งที่ทายถูกและทายไม่ถูก P_k คือ ค่า Precision ที่ตำแหน่ง k และ ΔR คือ การเปลี่ยนแปลงค่า Recall ตำแหน่ง $k-1$ และ k

mean Average Precision--mAP เป็นการหาค่ากลางของค่าความแม่นยำเฉลี่ยดังแสดงในสมการ

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} AP_k \quad (9)$$

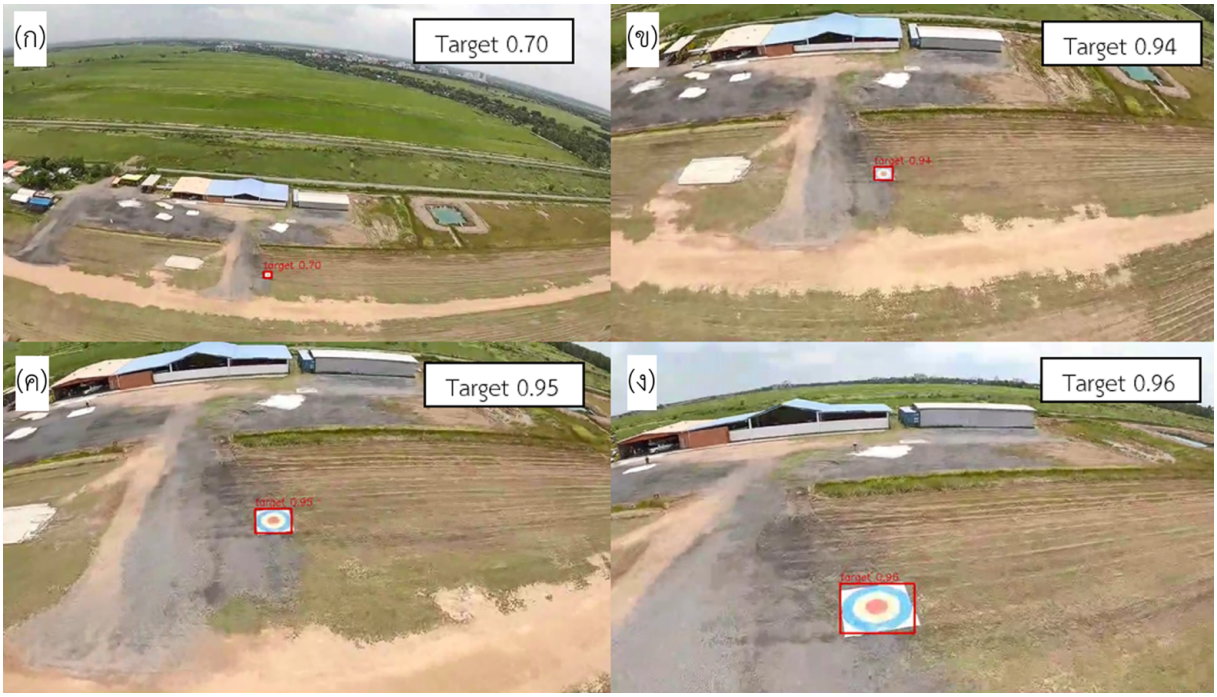
ผลการวิจัย

จากผลการเทรนแบบจำลองโดยใช้ YOLO v5 จากข้อมูลภาพที่ได้จากการบินที่มีจำนวน 398 รูป แบ่งเป็น Train จำนวน 275 รูป Validation จำนวน 78 รูป และ Test จำนวนเส้นทางการบินละ 82 รูป แล้วนำมาทดสอบกับวีดีทัศน์ที่ได้จากการบันทึกการบินทั้ง 6 เที่ยวบิน โดยทำการวิเคราะห์ตรวจหาตำแหน่งของเป้าหมายที่ได้กำหนดค่าความถูกต้องไว้ที่ 0.7 หรือร้อยละ 70 ขึ้นไป และถ้าหากตรวจพบเป้าหมายโปรแกรมจะทำการตีกรอบรอบเป้าหมายพร้อมทั้งคำนวณหาพิกัดของจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย พร้อมกับคำนวณหาผลต่างของตำแหน่งเป้าหมายกับจุดกึ่งกลางภาพทั้งแนวระดับและแนวดิ่ง และทำการบันทึกเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อปรับแนวการบินให้อากาศยานไร้คนขับสามารถเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายให้ถูกต้อง โดยการลดค่าผลต่างนี้ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่อากาศยานไร้คนขับบินอยู่ในระดับความสูงและไกลจากเป้าหมายนั้น โปรแกรมสามารถตรวจจับเป้าหมายได้และเมื่ออากาศยานไร้คนขับลดระดับความสูงและบินเข้าใกล้เป้าหมาย จะทำให้สามารถตรวจจับเป้าหมายได้แม่นยำมากขึ้น ดังแสดงในภาพ 6 แสดงผลการตรวจจับภาพเป้าหมายที่ระยะความสูงแตกต่างกันและจะแสดงค่าความถูกต้องเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง แสดงค่าความคล้ายคลึงกับเป้าหมาย

ผลการวิจัยที่ได้จากการบินทดสอบภาคอากาศ

ในการหาแบบจำลอง YOLO v5 ที่เหมาะสมนั้น ได้ทำการปรับค่าตัวแปรที่สำคัญ คือ ค่า Confidence Threshold ซึ่งเป็นค่าความมั่นใจในการตรวจจับวัตถุ และถ้าค่า Confidence ของการตรวจจับนั้นมีค่าต่ำกว่า Confidence Threshold ที่กำหนด แอลกอริทึมจะไม่ตรวจจับวัตถุนั้น ๆ ในภาพ เพื่อลดจำนวนการตรวจจับที่ผิดพลาด ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับค่า Confidence Threshold ทั้งหมดเท่ากับ 0.001 0.9 0.8 และ 0.7 เมื่อทดสอบกับวิดีทัศน์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลการบินและคำนวณประสิทธิภาพ Precision Recall F1 score mAP50 และ mAP50-95 ได้ค่าดังตาราง 1

จากตาราง 1 จะเห็นว่าวิธีการ YOLO v5 ที่มีค่า Confidence threshold เท่ากับ 0.001 จะมีค่า Precision Recall และ F1 score ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ ในทางปฏิบัติ ค่า Confidence Threshold ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุลักษณะของงานที่ต้องการ และความต้องการในการลดค่า False Positive คือ การตรวจจับวัตถุที่ไม่มีจริง หรือความต้องการในการลดค่า False Negative คือ การไม่ตรวจจับวัตถุที่มีจริง โดยทั่วไปแล้ว ค่า Confidence Threshold จะถูกปรับให้สูงขึ้นเมื่อต้องการลด False Positive และถูกปรับให้ต่ำลงเมื่อต้องการลด False Negative ดังนั้นในกรณีการตรวจจับวัตถุด้วยกล้องที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับนั้น เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุในขณะที่อากาศยานไร้คนขับ บินอยู่ที่ความสูง การตั้งค่า Confidence Threshold นั้นควรจะเลือกให้มีค่าต่ำ ๆ ดังตารางแสดงผลการทดลอง



ภาพ 6 ผลการบินทดสอบอากาศยานไร้คนขับในการตรวจหาเป้าหมายภาคพื้นดิน (ก) ภาพเป้าหมายที่มีความถูกต้องเท่ากับ 0.7 หรือร้อยละ 70 ที่ความสูง 80 เมตร (ข) ภาพเป้าหมายที่มีความถูกต้องเท่ากับ 0.94 ที่ความสูง 50 เมตร (ค) ภาพเป้าหมายที่มีความถูกต้องเท่ากับ 0.95 ที่ความสูง 25 เมตร และ (ง) ภาพเป้าหมายที่มีความถูกต้องเท่ากับ 0.96 ที่ความสูง 8 เมตร

ตาราง 1

ประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุ

Model	Precision	Recall	F1 score	mAP50	mAP50-95
YOLO v5 (conf-thres 0.001)	1	1	1	0.995	0.791
YOLO v5 (conf-thres 0.9)	1	0.878	0.935	0.939	0.777
YOLO v5 (conf-thres 0.8)	1	0.951	0.975	0.976	0.803
YOLO v5 (conf-thres 0.7)	1	0.988	0.994	0.993	0.812

หลังจากปรับค่า Confidence threshold ของแบบจำลอง YOLO v5 จนได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว ลำดับต่อไปเป็นการนำแบบจำลอง YOLO v5 ทำการทดสอบกับวิดีทัศน์ที่ได้จากการบันทึกในการบินทดสอบทั้ง 6 เที่ยวบิน และคำนวณหาประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุทั้ง 3 ค่า คือ Precision Recall F1 score mAP50 และ mAP50-95ได้ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLO v5 ดังแสดงในตาราง 2

จากตาราง 2 เป็นผลการคำนวณประสิทธิภาพของการตรวจจับเป้าหมายด้วย YOLO v5 จากการบันทึกภาพการบินของอากาศยานไร้คนขับทั้ง 6 เที่ยวบิน พบว่าค่า Precision นั้น มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.794 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.999 ในขณะที่ค่า Recall มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.993 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 และค่า F1 Score มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.877 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.999 ค่า mAP50 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.948 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.995 ค่า mAP50-95 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.807 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.935

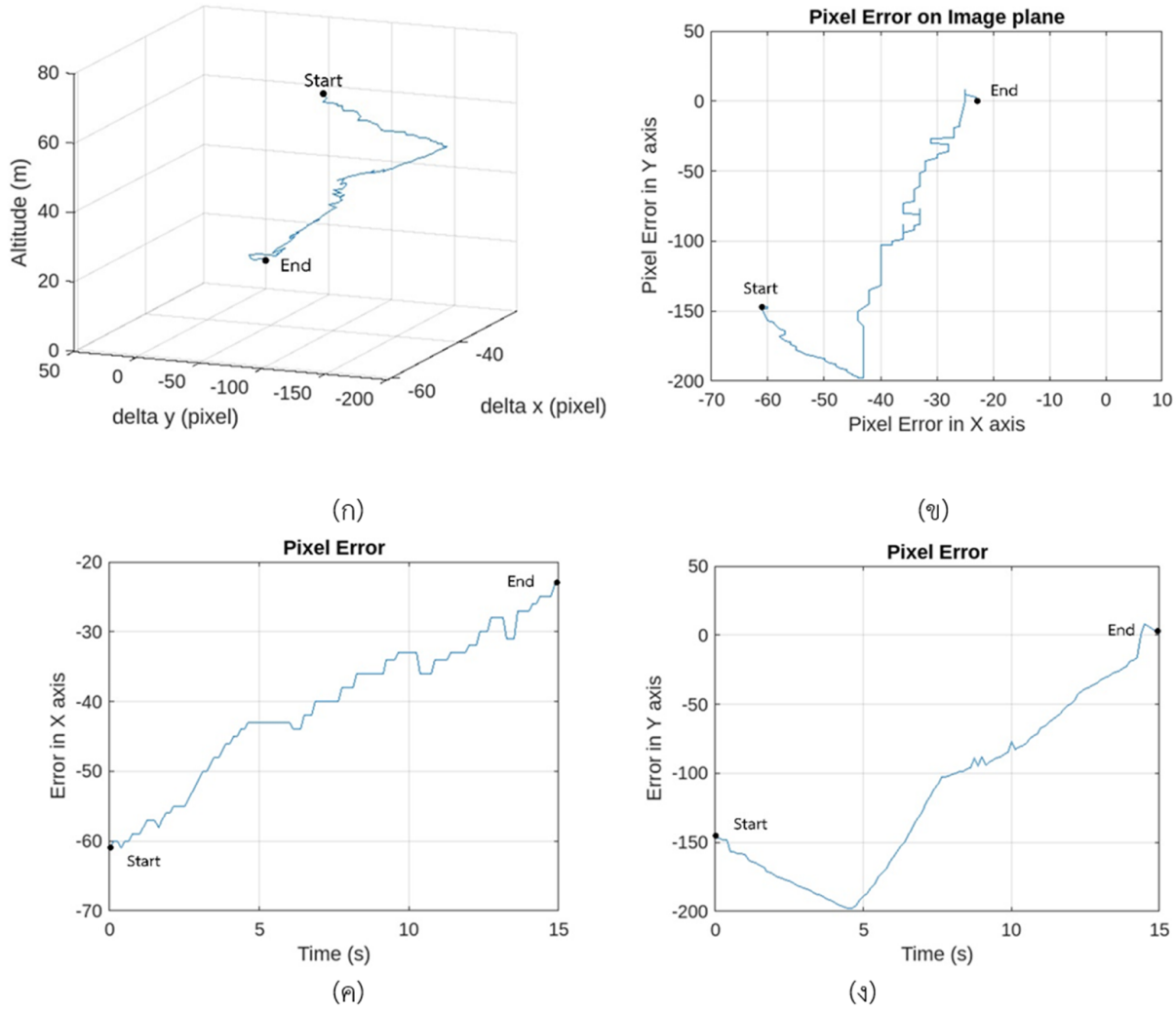
นอกจากการคำนวณประสิทธิภาพของการตรวจจับเป้าหมายแล้ว อีกวัตถุประสงค์หนึ่งของการวิจัย คือ การคำนวณหาค่าความแตกต่างของจุดกึ่งกลางเป้าหมายที่ตรวจจับได้กับจุดกึ่งกลางของภาพ หรือค่าผลต่าง Δx และ Δy ซึ่งค่าผลต่างนี้เป็นค่าที่ถูกส่งไปยังระบบควบคุมการบินอัตโนมัติของอากาศยานไร้คนขับ เพื่อใช้คำนวณสัญญาณควบคุมในการปรับทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับให้สามารถบินเข้าโจมตีเป้าหมายได้อย่างแม่นยำต่อไป อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีขอบเขตเพียงการคำนวณค่าผลต่าง Δx และ Δy เพื่อใช้สำหรับสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับแบบมัลติโรเตอร์เพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ไปโจมตีเป้าหมาย โดยมีผลการคำนวณจุดในรูปแบบ ($(\Delta x, \Delta y, h)$ เมื่อ Δx คือ ผลต่างของจุดกึ่งกลางเป้าหมายและจุดกึ่งกลางของภาพเป็นระยะในแกน x และ Δy คือ ผลต่างของจุดกึ่งกลางเป้าหมายและจุดกึ่งกลางของภาพเป็นระยะในแกน y และ h คือ ความสูงของอากาศยานไร้คนขับจังหวะที่เฟรมภาพนั้นถูกนำมาใช้ในการคำนวณ โดยความสูงนี้ได้นำค่ามาจากค่าความสูงที่วัดได้จากระบบนำทางด้วยดาวเทียม

จากภาพ 7 จะเห็นว่า เมื่ออากาศยานไร้คนขับบินที่ระยะทางและความสูงที่กำหนดมายังเป้าหมาย ในช่วงแรกนั้นยังไม่สามารถตรวจจับเป้าหมายได้ เมื่อมีการตรวจจับเป้าหมายและค่าความถูกต้องมีความน่าจะเป็นเป้าหมายมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.7 หรือร้อยละ 70 ขึ้นไป จึงระบุว่า เป็นเป้าหมาย โปรแกรมจะทำการตีกรอบสี่เหลี่ยมรอบเป้าหมายพร้อมทั้งคำนวณค่าผลต่าง Δx และ Δy และบันทึกค่าความสูง h ตลอดเส้นทางการบิน นำมาสร้างเป็นกราฟแบบ 3 มิติแสดงในภาพ 7(ก) เมื่อโปรแกรมตรวจจับเป้าหมายได้ในครั้งแรกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น (start) เป็นการเริ่มต้นการตรวจจับและติดตามเป้าหมายจากนั้นอากาศยานไร้คนขับจะลดระดับความสูงลงมาจนถึงจุดสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม (end) เมื่อค่า Δx และ Δy ลดลงจนเป็นศูนย์หรือถึงความสูงที่ต่ำที่สุดที่มีการกำหนดไว้ ภาพ 7(ข) แสดงค่าผลต่าง Δx และ Δy ในระนาบของภาพตลอดเส้นทางการบินในช่วงที่มีการตรวจจับภาพและติดตามภาพเป้าหมาย โดยจะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าผลต่าง Δx และ Δy มีแนวโน้มลดลงทั้งสองแนวแกนซึ่งหมายความว่าอากาศยานไร้คนขับมีการปรับทิศทางการบินให้สามารถเข้าสู่เป้าหมายได้ โดยที่ตำแหน่งเริ่มต้นมีการตรวจจับเป้าหมายซึ่งจุดกึ่งกลางเป้าหมายมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางภาพหรือค่า Δx เป็นระยะประมาณ 60 pixel และเมื่ออากาศยานไร้คนขับทำการบินและลดระดับความสูงลงมาจนสิ้นสุดการบินที่ความสูงกำหนดก่อนถึงเป้าหมาย ค่า Δx มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนเกือบเข้าใกล้ศูนย์ในภาพ 7(ค) มีระยะห่างของจุดกึ่งกลางเป้าหมายมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางภาพเป็นระยะประมาณ 23 pixel และค่าผลต่าง Δy เริ่มต้นขณะที่มีการตรวจจับเป้าหมาย ซึ่งจุดกึ่งกลางเป้าหมายมีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางภาพเป็นระยะประมาณ 150 pixel และลดลงจนเท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่งสิ้นสุดการบินดังภาพ 7(ง)

ตาราง 2

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLO v5

Flight Test	Precision	Recall	F1 score	mAP50	mAP50-95
Quad-01	0.999	1.000	0.999	0.995	0.901
Quad-02	0.998	1.000	0.999	0.995	0.854
Quad-03	0.794	0.979	0.877	0.948	0.807
Quad-04	0.998	1.000	0.999	0.995	0.935
Quad-05	0.975	1.000	0.987	0.995	0.896
Quad-06	0.996	1.000	0.998	0.995	0.900
All (Quad)	0.933	0.993	0.962	0.991	0.880



ภาพ 7 แสดงผลการคำนวณค่าผลต่าง Δx , Δy ของภาพเป้าหมายกับจุดกึ่งกลางภาพ (ก) แสดงภาพ 3 มิติของค่า Δx , Δy และความสูง (Altitude) (ข) การเปลี่ยนแปลง Δx และ Δy ตั้งแต่จุด start จนถึงจุดสิ้นสุด end (ค) ค่า Δx ตลอดระยะเวลาในการบินตั้งแต่จุด start จนถึงจุดสิ้นสุด end (ง) ค่า Δy ตลอดระยะเวลาในการบินตั้งแต่จุด start จนถึงจุดสิ้นสุด end

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้หาแบบจำลองที่เหมาะสมโดยเลือกจาก Yolo v5 โดยการปรับค่า Confidence Threshold เท่ากับ 0.001 ซึ่งมีความเหมาะสมกับการตรวจจับวัตถุจากการบินของอากาศยานไร้คนขับ จากการบันทึกภาพการบินของอากาศยานไร้คนขับทั้ง 6 เที่ยวบิน พบว่า ค่า Precision นั้นมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.794 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.999 ในขณะที่ค่า Recall มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.993 และค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 และค่า F1 Score มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.877 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.999 ค่า mAP50 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.948 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.995 ค่า mAP50-95 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.807 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.935 การเลือกใช้ค่า Confidence Threshold ที่น้อยอาจมีประโยชน์ในกรณีที่ความถูกต้องในการตรวจจับมีความสำคัญมากกว่าความเร็วหรือประสิทธิภาพของการทำงาน เมื่อค่า Confidence Threshold มีค่าน้อยลงจะทำให้ระบบตรวจจับวัตถุมีโอกาสตรวจจับวัตถุได้มากขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่สถานการณ์ที่มีการตรวจจับวัตถุเทียบเท่ามากขึ้น แม้ว่าจะมีการตรวจจับวัตถุที่ไม่แม่นยำ หรือ False Positive เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ค่า Confidence Threshold ที่ต่ำอาจจะทำให้เกิดปัญหาของ False Positive ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะต้องพิจารณาความสมดุลระหว่างการตรวจจับที่ถูกต้องและประสิทธิภาพในการทำงานเพื่อเลือกใช้ค่า Confidence Threshold ที่เหมาะสมกับงานและการใช้งานในแต่ละกรณี สำหรับการคำนวณค่าความผิดพลาด pixel ระหว่างจุดกึ่งกลางของเป้าหมายและจุดกึ่งกลางของภาพ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการปรับแก้ท่าทางการบินของอากาศยานไร้คนขับให้สามารถเคลื่อนที่เป้าหมายได้อย่างถูกต้องนั้น มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2020) คือ อากาศยานไร้คนขับจะพยายามเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายโดยการลดค่าความผิดพลาด pixel ทั้งในแกน x และแกน y ที่อยู่ในระนาบของภาพ อย่างไรก็ตาม การทดลองในงานวิจัยนี้ในเบื้องต้นยังไม่ได้มีการออกแบบระบบควบคุมที่สมบูรณ์นักจึงทำให้การลดค่าความผิดพลาด pixel ในการทดลองยังได้ผลไม่ดีนัก ซึ่งการออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่มีประสิทธิภาพจะเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคตต่อไป

References

Altug, E., Ostrowski, J. P., & Taylor, C. J. (2005). Control of a quadrotor helicopter using dual camera visual feedback. *The International Journal of Robotics Research, 24*(5), 329-341. https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_29/ourdev_559047.pdf

Arafat, M. Y., Alam, M. M., & Moh, S. (2023). Vision-based navigation techniques for unmanned aerial vehicles: Review and challenges. *Drones, 7*(2), 89. https://doi.org/10.3390/drones7020089

Beard, R. W., & McLain, T. W. (2012). *Small unmanned aircraft: Theory and practice*. New Jersey: Princeton University Press

Bochkovskiy, A., Wang, C., & Liao, H. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. *ArXiv, 2004*, 10934. https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.10934

Chuyi, L., Lulu, L., Hongliang, J., Kaiheng, W., Yifei, G., Liang, L., Zaidan, K., Qingyuan, L., Meng, C., Weiqiang, N., Yiduo, L., Bo, Z., Yufei, L., Linyuan, Z., Xiaoming, X., Xiangxiang, C., Xiaoming, W., & Xiaolin, W. (2022). YOLOv6: A single-stage object detection framework for industrial applications. *ArXiv, 2209*, 02976. https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.02976

Conte, G., & Doherty, P. (2008). An integrated UAV navigation system based on aerial image matching. *2008 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-10). USA: IEEE

Heikkila, J., & Silvén, O. (1997). A four-step camera calibration procedure with implicit image correction. *In Proceedings of 1997 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1106-1112). Washington DC: IEEE

Hosseinpoor, H. R., Samadzadegan, F., & DadrasJavan, F. (2017). Pricise target geolocation and tricking based on UAV video imagenary.*The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B6, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016* (pp. 243–249). Prague, Czech Republic: ISPRS. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B6-243-2016

Jocher, G., Chaurasia, A., Qiu, J., & YOLO by Ultralytics. (2023). *Ultralytics YOLOv8*. Retrieved from https://github.com/ultralytics/ultralytics

Koo, T. J., Hoffmann, F., Sinopoli, B., & Sastry, S. (1998). Hybrid control of an autonomous helicopter. *Proceedings of IFAC Workshop on Motion Control, Grenoble* (pp. 1-6). France: IFAC. https://bit.ly/4fltZgb

Kunertova, D. (2023). The war in Ukraine shows the game-changing effect of drones depends on the game. *Bulletin of the Atomic Scientists, 79*(2), 95–102. https://doi.org/10.1080/00963402.2023.2178180

Liu, X., Yang, Y., Ma, C., Li, J., & Zhang, S. (2020). Real-time visual tracking of moving targets using a low-cost unmanned aerial vehicle with a 3-Axis Stabilized Gimbal System. *Applied Sciences, 10*(15), 5064. https://doi.org/10.3390/app10155064

Lu, Y., Xue, Z., Xia, G. S., & Zhang, L. (2018). A survey on vision-based UAV navigation. *Geo-Spatial Information Science, 21*(1), 21–32. https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1420509

Luo, P., & Pei, H. (2007). An Autonomous Helicopter with Vision Based Navigation. *IEEE International Conference on Control and Automation* (pp. 2595-2599). Guangzhou, China: IEEE

Nepal, U., & Eslamiat, H. (2022). Comparing YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 for autonomous landing spot detection in faulty UAVs. *Sensors (Basel, Switzerland), 22*(2), 464. https://doi.org/10.3390/s22020464

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 779-788). Las USA: IEEE

Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. *ArXiv, 1804*, 02767.

