

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

พงศกร ขวัญทอง¹ พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์¹ และเพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์¹
Phongsakorn Khwanthong¹, Patpimol Suwankan¹ and Penyarat Saisirirat¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹Department 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 ในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูสัน โดยการออกแบบรูสันเพื่อแก้ไขปัญหาเป็นลักษณะทรงกระบอกกลางขนาด 8 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร แต่การแก้ไขปัญหานั้นไม่เป็นผลสำเร็จ ทางผู้วิจัยจึงได้นำซอฟต์แวร์ Cast Designer มาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของความร้อนภายในชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูสัน โดยใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมผสม A110 โดยใช้โปรแกรมจะคำนวณและแสดงผลการกระจายของความร้อนในรูปแบบจำลองสามมิติ เพื่อระบุได้ว่าบริเวณใดของชิ้นงานมีการสะสมความร้อนสูงที่สุด โดยจากการวิจัยพบว่า การออกแบบรูสันในตำแหน่งที่มีการสะสมของความร้อนสูงที่สุดจะช่วยลดปริมาณการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานลงได้เหลือเพียง 0.16 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

คำสำคัญ: งานหล่อทราย จำลองพฤติกรรมความร้อน โพรงหดตัว รูสัน

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 ความพรุนประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อโลหะที่แข็งตัวไม่สามารถป้องกันการหดตัวที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะเปลี่ยนจากของเหลวเป็นสถานะของแข็ง ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การก่อตัวของช่องว่างหรือรูพรุนภายในการหล่อ สาเหตุหลักของความพรุนของการหดตัว คือ การหดตัวของการแข็งตัวที่เกิดขึ้นในบริเวณที่โลหะผสมเหล็กแข็งตัว เหล็กเหลวจะหดตัวประมาณ 3-5% เมื่อเปลี่ยนเป็นของแข็ง จำเป็นต้องมีการป้องกันวัสดุหลอมที่มีประสิทธิภาพเพื่อชดเชยการหดตัวนี้ (Nawaz Mahomed, 2021) การหดตัวมีสามขั้นตอน คือการหดตัวของของเหลว โลหะเหลวหดตัวเมื่อเย็นลงก่อนที่จะเริ่มแข็งตัว การหดตัวของของเหลว-ของแข็ง ในช่วงโซนอ่อนซึ่งมีทั้งเฟสของแข็งและของเหลวอยู่ การลดปริมาตรจะเกิดขึ้นทำให้เกิดการหดตัว การหดตัวแบบแข็ง โลหะแข็งยังคงหดตัวต่อไปเมื่อเย็นตัวลง ซึ่งนำไปสู่การหดตัวแบบลวดลาย พฤติกรรมการหดตัวมีความสำคัญเนื่องจากสามารถไปสู่ข้อบกพร่อง (Anna Gowsalya & E. Afshan, 2021) การวิจัยล่าสุดได้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสาเหตุและแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาทั่วไปนี้ ข้อบกพร่องในการหดตัวมีสองประเภทหลักการหดตัวของของเหลวเมื่อเหล็กหลอมเหลวเย็นลงจากอุณหภูมิการเทไปจนถึงอุณหภูมิการแข็งตัว การหดตัวของของเหลว

จึงเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราการเย็นตัว การปฏิบัติในการฉีดวัคซีน และปริมาณโลหะผสม ส่งผลต่อโหมดการแข็งตัว การควบคุมขนาดเกรนเกรนอสเทนไนต์ที่มีขนาดเล็กจะช่วยลดปัญหาการแยกตัวของเนื้อวัสดุและการหดตัวให้เหลือน้อยที่สุด (Alagarsamy & Kumar, 2021) หนึ่งในงานวิจัยที่ศึกษามีการทำนายหาข้อบกพร่องในการหดตัวในการหล่อโลหะ โดยกล่าวถึงข้อจำกัดในเกณฑ์ที่มีอยู่ เช่น Pellini และ Niyama การศึกษาทบทวนเกณฑ์เหล่านี้และเน้นย้ำถึงข้อเสียที่เกี่ยวข้องกับขนาดและรูปร่างของการหล่อ โดยให้เหตุผลทางทฤษฎีสำหรับเกณฑ์ Niyama และนำเสนอเกณฑ์ใหม่ที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของส่วนต่อประสานการแข็งตัวเฉพาะที่ การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีใช้กฎการแข็งตัวของ Chvorinov (Tavakoli, 2014)

สำหรับในภาคอุตสาหกรรมเองนั้นก็มีกรวิจัยเกี่ยวกับการเกิดโพรงหดตัวเช่นกัน โดยวิศวกรที่โรงหล่อการผลิตยานยนต์กำลังดิ้นรนกับอัตราของเสียที่สูงเนื่องจากข้อบกพร่องที่มีรูพรุนจากการหดตัวในท่อร่วมไอดีอะลูมิเนียมอัลลอยด์ การขัดจังหวะการผลิตเพื่อแก้ไขปัญหานี้ไม่ใช่วิธีทางเลือก ดังนั้นทีมงานจึงหันมาใช้ในการจำลองเชิงตัวเลขและการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหล่อแม่พิมพ์ถาวรแบบเสมือนจริง นักวิจัยสร้างแบบจำลองกระบวนการที่มีอยู่เป็นครั้งแรก

แรกโดยใช้ซอฟต์แวร์จำลองการหล่อ เทคนิคดังกล่าวช่วยให้วิศวกรสามารถลดข้อบกพร่องและของเสียได้โดยไม่รบกวนการผลิต การทดลองเสมือนจริงและ DOE ทางสถิติช่วยให้สามารถปรับปรุงกระบวนการหล่อทางอุตสาหกรรมได้จริง (Gunasegaram, 2008) เดิมทีโรงหล่อใช้การทดลองและข้อผิดพลาดในการออกแบบระบบบ่อนเพื่อจัดหาโลหะหลอมเหลวเพิ่มเติม แต่นี้ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เป็นทางเลือกที่ดีกว่า นักวิจัยจากอินเดียสร้างแบบจำลองการหล่ออลูมิเนียมอัลลอยด์ LM6 โดยใช้ซอฟต์แวร์ AutoCAST-X เป้าหมายของพวกเขา คือ 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 เพื่อวิเคราะห์การหล่อข้อบกพร่องระบายความร้อนด้วยอากาศและการเติมแม่พิมพ์ด้วยโลหะหลอมเหลว การกระจายอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การแข็งตัว และสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่คาดการณ์ไว้และปริมาณความพรุนของการหดตัว ผลการจำลองประสบความสำเร็จแสดงให้เห็นเปอร์เซ็นต์ความพรุน 2.69% ที่กระจุกตัวอยู่รอบ ๆ รูด้านใน ซึ่งตรงกับข้อบกพร่องในการหล่อจริง เวลาในการแข็งตัว

ถูกคาดการณ์ไว้ที่ 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, Kietbus & Gryc, 2018)

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังที่จะศึกษาผลความร้อนต่อการหดตัวของโลหะ และดูพฤติกรรมของความร้อนที่อาจจะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องต่อชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรม Cast Designer ในการจำลองหาจุดสะสมของชิ้นงานหล่อ และวิธีการแก้ปัญหาผ่านการทดลองปรับแต่งส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องอย่างรู้ลึ้น โดยการหาดำขนาดและตำแหน่งการวางที่เหมาะสมโดยใช้การสะสมความร้อนเป็นตัวแปร ซึ่งในที่สุดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความเชื่อถือของโลหะที่ถูกหล่อในหลาย ๆ อุตสาหกรรม การลดการสูญเสียวัสดุและการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพ งานหล่อในอุตสาหกรรม และยังยืนยันความสำคัญของซอฟต์แวร์จำลองว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญและทรงพลังในงานอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันนั่นเอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีผลต่องานหล่อในเรื่องของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของความร้อนโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์จำลองสถานการณ์ การหดตัวและการพฤติกรรมของความร้อนในชิ้นงานทดสอบ

