

การออกแบบและสร้างถังหมักชีวภาพควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Design and Construction of Bio-fermentation Bin Controlled by the Internet of Things Technology

ลัดดาวัลย์ จำปา^{1*}, นันทวัน หัตถมาศ² และนัฐพงษ์ ทองปาน³

Laddawan Champa^{1*}, Nanthawan Hardthamas² and Natthapong Thongpan³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial of Technology,
Kanchanaburi Rajabhat University

²สาขาวิชาเทคโนโลยีสมัยใหม่และการจัดการพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

²Department of Modern Technology for Plant Management, Faculty of Science and Technology,
Kanchanaburi Rajabhat University

³สาขาวิชาเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

³Department of Automation and Robotics Technology, Faculty of Industrial Technology,
Kanchanaburi Rajabhat University

*Corresponding author: laddawan.ch@kru.ac.th

Received: October 25, 2024

Revised: December 2, 2024

Accepted: December 11, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพในการหมักน้ำหมักชีวภาพโดยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อช่วยควบคุม ตรวจสอบกระบวนการหมัก ตรวจสอบวัดและควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการหมัก เช่น อุณหภูมิภายในถังหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมัก ค่าน้ำหนักของส่วนผสมระบบโซลาร์เซลล์ และระยะเวลาการกวน รวมถึงการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการหมักน้ำหมักชีวภาพด้วยวิธีการดั้งเดิม ครบ 14 วัน ยังคงมีเศษอาหารขนาดเล็กที่ยังย่อยไม่หมด และเส้นใยสีขาวเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่บนเศษวัสดุกระจายตัวอยู่บนผิวน้ำ ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มยีสต์ที่ต้องการออกซิเจน ส่วนปริมาณไนโตรเจน: โปแทสเซียม: ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.53: 1.17: 0.08 โดยน้ำหนัก ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพของถังน้ำหมักชีวภาพพบว่าการกวนส่วนผสมต่อเนื่อง 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที ไม่พบเศษอาหาร และเส้นใยสีขาวบนผิวน้ำ แสดงให้เห็นว่าการกวนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องจะช่วยในเรื่องการย่อยเศษอาหาร และลดการเจริญเติบโตของกลุ่มยีสต์ได้ ระยะเวลาการหมัก 10 วัน มีปริมาณไนโตรเจน: โปแทสเซียม: ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.79: 1.16: 0.06 โดยน้ำหนัก ซึ่งธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพมีค่าตรงตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

คำสำคัญ: ถังน้ำหมักชีวภาพ ขยะอินทรีย์ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

The objective of this research was to design, create, and test the efficiency of fermenting bio-liquid using Internet of Things (IoT) technology to control and monitor the fermentation process. This includes measuring and controlling various factors that affect fermentation efficiency, such as the temperature inside the fermentation bin, the pH level of the bio-fermentation, the weight of the ingredients, solar energy systems, and stirring duration. Additionally, real-time alerts were implemented. After 14 days of testing the fermentation efficiency using traditional methods, small food scraps remained undigested, and white fibers indicative of microorganisms were distributed on the water surface, primarily consisting of oxygen-demanding yeast. The ratio of nitrogen: potassium: phosphorus is 0.53%: 1.17%: 0.08% by weight and did not differ statistically. In contrast, results from testing the bio-fermentation bin showed that continuous stirring for 15 minutes followed by a 45-minute rest period resulted in no food scraps or white fibers on the water surface. This indicates that continuous stirring aids in breaking down food scraps and reduces yeast growth. The fermentation period lasted 10 days, resulting in nitrogen, potassium, and phosphorus ratios of 0.79%, 1.16%, and 0.06% by weight, respectively. The nutrient content in the bio-fermentation met organic fertilizer standards.