Voskuijl, M. (2022). Performance analysis and design of loitering munitions: A comprehensive technical survey of recent developments. *Defence Technology, 18*(3), 325-343. https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.08.010

Wang, C. Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H. Y. M. (2022). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. *ArXiv, 2207*, 02696. https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.02696

Wang, X., Li, W., Guo, W., & Cao, K. (2021). SPB-YOLO: An efficient real-time detector for unmanned aerial vehicle images. *Proceedings of the 2021 international conference on artificial intelligence in information and communication* (ICAIIC) (pp. 99-104). Jeju Island: IEEE.

Zhang, J., Wan, G., Jiang, M., Lu, G., Tao, X., & Huang, Z. (2023). Small object detection in UAV image based on improved YOLOv5. *Systems Science & Control Engineering, 11*(1), 2247082. https://doi.org/10.1080/21642583.2023.2247082

การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่อพยพจากอุทกภัย: กรณีศึกษา ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

Application of Mathematical Model in Assigning Evacuation Area Case Study Ban Non Krasang Community Krabueang Yai Subdistrict Phimai District Nakhon Ratchasima

ธนาคาร ศรีมะเริง[1] ภาคิน อัตตวิริยะสุวร[1] พีรพัฒน์ เสโนฤทธิ์[1] พรศิริ จงกล[1] และรชนีกร พลปัถพี[1]*

Tanakan Seemaroeng[1], Phakin Attawiriyasuworn[1], Phiraphat Senorit[1]

Pornsiri Jongkol[1] and Rachaneekorn Polpattapee[1]*

[1]สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[1]Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

*Corresponding author: Rachaneekorn.p@g.sut.ac.th

Received: August 16, 2024

Revised: October 10, 2024

Accepted: October 16, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ และการวิจัยแบบประยุกต์ โดยใช้ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา วัตถุประสงค์ของการวิจัยมีดังนี้ (1) เพื่อศึกษาและสำรวจพื้นที่ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ที่สามารถใช้เป็นพื้นที่อพยพได้ และ (2) เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา Capacitated Facility Location Problem--CFLP ในการกำหนดพื้นที่อพยพให้แก่ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา งานวิจัยได้สำรวจพื้นที่ต่าง ๆ ของชุมชนประกอบด้วยพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม และลำน้ำในพื้นที่ นอกจากนี้ได้สอบถามสมาชิกชุมชนจำนวน 28 ครัวเรือน ประชากร 125 คน ข้อมูลในงานวิจัยมีทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของสมาชิกในครัวเรือน ข้อมูลความสูงของพื้นที่ชุมชน ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากของชุมชน ข้อมูลความจุของพื้นที่ของจุดอพยพ และข้อมูลระยะทางระหว่างชุมชนไปยังจุดอพยพ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่สำรวจมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา CFLP ในการกำหนดพื้นที่อพยพให้แก่ชุมชน ผลการวิจัยพบว่า จุดอพยพที่ได้จากการสำรวจมีทั้งหมด 6 จุด ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ วัดตาจั่น วัดเดิม โรงเรียนพิมายวิทยา และวัดสระเพลง ผลการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการหาจุดอพยพที่ใกล้ที่สุดและสามารถรองรับจำนวนผู้อพยพได้อย่างเพียงพอ ปรากฏว่า ชุมชนบ้านโนนกระสังควรอพยพไปยังวัดตาจั่นและโรงเรียนพิมายวิทยา โดยวัดตาจั่น มีพื้นที่จอดรถ 3,600 ตร.ม.มีพื้นที่ส่วนตัว 1780 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 6 ห้อง ระยะทาง 12.7 กิโลเมตร ส่วนโรงเรียนพิมายวิทยา มีพื้นที่จอดรถ 11,000 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 4,450 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 20 ห้อง ระยะทาง 12.2 กิโลเมตร

คำสำคัญ: อุทกภัย พื้นที่อพยพ แบบจำลองคณิตศาสตร์

Abstract

This research was survey research and also applied research. A case study of this research was for Ban Non Krasang Community Krabueang Yai Subdistrict Phimai District Nakhon Ratchasima, Krabueang Yai Sub-District, Nakhon Ratchasima. The objectives of this study were: (1) to study and assess possible evacuation areas; and (2) to apply a mathematical model of Capacitated Facility Location Problem--CFLP to assign evacuation areas for Ban Non Krasang Community Krabueang Yai Subdistrict Phimai District Nakhon Ratchasima. This research explored different areas of communities, including living areas, agricultural areas, and water sources. Moreover, this research enquired community members consisting of 28 households and 125 people. Data collected were from basic information of community members, altitude of community area, repeatedly flooded area of community, capacity of evacuation areas, and distances between community to evacuation areas. Then, data were analyzed using a mathematical model of CFLP. The survey results showed possible six evacuation areas, including Maka Subdistrict Administrative Organization, Khok Tapab School, Ta Jan Temple, Derm Temple, Phimai Wittaya School, and Sra Pleng Temple. Using a mathematical model to determine the closest evacuation areas and to accommodate evacuators sufficiently, it was suggested that Ban Non Krasang should evacuate people to Ta Jan temple and Phimai Wittaya School. Ta Jan temple The distance of this route was 12.2 kilometers, with 3,600 square meters of parking, 1,780 square meters of personal area, and a total 6 washrooms. And Phimai Wittaya School The distance of this route was 12.7 kilometers, with 11,000 square meters of parking, 4,450 square meters of personal area, and a total 20 washrooms.

Keywords: flooding, evacuation area, mathematical models

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาน้ำท่วมได้กลายเป็นหนึ่งในปัญหาสภาพภูมิอากาศที่มีความรุนแรงและกำลังมีผลกระทบมากขึ้นต่อชีวิตและเศรษฐกิจของประเทศไทย ในแต่ละปีประเทศไทยต้องพบกับปัญหาน้ำท่วมและทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น (Sakphet et al., 2016) ปัญหาน้ำท่วมทำให้เกิดความเสี่ยงต่อชีวิตและความเสียหายของทรัพยากรในหลายภูมิภาคของประเทศ โดยเฉพาะในจังหวัดนครราชสีมาที่มักเกิดน้ำท่วมในฤดูฝนและประสบกับความเสียหายในสังคมและเศรษฐกิจของพื้นที่นี้อย่างต่อเนื่อง ข้อมูลสถิติแสดงให้เห็นถึงความรุนแรงของปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทย โดยปี พ.ศ. 2553 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมมีจำนวนมากกว่า 74 จังหวัด อีกทั้งพื้นที่การเกษตรเสียหายถึงกว่า 11 ล้านไร่ มูลค่าความเสียหายเกษตรมีจำนวนมากกว่า 1.4 พันล้านบาท ต่อมาในปี พ.ศ. 2554 น้ำท่วมที่รุนแรงยิ่งขึ้นส่งผลให้ประชาชนและพื้นที่สาธารณะ เช่น โรงเรียน และวัด ได้รับความเสียหาย ก่อให้เกิดผลกระทบอย่างแท้จริงในชีวิตประจำวันของประชาชน (Punngam, 2021)

การเตรียมความพร้อมในการอพยพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการศึกษาและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา กระบวนการสิ่งแวดล้อมศึกษาภายหลังจากน้ำท่วมเป็นเครื่องมือสำคัญที่นำมาใช้ในการพัฒนาคนให้เกิดความรู้ความเข้าใจ เห็นคุณค่าและตระหนักร่วมกันในการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม (Sarawijit et al., 2016) ในขณะเดียวกัน หน่วยงานระดับจังหวัดควรกำหนดนโยบายและแผนงานที่ชัดเจนและต่อเนื่องในการวางแผนหรือการเตรียมความพร้อมในการปฏิบัติงานป้องกันอุทกภัย

(Chaikijdennapalai et al., 2018) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการได้กำหนดพื้นที่อพยพที่ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่มีความสำคัญทางด้านการทำเกษตรนาแปลงใหญ่พื้นที่ 5,000 ไร่ (Division of Communicable Diseases Department of disease control Ministry of Public Health, 2011) เป็นชุมชนที่มีความเข้มแข็งมีการรวมตัวของเกษตรกรในชุมชน ในด้านการแปลงรูปสินค้าเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า แต่ประสบปัญหาน้ำท่วมบ่อยครั้ง งานวิจัยนี้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ร่วมกับการใช้ข้อมูลระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก และระยะทางในการอพยพ (Panitchkul, 2018) เพื่อออกแบบให้เหมาะสมกับพื้นที่บ้านโนนกระสังโดยเฉพาะเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ชุมชนและเป็นแนวทางในการจัดทำแผนการเตรียมความพร้อมเพื่อนำไปขยายผลในระดับอำเภอและจังหวัดต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและสำรวจพื้นที่ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ที่สามารถใช้เป็นพื้นที่อพยพได้

2. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา CFLP ในการกำหนดพื้นที่อพยพให้แก่ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของอุทกภัย

อุทกภัย คือ ภัยหรืออันตรายที่เกิดจากน้ำท่วม หรืออันตรายอันเกิดจากสภาวะที่น้ำไหลเอ่อล้นฝั่งแม่น้ำ ลำธาร หรือทางน้ำ เข้าท่วมพื้นที่ซึ่งโดยปกติแล้วไม่ได้อยู่ใต้ระดับน้ำ หรือเกิดจากการสะสมน้ำบนพื้นที่ซึ่งระบายออกไม่ทัน ทำให้พื้นที่นั้นปกคลุมไปด้วยน้ำ โดยทั่วไปแล้วอุทกภัยมักเกิดจากน้ำท่วม (The National disaster Prevention and Mitigation Committee, 2009) ซึ่งสามารถแบ่งเป็นลักษณะใหญ่ๆได้ 2 ลักษณะ คือ

1.1 น้ำท่วมขัง/น้ำล้นตลิ่ง เป็นสภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพ มักเกิดขึ้นในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำและบริเวณชุมชนเมืองใหญ่ ๆ มีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งเกิดจากฝนตกหนัก ณ บริเวณนั้น ๆ ติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน หรือเกิดจากสภาวะน้ำล้นตลิ่ง น้ำท่วมขังส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณท้ายน้ำและมีลักษณะแผ่เป็นบริเวณกว้างเนื่องจากไม่สามารถระบายได้ทัน ความเสียหายจะเกิดกับพืชผลทางการเกษตรและอสังหาริมทรัพย์เป็นส่วนใหญ่ สำหรับความเสียหายอื่น ๆ มีไม่มากนักเพราะสามารถเคลื่อนย้ายไปอยู่ในที่ที่ปลอดภัย

1.2 น้ำท่วมฉับพลัน เป็นภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันในพื้นที่ เนื่องจากฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความชันมาก และมีคุณสมบัติในการกักเก็บหรือการต้านน้ำน้อย หรือเกิดจากสาเหตุอื่น ๆ และมักเกิดขึ้นในบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ซึ่งอาจจะไม่มีฝนตกหนักในบริเวณนั้นมาก่อนเลยแต่มีฝนตกหนักมากบริเวณต้นน้ำที่อยู่ห่างออกไป เนื่องจากน้ำท่วมฉับพลันมีความรุนแรงและเคลื่อนที่ด้วยความรวดเร็วมากโอกาสที่จะป้องกันและหลบหนีจึงมีน้อย ดังนั้นความเสียหายจากน้ำท่วมฉับพลันจึงมีมากทั้งแก่ชีวิตและทรัพย์สิน

2. การบริหารจัดการสาธารณภัย

เป็นกระบวนการจัดการและวางแผนในการรับมือกับเหตุการณ์ภัยพิบัติหรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อป้องกัน ลดผลกระทบ และฟื้นฟูความเสียหายให้กับประชาชนและสังคม กระบวนการนี้ครอบคลุมหลายขั้นตอน (Chonbodeechalermroong & Chuenchooklin, 2010) ได้แก่

2.1 การป้องกัน (prevention): การวางแผนและดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยง เช่น การสร้างเขื่อน กำแพงกั้นน้ำ และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

2.2 การเตรียมพร้อม (preparedness): การสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้า การจัดทำแผนอพยพ และการฝึกอบรมให้กับเจ้าหน้าที่และประชาชน

2.3 การรับมือ (response): การดำเนินการทันทีหลังจากเกิดภัยพิบัติ เช่น การช่วยเหลือผู้ประสบภัย การจัดหาอาหาร น้ำ และยารักษาโรค

2.4 การฟื้นฟู (recovery): การบูรณะและฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เช่น การซ่อมแซมบ้านเรือน ระบบสาธารณูปโภค และการส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชน

การบริหารจัดการสาธารณภัยเป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง เพื่อให้สังคมสามารถฟื้นตัวและกลับสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (Sangthong & Rinthaisong, 2014)

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ การอธิบายกระบวนการและรายละเอียดของ เนื้อหาความรู้และเทคนิคทางคณิตศาสตร์ โดยจะเป็นการนำสมการคณิตศาสตร์และค่าพารามิเตอร์มาใช้ เพื่อจำลองและทำนายผลของกระบวนการ ซึ่งถือเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในหลายด้านของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มักใช้เพื่อให้เข้าใจกระบวนการต่าง ๆ ได้ดีขึ้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ในหลายรูปแบบ เช่น การจำลองคณิตศาสตร์ (simulation) การใช้สมการคณิตศาสตร์เพื่อสร้างโมเดลของระบบหรือกระบวนการที่สามารถทำนายผลต่าง ๆ ในสภาวะต่าง ๆ ของระบบนั้น เช่น การจำลองการแพร่ระบาดของโรค การจำลองวิธีการทำงานของระบบขนส่ง หรือการจำลองย้อนกลับของสิ่งแวดล้อม

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม (Facility Location Problem--FLP) (Singhtaun, 2011) เป็นหนึ่งในปัญหาทางวิศวกรรมและการวางแผนที่นิยมใช้ในการบริการหรือสินค้าไปยังลูกค้าหรือตลาดในลักษณะที่ต้องลงทุนในการก่อสร้างหรือเปิดสถานที่ให้บริการใหม่ หรือการเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเดิมเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการบริการ.

ปัญหา FLP มีคุณสมบัติและข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้

1. คุณสมบัติของสถานที่ให้บริการ (facility characteristics) ปัญหา FLP ต้องมีการตั้งค่าคุณสมบัติของสถานที่ให้บริการ เช่น ความจุของสถานที่ ความสามารถในการบริการ ราคาในการเปิดร้านหรือสถานที่ให้บริการหรือความจุของสินค้า

2. ตำแหน่งของลูกค้า (customer locations) ปัญหา FLP ต้องรู้ตำแหน่งของลูกค้าหรือตลาดที่ต้องการบริการ โดยบางครั้งข้อมูลนี้อาจถูกแสดงในรูปแบบของพิกัดหรือพื้นที่การเคลื่อนที่ของลูกค้า

3. ค่าใช้จ่ายในการคุ้มครอง (costs) ปัญหา FLP ต้องระบุค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการบริการลูกค้า และค่าใช้จ่ายในการเปิดหรือดำเนินสถานที่ให้บริการ เช่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการเช่าสถานที่ หรือค่าใช้จ่ายในการบริการลูกค้า

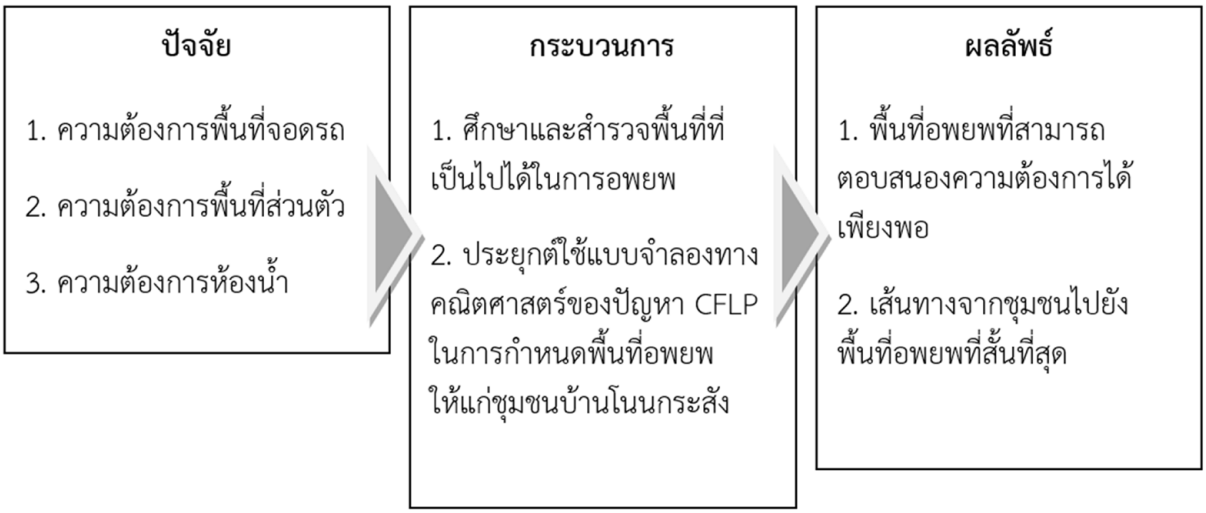
4. ปัญหา FLP สามารถสรุปได้ด้วยการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการเพื่อลดค่าใช้จ่ายทั้งรวมหรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริการลูกค้า มีหลายแบบของปัญหา FLP ดังนี้

- Facility Location Problem--FLP ปัญหา FLP ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการคุ้มครองหรือบริการลูกค้า
- Uncapacitated Facility Location Problem --UFLP ปัญหา FLP โดยไม่จำกัดความจุของสถานที่ให้บริการ
- Capacitated Facility Location Problem --CFLP ปัญหา FLP ที่จำกัดความจุของสถานที่ให้บริการ
- Multi-Facility Location Problem ปัญหา FLP ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งสถานที่ให้บริการหลายแห่ง

การแก้ปัญหา FLP อาจใช้เทคนิคการค้นหาเชิงคณิตศาสตร์ เช่น การใช้วิธีทางตรรกะหรือการใช้วิธีผสม (hybrid methods) หรือแสดงในรูปแบบโครงสร้างข้อมูล (network representation) เพื่อค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ให้บริการที่ลดค่าใช้จ่ายหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการบริการลูกค้าให้มากที่สุด

กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดงานวิจัยประกอบด้วยปัจจัยความต้องการของพื้นที่อพยพ กระบวนการดำเนินงาน และผลลัพธ์การวิจัย ดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาพื้นที่อพยพจากอุทกภัย

2. การหาระยะความสูงของพื้นที่จาก GISTDA เป็นปัจจุบัน พ.ศ. 2566

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่ใช้แบบแผนการวิจัยโดยการผสมผสานการวิจัยเชิงสำรวจ (survey research) และการวิจัยแบบประยุกต์ (applied research) ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน คือ ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม และข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งได้มาจากการรวบรวมจากหนังสือ บทความวิชาการและอื่น ๆ วิธีการดำเนินงานวิจัยมี 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การสำรวจพื้นที่

2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในหมู่บ้านโนนกระสัง มีทั้งหมด 151 ครัวเรือน มีประชากรรวมทั้งสิ้น 538 คน (Department of Provincial Administration, 2023) เมื่อทำการคำนวณตามหลักการของ Yamane ที่ความคลาดเคลื่อน 10% พบว่าจะได้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 83 คน (Yamane, 1967)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นแบบสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลการลงพื้นที่ โดยมีทั้งหมด 5 แบบสำรวจ ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลของครัวเรือนผ่านการสำรวจโดยใช้แบบสำรวจน้ำท่วมเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล เช่น จำนวนสมาชิกในครัวเรือน สถานภาพของสมาชิกในครัวเรือน จำนวนยานพาหนะแต่ละชนิดในครัวเรือน เป็นต้น

2. การสำรวจข้อมูลความสูงของพื้น ในพื้นที่ชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ และพื้นที่ใกล้เคียงเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล โดยใช้ข้อมูลจาก สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ค้นหาเมื่อ พ.ศ.2567 เพื่อประเมินเส้นทางการไหลของน้ำในการวิเคราะห์ความเสี่ยงพื้นที่เมื่อเกิดน้ำท่วม

3. การสำรวจพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากจากย้อนหลัง 10 ปี (2557-2567) โดยใช้แผนภาพภูมิสารสนเทศ จากกลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร เพื่อใช้ในการเลือกพื้นที่สำหรับจัดตั้งจุดอพยพ

4. การสำรวจพื้นที่สาธารณะ โดยใช้โปรแกรม Google Earth ในการคำนวณพื้นที่ได้แก่ พื้นที่ส่วนตัว

สำหรับผู้อพยพ และพื้นที่สำหรับจอดยานพาหนะ นอกจากนี้ยังมีการสำรวจจำนวนห้องน้ำภายในพื้นที่เพื่อทราบจำนวนที่สามารถรองรับได้