2. เพื่อลดข้อบกพร่องของการหดตัวที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน

สมมติฐานงานวิจัย

การสะสมของความร้อนใน การออกแบบรูปล้น และวางตำแหน่งไม่เหมาะสมเป็นที่มาของการเกิดโพรงหดตัวในชิ้นงานหล่อ

วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมอุณหภูมิของโลหะเหลวในแม่พิมพ์เหล็กกล้า ไร้สนิมจากกระบวนการหล่อทราย (sand casting) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น โดยใช้ผลลัพธ์และวิธีการที่จากงานวิจัยเรื่องการออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย (Watthanabupa, 2020) การออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จึงได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปัญหาดั้งเดิมและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัว

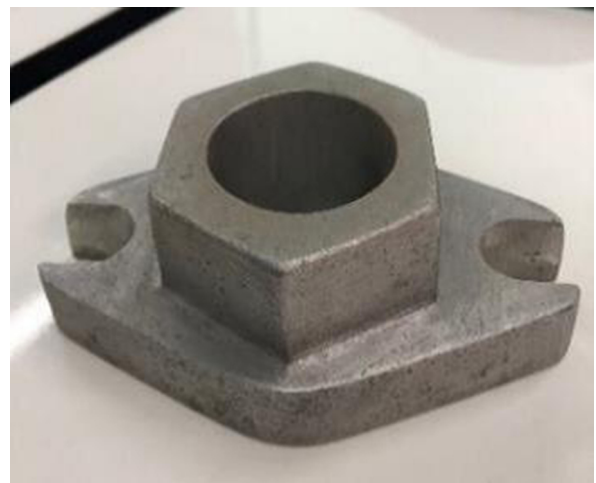
2. ศึกษาวิธีการการแก้ไขปัญหาดั้งเดิมของงานเรื่องการออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย ในการแก้ไขปัญหการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ของชิ้นงาน

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

4. ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหและสรุปผล

ศึกษาปัญหาดั้งเดิมของชิ้นงาน

เริ่มต้นศึกษาปัญหาดั้งเดิมและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น สำหรับการพิจารณาและวิเคราะห์ผลการจำลองของชิ้นงานโดยภาพ 1 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ทำการศึกษาวิจัย สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จะกำหนดไว้ดังตาราง 1 และขนาดของชิ้นงานแสดงไว้ในภาพ 2

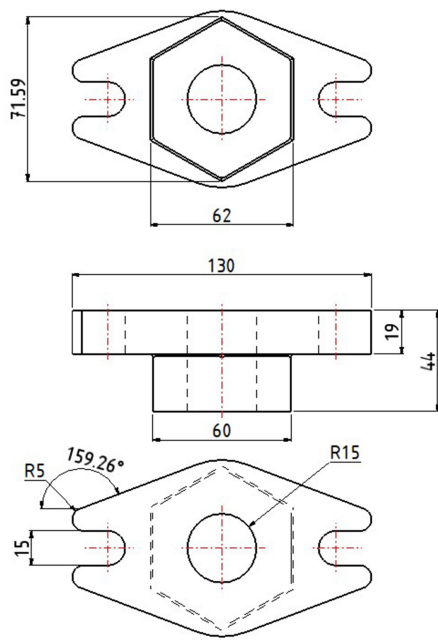


ภาพ 1 ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น

ตาราง 1

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการหล่อ

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



ภาพ 2 แสดงขนาดของชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น

ต่อไปจะเป็นขั้นตอนของการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นของชิ้นงาน โดยจะตรวจสอบด้วยการผ่าชิ้นงานเพื่อดูลักษณะของการยุบตัว จากนั้นตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast Designer เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

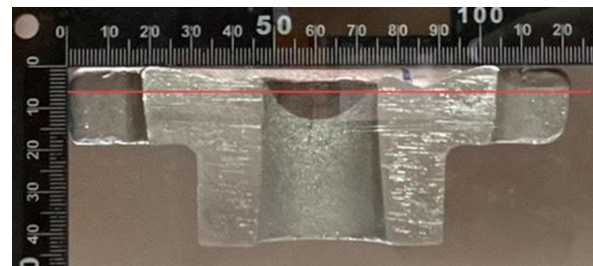
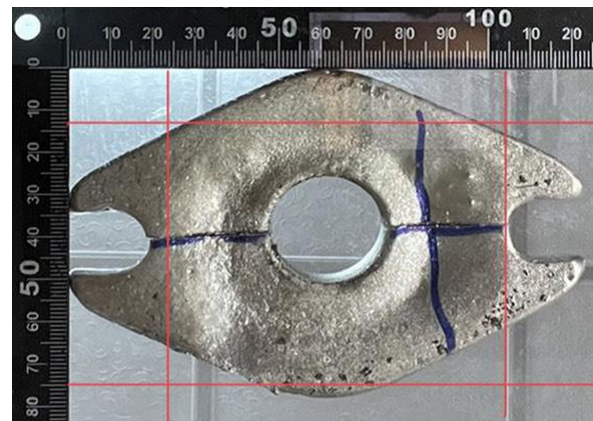
1. ตรวจสอบปัญหาของชิ้นงาน

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

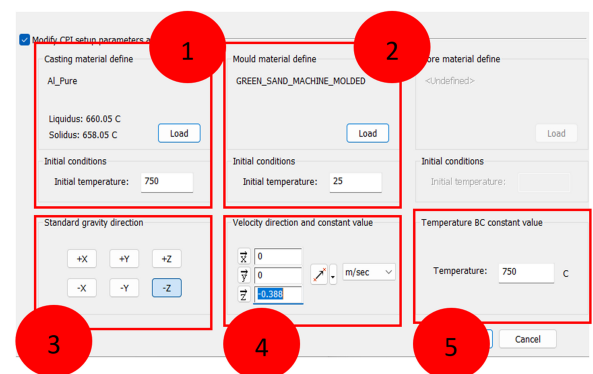
2. การตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast Designer

หลังจากพบปัญหาในการหล่อจากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและการผ่าชิ้นงานพบว่า เกิดการหดตัวที่บริเวณ

กึ่งกลางที่มีเนื้อหนา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าพารามิเตอร์ในตาราง 1 กำหนดลงในโปรแกรม การตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast Designer โดยใช้คำสั่ง CPI ของโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ ดังภาพ 4



ภาพ 3 แสดงลักษณะการหดตัวของชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามมีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น



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

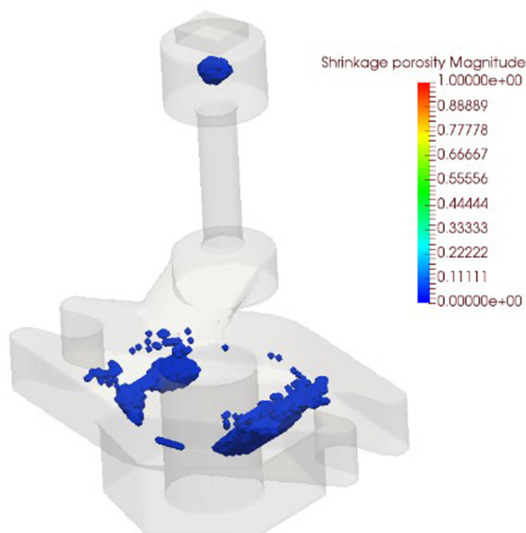
ผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) เราสามารถที่จะตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การเกิดโพรงหดตัวได้ด้วยโปรแกรม Cast designer จะพบว่า มีการเกิดโพรงในหดตัวในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันกับภาพแสดงการผ่าชิ้นงานหล่อจริง ดังภาพ 5 พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ของการเกิดโพรงหดตัว 2.74 %