Keywords: bio fermentation bin, organic waste, Internet of Things



บทนำ

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่า โลกมีการทิ้งขยะอาหารประมาณ 1 ใน 3 หรือมากกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณอาหารที่ผลิตเพื่อการบริโภคในแต่ละวัน รวมถึงปริมาณขยะอาหารทั่วโลกที่สูงถึง 1,300 ล้านตันต่อปี สำหรับประเทศไทยขยะมีปริมาณรวม 28 ล้านตันต่อปี โดยครึ่งหนึ่งเป็นขยะอาหารที่เกิดจากการบริโภคและกระบวนการผลิตอาหาร หากไม่มีการจัดการที่ถูกต้อง ขยะอาหารเหล่านี้จะก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากการสะสมของสารอินทรีย์และการปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำลายชั้นบรรยากาศมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า ขยะอาหารที่เน่าเสียคิดเป็นร้อยละ 8-10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก ซึ่งองค์การพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP) ได้กำหนดให้การลดขยะอาหารเป็นหนึ่งในเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ที่ต้องบรรลุภายในปี ค.ศ. 2030

จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยมากถึง 26.95 ล้านตัน สามารถจัดการขยะได้ถูกต้องเพียง 10.17 ล้านตัน และนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 9.31 ล้านตัน ยังมีขยะตกค้างสะสมอีก 27.62 ล้านตัน โดยในจังหวัดกาญจนบุรี มีขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นวันละ 698 ตัน สามารถจัดการขยะมูลฝอยได้ถูกต้องเพียงวันละ 204 ตัน และนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียงวันละ 317 ตัน ในทางกลับกันในปี 2566 ยังคงมีขยะมูลฝอยตกค้างเป็นจำนวนมากถึง 126,518 ตัน มากเป็นลำดับที่ 16 ของประเทศ (Pollution Control Department, 2023) สาเหตุที่การจัดการปัญหาขยะยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณขยะ ข้อจำกัดด้านงบประมาณ บุคลากร สถานที่ และสมรรถนะขององค์กร รวมถึงปัญหาการนำนโยบายไปปฏิบัติ การประชาสัมพันธ์ การบังคับใช้กฎหมาย และการขาดการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม

จากสภาพปัญหาในการจัดการขยะอินทรีย์ หรือ ขยะครัวเรือน เช่น เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ ในพื้นที่ต่าง ๆ ที่มีปริมาณการตกค้างอยู่เป็นจำนวนมากนั้น ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เข้ามาช่วยในการลดปัญหาขยะ ในครัวเรือน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว และ ช่วยเสริมสร้างระบบนิเวศที่ยั่งยืน Tadsuan and Taeakul (2024) ได้นำเซนเซอร์วัดความชื้นดินควบคุมแผงปล่อยน้ำ เมื่อความชื้นปุ๋ยต่ำกว่า 60% และควบคุมการหยุดจ่ายน้ำ เมื่อความชื้นสูงมากกว่า 70% และได้มีการใช้ Line notify แจ้งสถานะการทำงานของระบบ Vijuksungsith et al. (2016) ได้นำระบบการตั้งเวลาควบคุมการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ เป็นการช่วยกำหนดความถี่/ระยะเวลาในการกวนผสมอินทรีย์วัตถุภายในน้ำหมักชีวภาพซึ่งจะช่วยทำให้ระยะเวลา การหมักเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วขึ้น Phakul et al. (2023) ได้นำเซนเซอร์นับความเร็วรอบมอเตอร์ (วัดและส่งค่าจำนวน รอบของมอเตอร์) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (วัดค่าอุณหภูมิในกอง หมักปุ๋ย) เซนเซอร์วัดค่าพีเอช (วัดค่าพีเอชของปุ๋ย) และไทมเมอร์ (ส่งวันที่และเวลาไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์) และแสดงค่า ผ่านหน้าจอแอลซีดี ทั้งนี้พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ใช้ระยะเวลา 37 วัน Soralump et al. (2019) ได้ออกแบบถังหมักปุ๋ย ขนาดเล็กเป็นถังสองชั้น ชั้นในเป็นตะกร้าผึงพรม ด้านล่าง เจาะรูระบายน้ำหมัก ด้านข้างของถังเจาะติดตั้งพัดลมระบาย อากาศ และฝาด้านบนเจาะรูระบายอากาศ Bumroogsalee (2011) ได้นำใบกวนประเภท Pitched-blade turbine ที่มีความเอียง 30 องศา จำนวน 7 ชั้น พร้อมด้ามหมุน ออกแบบการป้อนเป็นแบบ semi-continuous รองรับ ปริมาณเศษขยะอาหารวันละ 1,200 กรัม ผสมกับเศษ ใบไม้แห้ง 800 กรัม รวมเป็น 2,000 กรัม ระยะเวลาการ หมักประมาณ 24 วัน แต่งานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวอ้างข้าง ดันยังไม่ตอบโจทยการกำจัดขยะในครัวเรือนเท่าที่ควร เนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณของวัตถุดิบ ขนาด ของถัง ระยะเวลา พลังงานที่ใช้ ความทันสมัยของการนำ เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อตอบโจทยของแต่ละครัวเรือน คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและสร้างถังน้ำหมัก ชีวภาพที่ควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยสามารถคำนวณปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก

ตามกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ และสามารถตรวจวัด ควบคุมสภาพ แวดล้อมภายในถังน้ำหมักแบบเรียลไทม์ มีการใช้เซนเซอร์ เพื่อตรวจค่าพารามิเตอร์ เช่น อุณหภูมิเพื่อควบคุมสภาวะ ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย ความชื้นเพื่อ รักษาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการหมัก ค่าความเป็น กรด-ด่างเพื่อตรวจสอบความสมดุลภายในถังน้ำหมัก โดย ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบคลาวด์เพื่อทำการประมวล ผลและแสดงผ่านแอปพลิเคชันไลน์ จะเห็นได้ว่าการนำ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ในการทำน้ำ หมักชีวภาพนั้นไม่เพียงแต่ช่วยจัดการปัญหาขยะอินทรีย์ ในครัวเรือนอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังช่วยลดระยะเวลา ของการหมักลง แต่ยังคงประสิทธิภาพของน้ำหมักได้ด้วย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างถังน้ำหมักชีวภาพควบคุม ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับกำจัดขยะ อินทรีย์ในครัวเรือน
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการหมักของน้ำหมัก ชีวภาพควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สำหรับกำจัดขยะอินทรีย์ในครัวเรือน

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการขยะอินทรีย์

การจัดการขยะอินทรีย์ เป็นการจัดการขยะที่ สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้ ใบไม้ หรือวัสดุจากพืช ซึ่งเป็นส่วนประกอบของขยะ ที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลายวิธี แทนที่จะ ทิ้งไปแบบไร้ประโยชน์ การจัดการขยะอินทรีย์มุ่งเน้นไป ที่การจัดการเพื่อลดการเกิดขยะ ลดการปล่อยก๊าซมีเทน จากการฝังกลบ และนำไปสร้างคุณค่าใหม่ แนวคิดสำคัญ เกี่ยวกับขยะอินทรีย์ มีดังนี้

1. การย่อยสลายตามธรรมชาติ (natural decomposition) ขยะอินทรีย์สามารถย่อยสลายได้เอง ตามธรรมชาติ หากได้รับสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งการย่อย

สลายนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในดินหรือระบบการหมัก ช่วยสร้างสารอาหารให้กับดินและสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ได้

2. การทำปุ๋ยหมัก (composting) ขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถนำไปทำปุ๋ยหมักได้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเศษอาหารและพืชผักให้กลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในสวนหรือการเกษตร ช่วยเพิ่มคุณภาพดินและลดการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมักช่วยนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์และลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปกำจัด

3. การผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas production) ขยะอินทรีย์บางส่วนสามารถนำไปใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) และก๊าซที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรม

4. การหมักน้ำหมักชีวภาพ (bio fermentation) ขยะอินทรีย์บางชนิด เช่น เศษผลไม้หรือผักสามารถนำไปหมักเป็นน้ำหมักชีวภาพเพื่อใช้เป็นปุ๋ย หรือน้ำยาทำความสะอาดที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากขยะอินทรีย์ช่วยลดการใช้สารเคมีและสร้างระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในครัวเรือน

5. การลดปริมาณขยะอินทรีย์ (waste minimization) แนวคิดนี้เน้นการลดการเกิดขยะอินทรีย์ตั้งแต่แรก โดยการวางแผนการซื้ออาหารให้เหมาะสม เลือกใช้วัตถุดิบที่สามารถใช้ได้ทั้งหมด และการจัดการกับอาหารเหลือเพื่อลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัด

นอกจากนี้หลักในการจัดการขยะอินทรีย์เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีมุ่งเน้นในการลด ปรับปรุง และนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด โดยมีหลักการที่สำคัญ ดังนี้ Phaengthip (2020)

1. การลดการเกิดขยะ (reduce) เป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากแหล่งต้นทาง เช่น ลดการทิ้งอาหารที่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การเลือกซื้อสินค้าในปริมาณที่เหมาะสม

2. การใช้ซ้ำ (reuse) เป็นการนำขยะอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำเศษอาหารที่ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคไปทำปุ๋ยคอกโพสท์ หรือใช้เป็นอาหารสัตว์