5. การสำรวจระยะทางจากจุดรวมพลของชุมชนไปยังจุดอพยพแต่ละจุดผ่านการใช้ Google Map ในการคำนวณระยะทางที่ใช้ในการอพยพ

หลักคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาระยะทางและเวลาที่สั้นที่สุดในการอพยพประชากร ให้สอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ ที่มีในงานวิจัยนี้ ได้แก่ จำนวนจุดรวมพลและจำนวนยานพาหนะที่มีอยู่จริงซึ่งได้มาจากการสำรวจในพื้นที่ การกำหนดจุดอพยพ ความสามารถในการบรรทุกและความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลตามที่กฎหมายกำหนดเป็นต้น โดยงานวิจัยนี้ได้นำ CFLP (Capacitated Facility Location Problem--CFLP) มาประยุกต์ เพื่อหาผลลัพธ์ของระยะทางรวมที่น้อยที่สุด ในการอพยพรถยนต์จากจุดต่าง ๆ ไปยังจุดอพยพ โดยมีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ 1

Minimize $Z = \Sigma_{i\epsilon I} \Sigma_{j\epsilon J} c_{ij} x_{ij}$ (1)

Subject to $\Sigma_{j\epsilon J} x_{ij} = d_i$ *for all* $i\epsilon I$

$\Sigma_{i\epsilon I} x_{ij} \leq s_j y_j$ *for all* $j\epsilon J$

$x_{ij} \geq 0 \ \forall\ i,j$ $,i = 1, 2,... M;$

$j = 1, 2,... M$

$y_i \epsilon \{0,1\}$ $\forall j$

โดยมีข้อมูลนำเข้า คือ

i เป็นเซตของชุมชนในพื้นที่กรณีศึกษา

โดย $I = (1, 2,. i,. M)$

j เป็นเซตของจุดอพยพ

โดย $J = (1, 2,..j,...N)$

d_i เป็นความต้องการที่ตำแหน่ง i

c_{ij} เป็นระยะทางระหว่างจุดรวมพลตำแหน่งที่ i กับจุดอพยพตำแหน่งที่ j

s_j เป็นขีดความสามารถของความต้องการที่อยู่ตำแหน่งที่ j

y_j มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเลือกตำแหน่งที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ $j\epsilon J$ และ 0 ถ้าไม่ใช่

x_{ij} เป็นปริมาณความต้องการจากตำแหน่งที่ i ไปยังจุดอพยพที่ตำแหน่ง j

Z เป็นค่าผลรวมระยะทางที่ใช้ในการอพยพที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการเลือกตำแหน่งของตัวแปร y_j โดยผลรวมระยะทางจะเป็นผลรวมของตัวแปร c_{ij}

ผลการวิจัย

1. การสำรวจพื้นที่สำหรับการเลือกพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพ

ในการสำรวจพื้นที่จะมีการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของสมาชิกในครัวเรือน ข้อมูลความสูงของพื้นที่ ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากของพื้นที่ ข้อมูลความจุของพื้นที่ของจุดอพยพ และข้อมูลระยะทางระหว่างพื้นที่ไปยังจุดอพยพ

1.1 ข้อมูลของครัวเรือน

จากผลการสำรวจการเกิดน้ำท่วม มีการตอบแบบสำรวจทั้งหมด 28 ครัวเรือน พบว่า ชนิดของน้ำท่วมที่พบมากที่สุดประกอบด้วย น้ำท่วมฉับพลัน จำนวน 14 ครัวเรือน น้ำล้นตลิ่ง 9 ครัวเรือน น้ำท่วมขัง จำนวน 12 ครัวเรือน และน้ำป่าไหลหลาก จำนวน 4 ครัวเรือน

ชุมชนกรณีศึกษามีประชากรทั้งหมด 125 คน แบ่งเป็นเด็ก 23 คน ผู้สูงอายุ 32 คน ผู้พิการ 3 คน และวัยทำงาน 67 คน

นอกจากนี้ยังมีการสอบถามเกี่ยวกับจำนวนยานพาหนะต่าง ๆ ภายในครัวเรือนชุมชนบ้านโนนกระสัง มีจำนวนรถจักรยานยนต์ 54 คัน รถยนต์ 20 คัน รถบรรทุก 6 คัน

1.2 ข้อมูลความสูงของพื้น

การสำรวจข้อมูลความสูงของพื้นที่ เป็นการใช้ข้อมูลความสูงระดับน้ำทะเล โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model--DEM) จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) เนื่องจากความสูงจากระดับน้ำทะเลยิ่งมากความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัยก็มีโอกาสเกิดน้อยลง (Anucharn, 2020) โดยมี

การกำหนดมาตรฐานระดับความสูงเป็น 5 ระดับ ระดับ 1 ความสูงจากระดับน้ำทะเล 150-154 เมตร ระดับ 2 ความสูงจากระดับน้ำทะเล 155-159 เมตร ระดับ 3 ความสูงจากระดับน้ำทะเล 160-164 เมตร ระดับ 4 ความสูงจากระดับน้ำทะเล 165-169 เมตร ระดับ 5 ความสูงจากระดับน้ำทะเล 170-174 เมตร เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลของแต่ละพื้นที่

จากการสำรวจ พบว่า พื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่ามีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 5 โรงเรียนบ้านโคกตะพาบมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 4 วัดม่วงมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3 วัดตาจั่น มีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 4 โรงเรียนชุมชนบ้านวัดมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3 วัดเดิมมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3 โรงเรียนพิมายวิทยามีระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับ 3 และวัดสระเพลงมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3

ส่วนพื้นที่บริเวณศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) อำเภอพิมาย และวัดโนนกระสังมีระดับความสูงระดับที่ 2

1.3 ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากจากย้อนหลัง 10 ปี ของพื้นที่กรณีศึกษา

การสำรวจพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากจะเป็นการใช้ข้อมูลจากกลุ่มวางแผนการจัดการที่ดินในพื้นที่เสี่ยงภัยทางการเกษตร จึงได้กำหนดระดับพื้นที่น้ำท่วมย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2550-พ.ศ. 2560) เป็น 3 ระดับ ระดับที่ 1 มีการเกิดน้ำท่วมไม่เกิน 3 ครั้ง ในรอบ 10 ปี (พื้นที่สีเหลือง) ระดับที่ 2 มีการเกิดน้ำท่วม 4-7 ครั้ง ในรอบ 10 ปี (พื้นที่สีชมพู) ระดับที่ 3 มีการเกิดน้ำท่วม 8-10 ครั้ง ในรอบ 10 ปี (พื้นที่สีแดง) เพื่อใช้ในการกำหนดที่ใช้ในการอพยพของชุมชน เนื่องจากพื้นที่ที่เคยเกิดน้ำท่วมบ่อยครั้งมีความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วมสูง (Anucharn, 2020)

จากภาพมีการแสดงความสูงของพื้นที่และพื้นที่เกิดน้ำท่วมซ้ำซากของชุมชนบ้านโนนกระสัง พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่น้ำท่วมระดับที่ 1 ซึ่งครอบคลุมทั่วบริเวณชุมชนบ้านโนนกระสัง โดยมีพื้นที่สำคัญได้แก่ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) อำเภอพิมาย วัดโนนกระสัง และโรงเรียนบ้านเตยประชาบำรุง

การเลือกพื้นที่สำหรับจัดตั้งจุดอพยพได้ใช้ข้อมูลทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก และระยะทางในการอพยพ (Anucharn, 2020) สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนในการเลือกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการประเมินพื้นที่โดยรอบของพื้นที่ชุมชน โดยเพิ่มวงรัศมีครั้งละ 10 กิโลเมตร เพื่อสำรวจพื้นที่สาธารณะ ขั้นตอนที่สองเป็นการระบุความสูงจากระดับน้ำทะเลและน้ำท่วมซ้ำซากของพื้นที่สาธารณะ ขั้นตอนที่สาม เป็นการประเมินพื้นที่สาธารณะโดยพื้นที่อพยพต้องมีความสูงจากระดับน้ำทะเลในระดับเดียวกันหรือมีความสูงมากกว่าจุดที่อพยพ และต้องไม่เป็นพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก หากประเมินแล้วพบว่า ไม่มีพื้นที่สาธารณะที่อยู่ในเกณฑ์ จึงทำการขยายวงรัศมีในการสำรวจพื้นที่สาธารณะเพิ่มเติม ดังภาพ 2-4

จากข้อมูลการวงรัศมีการสำรวจ 10 กิโลเมตร ความสูงระดับน้ำทะเล และพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก ทำให้ได้ข้อมูลจุดอพยพได้แก่

1. องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่ามีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 5 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

2. โรงเรียนบ้านโคกตะพาบมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 4 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

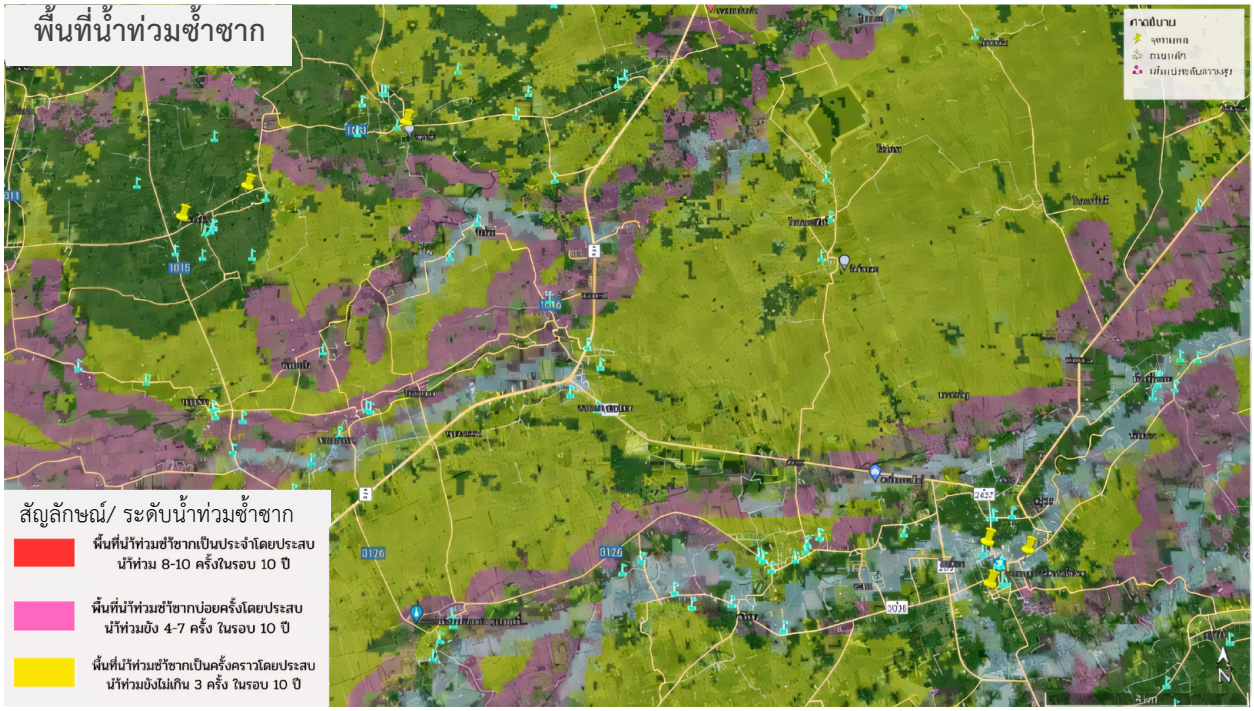
3. วัดตาจั่นมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 4 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

4. วัดเดิมมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

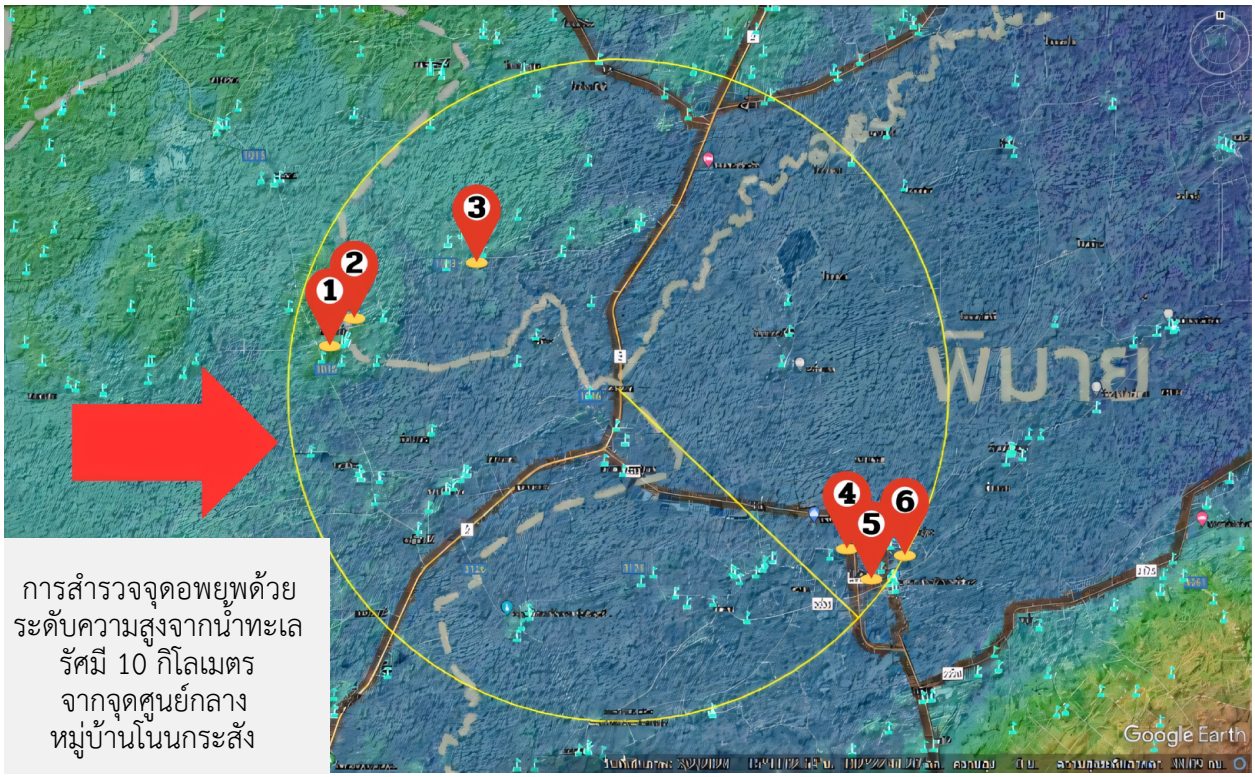
5. โรงเรียนพิมายวิทยามีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

6. วัดสระเพลงมีระดับความสูงจากน้ำทะเลระดับ 3 ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

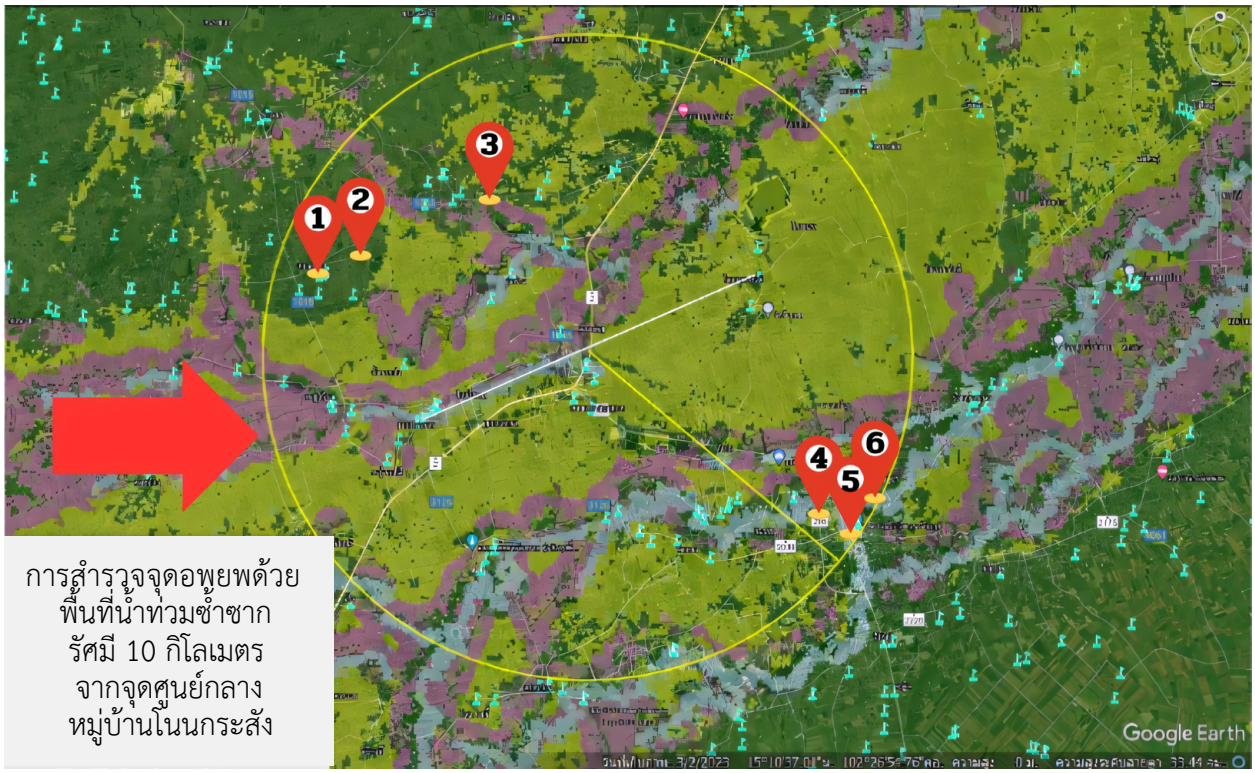
โดยการเลือกพื้นที่ในการอพยพพิจารณา (1) ความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่อพยพต้องมีความสูงเท่ากับหรือมากกว่าระดับ 2 (2) พื้นที่ที่อพยพต้องเป็นพื้นที่ที่ไม่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก ผลการศึกษาได้จุดอพยพทั้งหมด 6 จุด ได้แก่ (1) องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า (2) โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ (3) วัดตาจั่น (4) วัดเดิม (5) โรงเรียนพิมายวิทยา และ (6) วัดสระเพลง



ภาพ 2 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากชุมชนบ้านธารปราสาทและชุมชนบ้านโนนกระสัง



ภาพ 3 การสำรวจจุดอพยพด้วยระดับความสูงจากน้ำทะเล รัศมี 10 กิโลเมตร



ภาพ 4 การสำรวจจุดอพยพด้วยพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก รัศมี 10 กิโลเมตร

1.4 ข้อมูลความจุของพื้นที่ของจุดอพยพ

ข้อมูลความจุของพื้นที่ของจุดอพยพ ประกอบด้วย (1) ความต้องการพื้นที่จอดรถ (2) ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว และ (3) ความต้องการห้องน้ำ จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการประเด็นทั้งสาม พบว่า (Jamnothai, 2020) ได้กล่าวถึงขนาดช่องจอดรถยนต์ โดยมีวิธีการคำนวณจากขนาดมาตรฐานของแต่ละประเภทของยานพาหนะ ดังนี้ รถยนต์ 2.4x5 เมตร รถจักรยานยนต์ 1x2 เมตร รถบรรทุก 3x6 เมตร (Klongkhun & Wanthong, 2017) แนะนำว่า พื้นที่ส่วนตัวต่อคนควรมีขนาดประมาณ 35 ตารางเมตร เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้อพยพในภาวะฉุกเฉิน นอกจากนี้ได้แนะนำการประเมินความต้องการห้องน้ำสำหรับผู้อพยพ โดยใช้เกณฑ์ ห้องน้ำ 1 ห้องต่อผู้หญิง 20 คน ห้องน้ำ 1 ห้องพร้อมโถฉี่สำหรับผู้ชาย 35 คน โดยข้อมูลทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่ใช้ในการหาจุดอพยพด้วยโมเดลคณิตศาสตร์

เมื่อทำการประมาณความต้องการต่าง ๆ โดยข้อมูลอ้างอิงจากโปรแกรม Google Earth โดยใช้เครื่องมือไม้บรรทัดในการคำนวณพื้นที่จอดรถ และพื้นที่ส่วนตัวของจุดอพยพ ในส่วนของจำนวนห้องน้ำได้ทำการสำรวจผ่านการสำรวจสถานที่จริง ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ชุมชนบ้านโนนกระสังมีความต้องการพื้นที่จอดรถ 456 ตร.ม. ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว 4,550 ตร.ม. ความต้องการห้องน้ำ 7 ห้อง (สำหรับผู้หญิง 4 ห้อง ผู้ชาย 3 ห้อง)

จุดอพยพและความสามารถในการรองรับ ได้แก่ พื้นที่จอดรถ (ตร.ม.) พื้นที่ส่วนตัว (ตร.ม.) และจำนวนห้องน้ำ (ห้อง) ผ่านการสำรวจสถานที่และใช้โปรแกรม Google Earth ในการประเมินสถานที่จอดรถและพื้นที่ส่วนตัว ได้ผลดังนี้

1. องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า มีพื้นที่จอดรถ 2,400 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 1,250 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 8 ห้อง

2. โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ มีพื้นที่จอดรถ 6,000 ตร.ม.มีพื้นที่ส่วนตัว ตร.ม. 1,560 และมีจำนวนห้องน้ำ 12 ห้อง

3. วัดตาจั่น มีพื้นที่จอดรถ 3,600 ตร.ม.มีพื้นที่ส่วนตัว 1780 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 6 ห้อง

4. วัดเดิม มีพื้นที่จอดรถ 1,300 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 3,000 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 8 ห้อง

5. โรงเรียนพิมายวิทยา มีพื้นที่จอดรถ 11,000 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 4,450 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 20 ห้อง

6. วัดสระเพลง มีพื้นที่จอดรถ 980 ตร.ม.มีพื้นที่ส่วนตัว 1,570 ตร.ม. และมีจำนวนห้องน้ำ 6 ห้อง

1.5 ข้อมูลระยะทางระหว่างพื้นที่กรณีศึกษาไปยังจุดอพยพ

การสำรวจระยะทางระหว่างพื้นที่กรณีศึกษาไปยังจุดอพยพ เป็นการสำรวจผ่าน Google Map ในการคำนวณระยะทาง (Wajanawichakon & Srisurin, 2018) โดยมีจุดเริ่มต้นคือจุดศูนย์กลางของชุมชนบ้านโนนกระสังไปถึงจุดหมายทั้งหมด 6 เส้นทางประกอบด้วย

1. บ้านโนนกระสัง-องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า ระยะทาง 19.4 กิโลเมตร