ต่อไป ผู้วิจัยจะทำการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาดังเดิมของชิ้นงานนี้ เพื่อจะศึกษาผลลัพธ์ของการออกแบบแก้ไข และนำวิเคราะห์หาวิธีและแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไป

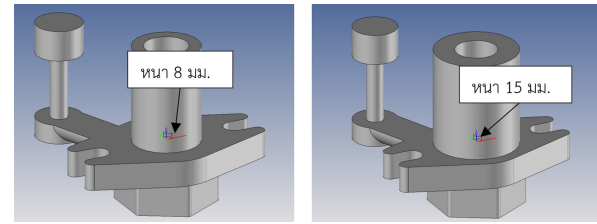
ศึกษาแนวทางการแก้ไขดั้งเดิม

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

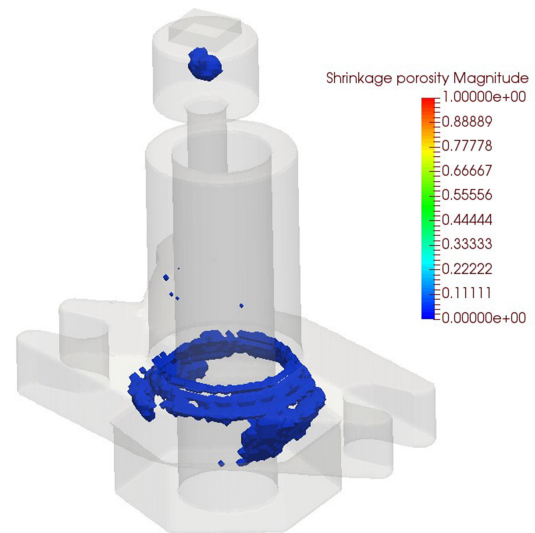
จากผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร จะพบว่า มีการเกิดโพรงหดตัว 2.68 % และ 2.13 % ดังภาพ 7 และภาพ 8 ตามลำดับ



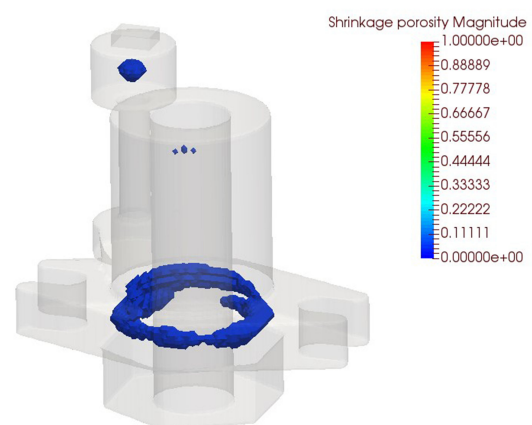
ภาพ 5 แสดงลักษณะการเกิดโพรงหดตัวที่ชิ้นงาน



ภาพ 6 แสดงชิ้นงานทั้งสองรูปแบบ



ภาพ 7 ภาพจำลองการเกิด Shrinkage Porosity ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร



ภาพ 8 ภาพจำลองการเกิดโพรงหดตัวชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 15 มิลลิเมตร

ดังนั้นจึงสรุปผล ได้ว่าผลของการจำลองชิ้นงาน แนวทางการแก้ไขปัญหาดังเดิม โดยรูปแบบการแก้ไขดังเดิมมี 2 รูปแบบ คือ (1) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียว หน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ (2) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียว หน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากยังพบโพรงหดตัวอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน ดังนั้น ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ปัญหาของการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงาน เพื่อแก้ไขปัญหการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานนี้ให้ลุล่วง

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) ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น (2) ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร และ (3) ชิ้นงานหล่อทรายชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ทางผู้วิจัยจะวิเคราะห์เปรียบเทียบผลด้วยเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (fill time) เวลาในการแข็งตัว

ของโลหะ (solidification time) และเวลาสิ้นสุดการแข็งตัว ซึ่งสถานะทั้งสามที่เป็นสถานะที่มีผลต่อการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) (Anna Gowsalya & E. Afshan, 2021) และจำลองผลของอุณหภูมิของชิ้นงาน (temperature) มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องงานหล่อทราย

การจำลองพฤติกรรมชิ้นงานหล่อ

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

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

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

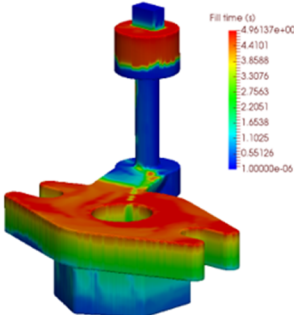
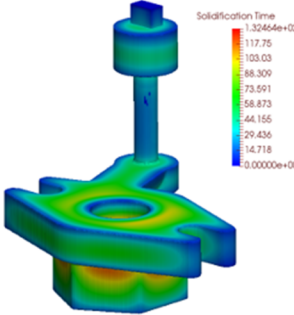
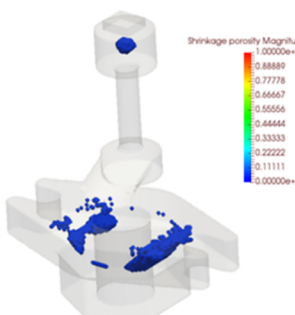
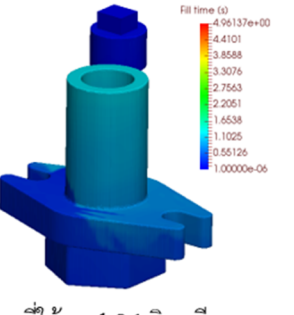
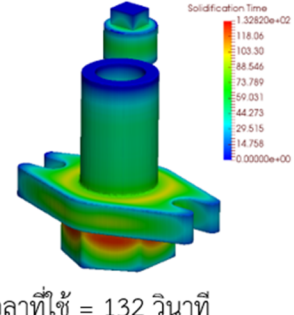
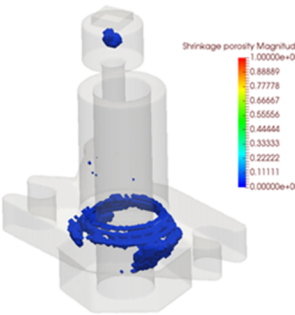
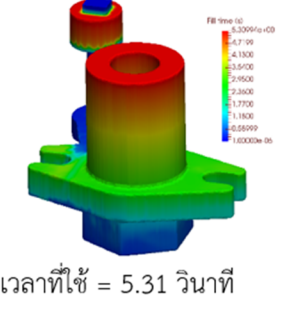
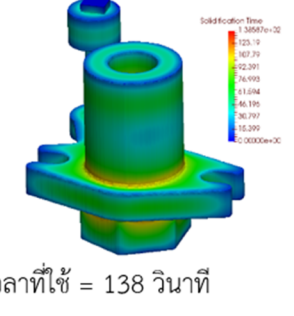
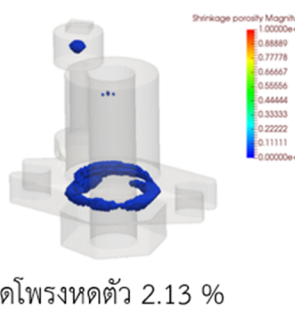
3.2 ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น ดังภาพ 9 และภาพ 10 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 4

3.3 ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร ดังภาพ 11 และภาพ 12 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 5