3. การรีไซเคิล (recycle) เป็นการนำขยะอินทรีย์ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น การทำปุ๋ยคอกโพสท์ หรือการนำขยะอินทรีย์มาใช้เป็นพลังงานชีวมวล

4. การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) เป็นการใช้จุลินทรีย์ และกระบวนการทางชีวภาพในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ เช่น การหมักเศษอาหาร หรือใบไม้ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

5. การฝังกลบขยะ (landfill) สำหรับกรณีที่ไม่สามารถรีไซเคิล หรือใช้ประโยชน์จากอินทรีย์ได้

6. การใช้เทคโนโลยีในการจัดการขยะ (technology) เช่น เครื่องย่อยเศษอาหาร หรือเทคโนโลยีการทำปุ๋ยคอกโพสท์อัตโนมัติ

7. การส่งเสริมความรู้และการสร้างความตระหนัก (awareness) เป็นการให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับการจัดการขยะอินทรีย์ เช่น การแยกขยะในครัวเรือน การทำปุ๋ยหมัก และการนำขยะอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์

จะเห็นได้ว่าหลักการการจัดการขยะอินทรีย์ในแต่ละวิธีจะช่วยลดการสะสมของขยะในพื้นที่ฝังกลบ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุน และส่งเสริมการรีไซเคิล ในขณะเดียวกันก็สามารถนำขยะกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้เกิดความยั่งยืนและประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

การประยุกต์ใช้ Internet of Things--IoT ในการจัดการขยะในครัวเรือนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยมีการใช้เทคโนโลยีเพื่อจัดการขยะ ดังนี้ Gunaseelan et al. (2023)

1. เซนเซอร์อัจฉริยะ มีการนำเซนเซอร์มาติดตั้งในถังขยะเพื่อระบุระดับขยะที่อยู่ในถัง ซึ่งทำให้ทราบได้ว่าถังเต็มเมื่อไรและต้องการการจัดเก็บขยะเมื่อใด ข้อมูลเหล่านี้สามารถส่งไปยังแอปพลิเคชันหรือระบบควบคุมได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยให้การเก็บขยะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการใช้พลังงานและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บขยะ

2. การบริหารจัดการด้วยข้อมูล เทคโนโลยี IoT ช่วยในการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณขยะที่ถูกทิ้งในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งข้อมูลนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการใช้ทรัพยากรและลดขยะที่เกิดขึ้น ตัวอย่าง

เช่น การใช้ระบบ Orbisk ที่ติดตั้งในครัวเรือนช่วยตรวจสอบปริมาณและประเภทของขยะอาหาร เพื่อให้เจ้าของบ้านสามารถจัดการการใช้วัตถุดิบได้ดียิ่งขึ้น

3. การรีไซเคิลอัจฉริยะ ถึงขยะอัจฉริยะที่ใช้ IoT ยังสามารถแยกประเภทขยะรีไซเคิลและขยะที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งช่วยให้ครัวเรือนรีไซเคิลขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณขยะที่ส่งไปยังหลุมฝังกลบและช่วยในการจัดการขยะที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเหมาะสม

4. การใช้พลังงานจากขยะ ในบางระบบ IoT ยังสามารถช่วยแปลงขยะให้เป็นพลังงาน โดยเชื่อมโยงกับระบบกำจัดขยะในครัวเรือนเพื่อผลิตพลังงานสำหรับใช้ในบ้าน ทำให้ลดการใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิล

ด้วยการประยุกต์ใช้ IoT ในการจัดการขยะครัวเรือน ไม่เพียงแต่จะช่วยให้ครัวเรือนลดปริมาณขยะ แต่ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มความสะอาดสบายในการจัดการขยะ

การกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยเทคโนโลยี Internet of Things--IoT เป็นแนวคิดที่นำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะอินทรีย์ โดย IoT ช่วยให้การกำจัดและการจัดการขยะมีความอัจฉริยะมากขึ้น สาเหตุที่จำเป็นต้องใช้ IoT ในการกำจัดขยะอินทรีย์นั้นมีหลายปัจจัยสำคัญ ดังนี้