2. บ้านโนนกระสัง-โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ ระยะทาง 17.7 กิโลเมตร

3. บ้านโนนกระสัง-วัดตาจั่น ระยะทาง 12.7 กิโลเมตร

4. บ้านโนนกระสัง-วัดเดิม ระยะทาง 12.7 กิโลเมตร

5. บ้านโนนกระสัง-โรงเรียนพิมายวิทยา ระยะทาง 12.2 กิโลเมตร

6. บ้านโนนกระสัง-วัดสระเพลง ระยะทาง 12.8 กิโลเมตร

2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา CFLP มาประยุกต์ร่วมกับ Excel Solver ในการเลือกจุดอพยพที่มีพื้นที่จอดรถและพื้นที่ส่วนตัวเพียงพอที่มีระยะทางจากชุมชนพื้นที่กรณีศึกษา แต่เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหา CFLP เป็นการเลือกพื้นที่เพียงจุดเดียว ซึ่งเมื่อได้ทดลองแก้สมการแล้วพบว่าไม่สามารถแก้ปัญหาได้ เนื่องจากขนาดความต้องการของชุมชนมีขนาดที่ใหญ่กว่าความสามารถในการรองรับของจุดอพยพ จึงมีการปรับปรุงแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อให้สามารถเพิ่มจำนวนจุดอพยพของแต่ละชุมชนได้ โดยมีสมการตามสมการที่ 1 และรายละเอียดของตัวแปร ดังนี้

i เป็นเซตของชุมชนในพื้นที่กรณีศึกษา ประกอบไปด้วย ชุมชนบ้านโนนกระสัง

j เป็นเซตของจุดอพยพ ประกอบไปด้วย องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ วัดตาจั่น วัดเดิม โรงเรียนพิมายวิทยา วัดสระเพลง

d_i เป็นความต้องการที่ตำแหน่ง i ประกอบไปด้วยความต้องการพื้นที่จอดรถ ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว ความต้องการห้องน้ำ ของชุมชนบ้านธารปราสาทและชุมชนบ้านโนนกระสัง

c_{ij} เป็นระยะทางระหว่างจุดรวมพลตำแหน่งที่ i กับจุดอพยพตำแหน่งที่ j

s_j เป็นขีดความสามารถของความต้องการที่อยู่ตำแหน่งที่ j ประกอบไปด้วยความต้องการพื้นที่จอดรถ ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว ความต้องการห้องน้ำ ของจุดอพยพทั้ง 6 จุด

y_j มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเลือกจุดอพยพตำแหน่งที่ $j \epsilon J$ และ 0 ถ้าไม่ใช่

x_{ij} เป็นปริมาณความต้องการจากตำแหน่งที่ i ไปยังจุดอพยพที่ตำแหน่ง j

Z เป็นค่าผลรวมระยะทางที่ใช้ในการอพยพที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการเลือกตำแหน่งของตัวแปร y_j โดยผลรวมระยะทางจะเป็นผลรวมของตัวแปร c_{ij} ดังภาพ 5

การตั้งค่า Solver Parameters มีการกำหนดค่าทั้งหมด 4 ส่วนได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหา (set objective) เป็นการกำหนดเป้าหมายของระยะทางรวมที่น้อยที่สุดสำหรับสมการ

$$Z = \Sigma_{i \epsilon I} \Sigma_{j \epsilon J} c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

โดยเลือกผลรวมระยะทางเพื่อให้ตัวแปร y_j ทำการหาระยะทางรวมของชุมชนไปยังจุดอพยพที่สั้นที่สุด

2. ค่าที่ทำการเปลี่ยนเพื่อแก้ปัญหา (by changing variable cell) เป็นการกำหนดพื้นที่เซลล์ที่เป็นตัวแปร y_j สำหรับใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่งจุดอพยพ ประกอบไปด้วย 6 ตัวแปร คือ องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ วัดตาจั่น วัดเดิม โรงเรียนพิมายวิทยาวัดสระเพลง

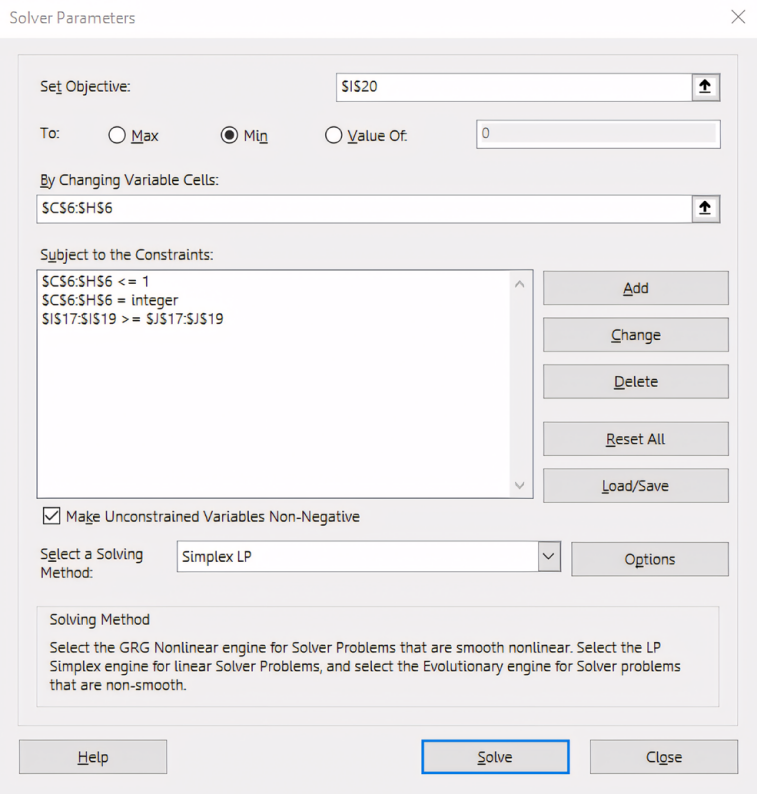
3. เงื่อนไขในการแก้ปัญหา (subject to the constraints) เป็นการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมในการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร y_j ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ (1) การกำหนดค่าของตัวแปรมีค่าไม่เกิน 1 (2) การกำหนดค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม (3) การกำหนดค่าเป็นปริมาณความต้องการจากตำแหน่งที่ i ไปยังจุดอพยพที่ตำแหน่ง j (xij) มีค่ามากกว่า เป็นความต้องการที่ตำแหน่ง i (d_i) ดังภาพ 6

4. วิธีการในการแก้ปัญหา (select solving method) ใช้วิธีการ Simplex LP ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีตัวแปรหลายอย่าง โดยใช้หลักการของวิวัฒนาการธรรมชาติและการเลือกสรรทางพันธุกรรม กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำหลายครั้งจนกระทั่งจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือดีพอสมควรตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

จากการนำข้อมูลระยะทางที่ใช้ในการอพยพและความต้องการในพื้นที่อพยพ นำไปแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรม Excel Solver (Rungrodchatchava, Sriswang & Kongkaew, 2016) โดยชุมชนบ้านโนนกระสังมีจุดอพยพได้แก่ วัดตาจั่น และโรงเรียนพิมายวิทยา โดยวัดตาจั่น มีพื้นที่จอดรถ 3,600 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 1780 ตร.ม. มีจำนวนห้องน้ำ 6 ห้อง และมีระยะทาง 12.7 กิโลเมตร ส่วนโรงเรียนพิมายวิทยามีพื้นที่จอดรถ 11,000 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 4,450 ตร.ม. มีจำนวนห้องน้ำ 20 ห้อง และมีระยะทาง 12.2 กิโลเมตร

ความต้องการพื้นที่อพยพของชุมชน								
ชื่อชุมชน	จำนวนผู้อพยพ	จำนวนรถยนต์	จำนวนรถจักรยานยนต์	จำนวนรถบรรทุก	ความต้องการพื้นที่จอดรถ	ความต้องการพื้นที่ส่วนตัว	ความต้องการห้องน้ำ	
บ้านโนนกระสัง	130	20	54	6	456	4550	7	
J (เป็นเซตของจุดอพยพ)								
ชื่อชุมชน	องค์การบริหารส่วนตำบลมะค่า	โรงเรียนบ้านโคกตะพาบ	วัดตาจั่น	วัดเดิม	โรงเรียนพิมายวิทยา	วัดสระเพลง		
บ้านโนนกระสัง i	1	2	3	4	5	6	y_j (มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าเลือกจุดอพยพตำแหน่งที่ $j \epsilon J$ และ 0 ถ้าไม่ใช่)	
	0	0	1	0	1	0		
พื้นที่จอดรถ	2400	6000	3600	1300	11000	980	S_j (พื้นที่จอดรถ)	
พื้นที่ส่วนตัว	2250	1700	2050	3000	4450	1570	S_j (พื้นที่ส่วนตัว)	
ห้องน้ำ	8	12	6	8	20	6	S_j (ห้องน้ำ)	
ระยะทาง	19.4	17.7	12.7	12.7	12.2	12.8	C_{ij} (ระยะทาง)	
พื้นที่ที่ตรงตามเงื่อนไขคือ วัดตาจั่น และ โรงเรียนพิมายวิทยา							x_{ij}	d_i
พื้นที่จอดรถ	0	0	3600	0	11000	0	14600	456
พื้นที่ส่วนตัว	0	0	2050	0	4450	0	6500	4550
ห้องน้ำ	0	0	6	0	20	0	26	7
ระยะทาง	0	0	12.7	0	12.2	0	24.9	Z (ระยะทางรวม)

ภาพ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพ 6 Solver Parameters

การสรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาพื้นที่อพยพจากอุทกภัย โดยใช้ข้อมูลระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก และระยะทางในการอพยพเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะในการอพยพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anucharn (2020) ที่ได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งศูนย์พักพิงชั่วคราว และเส้นทางอพยพ กรณีศึกษาบริเวณเขตน้ำท่วมลุ่มน้ำย่อยคลองนาทวีจังหวัดสงขลา

ผลงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าชุมชนบ้านโนนกระสัง ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมาเหมาะสมในการอพยพไปยัง วัดตาจั่น และโรงเรียนพิมายวิทยา โดยวัดตาจั่น มีพื้นที่จอดรถ 3,600 ตร.ม.มีพื้นที่ส่วนตัว 1780 ตร.ม. มีจำนวนห้องน้ำ 6 ห้อง และมีระยะทาง 12.7 กิโลเมตร ส่วนโรงเรียนพิมายวิทยา มีพื้นที่จอดรถ 11,000 ตร.ม. มีพื้นที่ส่วนตัว 4,450 ตร.ม. มีจำนวนห้องน้ำ 20 ห้อง และมีระยะทาง 12.2 กิโลเมตร

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาต่อยอดแผนการอพยพด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้เกิดการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ผลลัพธ์และความถูกต้องของแผนการอพยพที่ดีที่สุด จึงจำเป็นต้องขอความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการหารือ หรือจัดกิจกรรมเพื่อรวบรวมข้อมูลและจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบการแจ้งเตือนและการอพยพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 195621)

References

Anucharn, T. (2020). Analysis of suitable areas for shelters and evacuation routes: A case study of the flood in Khlong Nathawi Subwatershed, Songkhla Province. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University, 39*(2), 225-235. (in Thai)

Chaikijdennapalai, P., & Wiratnipawan, W. (2018). Administration of flood prevention of Samutprakarn Province according to the Royal Initiative of His Majesty the King. *EAU Heritage Journal Social Science and Humanities, 8*(2), 173-182. (in Thai)

Chonbodeechalermroong, Y., & Chuenchooklin, S. (2010). Flash flood warning system in risky area. *Naresuan University Engineering Journal (NUEJ), 5*(2), 10-20. (in Thai)

Department of Provincial Administration. (2023). *Population statistics data structure*. Retrieved from https://stat.bora.dopa.go.th/new_stat/webPage/statByYear.php (in Thai)

Department of Agricultural Extension. (2022). *Public relations department news agency*. Retrieved from https://bit.ly/3Z3eRyE (in Thai)

Division of Communicable Diseases Department of disease control Ministry of Public Health. (2011). *Citizen's guide to preventing diseases brought on by floods*. Retrieved from http://www.tro.moph.go.th/flood/file/floodbook27112556.pdf (in Thai)

Jamnothai, M. (2020). Guidelines on small parking space adjustment for 200-car parking building. *Academic Journal of Architecture, 71*(2), 67-86. (in Thai)

Klongkhun, P., & Wanthong, W. (2017). *Manual for inclusive safe site selection and flood shelter management in Thailand*. Bangkok: Asian Disaster Preparedness Center (ADPC). (in Thai)

Panitchkul, J. (2018). *Cars evacuation plan in the event of flooding: A case study of Urban Hat Yai* (Master's thesis). Prince of Songkla University. Songkla. (in Thai)

Rungrodchatchava, N., Sriswang, I., & Kongkaew, W. (2016). Application of the vehicle routing problem for solid waste collection: A case study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus. *Thai Journal of Operations Research, 4*(2), 18-31. (in Thai)

Sakphet, N., Nualchawee, K., Karnchanasutham, S., & Pleerux, N. (2016). Flood reporting system for disaster warning support in Hat Yai City, Songkla Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 10*(3), 135-146. (in Thai)

Sangthong, K., & Rinthaisong, I. (2014). Factors related to collaboration for flood management between local administrative organization and community: A case study of flood bed in Pak Panang Basin, Nakhon Si Thammarat Province. *Journal of Southern Technology, 7*(1), 25-29. (in Thai)

Sarawijit, R., Jeentham, S., & Sriphuna, S. (2016). A local wisdom transferring of food plant diversity conservation with environmental education process. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 10*(1), 88-98. (in Thai)

Singhtaun, C. (2011). Facility locations selection using exact algorithms. *Kasetsart Engineering Journal (Thailand), 24*(78), 107-122. (in Thai)

The National disaster Prevention and Mitigation Committee. (2009). *National disaster prevention and mitigation plan 2010-2014*. Bangkok: Department of Disaster Prevention and Mitigation, Ministry of Interior. (in Thai)

Wajanawichakon, K., & Srisurin, K. (2018). Solution methods for vehicle routing problems of garbage truck: A case study of Ubon District, Ubon Ratchathani Province. *UBU Engineering Journal, 11*(2), 48-50. (in Thai)

Yamane, T. (1967). *Statistics, An Introductory Analysis* (2nd ed.). New York: Harper and Row.

การพยากรณ์สัดส่วนผู้สูงอายุที่มีปัญหาความเครียดในจังหวัดขอนแก่น
Forecasting the Proportion of Elders with Stress Problems in Khon Kaen Province

พิมพ์ประภา โตสงคราม[1] และวัฒนา ชยธวัช[2]*
Pimprapa Tosongkram[1] and Vadhana Jayathavaj[2]*
[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี
[1]Faculty of Nursing, Pathumthani University
[2]คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี
[2]Faculty of Allied Health Sciences, Pathumthani University
*Corresponding Author: vadhana.j@ptu.ac.th
Received: July 19, 2024
Revised: September 20, 2024
Accepted: September 26, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยพยากรณ์อนาคตด้วยวิธีอนุกรมเวลา มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อพยากรณ์สัดส่วนผู้สูงอายุที่มีความเครียดในจังหวัดขอนแก่นปีงบประมาณ 2567 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุที่เข้ารับการคัดกรองความเครียดแล้วพบว่ามีปัญหาความเครียดในจังหวัดขอนแก่นปีงบประมาณ 2559 ถึง 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567) ข้อมูลทุติยภูมิรวบรวมจากระบบรายงานของกระทรวงสาธารณสุข วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการพัฒนาตัวแบบตามวิธีสมการถดถอยพหุนามและทฤษฎีระบบสีเทา เลือกตัวแบบที่มีความแม่นยำการพยากรณ์ด้วยสัมประสิทธิ์การทำนายและค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่า สัดส่วนผู้สูงอายุที่เข้ารับการคัดกรองความเครียดแล้วพบว่ามีปัญหาความเครียดในช่วงปีงบประมาณที่ศึกษามีความผันผวนไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงชัดเจนไม่เหมาะสมที่จะใช้ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรง จึงใช้ตัวแบบที่พัฒนาตามวิธีสมการถดถอยพหุนามและทฤษฎีระบบสีเทา ตัวแบบสมการถดถอยพหุนามระดับขั้นที่ 4 และตัวแบบ GM (1,1) Error Periodic Correction (GM (1,1) EPC) มีสัมประสิทธิ์การทำนายร้อยละ 78 และ 80 ตามลำดับ มีความสอดคล้องของค่าพยากรณ์กับค่าจริงสูง ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 40.65 และ 39.44 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ใช้พยากรณ์ได้ ดังนั้นค่าพยากรณ์สัดส่วนผู้สูงอายุที่มีความเครียด ปีงบประมาณ 2567 จึงควรอยู่ระหว่างค่าพยากรณ์ตัวแบบ GM (1,1) EPC กับตัวแบบตามวิธีสมการถดถอยพหุนาม คือ ร้อยละ 4.72 ถึง 10.40 ขณะที่ค่าจริงปีงบประมาณ 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567) อยู่ที่ร้อยละ 7.45

คำสำคัญ: การพยากรณ์ ผู้สูงอายุ ปัญหาความเครียด จังหวัดขอนแก่น

Abstract

This research was a future prediction study using time series methods. The objective was to predict the proportion of elderly people with stress in Khon Kaen Province in fiscal year 2024. The population and sample were the elderly people screened for stress and found to have stress problems in Khon Kaen Province, fiscal year 2016 to 2024 (processed on April 20, 2024). The secondary data were collected from the Ministry of Public Health's reporting system. The annual time series data were analyzed by developing models using polynomial regression methods and the Gray System Theory. The model with the highest accuracy was selected based on the coefficient determination and the mean absolute percentage error (MAPE). The results showed that the proportion of elderly people who undergo stress screening and were found to have stress problems in the fiscal years of the studied period fluctuated with an unclear increasing or decreasing trend. It was inappropriate to use a linear regression model. Therefore, the model developed according to the polynomial regression model and the Gray System Theory were used. The models developed using the polynomial regression equation of degree 4 and the GM (1,1) Error Periodic Correction (GM (1,1) EPC) had a coefficient of determination of 78 and 80, respectively, with highly consistent predicted values with actual values; MAPEs were 40.65 and 39.44, respectively, within the criteria for appropriate forecasting. Therefore, the forecast value for the proportion of elderly people with stress in fiscal year 2024 should be between the forecast value of the GM (1,1) EPC model and the model using the polynomial regression method, which is 4.72 to 10.40 percent, while the actual value in fiscal year 2024 (processed data on April 20, 2024) was 7.45 percent.

Keywords: forecasting, the elderly, stress problem, Khon Kaen Province

บทนำ

ความเครียด (stress) เป็นสภาวะของความตึงเครียดทางจิตที่เกิดจากสถานการณ์ที่ยากลำบาก ความเครียดเป็นการตอบสนองตามธรรมชาติของมนุษย์ที่กระตุ้นให้จัดการกับความท้าทายและภัยคุกคามที่เกิดขึ้น ความเครียดส่งผลต่อทั้งจิตใจและร่างกาย ความเครียดเล็กน้อยเป็นสิ่งที่ดีและสามารถช่วยให้ทำกิจกรรมประจำวันได้ ความเครียดมากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพกายและสุขภาพจิต การเรียนรู้วิธีรับมือกับความเครียดสามารถช่วยส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีทั้งกายและใจ (World Health Organization, 2023) นิตยสาร CEOWORLD จัดอันดับประเทศที่มีความเครียดน้อย 211 ประเทศ ตามความเครียดจากการทำงาน การเงิน ครอบครัว และ สุขภาพและความปลอดภัย ประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 78 (Wilson, 2024) ผู้สูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจน 3 ด้าน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางด้านร่างกาย ทางด้านสังคม และทางด้านจิตใจ ซึ่งเป็นสาเหตุของความเครียด (Suwannacheep, Rattanakorn, Wanichrammanee, Panuwattsuk, & Prasanthong, 2015) การศึกษาแบบภาคตัดขวางในชนบทของประเทศไทยโดยการสัมภาษณ์ผู้สูงอายุจำนวน 403 คน ผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุเฉลี่ย 68 ปี และสองในสามเป็นเพศหญิงพบว่า ร้อยละ 43 มีความเครียดปานกลาง และร้อยละ 34% มีความเครียดในระดับสูง ความเครียดมีความสัมพันธ์ต่ำอย่างมีนัยสำคัญกับการดื่มแอลกอฮอล์และความเจ็บป่วย (Seangpraw et al., 2020) การศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะความเครียดของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลนครขอนแก่น

จากกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุที่มีอายุระหว่าง 60-69 ปี จำนวน 450 คน ที่อยู่ในเขตเทศบาลนครขอนแก่น การรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและแบบประเมินความเครียด (perceived stress scale) ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีความเครียดอยู่ในระดับต่ำร้อยละ 68.4 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียดของผู้สูงอายุ คือ อาชีพ รายได้เพียงพอ ที่พักอาศัย และสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Khaweewong & Duangsong, 2020) การตรวจสอบรายงานมาตรฐานส่งเสริมและป้องกันปัญหาสุขภาพจิต การคัดกรองความเครียด (ST-5) ในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จัดทำโดยกระทรวงสาธารณสุข (Ministry of Public Health, 2024) พบว่าในปีงบประมาณ 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567) เขตสุขภาพที่ 7 ผู้ที่เข้ารับการคัดกรองมีปัญหาความเครียดร้อยละ 1.99 เป็นอันดับ 1 ในจำนวน 12 เขตสุขภาพ (ไม่รวมเขตที่ 13 กรุงเทพมหานคร) และจังหวัดในเขตสุขภาพที่ 7 ประกอบด้วย ขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด และกาฬสินธุ์ จังหวัดที่ผู้ที่เข้ารับการคัดกรองมีปัญหาความเครียดสูงที่สุด คือ จังหวัดขอนแก่น ร้อยละ 7.45 เมื่อสืบค้นย้อนหลังพบว่ามีข้อมูลถึงปีงบประมาณ 2559 รวมเป็นระยะเวลา 8 ปี กับปีงบประมาณ 2567 (1 ตุลาคม 2566–20 เมษายน 2567) มีสัดส่วนผู้สูงอายุที่เข้ารับการคัดกรองมีปัญหาความเครียดร้อยละต่ำสุด สูงสุด และเฉลี่ย เท่ากับ 1.94 15.82 และ 9.00 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 1 ดังนั้น การพัฒนาตัวแบบอนุกรมเวลาพยากรณ์ร้อยละของผู้สูงอายุที่เข้ารับการคัดกรองความเครียดแล้วพบว่ามีปัญหาความเครียดของจังหวัดขอนแก่นปีงบประมาณ 2567 เป็นเครื่องมือส่วนหนึ่งในการบริหารจัดการปัญหาสุขภาพจิตผู้สูงอายุของจังหวัดต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพยากรณ์สัดส่วนผู้สูงอายุที่มีความเครียดในจังหวัดขอนแก่น ปีงบประมาณ 2567