3.4 ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ดังภาพ 13 และภาพ 14 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 6

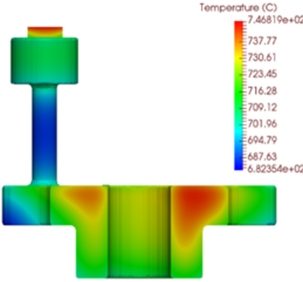
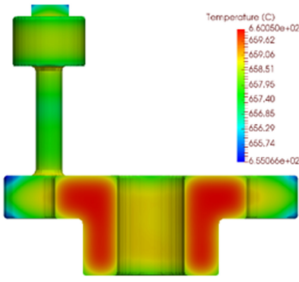
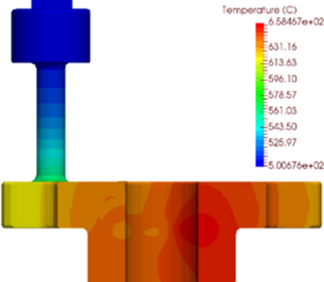
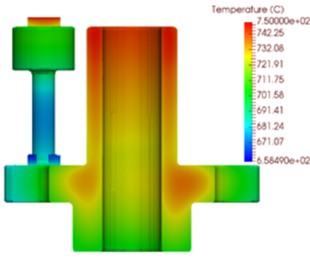
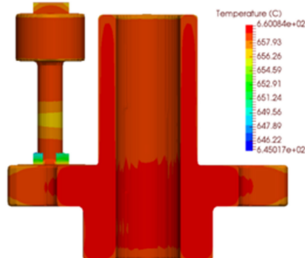
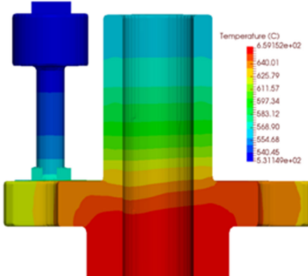
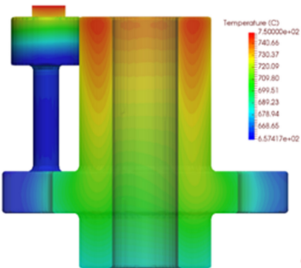
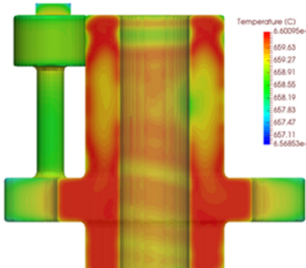
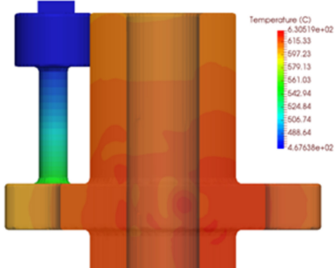
ตาราง 2

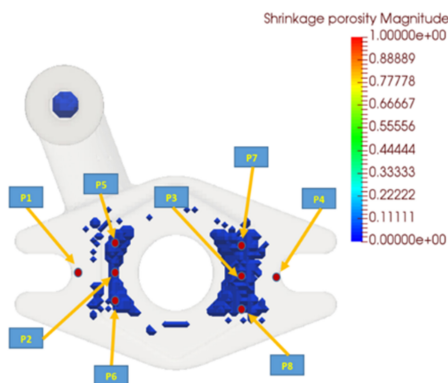
แสดงผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time) การจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time) ทั้งสามชิ้นงาน และโพรงหดตัว (shrinkage porosity)

ชื่อชิ้นงาน/ การจำลอง	การจำลองเวลาใน การเติมเต็มโลหะเหลว (fill time)	การจำลองเวลาใน การแข็งตัวของชิ้นงาน (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 %

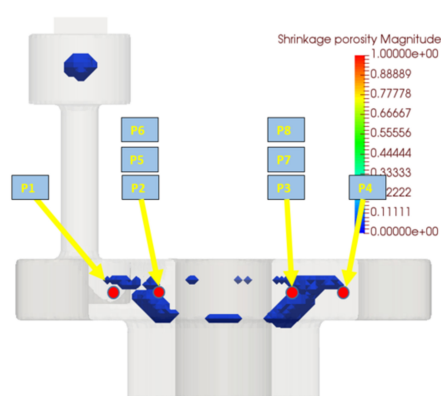
ตาราง 3

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

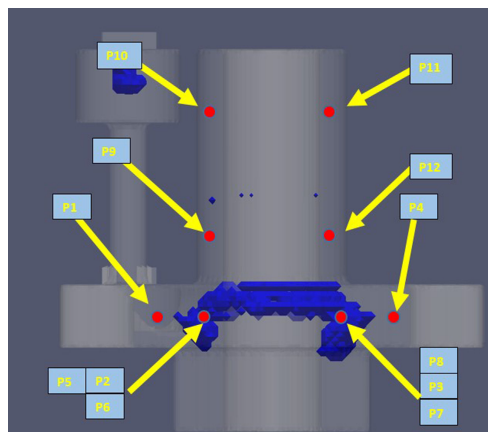


ภาพ 10 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 และ P8

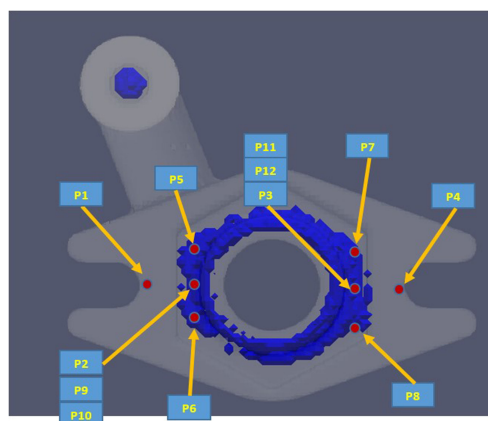
ตาราง 4

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว
ชิ้นงานหล่อกระสวยขึ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น

จุด	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				ตำแหน่งบน ชิ้นงาน
	อุณหภูมิสิ้นสุด การเทน้ำโลหะ (4.96)	อุณหภูมิเริ่มต้น การแข็งตัว (67.03s)	อุณหภูมิสิ้นสุด การแข็งตัว (143.87s)	การเกิดโพรง หดตัว	
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

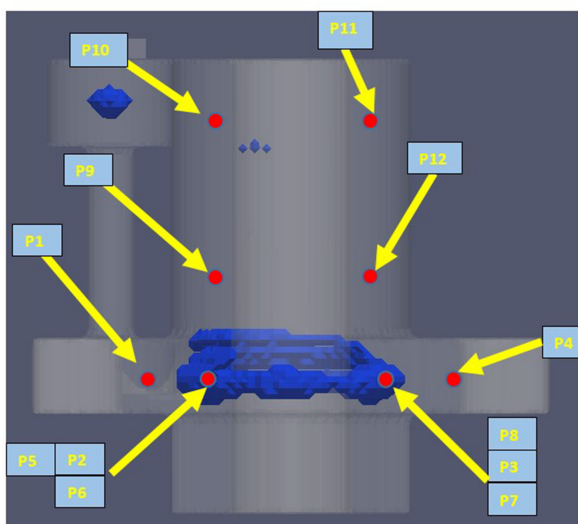


ภาพ 12 แสดงตำแหน่งจุด P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 และ P12