1. การตรวจสอบและจัดการขยะอย่างเรียลไทม์

IoT สามารถช่วยติดตามและตรวจสอบปริมาณขยะในถังขยะหรือพื้นที่จัดเก็บได้แบบเรียลไทม์ โดยผ่านการประมวลผลบนคลาวด์ส่งผลให้มีการประมวลผลที่มีความเร็วสูง การได้มาซึ่งข้อมูลที่หลากหลายและเวลาตามจริง (Thumkanon, Asavasaksakul, Pokudom & Pokudom, 2017) สามารถเข้าถึงศักยภาพที่ผ่านเซนเซอร์ที่ตรวจจับปริมาณหรือสภาพขยะอินทรีย์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ หรือปริมาณการย่อยสลาย ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุม เพื่อให้สามารถจัดการขยะได้ทันทั่วทั้งที่ลดปัญหาถังขยะล้นหรือขยะที่ถูกเก็บรวบรวมไม่เหมาะสม

2. การเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บขยะ

IoT ช่วยให้ระบบการเก็บขยะสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผ่านการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ

โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งในถังขยะ เมื่อถังขยะเต็มระบบจะแจ้งเตือนให้รถขนขยะเข้ามาเก็บในเวลาที่เหมาะสม ไม่จำเป็นต้องเสียเวลาขับรถไปยังจุดที่ขยะยังไม่เต็ม ซึ่งช่วยลดการใช้น้ำมันและลดมลพิษจากรถขนขยะได้

3. การลดการสูญเสียทรัพยากร

ด้วยการใช้ IoT ในการติดตามการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการนำขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ปรับสภาพแวดล้อมในการหมักขยะเพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ หรือควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4. การบริหารจัดการข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และคาดการณ์

การใช้ IoT ทำให้เราสามารถรวบรวมข้อมูลปริมาณและประเภทของขยะอินทรีย์ในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดขยะ และช่วยในการคาดการณ์การผลิตขยะในอนาคต ทำให้สามารถวางแผนการจัดการขยะได้ดียิ่งขึ้น

5. การควบคุมกระบวนการรีไซเคิลและหมักปุ๋ย

ระบบ IoT สามารถใช้ในการควบคุมการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในกระบวนการหมักปุ๋ยหรือการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างแม่นยำ เช่น การตรวจวัดปริมาณอากาศ ความชื้น หรืออุณหภูมิ เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมที่สุดสำหรับการย่อยสลาย ข้อมูลเหล่านี้ช่วยปรับปรุงกระบวนการให้ได้ผลผลิตสูงสุดและลดของเสียที่ไม่ได้ใช้ เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก เตรียมความพร้อมพลังงานทางเลือกในการจัดการพลังงานสำหรับประชาชน ชุมชน และท้องถิ่น (Sombatyotha, Saentrong & Kudthalang, 2024)

6. การประหยัดทรัพยากรและพลังงาน

การใช้ IoT ช่วยให้การจัดการขยะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น เช่น ลดการขับรถขนขยะบ่อยครั้ง ลดการใช้พลังงานในกระบวนการรีไซเคิลและย่อยสลาย และสามารถนำพลังงานจากขยะอินทรีย์มาใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

7. การสร้างระบบเมืองอัจฉริยะ

ในระบบเมืองอัจฉริยะ การจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญ การใช้ IoT ในการจัดการขยะอินทรีย์เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน ช่วยลดปริมาณขยะและมลพิษในเมือง รวมถึงเพิ่มความสะดวกและคุณภาพชีวิตของประชากร

การนำ IoT มาใช้ในกระบวนการจัดการขยะอินทรีย์ช่วยสร้างระบบการจัดการที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ทำการศึกษากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มาสร้างเป็นอุปกรณ์ช่วยในการสร้างถังน้ำหมักชีวภาพเพื่อกำจัดขยะอินทรีย์ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น มีต้นทุนต่ำสามารถจัดหาได้ง่าย

Phakul et al. (2013) ได้พัฒนาเครื่องหมักปุ๋ยแบบหมุนอัตโนมัติ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมักปุ๋ยแบบหมุนอัตโนมัติ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.11 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่า 20.05 ปุ๋ยหมักที่ได้ใช้ระยะเวลาเป็นปุ๋ยเพียง 27 วัน โดยมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.96 โดยน้ำหนัก คาร์บอนร้อยละ 39.30 โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.57 โดยน้ำหนัก โพแทสเซียมร้อยละ 12.11 โดยน้ำหนัก มีค่าพีเอช 7.12 และมีอุณหภูมิในกองหมัก 6.16 องศาเซลเซียส ซึ่งธาตุอาหารในกองหมักมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