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพยากรณ์อนุกรมเวลาเป็นสาขาหนึ่งของการวิเคราะห์ทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการทำนายข้อมูลในอนาคตด้วยข้อมูลในอดีตที่ผ่านมา ข้อมูลในอนุกรมเวลาเป็นข้อมูลที่ถูกรวบรวมหรือบันทึกโดยมีระยะห่างของช่วงเวลาเท่ากัน วัตถุประสงค์หลักของการพยากรณ์อนุกรมเวลา คือ การศึกษารูปแบบข้อมูล จำลองรูปแบบจากแนวโน้มและความสัมพันธ์ในข้อมูลเพื่อใช้ทำนายค่าในอนาคต การพยากรณ์อนุกรมเวลาช่วยในการตัดสินใจและการวางแผนสำหรับอนาคต การพยากรณ์อนุกรมเวลานำไปใช้ในด้านสุขภาพเกี่ยวกับการทำนายการระบาดของโรค จำนวนการรับผู้ป่วยและการแพร่กระจายของโรคระบาด นอกจากนี้ยังสามารถช่วยให้โรงพยาบาลจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Tomov, Chervenkov, Miteva, Batselova & Velikova, 2023)

กรอบแนวคิดการวิจัย

ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยอนาคตเชิงปริมาณด้วยเทคนิคอนุกรมเวลา เพื่อพยากรณ์สัดส่วนผู้สูงอายุที่มีความเครียดในจังหวัดขอนแก่น ปีงบประมาณ 2567

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

สถิติจำนวนผู้สูงอายุ คือ จำนวนผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปที่เข้ารับการคัดกรองความเครียดโดยรวม เป็นสถิติรายปี (ไม่มีข้อมูลที่ระบุถึงตัวบุคคลใด ๆ ได้) ของจังหวัดขอนแก่น ระหว่างปีงบประมาณ 2559 ถึง 2566 และ 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแบบการถดถอยพหุนามและตัวแบบตามทฤษฎีระบบเกรย์ประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel คำนวณค่าความแม่นยำด้วยสัมประสิทธิ์การทำนายและค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

สถิติจำนวนผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) ที่เข้ารับการคัดกรองความเครียดโดยรวมรายปี (ไม่มีข้อมูลที่ระบุถึงตัวบุคคลได้) ของจังหวัดขอนแก่น ระหว่างปีงบประมาณ 2559 ถึง 2567 รวบรวมจากรายงานมาตรฐานส่งเสริมและป้องกันปัญหาสุขภาพจิต การคัดกรองความเครียด (ST-5) ในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป เขตสุขภาพที่ 7 จังหวัดขอนแก่น จัดทำโดยกระทรวงสาธารณสุข ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567 (Ministry of Public Health, 2024) ข้อมูลรายปีงบประมาณประกอบด้วย จำนวนประชากรที่มีอายุ 60 ปี ขึ้นไป จำนวนประชากรที่เข้ารับการคัดกรองความเครียด ผลการคัดกรอง จำนวนผู้ที่ปกติ และจำนวนผู้มีปัญหาความเครียด จำแนกรายเขตสุขภาพ เมื่อเลือกเขตสุขภาพที่ 7 สามารถเลือกจังหวัดขอนแก่นได้

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การถดถอยพหุนาม (polynomial regression)

สำหรับอนุกรมเวลาที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรต้น ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (nonlinear) สามารถใช้ตัวแบบถดถอยพหุนาม (a polynomial regression model) (Pennstate Eberly College of Science, 2018a) ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x^1 + \beta_2 x^2 + \ldots + \beta_h x^h + e \qquad (1)$$

เมื่อ h เป็นเลขยกกำลังของ x โดยที่สัมประสิทธิ์ $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_h$ เป็นค่าเชิงเส้นปกติที่ไม่ได้เป็นเลขยกกำลัง e เป็นความความคลาดเคลื่อน ตัวแบบที่สอดคล้องกับข้อมูลได้จากสมการ x ยกกำลัง h ที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x มีค่าสูงที่สุด หรือค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีค่าน้อยที่สุด การใช้สมการถดถอยพหุนามซึ่งมีตัวแปรต้นยกกำลังสามารถเข้ากับข้อมูลอนุกรมเวลาที่ตัวแปรตามมีลักษณะผันผวนเพิ่มขึ้นลดลงต่อเนื่อง ซึ่งการใช้สมการถดถอยพหุนามระดับขั้น 3 ($h = 3$) ขึ้นไปจะเข้ากับตัวแปรตามลักษณะดังกล่าวได้ดีกว่าสมการเส้นตรง ($h = 1$) ที่ตัวแปรตามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นเส้นตรง หรือกรณีสมการถดถอยพหุนามระดับขั้น 2 (polynomial degree, $h = 2$) ที่ตัวแปรตามเป็นเพียงเส้นโค้งคว่ำหรือหงายเท่านั้น (Longstreet, 2015)

ทฤษฎีระบบสีเทา (grey system theory)

วิธีการพยากรณ์ตามทฤษฎีระบบสีเทาได้มีการนำตัวแบบสีเทา GM (1,1) มาใช้เพื่อทำนายแนวโน้มอุบัติการณ์ของไข้ไทฟอยด์และไข้รากสาดเทียมเป็นโรคติดเชื้ออุบัติใหม่อย่างเป็นระบบเป็นปัญหาสุขภาพที่ร้ายแรงในเมืองอู่ฮั่นประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (Xiaobing, Jiaojiao, Deguang & Gaofeng, 2018) ทำให้สามารถดำเนินมาตรการป้องกันและควบคุมล่วงหน้าสามารถลดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน ข้อมูลที่ใช้นำจากระบบเฝ้าระวังระดับชาติตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง 2558 คาดการณ์อุบัติการณ์ปี พ.ศ. 2559 ตัวแบบ GM (1,1) มีประสิทธิภาพในการทำนายแนวโน้มอุบัติการณ์ไข้ไทฟอยด์และไข้รากสาดเทียมได้

การพยากรณ์การระบาดของโรคอีสุกอีใส (varicella) ของเมืองต้าเหลียน มณฑลเหลียวหนิง ประเทศจีน (Cheng et al., 2022) ใช้ตัวแบบ GM (1,1) โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2552 ถึง 2561 พยากรณ์ปี 2562 ค่าพยากรณ์แตกต่างไปจากค่าจริงในปี พ.ศ. 2562 เพียงร้อยละ 14.42 ทฤษฎีระบบสีเทา (Lin, Chiu, Lin & Lee, 2013) ใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลากับข้อมูลจำนวนน้อยที่สุดเพียง 4 คาบเวลา ก็สามารถใช้ทำนายคาบเวลาที่ 5 ได้ ตัวแบบเริ่มต้น คือ GM (1,1) (first order grey model for one variable) ซึ่งจะเริ่มต้นจากการแปลงข้อมูลเริ่มต้นเป็นข้อมูลสะสม แล้วใช้สมการถดถอยเชิงเส้นประมาณค่าคงที่และค่าความชัน จากนั้นทำนายค่าสะสมแล้วหักออกด้วยค่าสะสมที่ทำนายก่อนหน้าก็จะได้ค่าทำนายของแต่ละคาบเวลา ซึ่งกล่าวได้ว่า เหมาะสมกับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นทุกปี การพิจารณาว่าตัวแบบการทำนายสามารถทำนายได้แม่นยำเพียงใดก็สามารถพิจารณาได้จากค่าทำนายที่เบี่ยงเบนไปจากค่าจริง หรือค่าสหสัมพันธ์ของค่าจริงกับค่าทำนาย

การสร้างตัวแบบทฤษฎีระบบสีเทา (grey systems modeling)

ตัวแบบตามทฤษฎีระบบสีเทาที่ใช้ในการศึกษา คือ ตัวแบบ GM (1,1) เป็นตัวแบบเริ่มต้น (Liu & Lin, 2010)

ตัวแบบ GM (1,1)

เมื่อแสดงด้วยสัญลักษณ์ในรูปของเวคเตอร์ (vector) และเมตริกซ์ (matrix) เป็นดังนี้

ค่าข้อมูลจริงจำนวน n ค่า จาก $1,2,3,...,n$

$$X^{(0)} = \left(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), ..., x^{(0)}(n)\right) \quad (2)$$

ค่าข้อมูลสะสมจำนวน n ค่า จาก $1,2,3,...,n$

$$X^{(1)} = \left(x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), ..., x^{(1)}(n)\right) \quad (3)$$

ค่าข้อมูลสะสมจำนวน n ค่า จาก $1,2,3,...,n$

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{k} x^{(0)}(i), k = 1,2,...,n \quad (4)$$

ค่าข้อมูลสะสมรายการที่ k

$$Z^{(1)} = \left(z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), ..., z^{(1)}(n)\right) \quad (5)$$

ค่าข้อมูลสะสมเฉลี่ยกับรายการก่อนหน้า

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}\left(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)\right), k = 2,3,...,n \quad (6)$$

สมการถดถอยเชิงเส้น

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (7)$$

สัมประสิทธิ์การพัฒนา (the development coefficient, a)

ปริมาณทำการสีเทา (grey action quantity, b)

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & 1 \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\hat{a} = \left(B^T B\right)^{-1} B^T Y = \begin{bmatrix} a & b \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

M^T คือ เมตริกซ์ M ที่ทำการสลับตำแหน่งข้อมูลจากแถวเป็นสดมภ์ และสดมภ์เป็นแถว (transpose)

M^{-1} คือ เมตริกซ์ผกผัน (inverse matrix) ของเมตริกซ์ M

สมการอนุพันธ์ของตัวแบบ GM (1,1)

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (10)$$

ค่าพยากรณ์สะสมรายการที่ k+1

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{ak} + \frac{b}{a} \quad (11)$$

ค่าพยากรณ์รายการที่ k+1

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=\left(1-e^{a}\right)\left(x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}\right)e^{-ak}, k=1,2,...,n \quad (12)$$

สำหรับตัวแบบ GM (1,1) Error periodic corrections (GM (1,1) EPC) เป็นการปรับปรุงแบบจำลอง GM (1,1) ด้วยการปรับค่าคลาดเคลื่อนด้วยอนุกรมฟูริเย่ (the Fourier series) ที่สามารถปรับค่าตามความโค้งขึ้น ๆ ลง ๆ ของตัวแปรตามด้วยฟังก์ชันตรีโกณมิติไซน์และโคไซน์ (Zhao et al., 2022)

ความแม่นยำของตัวแบบ

สัมประสิทธิ์การพัฒนา (developing coefficient, a)

ถ้า $-a \le 0.3$ ตัวแบบสามารถใช้พยากรณ์ระยะกลางและระยะยาว $0.3 < -a \le 0.5$ ตัวแบบสามารถใช้พยากรณ์ระยะสั้น $0.5 < -a \le 1.0$ ตัวแบบต้องปรับปรุงก่อนใช้พยากรณ์ $-a > 1.0$ ตัวแบบไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการพยากรณ์ด้วยทฤษฎีระบบสีเทา (Cheng et al., 2022)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r)

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริงสามารถใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันตามสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$r=\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(x_k^{(0)}-\overline{x^{(0)}}\right)\left(\hat{x}_k^{(0)}-\overline{\hat{x}^{(0)}}\right)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n}\left(x_k^{(0)}-\overline{x^{(0)}}\right)^2\sum_{k=1}^{n}\left(\hat{x}_k^{(0)}-\overline{\hat{x}^{(0)}}\right)^2}} \quad (13)$$

$x_k^{(0)}$ ค่าข้อมูลจริงจำนวน ค่า $k=1,2,3,...,n$

$\hat{x}_k^{(0)}$ ค่าพยากรณ์จำนวน n ค่า $k=1,2,3,...,n$

$\overline{x^{(0)}}$ ค่าเฉลี่ยข้อมูลจริงจำนวน n ค่า $k=1,2,3,...,n$

$\overline{\hat{x}^{(0)}}$ ค่าเฉลี่ยของค่าพยากรณ์จำนวน n จำนวนค่า k $1,2,3,...,n$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) ใช้วัดทิศทางและขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 สำหรับค่า r ที่ไม่คิดเครื่องหมาย มีระดับความสัมพันธ์ดังนี้ 0-0.2 ต่ำมาก 0.2-0.4 ต่ำ 0.4-0.6 ปานกลาง 0.6-0.8 มาก และ 0.8-1.0 มากที่สุด (Pennstate Eberly College of Science, 2018b)

สัมประสิทธิ์การทำนาย (coefficient of determination, r^2) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันยกกำลังสองคูณด้วย 100 ค่าร้อยละนี้ยิ่งมีค่ามาก หมายความว่าตัวแบบสามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก

ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Percentage Error--APE)

$$APE_k=\left|\frac{x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}\right|\times 100 \quad (14)$$

ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error--MAPE)

$$MAPE=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\left|\frac{x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}\right|\times 100 \quad (15)$$

การแปลความหมาย MAPE เป็นดังนี้ น้อยกว่า 10 ตัวแบบมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูง ระหว่าง 10 ถึง 20 ตัวแบบมีความแม่นยำในการพยากรณ์ดี ระหว่าง 20 ถึง 50 ตัวแบบมีความแม่นยำในการพยากรณ์ที่สมเหตุสมผล มากกว่า 50 ตัวแบบมีความสามารถในการพยากรณ์ต่ำและไม่ถูกต้อง (Lewis, 2023)

ขั้นตอนการพยากรณ์

1. พิจารณารูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลาว่ามีจำนวนข้อมูลมากน้อยเพียงใด ข้อมูลแนวโน้มเป็นเส้นตรงหรือเป็นเส้นโค้ง (nonlinear)

2. นำข้อมูลอนุกรมเวลาไปพัฒนาตัวแบบตามวิธีที่สอดคล้องกับรูปแบบข้อมูล

3. เปรียบเทียบตัวแบบที่มีความแม่นยำสูง

4. เลือกค่าพยากรณ์ที่สอดคล้องกับประสบการณ์หรือบริบทของการดำเนินงาน

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากเป็นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมและเผยแพร่โดยเปิดเผยของกระทรวงสาธารณสุข (Ministry of Public Health, 2024) สามารถเข้าถึงได้โดยทั่วไป เป็นรายงานสถิติจำนวนผู้ป่วยโดยรวมไม่สามารถระบุตัวตนถึงบุคคลใด ๆ ได้ ไม่สามารถขอคำยินยอมจากอาสาสมัคร เนื่องจากไม่ได้เก็บข้อมูลจากหน่วยตัวอย่างรายบุคคล จึงไม่ใช่การวิจัยในคนและไม่ต้องขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในคน (Center of Reinforcement for Research, Mahidol University, 2024)

ผลการวิจัย

ข้อมูล รูปแบบข้อมูล และร้อยละของผู้มีปัญหาความเครียด ข้อมูลที่รวบรวมได้จากรายงานของกระทรวงสาธารณสุข (Ministry of Public Health, 2024) จำแนกผู้สูงอายุคัดกรองความเครียดและมีปัญหาความเครียดจำแนกปีงบประมาณ 2559 ถึง 2567 ดังแสดงในตาราง 1 พบว่า มีสัดส่วนผู้คัดกรองความเครียดมีปัญหาความเครียดมากกว่าร้อยละ 10 ช่วงปีงบประมาณ 2560 ถึง 2562 ต่ำที่สุดในปีงบประมาณ 2563 ร้อยละ 1.94 หลังจากนั้นอยู่ระหว่างร้อยละ 4.72 ถึง 9.36 เมื่อพิจารณาร้อยละของผู้มีปัญหาความเครียดรายปีเป็นร้อยละสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงปีต่อปีแล้วก็พบว่า มีความผันผวนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 316.02 และลดลงต่ำสุดร้อยละ 84.76 ดังแสดงในภาพ 2

การสร้างตัวแบบด้วยสมการถดถอยพหุนาม

เมื่อ y คือ ร้อยละผู้มีปัญหาความเครียดรายปี กับ x คือ ปีที่ 1, 2,... ได้สมการถดถอยพหุนาม ดังนี้

$$y = -23.698 + 42.347x - 14.799x^2 + 1.927x^3 - 0.0843x^4 \quad (16)$$

ดังแสดงในภาพ 2 ด้วยเส้นค่าจริง และค่าตามสมการโพลีโนเมียล ค่าพยากรณ์ปีงบประมาณ 2567 คือ ร้อยละ 10.40 เพิ่มจากปีงบประมาณ 2566 ร้อยละ 11.08 เมื่อเทียบกับค่าจริง ปีงบประมาณ 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567) ร้อยละ 7.45 เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 39.46 ค่าพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยพหุนามสหสัมพันธ์กับค่าจริง 0.88 มีสัมประสิทธิ์การทำนายร้อยละ 78 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 40.65 ดังแสดงในตาราง 2

การสร้างตัวแบบตามทฤษฎีระบบสีเทา

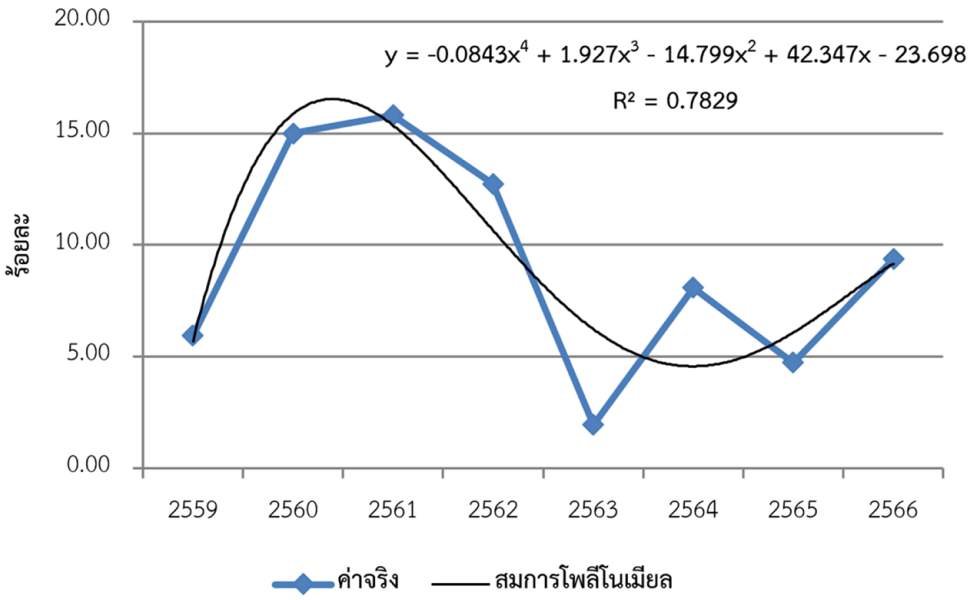
การพัฒนาตัวแบบ GM (1,1) มีสัมประสิทธิ์การพัฒนา $-a$ เท่ากับ 0.68 ซึ่งอยู่ในช่วง $0.5 < - \ \leq 1.0$ ตัวแบบต้องปรับปรุงก่อนใช้พยากรณ์ ตัวแบบ GM (1,1) EPC ได้ปรับค่าความคลาดเคลื่อนด้วยอนุกรมฟูริเย่ มีสหสัมพันธ์ค่าพยากรณ์กับค่าจริง 0.90 มีสัมประสิทธิ์การทำนายร้อยละ 80 ซึ่งสูงกว่า GM (1,1) ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ 39.44 ซึ่งต่ำกว่า GM (1,1) ค่าพยากรณ์ร้อยละผู้สูงอายุคัดกรองความเครียดแล้วพบว่า มีปัญหาความเครียดคือ 4.72 ลดลงจากปีงบประมาณ 2566 ร้อยละ 49.55 เมื่อเทียบกับค่าจริงปีงบประมาณ 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567) ร้อยละ 7.45 ลดลงถึงร้อยละ 36.66 ดังแสดงในตาราง 2 และ ภาพ 3

ตาราง 1

สถิติผู้สูงอายุจังหวัดขอนแก่นคัดกรองความเครียดและมีปัญหาความเครียดปีงบประมาณ 2559 ถึง 2567

ปีงบประมาณ	ประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป	ผู้คัดกรองความเครียด		มีปัญหาความเครียด		
	(คน)	(คน)	(ร้อยละ)	(คน)	(ร้อยละ)	(ร้อยละสัมพัทธ์)
	[1]	[2]	[2]/[1]	[3]	[3]/[2]	
2559	200,387	7,818	3.90	464	5.94	
2560	217,889	8,562	3.93	1,285	15.01	152.87
2561	234,232	12,847	5.48	2,032	15.82	5.39
2562	248,052	17,327	6.99	2,206	12.73	-19.51
2563	249,732	23,045	9.23	447	1.94	-84.76
2564	283,498	23,595	8.32	1,904	8.07	316.02
2565	294,876	37,478	12.71	1,770	4.72	-41.47
2566	305,781	32,880	10.75	3,078	9.36	98.22
2567	318,982	28,264	8.86	2,107	7.45	-20.37

หมายเหตุ ปีงบประมาณ 2567 ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567

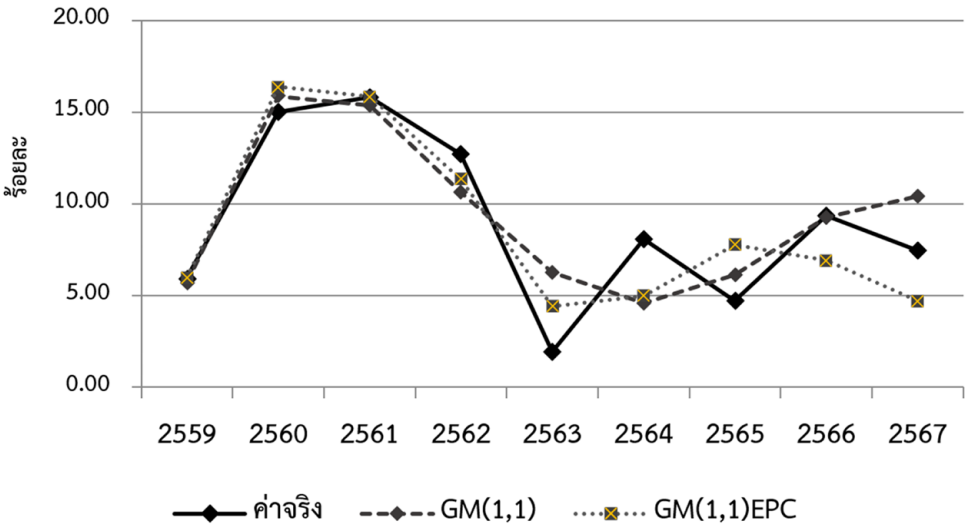


ภาพ 2 ร้อยละของผู้สูงอายุจังหวัดขอนแก่นคัดกรองความเครียดแล้วพบว่า มีปัญหาความเครียดและสมการถดถอยพหุนาม