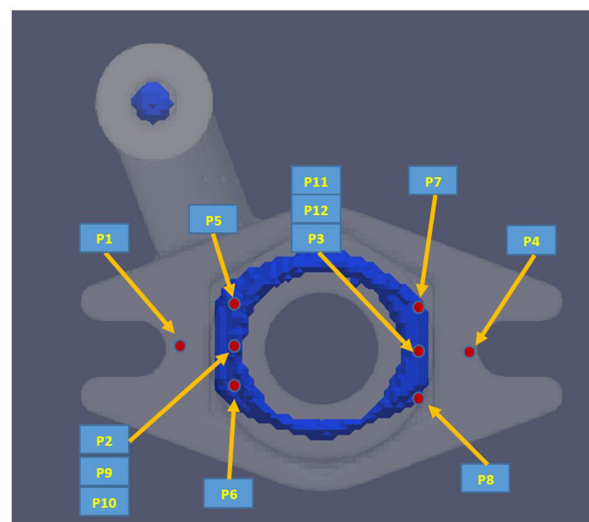
ตาราง 5

เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ เวลา อุณหภูมิสิ้นสุดการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว และ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 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
ชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร

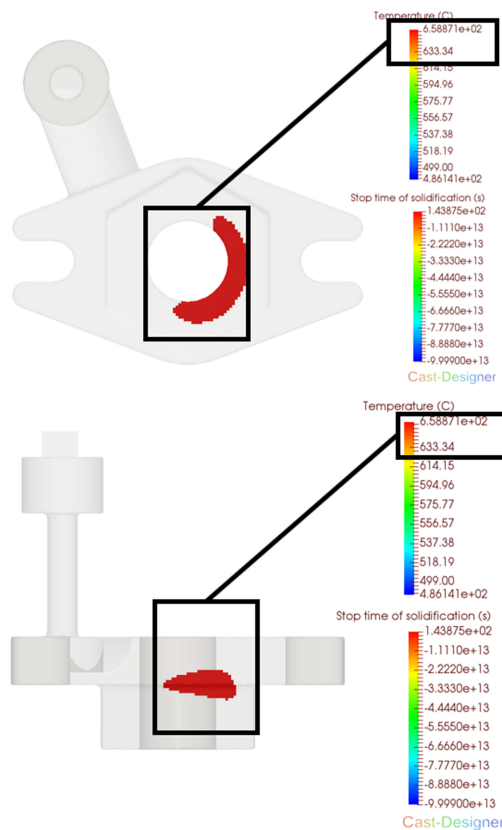
จุด	ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
	อุณหภูมิสิ้นสุด การเทน้ำโลหะ (5.31s)	อุณหภูมิเริ่มต้น การแข็งตัว (23.8)	อุณหภูมิสิ้นสุด การแข็งตัว (165.8s)	การเกิดโพรง หดตัว	ตำแหน่งบน ชิ้นงาน
P1	696.98	660.00	614.03595	ไม่เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P2	711.49	660.00	617.375427	เกิดโพรงหดตัว	ในชิ้นงาน
P3	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

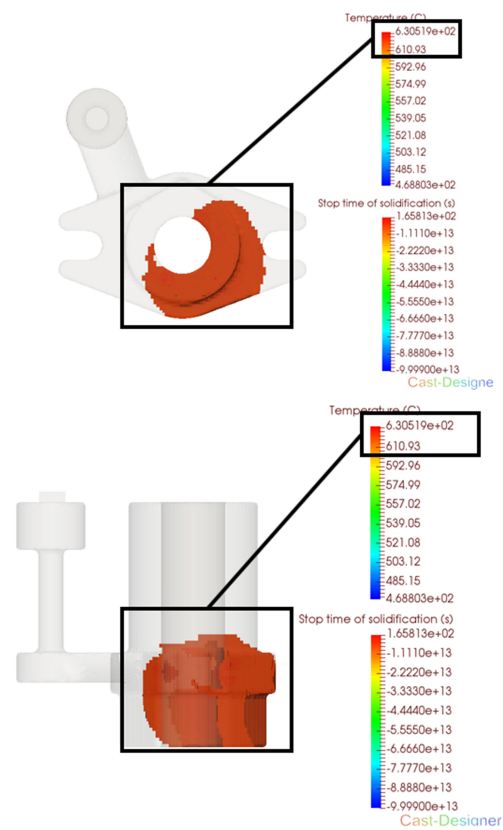
การวิเคราะห์ผลการจำลองที่เกิดขึ้นของ เมื่อพิจารณาจากตาราง 4 5 และ 6 พบว่า สำหรับชิ้นงานหล่อกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น โดยผลที่เกิดขึ้นในตาราง 4 แสดงให้เห็นว่าภาพแสดงอุณหภูมิในกระบวนการหล่อ เป็นการที่ให้มองเห็นภาพรวมของกระบวนการและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการหล่อ ออกแบบนั้น ๆ อย่างชัดเจน โดยจากจุดวัดอุณหภูมิ ณ P3 P7 และ P8 นั้นมีช่วงอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับจุดอื่น ๆ ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยโปรแกรม Cast designer จะเห็นได้ว่า เป็นบริเวณที่มีการสะสมของความร้อนมากที่สุด โดยเฉพาะในช่วงสภาวะกำลังจะสิ้นสุดการแข็งตัว โดยจากโปรแกรม Cast Designer แสดงผลอุณหภูมิในบริเวณ P3 P7 และ P8 ได้ดังภาพ 15

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

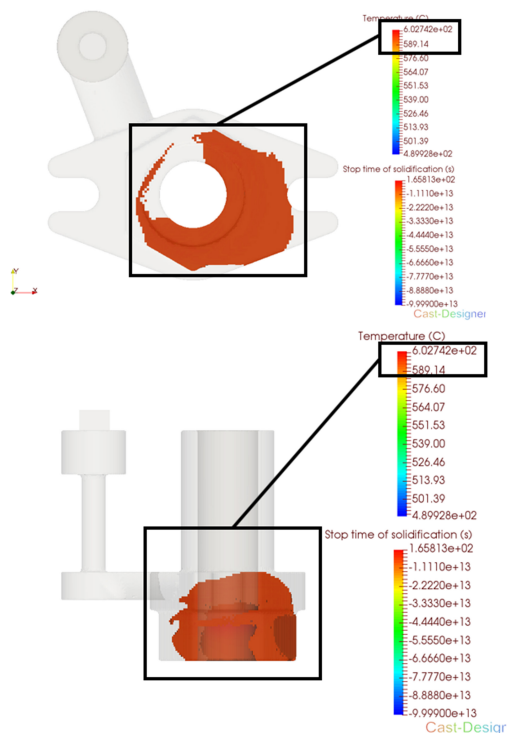
โดยเฉพาะในช่วงสภาวะกำลังจะสิ้นสุดการแข็งตัว แต่ในขณะเดียวกันรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตรที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหากลับมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ซึ่งก็หมายความว่า รูล้นมีการแข็งตัวที่เร็วกว่าชิ้นงาน ทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ ซึ่งลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นคล้ายคลึงกันกับชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ดังภาพ 17 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิให้เห็น ดังตาราง 6



ภาพ 15 จุดที่มีการสะสมความร้อนในโซนสีแดงในช่วงการเติมเต็มของโลหะเหลวช่วงอุณหภูมิระหว่าง 633.4 ถึง 658.8 องศา



ภาพ 17 จุดที่มีการสะสมความร้อนในโซนสีแดงในช่วงการเติมเต็มของโลหะเหลวช่วงอุณหภูมิระหว่าง 610.93 ถึง 630.51 องศา



ภาพ 16 จุดที่มีการสะสมความร้อนในโซนสีแดงในช่วงการเติมเต็มของโลหะเหลวช่วงอุณหภูมิระหว่าง 589.14 ถึง 602.74 องศา