Vijksungsith et al. (2016) ได้พัฒนาถังหมักชีวภาพแบบกวนผสมอัตโนมัติ ใช้ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร และชุดอุปกรณ์ช่วยผสมที่ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือระบบตั้งเวลา และชุดควบคุมภาระงาน ทำให้สามารถกำหนดความถี่ หรือระยะเวลาในการกวนผสมอินทรีย์วัตถุภายในถังได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้ระยะเวลาการหมักเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วขึ้น มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ (ขนาด 1 แรงม้า) เป็นต้นกำลังของระบบการก

วนผสมโดยส่งกำลังผ่านเฟืองโซ่และเกียร์ทด (1:20) ไปยังชุดใบกวนที่ติดตั้งบนฝาดัง อุปกรณ์กวนผสมใช้ใบกวนสแตนเลสทรงกระบอกตัน โดยเอียงทำมุมกับแกนเพลลา 90 องศา ช่วงล่างรองรับเป็นเหล็กฉากเพื่อรองรับน้ำหนักตัวถังและน้ำหนักขาตั้งที่เชื่อมต่อกับคานที่ยึดติดเพลลา ดังกวนใช้ถังไฟเบอร์มีฝาปิดขนาดความจุ 200 ลิตร ทรงกระบอก มีก๊อกเปิด-ปิดถ่ายน้ำหมักชีวภาพโดยมีการติดตั้งตะแกรงกรองไว้ภายใน ระยะเวลาการหมักประมาณ 3 เดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ซึ่งปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากการหมักด้วยถังหมักชีวภาพแบบกวนผสมอัตโนมัติเพิ่มขึ้นร้อยละ 20-30

Munsawaeng and Vachirasricirilkul (2023) ได้ออกแบบและพัฒนาถังหมักปุ๋ยพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้กระบวนการหมักแบบธรรมชาติมีการเติมอากาศด้วยปั๊มภายในถังให้หมุนเวียน มอเตอร์และปั๊มเติมอากาศทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ระยะเวลาในการทำงานของมอเตอร์และปั๊มเติมอากาศ ครั้งละ 1 นาที จำนวน 10 ครั้ง ใน 1 วัน จากการทดสอบการทำงานถังหมักปุ๋ย สามารถใช้งานได้ตามเวลาที่ตั้งไว้ ได้ปุ๋ยภายใน 24 ชั่วโมงหลังการหมัก ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

Kanong and Keawmanee (2022) ได้สร้างถังหมักอย่างง่ายสำหรับครัวเรือนเพื่อหมักมูลฝอยอินทรีย์จากเศษอาหาร ระยะเวลาการหมัก 30 วัน พบว่า วัสดุหมักมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.80 ค่าความชื้นเท่ากับ 71.46% และค่าคาร์บอนทั้งหมดต่อไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 14.43 และยังพบว่า ค่าความชื้นสุดท้ายภายในถังหมักมีค่าสูง เนื่องจากอุณหภูมิในการหมักที่ต่ำจึงเกิดการระบายความชื้นออกสู่ภายนอกถังหมักน้อย ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้จึงต้องนำมาผึ่งลมก่อนนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมัก หรือวัสดุปรับปรุงดิน

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบ และสร้างถังน้ำหมักชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับกำจัดขยะอินทรีย์ มีขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

1. ควบคุมความเร็วของถังน้ำหมักชีวภาพ
2. ตั้งระยะเวลาในการทำงานของมอเตอร์กวน

3. สามารถวัดปริมาณวัตถุดิบ และผสมได้ปริมาณสูงสุด 20 ลิตร
4. ตั้งระยะเวลาในการส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชันไลน์
5. เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถตั้งค่าข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่าย และการเชื่อมต่อ Line Notify
6. วัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นขยะอินทรีย์จากครัวเรือน เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้
7. รองรับพลังงานไฟฟ้า และพลังงานสำรองโซล่าเซลล์

สมมติฐานการวิจัย

การใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับการควบคุมและปรับสภาพแวดล้อมในถังหมักแบบอัตโนมัติ เช่น การระบายอากาศ การเพิ่มหรือลดน้ำ และการปรับอุณหภูมิ สามารถลดระยะเวลาการหมักชีวภาพให้สั้นลงเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม

การติดตั้งเซนเซอร์และระบบ IoT ในถังน้ำหมักชีวภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ โดยการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น, pH และระดับออกซิเจนในเวลาจริง ส่งผลให้สามารถปรับปรุงกระบวนการหมักให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบโปรแกรมควบคุม การออกแบบหน้าจอแสดงผลควบคุม การสร้างถังน้ำหมัก การทดสอบถังน้ำหมักและการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับถังน้ำหมักชีวภาพที่ควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีรายละเอียด ดังนี้

1. การออกแบบโปรแกรมควบคุม

ดำเนินการออกแบบระบบไดอะแกรมของถังน้ำหมักชีวภาพ โดยคำนึงถึงความปลอดภัย เคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้งานง่าย และต้นทุนในการสร้างถังน้ำหมักชีวภาพต่ำ ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ โดยภายในถังน้ำหมักชีวภาพ ดังภาพ 1

2. การออกแบบหน้าจอแสดงผลควบคุม

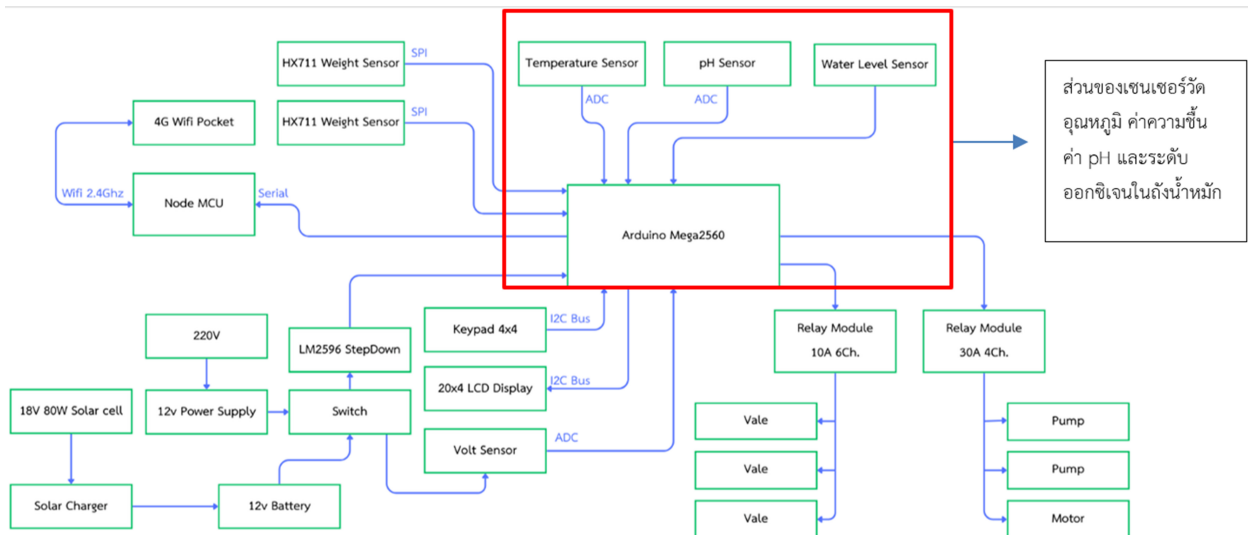
ดำเนินการออกแบบระบบแสดงผลการควบคุม โดยใช้จอแสดงผลเป็น LCD ขนาด 20x4 (20 ตัวอักษร 4 บรรทัด) ทำการออกแบบตามแผนผังการทำงาน เพื่อให้ถังน้ำหมักชีวภาพสามารถควบคุมได้ตามที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบหน้าจอแสดงผลเพื่อให้สามารถทราบถึงการตั้งค่าของถังน้ำหมักชีวภาพ โดยใช้แป้นปุ่มกด เข้าไปตั้งค่าการทำงานดังภาพ 2

หน้าจอแสดงผลเริ่มต้นเพื่อตั้งค่าเมนูหลัก ประกอบด้วย 8 เมนู ดังนี้

1. Set PH Read Time การตั้งค่าระยะเวลาในการอ่านค่า PH
2. Set Stirrer Time การตั้งค่าระยะเวลาในการทำงานของมอเตอร์กวน
3. Set Report Time การตั้งค่าระยะเวลาในการส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชันไลน์
4. Set Network การตั้งค่าข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่าย
5. Set Load Cell 1 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของกรวยเติมวัตถุดิบ
6. Set Load Cell 2 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของถังน้ำหมักชีวภาพ
7. Set Zero Tare 1 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของกรวยเติมวัตถุดิบเป็น 0
8. Set Zero Tare 2 การตั้งค่าโหลดเซลล์ของถังน้ำหมักเป็น 0