ตาราง 2

ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของร้อยละผู้สูงอายุจังหวัดขอนแก่นมีปัญหาความเครียด

ปีงบประมาณ	ค่าจริง (ร้อยละ)	ค่าพยากรณ์ (ร้อยละ)		
		Poly	GM (1,1)	GM (1,1) EPC
2559	5.94	5.69	5.94	5.94
2560	15.01	15.87	15.69	16.37
2561	15.82	15.35	13.00	15.83
2562	12.73	10.65	10.77	11.36
2563	1.94	6.25	8.92	4.41
2564	8.07	4.60	7.39	5.00
2565	4.72	6.14	6.12	7.78
2566	9.36	9.27	5.07	6.91
2567	7.45	10.40	4.20	4.72
% +/- 2566	-20.36	11.08	-55.14	-49.55
MAPE 2559-2566		40.65	68.77	39.44
R		0.88	0.73	0.90
R^2		78	53	80
เปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริง 2567 ต่างกันร้อยละ		39.46	-43.68	-36.66



ภาพ 3 ร้อยละของผู้สูงอายุจังหวัดขอนแก่นคัดกรองความเครียดแล้วพบว่า มีปัญหาความเครียดตัวแบบค่าจริง GM (1,1) และ GM (1,1) EPC

การอภิปรายผล

สัดส่วนของผู้สูงอายุจังหวัดขอนแก่นที่ได้รับการคัดกรองความเครียดแล้วพบว่า มีปัญหาความเครียดมีสัดส่วน ลดลงต่อเนื่องในปีงบประมาณ 2562 และ 2563 เพิ่มขึ้นสูงมากในปีงบประมาณ 2564 แล้วลดลงในปีงบประมาณ 2565 ซึ่งก็เกิดซ้ำคือเพิ่มขึ้นในปีงบประมาณ 2566 และลดลงปีงบประมาณ 2567 ดังแสดงในตาราง 1 ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง

การพัฒนาตัวแบบอนุกรมเวลาเวลาเพื่อทำนายร้อยละผู้สูงอายุคัดกรองความเครียดแล้วพบว่า มีปัญหาความเครียดของจังหวัดขอนแก่นในงบประมาณ 2567 นั้นมีสัดส่วนร้อยละของผู้ที่มาคัดกรองความเครียด คือ 7.45 (ประมวลผลเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2567) ขณะที่ตัวแบบสมการถดถอยพหุนามระดับขั้นที่ 4 และ ตัวแบบ GM (1,1) EPC ทำนายว่า จะมีสัดส่วนทั้งปีงบประมาณ 2567 ร้อยละ 10.40 และ 4.72 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 2 ตัวแบบสมการถดถอยพหุนามระดับขั้นที่ 4 มีผลการทำนายที่มีความสอดคล้องกับอดีตอธิบายด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน 0.88 และสัมประสิทธิ์การทำนายร้อยละ 78 ดังแสดงในภาพ 2 และตัวแบบ GM (1,1) EPC มีผลการทำนายที่มีความสอดคล้องกับอดีตอธิบายด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน 0.90 และสัมประสิทธิ์การทำนายร้อยละ 80 ดังแสดงในภาพ 3 ซึ่ง GM (1,1) EPC มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงกว่าและมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ใกล้เคียงกัน คือ 39.44 น้อยกว่าตัวแบบตามสมการถดถอยพหุนามระดับขั้นที่ 4 ซึ่งมี MAPE เท่ากับ 40.65 เล็กน้อย ซึ่งในทางทฤษฎีตัวแบบ GM (1,1) EPC มีความสอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลสัดส่วนผู้สุงอายุของจังหวัดขอนแก่นคัดกรองความเครียดแล้วพบว่ามีปัญหาความเครียดได้ดีกว่าสมการถดถอยพหุนามระดับขั้นที่ 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์จากตัวแบบอยู่ในเกณฑ์ 20–50 จัดเป็นตัวแบบมีความแม่นยำในระดับที่สามารถใช้พยากรณ์ได้ ซึ่งเป็นไปตามหลักของการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ทำนายข้อมูลในอนาคตโดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมไว้ในอดีต (Hyndman & Athanasopoulos, 2018)

การศึกษาภาวะความเครียดของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลนครขอนแก่น 450 คน โดยแบบสัมภาษณ์ประเมินเกี่ยวกับความรู้สึกและความคิดเห็นของผู้สัมภาษณ์ ในระยะ 1 เดือนที่ผ่านมา ให้ผู้ตอบเลือกตอบเพียงคำตอบเดียว คือ ระดับ บ่อยมาก บ่อย บางครั้ง เกือบไม่เคย และไม่เคย พบว่า ผู้สูงอายุมีความเครียดระดับปานกลางถึงสูงร้อยละ 31.6 (Khaweewong & Duangsong, 2020) ซึ่งต่างสัดส่วนจากการคัดกรองตามค่าจริงที่ร้อยละ 7.45 และจากตัวแบบตามสมการถดถอยพหุนามที่ร้อยละ 10.40 ถึงมากกว่า 3 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากวีธีการคัดกรองที่แตกต่างกัน

ตัวแบบ GM (1,1) EPC ทำนายค่าร้อยละผู้สูงอายุคัดกรองความเครียดมีความปัญหาความเครียดปีงบประมาณ 2567 ที่ร้อยละ 4.72 แต่ค่าจริงปีงบประมาณ 2567 (ประมวลผลวันที่ 20 เมษายน 2567) ร้อยละ 7.45 ดังนั้นประมาณการค่าร้อยละผู้มีความปัญหาความเครียดควรจะอยู่ระหว่างร้อยละ 4.72 ถึง 10.40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการดำเนินมาตรการที่ส่งผลต่อสุขภาพจิตของผู้สูงวัยตามแผนงานด้านการสาธารณสุข การเปลี่ยนแปลงของสภาพเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของจังหวัดที่ส่งผลต่อความเครียดของผู้สูงอายุด้วย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผน และดำเนินการแก้ไขปัญหาสาธารณสุขในพื้นที่ให้ได้รู้สึกผ่อนคลาย ลดภาวะเครียดในชีวิตประจำวัน เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

การทำนายค่าร้อยละผู้สูงอายุคัดกรองความเครียดมีความปัญหาความเครียดจังหวัดขอนแก่นปีงบประมาณ 2567 ใช้วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ใช้ข้อมูลในอดีตเพียงอย่างดียวมาประมาณการอนาคตที่จะเกิดขึ้น การตรวจสอบผลการค่าทำนายกับค่าจริงจะทำให้สามารถปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ได้แม่นยำขึ้น อย่างไรก็ดี ความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ยังขึ้นกับความเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม และการดำเนินมาตรการต่าง ๆ ของหน่วยงานที่รับผิดชอบในจังหวัด ซึ่งนำไปสู่การศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเครียดของผู้สูงวัยในจังหวัดนี้เพื่อการหามาตรการที่เหมาะสมในการขจัดปัญหาความเคียดของผู้สูงอายุในจังหวัดขอนแก่นต่อไป

References

Center of Reinforcement for Research, Mahidol University. (2024). *Self-assessment form whether an activity is human subject research which requires ethical approval (Eng, Thai)*. Retrieved from https://bit.ly/3UJRA1Y (in Thai)

Cheng, T., Bai, Y., Sun, X., Ji, Y., Zhang, H., & Li, X. (2022). Epidemiological analysis of varicella in Dalian from 2009 to 2019 and application of three kinds of model in prediction prevalence of varicella. *BMC Public Health, 22*(678), 1-9. https://doi.org/10.1186/s12889-022-12898-3

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and practice* (2nd ed.). Retrieved from https://otexts.com/fpp2/

Khaweewong, D., & Duangsong, R. (2020). Factors related with stress of elderly people in Khon Kaen Municipality. *KKU Journal for Public Health Research, 3*(2), 36-46. (in Thai)

Lewis, C. D. (2023). Industrial and business forecasting methods. London: Butterworths.

Lin, Y. H, Chiu, C. C., Lin, Y. J., & Lee, P. C. (2013). Rainfall prediction using innovative grey model with the dynamic index. *Journal of Marine Science and Technology, 21*(1), 63-75. https://jmstt.ntou.edu.tw/cgi/viewcontent.cgi?article=1677&context=journal

Liu, S., & Lin, Y. (2010). *Grey systems theory and application*. Verlag: Springer.

Longstreet, D. (2015). *Polynomial models explained (for the non-data scientist)*. Retrieved from https://bit.ly/4fhHg9R

Ministry of Public Health. (2524). *Standard reporting group, promote and prevent mental health problems, stress screening (ST-5) in the elderly group*. Retrieved from https://bit.ly/40MPD8C (in Thai)

Pennstate Eberly College of Science. (2018a). *STAT 462 applied regression analysis, 7.7-polynomial regression*. Retrieved from https://online.stat.psu.edu/stat462/node/158/

Pennstate Eberly College of Science. (2018b). *STAT 200 elementary statistics, 3.4.2-correlation*. Retrieved from https://online.stat.psu.edu/stat200/lesson/3/3.4/3.4.2

Seangpraw, K., Auttama, N., Kumar, R., Somrongthong, R., Tonchoy, P., & Panta, P. (2020). Stress and associated risk factors among the elderly: A cross-sectional study from rural area of Thailand. *F1000Research, 8*(655), 1-14. https://doi.org/10.12688/f1000research.17903.2

Suwannacheep, S., Rattanakorn, N., Wanichrammanee, K., Panuwattsuk, P., & Prasanthong, N. (2015). *Guidelines for psychosocial care of the elderly to prevent mental health problems* (4th ed.). Bangkok: Agricultural Cooperatives Association of Thailand Limited. (in Thai)

Tomov, L., Chervenkov, L., Miteva, D. G., Batselova, H., & Velikova, T. (2023). Applications of time series analysis in epidemiology: Literature review and our experience during COVID-19 pandemic. *World Journal of Clinical Cases, 11*(29), 6974–6983. https://doi.org/10.12998/wjcc.v11.i29.6974

Wilson, D. (2024). *The most and least stressed countries in the world*. Retrieved from https://ceoworld.biz /2024/03/26/the-most-and-least-stressed-countries-in-the-world-2024/

World Health Organization. (2023). *Stress*. Retrieved from https://bit.ly/4fGwoSt

Yang, X., Zou, J., Kong, D., & Jiang, G. (2018). The analysis of GM (1,1) grey model to predict the incidence trend of typhoid and paratyphoid fevers in Wuhan City, China. *Medicine, 97*(34), e11787. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000011787

Zhao, D., Zhang, H., Cao, Q., Wang, Z., He, S., Zhou, M., & Zhang, R. (2022). The research of ARIMA, GM (1,1), and LSTM models for prediction of TB cases in China. *PloS One, 17*(2), e0262734. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262734

การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก
Design and Development of Scrap Cutting Machine from Lamp Holder

ทศพร อัศวรังษี[1] กัลยา อุบลทิพย์[1] นิตยา ศิริวัน[2] และชินเดช เมธารมณ์[3]
Tossaporn Assawarungsri[1], Kanlaya Ubontip[1], Nittaya Siriwan[2] and Chindej Metharom[3]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
[2]ภาควิชาเทคโนโลยี วิทยาลัยพัฒนาชุมชนเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
[2]Department of Technology, Urban Community Development Collage, Navamindradhiraj University
[3]บริษัท บีทีพี อุตสาหกรรม จำกัด
[3]BTP Industries Company Limited
Received: July 1, 2024
Revised: September 19, 2024
Accepted: September 26, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก โดยสามารถลดเวลาและข้อผิดพลาดในการตัดส่วนเกินได้ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการออกแบบหลักการทำงานของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก ซึ่งมีขนาดมิติโดยรวมของเครื่องอยู่ที่ 380×585×880 มิลลิเมตร มีส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 5 ส่วน คือ ชุดกำหนดตำแหน่งชิ้นงาน ชุดปรับระยะการตัด ชุดลำเลียงเข้า ชุดการตัดด้วยระบบลม ชุดลำเลียงชิ้นงานออก ผลจากการออกแบบพบว่า เมื่อใช้เครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก ร่วมกับพนักงาน สามารถทำให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ โดยรุ่นฝาครอบสีขาว แบบ A รุ่น P008060 TTC/W ซึ่งเดิมพนักงานใช้เวลาในการตัดเฉลี่ย 12.1 วินาที/ชิ้น เมื่อพนักงานทำงานร่วมกับเครื่องใช้เวลา 1.83 วินาที/ชิ้น รุ่นฝาครอบสีขาว แบบ B รุ่น P008052 YYC/W ซึ่งเดิมพนักงานใช้เวลาในการตัด 7.9 วินาที/ชิ้น เมื่อพนักงานทำงานร่วมกับเครื่องใช้เวลา 2.33 วินาที/ชิ้น และรุ่นฝาเกลียว แบบ C รุ่นP101003 PT3/5 (PTE-E27) ซึ่งเดิมพนักงานใช้เวลาในการตัด 7.9 วินาที/ชิ้น เมื่อพนักงานทำงานร่วมกับเครื่องใช้เวลา 2.33 วินาที/ชิ้น ซึ่งสามารถตัดส่วนเกินของชิ้นงานขั้วหลอดไฟพลาสติกได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้ผิวสำเร็จชิ้นงานขั้วหลอดไฟพลาสติกได้คุณภาพ สามารถลดของเสียที่เกิดจากการปฏิบัติงาน ลดเวลาในการทำงาน ส่งผลให้เพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้น

คำสำคัญ: การออกแบบและพัฒนา เครื่องตัดเศษชิ้นงาน ขั้วหลอดไฟพลาสติก

Abstract

The main idea of the research is to design and develop scrap-cutting from the plastic injection molding process by reducing time and errors in scrap-cutting plastic. Our research team has designed the working principle of scrap cutting from the plastic injection molding process by calculating according to the mechanical motion principle. The overall dimensions of the machine are 380×585×880 mm. There are five important parts: position set, adjustment cutting distance, input set, pneumatic cutting set, and conveyor. The study's results revealed that while the scrap cutting from the plastic injection molding process was working with staff, it could increase the production capacity of 3 products by P008060 TTC/W from the previous time in cutting 12.1 seconds per piece. Then, working with the staff and machine takes 11 seconds per piece, as shown in P008052 YYC/W previous time, by cutting 7.9 seconds per piece. Then, working with staff and the machine takes 2.33 seconds per piece. P101003 PT3/5 light bulb base PTE-E27 previous time in cutting 7.9 seconds per piece. Then, working with staff and the machine takes 2.33 seconds per piece, which can precisely cut the excess part of the plastic lamp holder workpiece. As a result, the surface finish of the plastic light bulb holder is of good quality. Can reduce waste generated from operations. Reduce working time, resulting in an even greater increase in production capacity.

Keywords: design and development, scrap cutting machine, lamp holder

บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตขั้วหลอดไฟพลาสติก ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (David, 2016) เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้การฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แบบแม่พิมพ์ด้วยความดันสูง สิ่งที่ติดมากับชิ้นงานขั้วหลอดไฟพลาสติกหลังกระบวนการผลิตทุกครั้ง คือ ครีบบนตัวชิ้นงานพลาสติกที่เกิดจากช่องทางวิ่ง (runner) และรูเข้า (gate) (Peti, Lucian, Ioan & Cristian, 2010) สิ่งเหล่านี้ คือ พลาสติกส่วนเกินที่ต้องตัดออกให้หมด โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับผิวของชิ้นงาน ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานการตัดเศษพลาสติกส่วนเกินในปัจจุบัน ผู้ประกอบการจะให้พนักงานทำงานโดยใช้การบิดด้วยมือเปล่าให้ชิ้นงานขาดและหลุดออกจากพลาสติกส่วนเกินดังที่กล่าวไว้แล้ว และต้องใช้กรรไกรมือในการตัดครีบที่ยังเหลือติดอยู่กับชิ้นงานขั้วหลอดไฟพลาสติกออกให้หมด โดยพนักงานใช้เวลาในการตัดพลาสติกส่วนเกิน 47.4 วินาทีต่อการตัดขั้วหลอดไฟพลาสติก 6 ชิ้น โดยในขั้นตอนนี้พนักงานต้องใช้สายตาในการเล็งตำแหน่งเพื่อจะตัดส่วนเกินออกให้หมด และต้องเพิ่มความระมัดระวังไม่ให้คมตัดของกรรไกรกินเนื้อชิ้นงาน เนื่องจากในแต่ละวันมีปริมาณการผลิตชิ้นงานขั้วหลอดไฟพลาสติกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้พนักงานมีความเมื่อยล้าจากการปฏิบัติงานแบบเดิมนั้นมีโอกาสทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้ประกอบการจึงมีความต้องการเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกที่สามารถตัดครีบพลาสติกส่วนเกินออกได้อย่างแม่นยำ ผิวชิ้นงานเรียบสวยงามไม่เสียหาย ส่งผลให้สามารถลดปริมาณของเสียและลดเวลาในการทำงานของพนักงานลงได้

การดำเนินการวิจัย

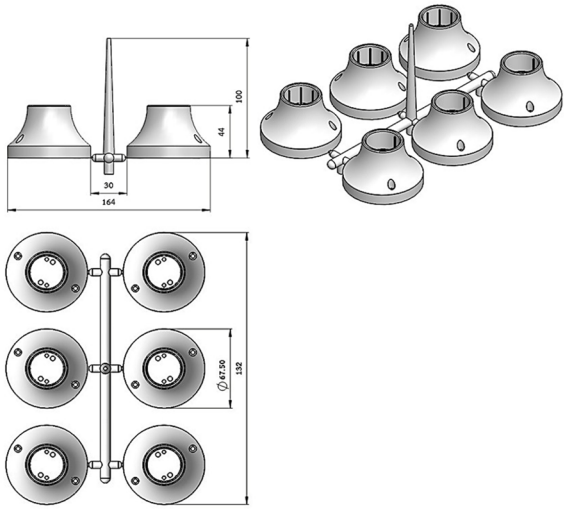
งานวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการ มีรายละเอียด ดังนี้

1. ศึกษาความต้องการและลักษณะจำเพาะในการออกแบบ

1.1 ศึกษารูปร่างและขนาดของฝาครอบสีขาว 2 ผลิตภัณฑ์ และฝาเกลียว 1 ผลิตภัณฑ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์แบบ A ฝาครอบสีขาว รุ่น P008060 TTC/W จำนวน 6 คาวิตี้ (Cavity) ดังภาพ 1

2) ผลิตภัณฑ์แบบ B ฝาครอบสีขาว รุ่น P008052 YYC/W จำนวน 2 คาวิตี้ (Cavity) ดังภาพ 2



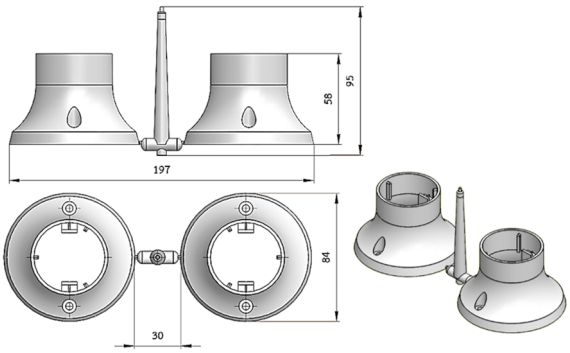
ภาพ 1 รายละเอียดของ ผลิตภัณฑ์แบบ A

3) ผลิตภัณฑ์แบบ C ฝาเกลียว รุ่น P101003 PT3/5 (PTE-E27) จำนวน 2 คาวิตี้ (Cavity) ดังภาพ 3

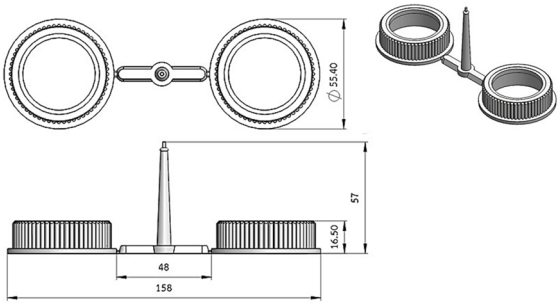
เบ้าหรือคาวิตี้ (Cavity) หมายถึง แม่พิมพ์ตัวเมียที่ทำให้เกิดเป็นรูปร่างภายนอกของชิ้นงาน

2. คุณลักษณะสำคัญของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผู้วิจัยพิจารณาและกำหนดกรอบคุณลักษณะที่เป็นส่วนหนึ่งของเครื่อง เพื่อใช้สำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก โดยสรุปไว้ในตาราง 1 สิ่งใดต้องมีและสิ่งใดที่ควรจะมี ดังต่อไปนี้



ภาพ 2 รายละเอียดของ ผลิตภัณฑ์แบบ B



ภาพ 3 รายละเอียดของ ผลิตภัณฑ์แบบ C

ตาราง 1

คุณลักษณะสำคัญของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ลำดับ	การกำหนดคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบ	ความจำเป็น	
	คุณลักษณะ	สิ่งที่ต้องมี	สิ่งที่ควรมี
1. หน้าที่	- ตัดส่วนเกินของชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก	✓	
2. คุณสมบัติของเครื่อง	- การออกแบบและเลือกใช้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ต้องเหมาะสมและหาซื้อได้ง่าย	✓	
	- มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	✓	
	- มีความคงทน แข็งแรง	✓	
	- สามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย	✓	
	- เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม		✓
3. กระบวนการทำงาน	- ปฏิบัติงานได้ง่าย ไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อน	✓	
4. ต้นกำลัง	- ต้องเหมาะสมกับลักษณะภาระที่เกิดขึ้น	✓	
	- พื้นที่ในการติดตั้งเหมาะสม	✓	
5. ขนาดของเครื่อง	- มีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูงไม่เกิน 380×585×880 มิลลิเมตร	✓	

3. การเลือกใช้ระบบและส่วนประกอบของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

การสร้างเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกได้นำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีมาพิจารณาในการออกแบบและสร้างเครื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่นำมาใช้งาน โดยการออกแบบอย่างเป็นระบบ (systematic design) (Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote, 2007) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบหรือกลไกที่สำคัญรวมไปถึงกำหนดรูปร่างของส่วนประกอบและเลือกใช้วัสดุสำหรับผลิตส่วนประกอบเพื่อใช้ในการออกแบบ (Johari et al., 2011) ซึ่งเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ชุด คือ

1) ชุดกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน
2) ชุดปรับระยะการตัด
3) ชุดลำเลียงเข้า
4) ชุดการตัดด้วยระบบลม
5) ชุดลำเลียงออก

หลังจากที่ได้ศึกษาข้อมูลและได้กำหนดคุณลักษณะสำคัญของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกแล้ว ได้พิจารณาเพื่อเลือกส่วนประกอบสำคัญ ดังตาราง 2 ตาราง 3 และตาราง 4

3.1 ชุดกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน เป็นระบบกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน เพื่อให้มีความเที่ยงตรง และสามารถนำชิ้นงานใหม่มาใส่แทนชิ้นงานเก่า แล้วตำแหน่งของชิ้นงานที่ใส่ไปใหม่ยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง และความละเอียดถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งก็เป็นส่วนสำคัญ จึงได้มีแนวคิดในการเลือกใช้ระบบกำหนดตำแหน่งไว้ 3 แบบ ดังนี้

1) กำหนดตำแหน่งชิ้นงานโดยใช้พิน และลดระยะของการวางชิ้นงานด้วยปอกสวมเมื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์

2) จุดรองรับและจุดกำหนดตำแหน่งแยกส่วนกัน

3) ใช้พินกำหนดตำแหน่ง 3 ผลิตภัณฑ์ต่อชุด โดยทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้งาน ดังตาราง 2

จากตาราง 2 แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบกำหนดตำแหน่งในแบบต่าง ๆ ผลจากการเปรียบเทียบได้เลือกใช้ระบบกำหนดตำแหน่งในรูปแบบที่ 1 คือ เพราะผลิตได้ง่าย มีความเที่ยงตรง สามารถถอด

เปลี่ยนได้ง่าย และเหมาะสมกับชิ้นงานได้ดีที่สุด จึงเลือกนำมาออกแบบระบบกำหนดตำแหน่ง

3.2 ชุดปรับระยะการตัด เป็นระบบปรับระยะก่อนเข้าสู่ระบบการตัด เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่แตกต่างกัน เพื่อความแม่นยำในการตัดแต่ละผลิตภัณฑ์ให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด จึงได้มีแนวคิดในการเลือกใช้ระบบปรับระยะไว้ 3 แบบ ดังนี้

1) อ้างอิงตำแหน่งการตัดโดยใช้สล็อต และล็อกตำแหน่งโดยใช้สกรู

2) ปรับระยะใช้อุปกรณ์เกลียวหมุนกำหนดระยะการตัด โดยใช้ตัวกำหนดตำแหน่งกำหนดระยะ

3) ใช้สกรูล็อกกำหนดระยะการตัดโดยใช้ตัวกำหนดตำแหน่งกำหนดระยะ

โดยทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้งาน ดังตาราง 3

จากตาราง 3 แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบปรับระยะในแบบต่าง ๆ ผลจากการเปรียบเทียบได้เลือกใช้ระบบปรับระยะในรูปแบบที่ 1 คือ ปรับระยะโดยใช้อุปกรณ์มือหมุนล็อกกำหนดระยะการตัดโดยใช้ตัวกำหนดตำแหน่งกำหนดระยะ เนื่องจากผลิตง่าย ซ่อมบำรุงง่าย และกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน กลไกในลักษณะนี้จึงเหมาะสมที่สุด จึงเลือกนำมาออกแบบระบบปรับระยะในชุดปรับระยะการตัดต่อไป

3.3 ชุดการตัดด้วยระบบลม เป็นระบบการตัดหลังจากกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานและปรับระยะการตัด จากนั้นนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตัด เพื่อตัดส่วนชิ้นงานออกจากทางเดินน้ำพลาสติก จึงได้มีแนวคิดในการเลือกใช้ระบบการตัดไว้ 3 แบบ ดังนี้

1) ตัดโดยกรรไกรด้วยระบบลม

2) ตัดโดยใบมีดตรงด้วยระบบลม

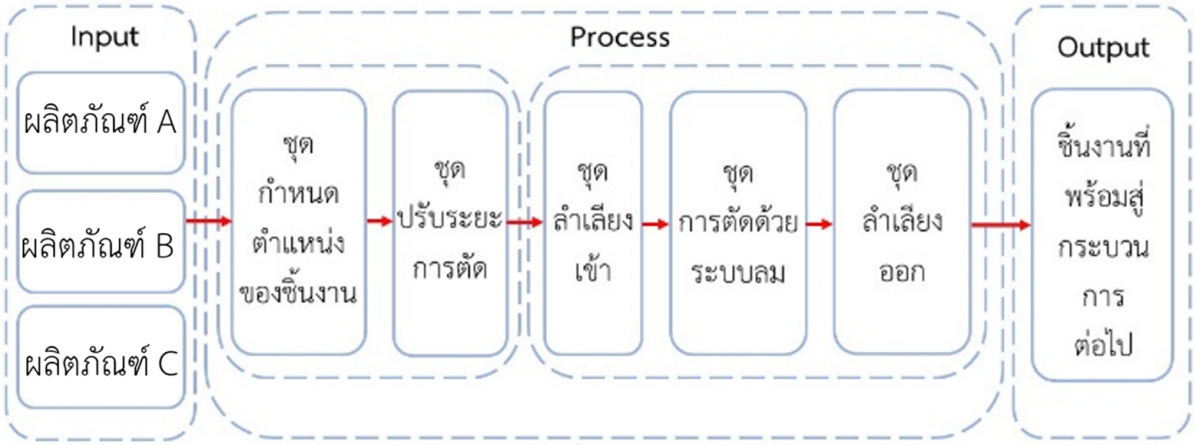
3) ตัดโดยใบมีดตรงด้วยระบบลมโดยใบมีดติดอยู่กับชุดกำหนดตำแหน่ง

โดยทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้งาน ดังตาราง 4

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ระบบตัดในแบบต่าง ๆ ผลจากการเปรียบเทียบได้เลือกใช้รูปแบบที่ 1 คือ ตัดโดยกรรไกรด้วยระบบลม เพราะการตัดโดยระบบลมใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่า และยังผลิตง่าย รวมถึงการซ่อมบำรุงที่ไม่ยุ่งยาก กลไกในลักษณะนี้จึงเหมาะสมที่สุด จึงเลือกนำมาออกแบบระบบการตัดในชุดการตัดต่อไป

เนื่องจากชิ้นงานมีส่วนเกินจากกระบวนการฉีดเป็นลักษณะโค้ง ชุดปรับระยะอุปกรณ์คมตัด และตัวกำหนดตำแหน่งในลักษณะที่เลือกจึงมีความเหมาะสม โดยสามารถปรับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์คมตัด และตัวกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน ซึ่งมีการกำหนดระยะห่างที่เหมาะสมอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ดังภาพ 5 เพื่อให้คมตัดสัมผัสกับส่วนที่ลึกที่สุดของส่วนเกินของชิ้นงาน และสามารถตัดส่วนเกินของชิ้นงานได้เกลี้ยงเกลา

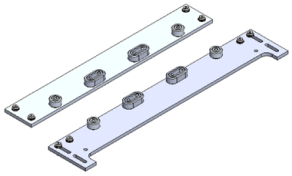
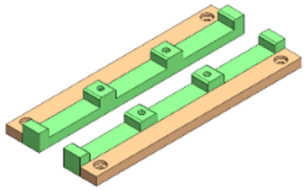
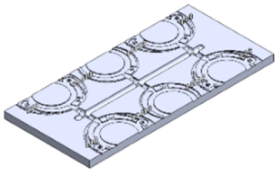
โดยสามารถสรุปรูปแบบที่เลือกใช้ในการสร้างต้นแบบได้ ดังภาพ 6



ภาพ 4 แสดงระบบการทำงานของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

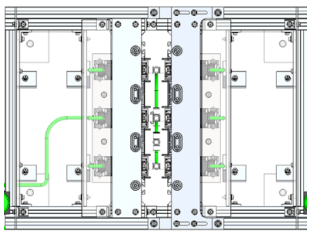
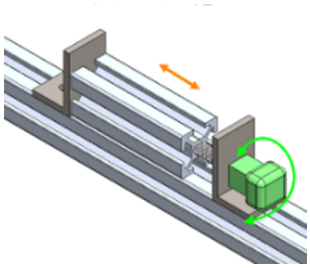
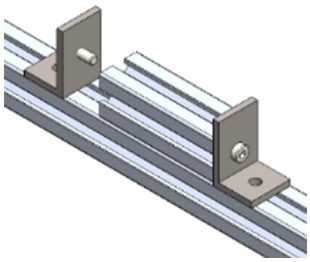
ตาราง 2

แสดงการเปรียบเทียบชุดกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน

รูปแบบที่	ชุดกำหนดตำแหน่ง	ข้อเปรียบเทียบ							
		สามารถกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานได้	ผิวสัมผัสกับชิ้นงานมาก	มีความเที่ยงตรงสูง	ผลิตได้ง่าย	ถอดเปลี่ยนได้ง่าย	ไม่ต้องเปลี่ยนตามชิ้นงาน	ง่ายต่อการซ่อมบำรุง	ใช้งานได้อย่างปลอดภัย
1	กำหนดตำแหน่งชิ้นงานโดยใช้พิน และลดระยะของการวางชิ้นงานด้วยปลอกสวมเมื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ 	✓	✓	✓		✓		✓	✓
2	จุดรองรับและจุดกำหนดตำแหน่งแยกส่วนกัน 	✓			✓			✓	✓
3	ใช้พินกำหนดตำแหน่ง 3 ผลิตภัณฑ์ต่อชุด 	✓				✓	✓	✓	✓

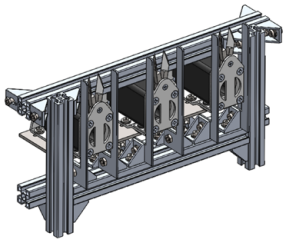
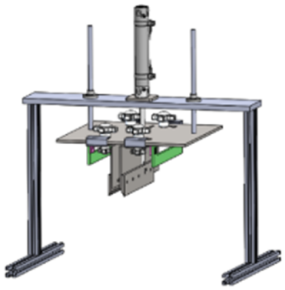
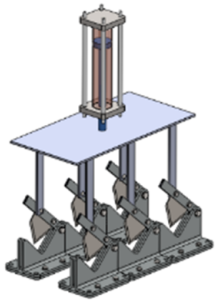
ตาราง 3

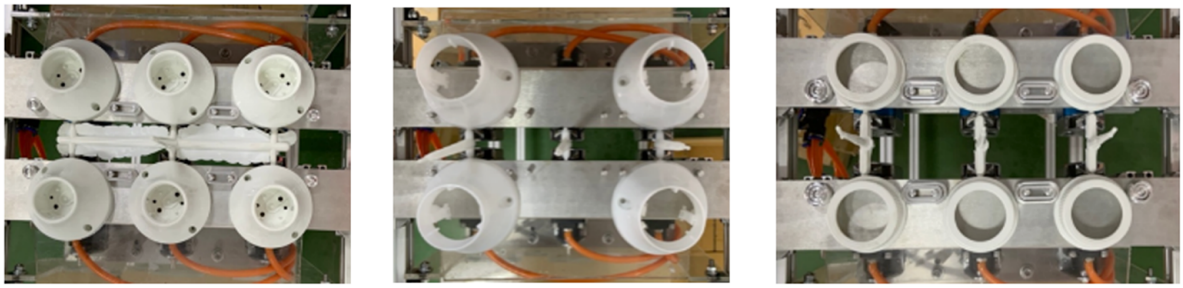
แสดงการเปรียบเทียบชุดปรับระยะการตัด

รูปแบบที่	ชุดปรับระยะการตัด	ข้อเปรียบเทียบ							
		สามารถกำหนดตำแหน่งของการตัดได้	มีความมั่นคงแข็งแรง	มีความเที่ยงตรง	ชิ้นส่วนประกอบน้อย	อุปกรณ์หาซื้อได้ง่าย	ใช้งานง่าย	ง่ายต่อการซ่อมบำรุง	ใช้งานได้อย่างปลอดภัย
1	อ้างอิงตำแหน่งการตัดโดยใช้สล็อต และล็อกตำแหน่งโดยใช้สกรู 	✓	✓	✓		✓		✓	✓
2	ปรับระยะใช้อุปกรณ์เกลียวหมุนกำหนดระยะการตัดโดยใช้ตัวกำหนดตำแหน่งกำหนดระยะ 	✓			✓	✓	✓		✓
3	ใช้สกรูล็อกกำหนดระยะการตัดโดยใช้ตัวกำหนดตำแหน่งกำหนดระยะ 	✓		✓	✓	✓	✓	✓	

ตาราง 4

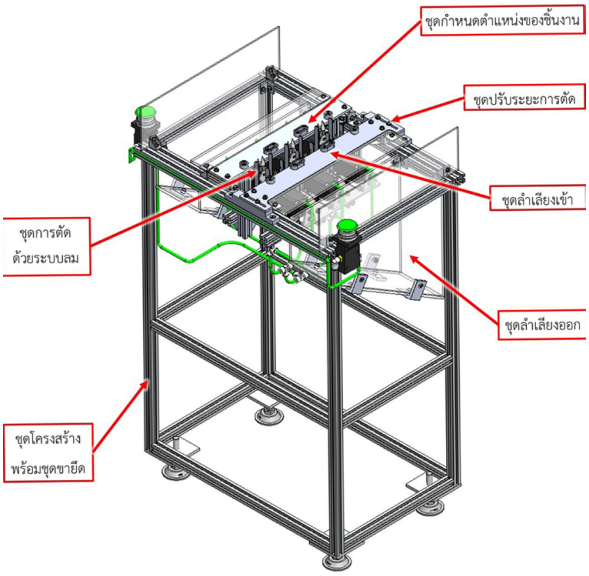
แสดงการเปรียบเทียบชุดการตัดด้วยระบบลม

รูปแบบที่	ชุดการตัดด้วยระบบลม	ข้อเปรียบเทียบ							
		ติดตั้งง่าย	กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน	มีความเที่ยงตรง	มีความมั่นคงแข็งแรง	อุปกรณ์หาซื้อได้ง่าย	ชิ้นส่วนน้อย	ง่ายต่อการซ่อมบำรุง	ใช้งานได้อย่างปลอดภัย
1	ตัดโดยกรรไกรด้วยระบบลม 	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	ตัดโดยใบมีดตรงด้วยระบบลม 				✓	✓		✓	
3	ตัดโดยใบมีดตรง ด้วยระบบลม โดยใบมีดติดอยู่กับชุดกำหนดตำแหน่ง 			✓	✓			✓	



(a) (b) (c)

ภาพ 5 แสดงระยะห่างระหว่างอุปกรณ์คมตัด และตัวกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน



ภาพ 6 รายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญในเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

การออกแบบและกำหนดรายละเอียดของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

1. คำนวณเพื่อการออกแบบทางวิศวกรรม

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกแล้ว จึงทำการคำนวณเพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปใช้งานจริง โดยมีการคำนวณ

1.1 การคำนวณชุดการตัด

คำนวณหาความต้านทานแรงตัดสูงสุด เพื่อหาแรงที่นำมาใช้ในการตัดชิ้นงานออกจากช่องทางวิ่ง (runner) และรูเข้า (gate) ของ 3 ผลิตภัณฑ์ โดยแต่ละผลิตภัณฑ์มีวัสดุเป็นพลาสติกชนิด PP และ ABS แตกต่างกันไปซึ่งมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

1.1.1 วัสดุพลาสติกชนิด PP ประกอบด้วย 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A และ แบบ B โดย PP มีค่าความเค้นดึงสูงสุด=37 N/mm^2

1.1.2 วัสดุพลาสติกชนิด ABS ประกอบด้วย 1 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ C โดย ABS ค่าความเค้นดึงสูงสุด ABS=56 N/mm^2

หาความต้านแรงตัดสูงสุดของ (Sornnil & Wattanasriyakul, 2015)

จากสูตร $$\tau_{aB\,max} = 0.8 \times R_{m\,max} \qquad (1)$$

เมื่อ $\tau_{aB\,max}$ = ความต้านแรงตัดสูงสุด (N/mm^2)

$R_{m\,max}$ = ความต้านแรงสูงสุด (σ_{max})

∴ ความต้านแรงตัดสูงสุด ($\tau_{aB\,max}$) ของ PP มีค่าเท่ากับ 29.6 N/mm^2

∴ ความต้านแรงตัดสูงสุด ($\tau_{aB\,max}$) ของ ABS มีค่าเท่ากับ 44.8 N/mm^2

1.2 การหาค่าแรงตัด

นำความต้านแรงตัดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มาคำนวณหาแรงที่ใช้ตัดที่มากที่สุด แสดงแผนภาพอิสระ

ของการหาค่าแรงตัดของแต่ละแบบ ดังภาพ 7 ภาพ 8 และภาพ 9

จากสูตร $F = S \times \tau_{aB\ max}$ (2)

เมื่อ F = แรงตัด (N)

S = พื้นที่ตัด (mm^2)

$\tau_{aB\ max}$ = ความต้านแรงตัดสูงสุด (N/mm^2) หาค่าแรงตัด (Sornnil & Wattanasriyakul, 2015)

1.2.1 แบบ A พื้นที่หน้าตัด 4 mm^2

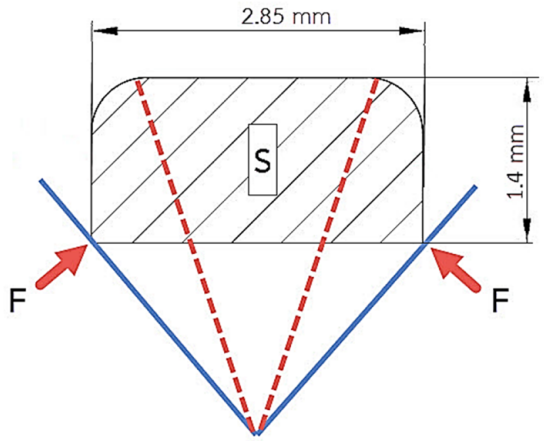
∴ F = 118.4 N หรือ 0.1184 kN

1.2.2 แบบ B พื้นที่หน้าตัด 3.5 mm^2

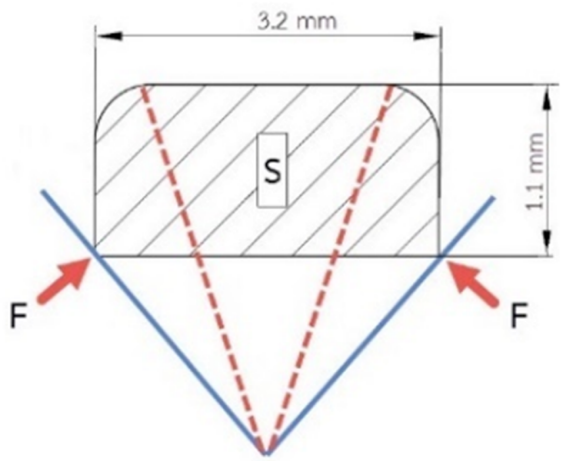
∴ F = 103.6 N หรือ 0.1036 kN

1.2.3 แบบ C พื้นที่หน้าตัด 3 mm^2

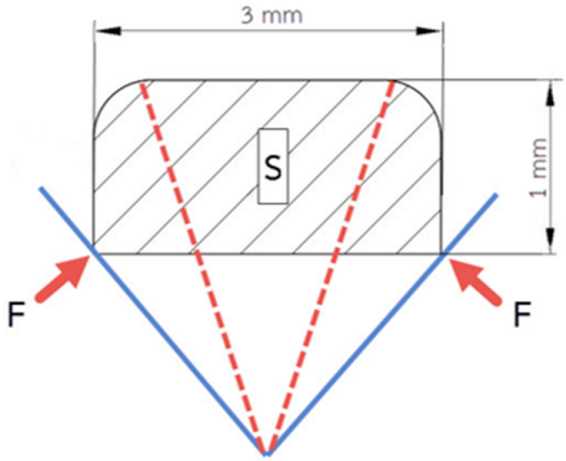
∴ F = 134.4 N หรือ 0.1344 kN



ภาพ 7 แสดงแผนภาพอิสระของการหาค่าแรงตัดของแบบ A



ภาพ 8 แสดงแผนภาพอิสระของการหาค่าแรงตัดของแบบ B



ภาพ 9 แสดงแผนภาพอิสระของการหาค่าแรงตัดของแบบ C

ดังนั้น แรงตัดสูงสุดของ 3 ผลิตภัณฑ์ที่คำนวณข้างต้น พบว่าแรงสูงสุดอยู่ที่ฝาเกลียว แบบ C ซึ่งมีค่าเท่ากับ “134.4 N ที่อยู่ในลักษณะแรงอัดจากนั้นนำค่าแรงตัดสูงสุดไปหาเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ โดยเมื่อนำค่าที่คำนวณได้ เทียบกับ ค่าจากตารางของอุปกรณ์ชิ้นส่วนมาตรฐานยี่ห้อ VESSEL ชุดกรรไกรลม รุ่น NY-15

2. การประเมินสมรรถนะแบบทางเลือก

จากการออกแบบเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก สามารถคำนวณและวิเคราะห์ผลได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกทำการวิเคราะห์โดย Computer-Aided Design--CAD และ Computer Aided เทคโนโลยีทางวิศวกรรม (CAE) โดยได้พิจารณาคุณสมบัติหลายอย่างทั้งการเลือกใช้วัสดุ ค่าความแข็ง (Sookramoon, Bunchoowit, Permchart, Suetrong & Kingthong, 2023) อิงตามวิธี Finite Element Analysis

(Vijayakumar et al., 2020) เพื่อปัจจัยด้านความปลอดภัยเพิ่มขึ้น (Manee-ngam, Saisirirat & Suwankan, 2017) มาทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบเพื่อประเมินเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกจะสามารถทำงานได้จริงหรือไม่ โดยมีจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

2.1 การนำผลที่ได้จากการคำนวณแรงตัดมาทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังภาพ 10 และสรุปผลการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงาน ดังตาราง 5

2.2 วิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของชุดโครงสร้าง (FEA)