จึงสรุปได้ว่าวิธีการแก้ไขปัญหาดังเดิมด้วยการออกแบบรูสันทรงกระบอกกลางทั้งสองขนาดขึ้นมานั้นไม่สามารถที่จะแก้ไขการเกิดโพรงหดตัวในตัวขึ้นงานได้ อันเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวของรูสันมีมากกว่าเนื้อชิ้นงานเอง ดังนั้นในหัวข้อถัดไปผู้วิจัยจะทำการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหานี้ เพื่อลดปัญหาการเกิดโพรงหดตัวให้ได้นั่นเอง

ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่า ในทุกสภาวะการหล่อจะมีบริเวณที่มีอุณหภูมิสะสมมากที่สุดอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความหนาของชิ้นงานมากที่สุดเช่นกัน ทำให้เป็นจุดที่มีการเย็นตัวช้าที่สุด เพราะผลในส่วนนี้เองจึงทำให้เกิดการยุบตัวของชิ้นงานเกิดขึ้นด้วย (Muthuraman, Arunkumar & Baskaral, 2017)

ผู้วิจัยจะทำการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหโดยการใช้อูร์สัน (riser) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการจัดการกับ

การหดตัวที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเย็นตัวของชิ้นงานหล่อ โดยรูลันนี้จะช่วยเก็บโลหะหลอมเหลวไว้และปล่อยให้ไหลเข้าสู่ชิ้นงานเมื่อเกิดการหดตัว ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงานหล่อ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความหนาหรือบริเวณที่เย็นตัวช้ากว่าบริเวณอื่น ๆ ประโยชน์ของการใช้รูลันคือการรักษาสมดุลของมวลโลหะในระหว่างการหล่อ ซึ่งเมื่อโลหะเย็นตัวและแข็งตัว การหดตัวที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงานได้ รูลันช่วยเติมเต็มช่องว่างนี้ด้วยโลหะหลอมเหลวที่เก็บอยู่ ทำให้ชิ้นงานไม่มีข้อบกพร่องและความแข็งแรงสูงขึ้น นอกจากนี้ รูลันยังช่วยลดการเกิดข้อบกพร่องอื่น ๆ ในชิ้นงานหล่อโดยการควบคุมการหดตัวอย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบและการวางตำแหน่งของรูลันที่เหมาะสมช่วยให้การหล่อเป็นไปอย่างราบรื่น (Loankosonchai, 2001) ลดการสูญเสียวัสดุและเวลาที่ใช้ในการผลิต ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงขึ้นในระยะเวลาที่สั้นลง ดังนั้นรูลันจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการแก้ไขปัญหาการหดตัวในงานหล่อ ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นและช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบขนาดของรูลันทรงกระบอกตัน

โดยในการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยจะกำหนดรูปร่างของรูลันเป็นรูลันตันทรงกระบอก โดยจะคำนวณหาขนาดของรูลันจากวิธีการ Modulus Method โดยสมการคือ $M_c = V_c / A_c$ (Loankosonchai, 2001)

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

เมื่อกำหนดให้

V_c คือ ปริมาตรของงาน

A_c คือ พื้นที่ผิวของงานที่มีการถ่ายเทความร้อน

โดยสำหรับค่า V_c และ A_c ของชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีใส่แบบในตัวแบบไม่มีรูลัน สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม Cast Designer โดยค่า

$$V_c = 215223.89 \text{ mm}^3$$

$$A_c = 38477.73 \text{ mm}^2$$

ดังนั้น ค่า M_c จึงเท่ากับ 5.567 และสำหรับค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูลันทรงกระบอกนั้นสามารถหาได้

จากสมการ

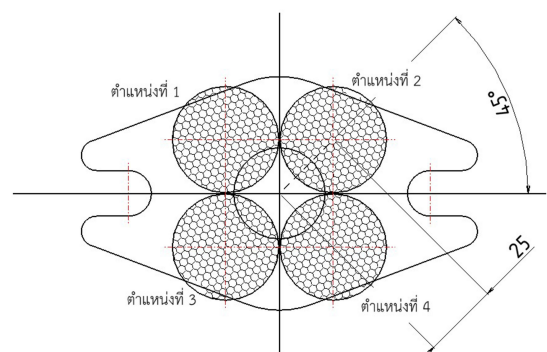
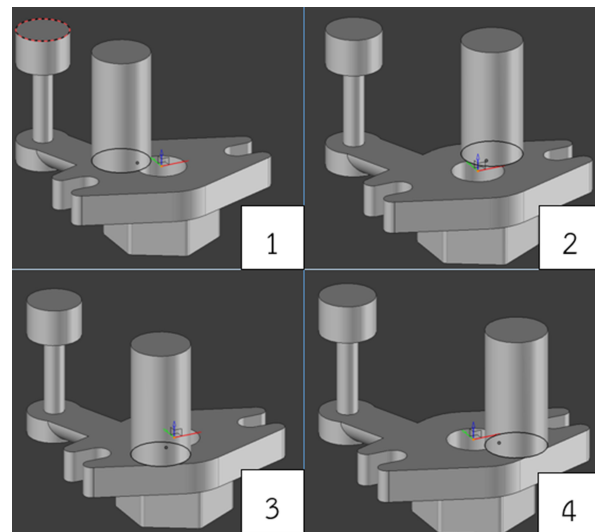
$$D = 6 M_c$$

D จึงเท่ากับ 33.4 mm.

ดังนั้นจึงกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูลันทรงกระบอกตันเท่ากับ 35 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 70 มิลลิเมตรเท่ากับความสูงของรูเท้นเอง

2. กำหนดตำแหน่งการวางรูลัน

ในการวางตำแหน่งของรูลันนั้น ผู้วิจัยจะทำการจำลองทดสอบทั้งหมด 4 การทดสอบ โดยได้กำหนดตำแหน่งเปรียบเทียบผลลัพธ์ ของตำแหน่งการวางรูลันที่เปลี่ยนไปตรวจสอบการเกิดโพรงหดตัวที่ชิ้นงาน เริ่มตั้งแต่ ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 โดยตรวจสอบโพรงหดตัวที่เกิดขึ้น แบ่งเป็นทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ดังภาพ 18



ภาพ 18 แสดงตำแหน่งของการวางรูลันในตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4

ต่อมาจะกำหนดค่าลงใน CPI ของโปรแกรม Cast Designer เพื่อที่จะทำการจำลองผลการทดสอบของทั้ง 4 การทดลอง โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นค่าเดิมเหมือนกับการจำลองชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น โดยค่าที่กำหนดทั้งหมดเป็นดังภาพ 19

ผลลัพธ์ของการจำลอง

หลังจากการจำลองได้ผลลัพธ์การเกิดโพรงหดตัวของของการออกแบบรูล้นทั้ง 4 ตำแหน่งนั้นสำหรับการหาค่าโพรงหดตัว ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Cast Designer ช่วยในการหาอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชิ้นงาน: ปริมาตรของโพรงหดตัวโดย

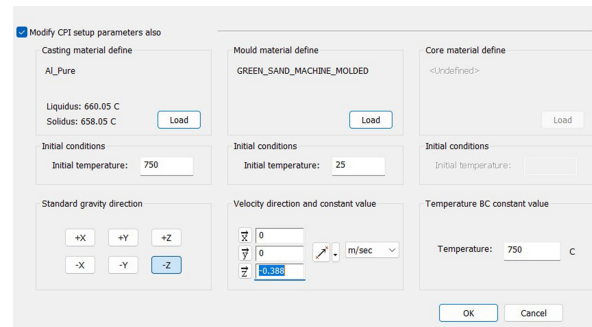
โดยสำหรับปริมาตรของชิ้นงานนั้นผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Cast Designer ช่วยในการคำนวณได้ค่าปริมาตรของชิ้นงาน โดยไม่รวมรูเทและทางเข้าเท่ากับ 171.655 cm^3

และสำหรับการหาค่า Shrinkage Porosity นั้นเราสามารถหาได้ด้วยการใช้โปรแกรม Cast Designer โดยใช้ค่าปริมาตรที่หาได้มากำหนดลงในโปรแกรมในช่องของ Total Volume โดยเราจะคิดเพียงในส่วนของโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นในเนื้อชิ้นงานเท่านั้น โดยไม่รวมรูล้น และทางเข้า จึงสามารถที่จะสรุปผลการหาค่าการเกิดโพรงหดตัวของ การวางรูล้นในแต่ละตำแหน่งออกมา ได้ดังนี้ ดังตาราง 7

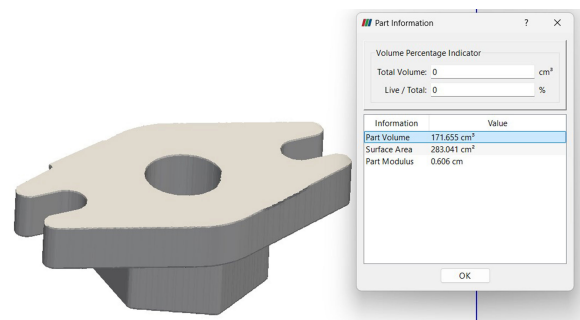
จากตาราง 7 สรุปได้ว่าตำแหน่งของการวางรูล้นตำแหน่งที่ 4 เป็นตำแหน่งที่เกิดโพรงหดตัวน้อยที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโพรงหดตัวภายในเนื้อชิ้นงานเพียง 0.160 % โดยการผลการจำลองในส่วนของรูล้นตำแหน่งที่ 4 จะแสดงไว้ดังตาราง 8 และตาราง 9

1. การวัดอุณหภูมิภายใน กำหนดเป็นจุด P มีตำแหน่งในการวัดดังต่อไปนี้

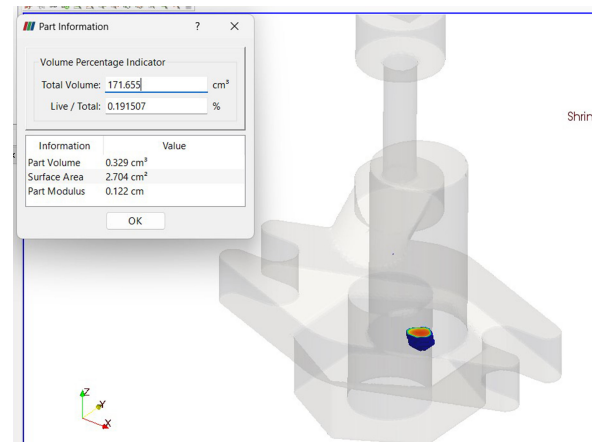
ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร ดังภาพ 22 และภาพ 23 แสดงค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังตาราง 10



ภาพ 19 แสดงลักษณะการหดตัวของชิ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารามีไส้แบบในตัวแบบไม่มีรูล้น



ภาพ 20 แสดงปริมาตรของชิ้นงานจากโปรแกรม Cast Designer=171.655cm³



ภาพ 21 แสดงวิธีการหาค่าโพรงหดตัวด้วยโปรแกรม Cast Designer

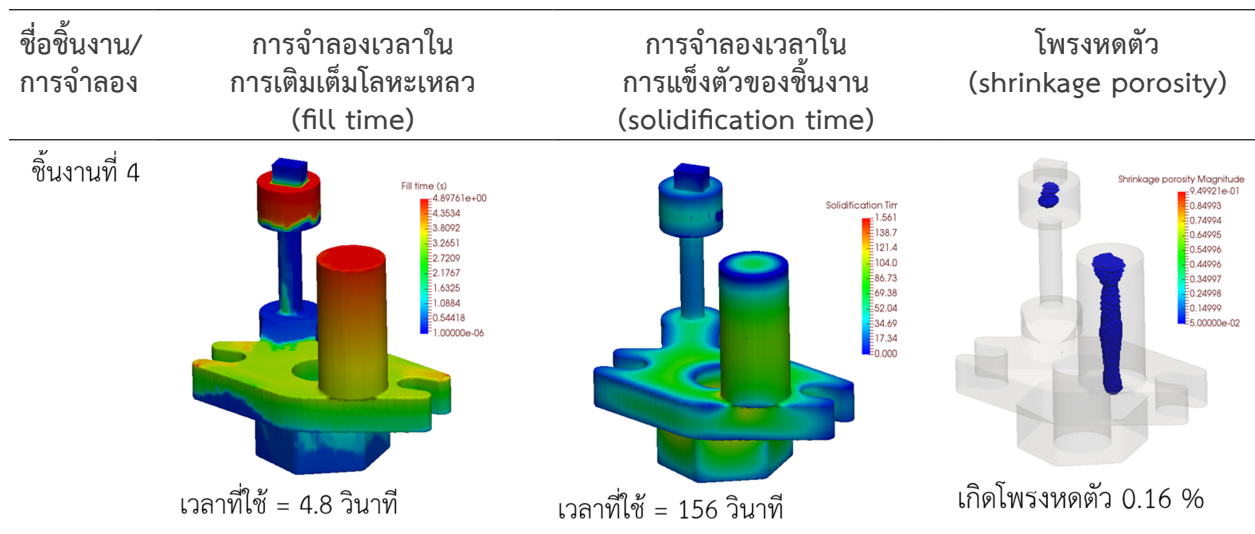
ตาราง 7

สรุปผลการจำลองผลวิเคราะห์การเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานปรับตำแหน่งรูล้น