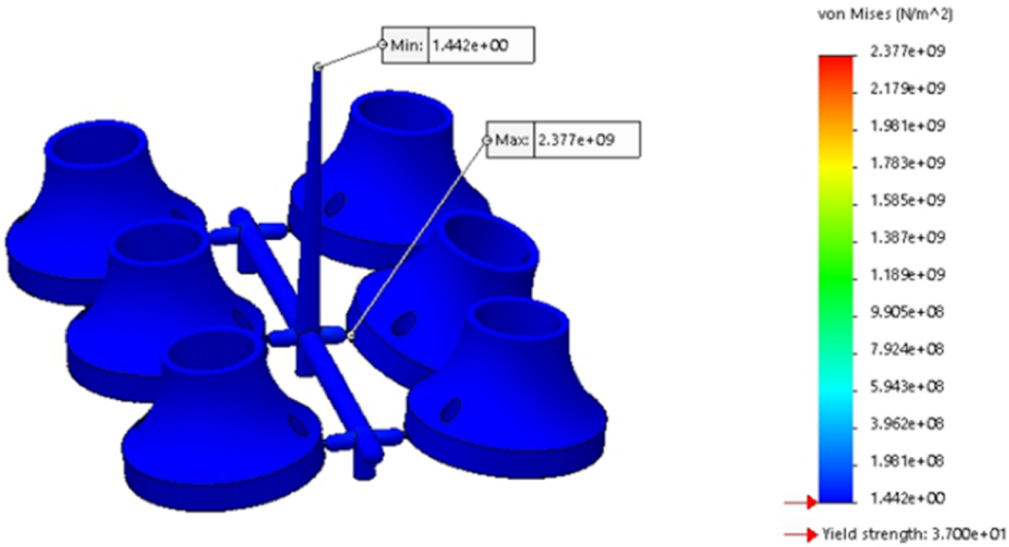
หลังจากที่ได้ดำเนินการออกแบบเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์โดยนำโครงสร้างเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกที่ได้ออกแบบไว้เพื่อให้แน่ใจว่าชุดโครงสร้างจะสามารถรับน้ำหนักของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกได้โดยไม่เกิดความเสียหาย จึงมีการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง 4 ค่า ดังภาพ 11 และสรุปผลการวิเคราะห์ในตาราง 6

2.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น (stress)

2.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเครียด (strain)

2.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการเสียรูป (deformation)

2.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (safety factor)

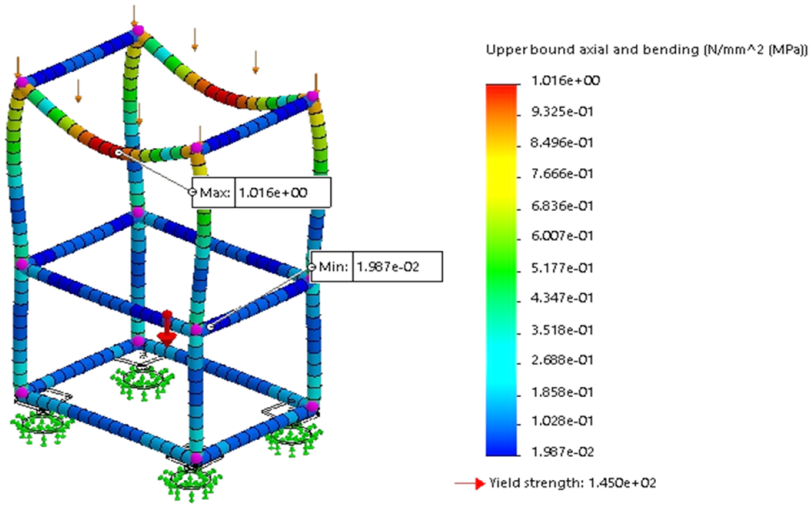


ภาพ 10 แสดงผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ แบบ A

ตาราง 5

สรุปผลการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงาน

ชิ้นงาน	ค่าความเค้น (N/mm^2)		ค่า Yield Strength (N/mm^2)
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
ผลิตภัณฑ์แบบ A	1.816×10^9	3.415	3.700×10^1
ผลิตภัณฑ์แบบ B	2.377×10^9	1.442	3.700×10^1
ผลิตภัณฑ์แบบ C	2.390×10^9	8.507×10^1	5.600×10^1

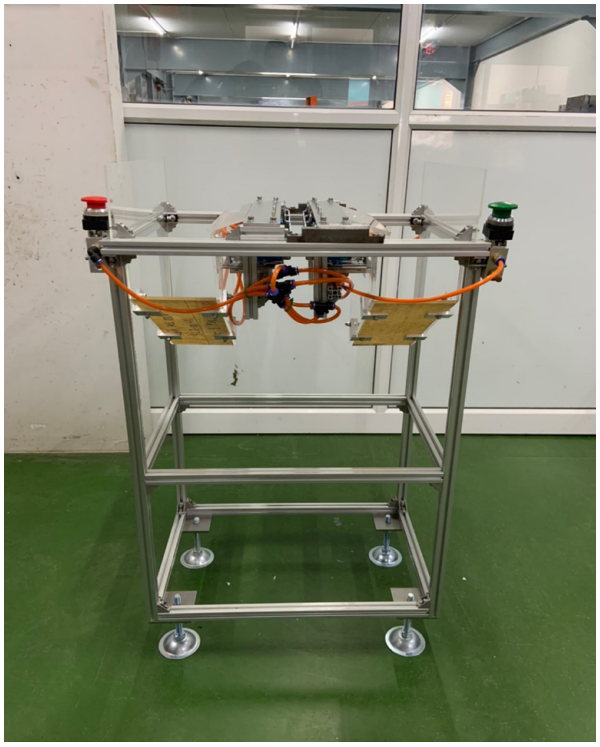


ภาพ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้น (stress) ของชุดโครงสร้าง

ตาราง 6

สรุปผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ของชุดโครงสร้าง

องค์ประกอบ	ค่าความเค้น (N/mm^2)		ค่าความเครียด (mm/mm)		ค่าการเสียรูป (mm)		ค่าความปลอดภัย
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าต่ำสุด
ชุดโครงสร้าง	1.016	1.987×10^{-2}	1.250×10^{-5}	0	1.525×10^{-2}	1×10^{-30}	81



ภาพ 12 เครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

3. การทดสอบ

3.1 ผลการวิเคราะห์การปฏิบัติงานของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

3.1.1 เวลาในการปฏิบัติงานของชุดการตัด

ชุดการตัด มีระบบการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการทำงาน 5 ระบบ คือ (1) ชุดกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน (2) ชุดปรับระยะการตัด (3) ชุดลำเลียงเข้า (4) ชุดการตัดด้วยระบบลม และ (5) ชุดลำเลียงออก โดยหลังจากเปิดเครื่องให้ทำงาน

3.1.2 ผลจากการวิเคราะห์กิจกรรมโดยใช้แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ

ผู้วิจัยนำแผนภูมิกิจกรรมพหุคูณมาใช้เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก ร่วมกับพนักงานจำนวน 1 คน ซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อดูเวลาว่างงานของพนักงานและเวลาว่างงานของเครื่องที่พัฒนาขึ้น ตาราง 7 ตาราง 8 และตาราง 9 และสรุปเวลาทั้งหมดที่ใช้ไปในตาราง 10 ตาราง 11 และตาราง 12

ตาราง 7

แผนภูมิคน-เครื่องจักร ของผลิตภัณฑ์ แบบ A

Man Machine Chart			
ชื่อผลิตภัณฑ์		**ผลิตภัณฑ์ แบบ A**	
พนักงาน (จำนวน 1 คน)	**เวลา (วินาที)**	**เครื่องตัดส่วนเกินของชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก**	**เวลา (วินาที)**
1. เรียงชิ้นจำนวน 1 ชุด เข้าระบบตัด	7	กำลังถูกป้อนชิ้นงาน	7
2. เคลื่อนที่มือเพื่อกดปุ่มเริ่มการทำงานของกรรไกรลม	2	รอการกดปุ่มเพื่อสั่งเริ่มการทำงาน	2
3. ลำเลียงชิ้นงานที่ตกค้างออก	2	เริ่มการตัดชิ้นงานด้วยกรรไกรลมแล้วลำเลียงชิ้นงานออก	2

ตาราง 8

สรุปการวิเคราะห์กิจกรรมร่วมของคน-เครื่องจักร ของผลิตภัณฑ์ แบบ A

	พนักงาน (1 คน)	**เครื่องจักร**
เวลาทำงาน	2	2
เวลาว่าง	0	9
เวลาอิสระ	9	0
เวลาทั้งหมด	11	2
%เวลาการทำงาน	100%	18.18%

ตาราง 9

แผนภูมิคน-เครื่องจักร ของผลิตภัณฑ์ แบบ B

Man Machine Chart			
ชื่อผลิตภัณฑ์		**ผลิตภัณฑ์ แบบ A**	
พนักงาน (จำนวน 1 คน)	**เวลา (วินาที)**	**เครื่องตัดส่วนเกินของชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก**	**เวลา (วินาที)**
1. เรียงชิ้นงานจำนวน 2 ชุดเข้าระบบตัด	10	กำลังถูกป้อนชิ้นงาน	10
2. เคลื่อนที่มือเพื่อกดปุ่มเริ่มการทำงานของกรรไกรลม	2	รอการกดปุ่มเพื่อสั่งเริ่มการทำงาน	2
3. ลำเลียงชิ้นงานที่ตกค้างออก	2	เริ่มการตัดชิ้นงานด้วยกรรไกรลมแล้วลำเลียงชิ้นงานออก	2

ตาราง 10

สรุปการวิเคราะห์กิจกรรมร่วมของคน-เครื่องจักร ของผลิตภัณฑ์แบบ B

	พนักงาน (1 คน)	**เครื่องจักร**
เวลาทำงาน	2	2
เวลาว่าง	0	12
เวลาอิสระ	12	0
เวลาทั้งหมด	14	2
%เวลาการทำงาน	100%	14.28%

ตาราง 11

แผนภูมิคน-เครื่องจักร ของผลิตภัณฑ์ แบบ C

Man Machine Chart			
ชื่อผลิตภัณฑ์		**ผลิตภัณฑ์ แบบ A**	
พนักงาน (จำนวน 1 คน)	**เวลา (วินาที)**	**เครื่องตัดส่วนเกินของชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก**	**เวลา (วินาที)**
1. เรียงชิ้นงานจำนวน 3 ชุด เข้าระบบตัด	10	กำลังถูกป้อนชิ้นงาน	10
2. เคลื่อนที่มือเพื่อกดปุ่มเริ่มการทำงานของกรรไกรลม	2	รอการกดปุ่มเพื่อสั่งเริ่มการทำงาน	2
3. ลำเลียงชิ้นงานที่ตกค้างออก	2	เริ่มการตัดชิ้นงานด้วยกรรไกรลมแล้วลำเลียงชิ้นงานออก	2

ตาราง 12

สรุปการวิเคราะห์กิจกรรมร่วมของคน-เครื่องจักร ของผลิตภัณฑ์แบบ C

	พนักงาน (1 คน)	**เครื่องจักร**
เวลาทำงาน	2	2
เวลาว่าง	0	12
เวลาอิสระ	12	0
เวลาทั้งหมด	14	2
%เวลาการทำงาน	100%	14.28%

จากตาราง 10 ตาราง 11 และตาราง 12 พบว่า คนใช้เวลาทำงานคิดเป็นร้อยละ 100 และเครื่องจักรทำงานร้อยละ 18.18 14.28 และ 14.28 ตามลำดับ

3.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

หลังจากการศึกษาวิธีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังจากการตัดส่วนเกินของชิ้นงาน มีการตรวจสอบชิ้นงานด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่

3.2.1 การตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์

3.2.2 การตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

3.2.1 ผลการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการผ่านกระบวนการทำงานของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

หลังจากชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการตัดชิ้นงานออกจากช่องทางวิ่ง (runner) และรูเข้า (gate) ด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติกแล้ว ได้นำชิ้นงานส่งให้เจ้าหน้าที่ฝ่าย QC เพื่อทำการตรวจสอบในลักษณะของรอยตัดของชิ้นงาน ประกอบไปด้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A แบบ B และ แบบ C แสดงดังตาราง 13 ตาราง 14 และตาราง 15

จากตาราง 13 ตาราง 14 และตาราง 15 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์ 5 ครั้ง จากทั้งหมด 100 ครั้ง ของการบันทึกข้อมูลที่เจ้าหน้าที่ฝ่าย QC ได้ทำการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก โดยสรุปได้ว่าทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A แบบ B และ แบบ C ชิ้นงานที่ประเมินทุกชิ้น ผ่านการประเมินทุกชิ้น คิดเป็นร้อยละ 100

3.2.2 ผลการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการผ่านกระบวนการทำงานของเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก หลังจากชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการตัด และผ่านการตรวจสอบรอยตัดของชิ้นงานแล้ว ได้นำชิ้นงานส่งให้เจ้าหน้าที่ฝ่าย QC ซึ่งทำการสุ่มชั่งน้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งความละเอียดสูงที่ผ่านการสอบเทียบเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน 17025 (Thai Industrial Standards Institute (TISI) 17025, 2021) จำนวน 100 ชิ้น/1 ผลิตภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบน้ำหนักของชิ้นงาน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มากที่สุดอยู่ที่ 1 % ประกอบไปด้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A แบบ B และ แบบ C ดังภาพ 13 และข้อมูลการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก แต่ละผลิตภัณฑ์ดังตาราง 16 ตาราง 17 และตาราง 18 แสดงตัวอย่างชิ้นงานตรวจสอบผลิตภัณฑ์ละ 10 ชิ้น จากทั้งหมด 100 ชิ้น

ตาราง 13

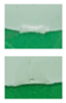
ตารางบันทึกการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์แบบ A

ตารางบันทึกข้อมูลการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ : แบบ A
จำนวน : 6 Cavity
วัสดุ : PP

ชิ้นงานต้นฉบับ :

ตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องตัดออก :



1. ชิ้นงานที่ตัดส่วนเกินออกไม่หมด
2. ชิ้นงานที่มีรอยที่ผิวงานจากคมตัด

ชิ้นที่ \ คาวิตี้	1	2	3	4	5	6
	QC	QC	QC	QC	QC	QC
1						
2						
3						
4						
5						

ตาราง 14

ตารางบันทึกการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์แบบ B

ตารางบันทึกข้อมูลการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ : แบบ B
จำนวน : 2 Cavity
วัสดุ : PP

ชิ้นงานต้นฉบับ :

ชิ้นงานที่เกิดการผิดพลาด :

1. ชิ้นงานที่ตัดส่วนเกินออกไม่หมด
2. ชิ้นงานที่มีรอยที่ผิวงานจากคมตัด

ชิ้นที่ \ คาวิตี้	1	2
	QC	QC
1		
2		
3		
4		
5		

ตาราง 15

ตารางบันทึกการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์แบบ C

ตารางบันทึกข้อมูลการตรวจสอบรอยตัดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ : แบบ C
จำนวน : 2 Cavity
วัสดุ : ABS

ชิ้นงานต้นฉบับ :

ชิ้นงานที่เกิดการผิดพลาด :

1. ชิ้นงานที่ตัดส่วนเกินออกไม่หมด
2. ชิ้นงานที่มีรอยที่ผิวงานจากคมตัด

ชิ้นที่ \ คาวิตี้	1	2
	QC	QC
1		
2		
3		
4		
5		

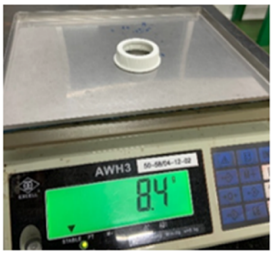
ตาราง 16

ตารางบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แบบ A

ตารางบันทึกข้อมูลการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ :	จำนวน :	วัสดุ :	น้ำหนักอ้างอิง :
แบบ A	6 Cavity	ABS	24.1 g/Cavity

ชิ้นที่	น้ำหนัก (gram)	% ความคลาดเคลื่อน (%)	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	24.1	0.0000	✓	
2	24.0	0.4098	✓	
3	24.0	0.4098	✓	
4	24.0	0.4098	✓	
5	24.0	0.4098	✓	
6	24.0	0.4098	✓	
7	24.2	0.4098	✓	
8	24.0	0.4098	✓	
9	24.0	0.4098	✓	
10	24.0	0.4098	✓	



(a) (b) (b)

ภาพ 13 แสดงน้ำหนักที่ชั่งจากชิ้นงานอ้างอิงของ 3 ผลิตภัณฑ์

ตาราง 17

ตารางบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แบบ B

ตารางบันทึกข้อมูลการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ :	**จำนวน :**	**วัสดุ :**	**น้ำหนักอ้างอิง :**	
แบบ B	2 Cavity	PP	23.2 g/Cavity	
ชิ้นที่	น้ำหนัก (gram)	% ความคลาดเคลื่อน (%)	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	23.20	0.0000	✓	
2	23.20	0.0000	✓	
3	23.20	0.0000	✓	
4	23.20	0.0000	✓	
5	23.20	0.0000	✓	
6	23.20	0.0000	✓	
7	23.20	0.0000	✓	
8	23.40	0.8197	✓	
9	23.20	0.0000	✓	
10	23.30	0.4098	✓	

ตาราง 18

ตารางบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แบบ C

ตารางบันทึกข้อมูลการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ผลิตภัณฑ์ :	**จำนวน :**	**วัสดุ :**	**น้ำหนักอ้างอิง :**	
แบบ C	2 Cavity	ABS	8.4 g/Cavity	
ชิ้นที่	น้ำหนัก (gram)	% ความคลาดเคลื่อน (%)	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	8.5	0.4098	✓	
2	8.4	0.0000	✓	
3	8.6	0.8197	✓	
4	8.5	0.4098	✓	
5	8.5	0.4098	✓	
6	8.5	0.4098	✓	
7	8.4	0.0000	✓	
8	8.5	0.4098	✓	
9	8.4	0.0000	✓	
10	8.4	0.0000	✓	

หลังจากชิ้นงานได้ผ่านการชั่งน้ำหนักของชิ้นงานโดยเจ้าหน้าที่ฝ่าย QC ซึ่งทำการสุ่มชั่งน้ำหนักของชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้น ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A แบบ B และแบบ C พบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.40 0.29 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดที่ยอมรับได้

สรุปผล

1. ผลจากการปฏิบัติงาน เวลาในการทำงานเมื่อใช้เครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก ร่วมกับพนักงาน

เปรียบเทียบกับเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานเดิมพบว่า เครื่องตัดส่วนเกินของชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้น ดังนี้

1.1 ผลิตภัณฑ์แบบ A เวลาปฏิบัติงานเดิมของพนักงานเป็นเวลา 12.1 วินาที/ชิ้น เริ่มการทำงานโดยเรียงชิ้นงานเข้าสู่ชุดการตัดและจะตัดชิ้นงานครบทุกชิ้นเมื่อเวลา 9 วินาที จากนั้นชิ้นงานจะถูกลำเลียงออกสู่ภาชนะ ทำให้เวลาในการปฏิบัติงานของเครื่องเป็น 1.83 วินาที/ชิ้น

1.2 ผลิตภัณฑ์แบบ B เวลาปฏิบัติงานเดิมของพนักงานเป็นเวลา 7.9 วินาที/ ชิ้น เริ่มการทำงานโดยเรียงชิ้นงานเข้าสู่ชุดการตัดและจะตัดชิ้นงานครบทุกชิ้นเมื่อเวลา 12 วินาที จากนั้นชิ้นงานจะถูกลำเลียงออกสู่ภาชนะ ทำให้เวลาในการปฏิบัติงานของเครื่องเป็น 2.3 วินาที/ ชิ้น

1.3 ผลิตภัณฑ์แบบ C เวลาปฏิบัติงานเดิมของพนักงานเป็นเวลา 7.9 วินาที/ ชิ้น เริ่มการทำงานโดยเรียงชิ้นงานเข้าสู่ชุดการตัดและจะตัดชิ้นงานครบทุกชิ้นเมื่อเวลา 12 วินาที จากนั้นชิ้นงานจะถูกลำเลียงออกสู่ภาชนะ ทำให้เวลาในการปฏิบัติงานของเครื่องเป็น 2.33 วินาที/ ชิ้น

2. สรุปการบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

ซึ่งสุ่มชั่งน้ำหนักของแต่ละผลิตภัณฑ์จำนวน 100 ชิ้น โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 1 ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A แบบ B และแบบ C พบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.40 0.29 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดที่ยอมรับได้

3. สรุปผลด้านรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก

โดยสรุปได้ว่าทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แบบ A แบบ B และ แบบ C ชิ้นงานที่ประเมินทุกชิ้น ผ่านการประเมินทุกชิ้น คิดเป็นร้อยละ 100

กิตติกรรมประกาศ

จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก ได้จดอนุสิทธิบัตร ชื่อการประดิษฐ์เครื่องตัดเศษชิ้นงานสำหรับขั้วหลอดไฟพลาสติก วันที่ออกสิทธิบัตร 05/04/2564 เลขที่สิทธิบัตร 19470 และขอขอบคุณ บริษัท บีทีพี อุตสาหกรรม จำกัด เป็นอย่างสูง ในความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อการดำเนินงานวิจัย

References

David, O. K. (2016). *Injection mold design engineering* (2nd ed.). Munich: Carl Hanser Verlag.

Johari, J., Abd Wahab, D., Sahari, J., Abdullah, S., Ramli, R., Mohd Yassin, R., & Muhamad, N. (2011). Systematic infusion of creativity in engineering design courses. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 18*, 255–259. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.036

Manee-ngam, A., Saisirirat, P., & Suwankan, P. (2017). Hook design loading by the optimization method with weighted factors rating method. *Energy Procedia, 138*, 337–342. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.132

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering design a systematic approach* (3rd ed.). London: Springer-Verlag London Limited.

Peti, P., Lucian, G., Ioan, S., & Cristian, C. (2010). Studies concerning the design of the runner, gate and venting systems in the case of the high pressure die casting technology. *Fascicle of Management and Technological Engineering, 9*(19), 3,178-3,183. doi:10.15660/AUOFMTE.2010-2.1926

Sookramoon, K., Bunchoowit, S., Permchart, W., Suetrong, C., & Kingthong, S. (2023). Finite element investigation on chassis design for agricultural vehicle. *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University, 11*(1), 94-106 (in Thai)

Sornnil, B., & Wattanasriyakul, S. (2015). *Tabellenbuch metal Leadership* (2nd ed.). Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok Publishing. (in Thai)

Thai Industrial Standards Institute (TISI) 17025. (2021). *Community standards for instant stevia powder 1521.* Bangkok: Thai Industrial Standards Institute (TISI). (in Thai)

Vijayakumar, M. D., Ramesh Kannan, C., Manivannan, S., Vairamuthu, J., Tilahun, S., & Bupathi Ram, P. M. (2020). Finite element analysis of automotive truck chassis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 988*(1), 012114. doi:10.1088/1757-899X/988/1/012114

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
เลขที่ 200 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ : 0-2577-1028 ต่อ 377, 378 โทรสาร : 0-2577-1053
www.eau.ac.th E-mail: eau_heritage@eau.ac.th
http://eauheritage.eau.ac.th/