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

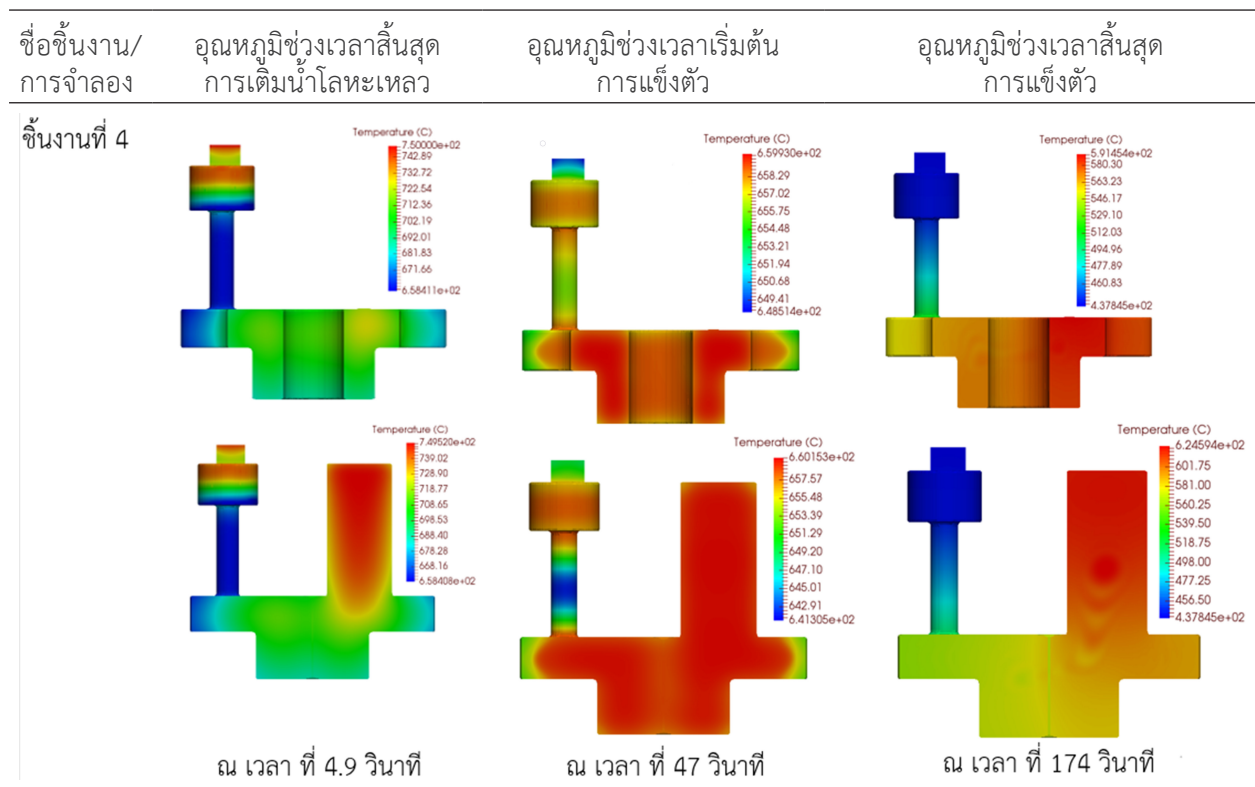
ตาราง 8

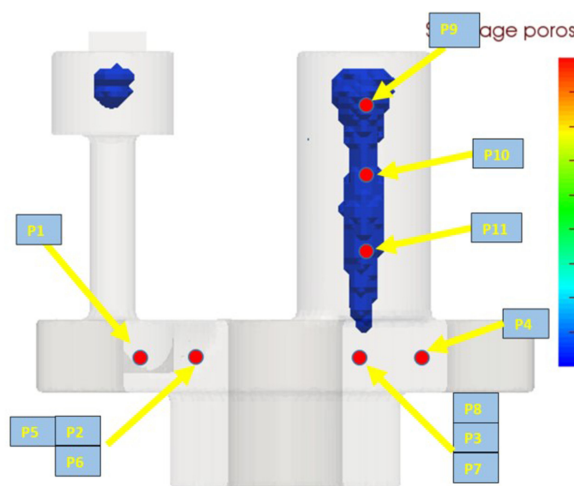
แสดงผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time) การจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time) ทั้งสามชิ้นงาน และ โพรงหดตัว (shrinkage porosity)



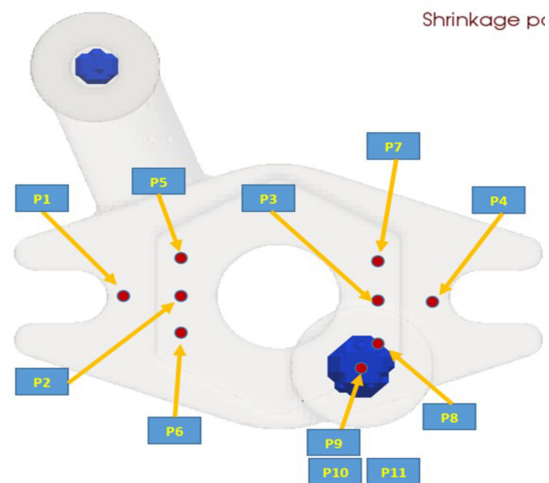
ตาราง 9

แสดงผลการจำลองอุณหภูมิช่วงเวลาล่าสุดการเติมน้ำโลหะเหลว อุณหภูมิช่วงเวลาเริ่มต้นการแข็งตัว และอุณหภูมิช่วงเวลาล่าสุดการแข็งตัว





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 อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัวขึ้นงาน กระสวนขึ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 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 AUTOCST-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) จึงช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานได้นั่นเอง แตกต่างจากวิธีของงานวิจัยนี้ที่ใช้รูล้นในการย้ายจุดร้อนจากในเนื้อชิ้นงานมาไว้ที่รูล้นเพื่อแก้ไขปัญห

สำหรับการแก้ไขโดยการออกแบบรูล้นไว้ที่ตำแหน่งที่ 4 ผลลัพธ์ของการเกิดโพรงหดตัวเหลือเพียง เกิดโพรงหดตัว 0.16 % เท่านั้น และหากพิจารณาจากตาราง 7 ซึ่งเป็นสรุปการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานเมื่อวางรูล้นในตำแหน่งที่แตกต่างกันแล้วนั้นจะเห็นได้ว่า รูล้นที่อยู่ใกล้จุดสะสมความร้อนของชิ้นงานนั้น มีแนวโน้มที่จะเกิดโพรงหดตัวน้อยกว่า จุดที่อยู่ห่างจากจุดสะสมความร้อนมากกว่า เปรียบเทียบได้ระหว่างตำแหน่งการวางรูล้นที่ 1 และ ตำแหน่งการวางรูล้นที่ 3 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดโพรงหดตัวที่มากกว่า ตำแหน่งการวางที่ 2 และที่ 4 เนื่องจากอยู่ห่างจากจุดสะสมความร้อนมากกว่านั่นเอง

การอภิปรายผลและสรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีผลต่องานหล่อ ในเรื่องของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของความร้อน โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์จำลองสถานการณ์ การหดตัวและการพฤติกรรมของความร้อนในชิ้นงานทดสอบ และเพื่อลดข้อบกพร่องของการหดตัวที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน โดยผลจากการวิจัยที่เกิดขึ้นทำให้สามารถยืนยันได้ว่า การเกิดโพรงหดตัวและพฤติกรรมของความร้อนภายในตัวชิ้นงานมีความเกี่ยวข้องกัน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลลัพธ์การทดสอบเปรียบเทียบกันสองรูปแบบระหว่างชิ้นงานออกแบบดั้งเดิม คือ ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวไม่มีรูล้น ชิ้นงานหล่อทรายกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร และชิ้นงานหล่อทรายขึ้นงานกระสวนขึ้นเดียวหน้าผาราบมีไส้แบบในตัวรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 15 มิลลิเมตร และชิ้นงานปรับปรุงแก้ไขรูล้นรูปแบบใหม่ คือ ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร โดยจากผลการจำลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิภายในตัวชิ้นงานที่ไม่เท่ากันภายในชิ้นงานทั้งหมดนั้น ส่งผลต่อตำแหน่งของการเกิดโพรงหดตัวอย่างเห็นได้ชัดเจน และการออกแบบรูล้นที่ขนาดและตำแหน่งการวางที่ไม่ถูกต้องนั้น ไม่สามารถที่จะแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวได้

โดยภาพรวมแล้วการใช้โปรแกรมจำลอง Cast Designer ช่วยให้ผู้วิจัยหรือวิศวกร สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหล่อทรายขึ้นงานได้ดีขึ้น ลดข้อบกพร่อง อีกทั้งยังช่วยให้ออกแบบรูล้นในตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสม จะช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวภายในตัวชิ้นงานได้ ประโยชน์ที่ตามมา คือ สามารถช่วยลดเวลา ลดต้นทุนในการทดสอบและผลิตชิ้นงานได้มีคุณภาพมากขึ้นนั่นเอง โดยภาพรวมแล้วการใช้โปรแกรมจำลอง Cast Designer ช่วยให้ผู้วิจัยหรือวิศวกร สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการหล่อทรายขึ้นงานได้ดีขึ้น ลดข้อบกพร่อง อีกทั้งยังช่วยให้ออกแบบรูล้นในตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสม จะช่วยแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัวภายในตัวชิ้นงานได้ ผลิตชิ้นงานได้มีคุณภาพมากขึ้นนั่นเอง

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัย
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ CIT-2023-GRAD-32

และบริษัท โฟรดี คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์
สนับสนุนโปรแกรม Cast Designer เป็นเครื่องมือสำหรับ
การทำวิจัยในครั้งนี้



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 AUTOCST-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., Kietbus, 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. *ARPJ 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/files/serve.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)