ในแต่ละเมนูจะมีโหมดย่อยในการตั้งค่าระบบของถังน้ำหมักชีวภาพ ดังนี้

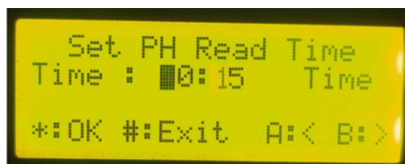
1. จากภาพ 3 เมื่อเข้าเมนู Set PH Time ระบบจะทำการอ่านค่าความเป็นกรดด่างของน้ำหมักชีวภาพภายในถังน้ำหมัก ทุก 15 นาที ตามที่ตั้งค่าไว้
2. จากภาพ 4 การตั้งค่าระยะเวลามอเตอร์กวน โดยมอเตอร์จะทำการกวนทุก 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที วนลูบจนกว่าจะได้สถานะน้ำหมักที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน
3. ภาพ 5 การตั้งค่า Set Report Time เป็นการตั้งค่าการส่งข้อมูลเข้าเพื่อทำการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ทุก ๆ 2 ชั่วโมง



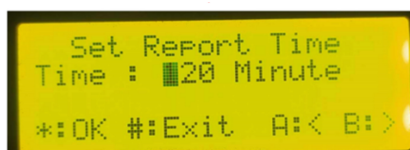
ภาพ 1 แผนผังอุปกรณ์ควบคุมถึงน้ำหมักชีวภาพ



ภาพ 2 การแสดงผลเริ่มต้นการทำงาน



ภาพ 3 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าระยะเวลาการอ่านค่า PH



ภาพ 4 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การตั้งระยะเวลามอเตอร์กว



ภาพ 5 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลเข้าแอปพลิเคชันไลน์

4. ภาพ 6 Set Network การตั้งค่าข้อมูลการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีการกรอกชื่อ Wi-Fi ที่ต้องการเชื่อมต่อ การกรอกรหัสผ่าน Wi-Fi และการกรอก Line Token สำหรับการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

5. ภาพ 7 Set Load Cell 1 เป็นการวัดปริมาณน้ำหนักส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำน้ำหมักชีวภาพตามกรรมวิธีที่เหมาะสม

6. ภาพ 8 Set Load Cell 2 เป็นเมนูสำหรับการแสดงปริมาณค่าน้ำหนักของถังหมักชีวภาพ

7. ภาพ 9 Set Zero Tare 1 การตั้งค่าน้ำหนักกรณีที่ต้องการปรับเทียบค่าใหม่โดยจะมีการตั้งค่าเป็น 0

3. การสร้างถังน้ำหมักชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ในการออกแบบถังน้ำหมักชีวภาพนี้ ได้เลือกใช้วัสดุสแตนเลส 304 เป็นวัสดุหลักสำหรับตัวเครื่อง เนื่องจากมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนและไม่เกิดสนิมเมื่อใช้งานในระยะยาว ตัวถังหมักถูกออกแบบให้สามารถถอดออกเพื่อทำความสะอาดได้ง่ายและมีน้ำหนัก

เบาระบบกวนภายในถังหมักใช้มอเตอร์ DC ประเภท BLDC พร้อมชุดควบคุมความเร็วเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในส่วนจากระบบปั๊มน้ำใช้ปั๊ม DC แบบหอยโข่ง ซึ่งติดตั้งในตำแหน่งที่สะดวกต่อการบำรุงรักษา ท่อเชื่อมต่อภายในระบบทำจากวัสดุ PVC เพื่อความทนทานและง่ายต่อการติดตั้ง การควบคุมการไหลของของเหลวใช้มอเตอร์วาล์วโดยตัวเรือนวาล์วทำจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและสนิม สำหรับการวัดน้ำหนักของถังหมักชีวภาพใช้ Load Cell เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีความแม่นยำสูง การควบคุมระบบทั้งหมดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อและตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยส่วนควบคุมทั้งหมดได้รับการติดตั้งในตู้กันน้ำเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อมภายนอก ดังภาพ 10



ภาพ 7 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การวัดน้ำหนักของวัตถุดิบ



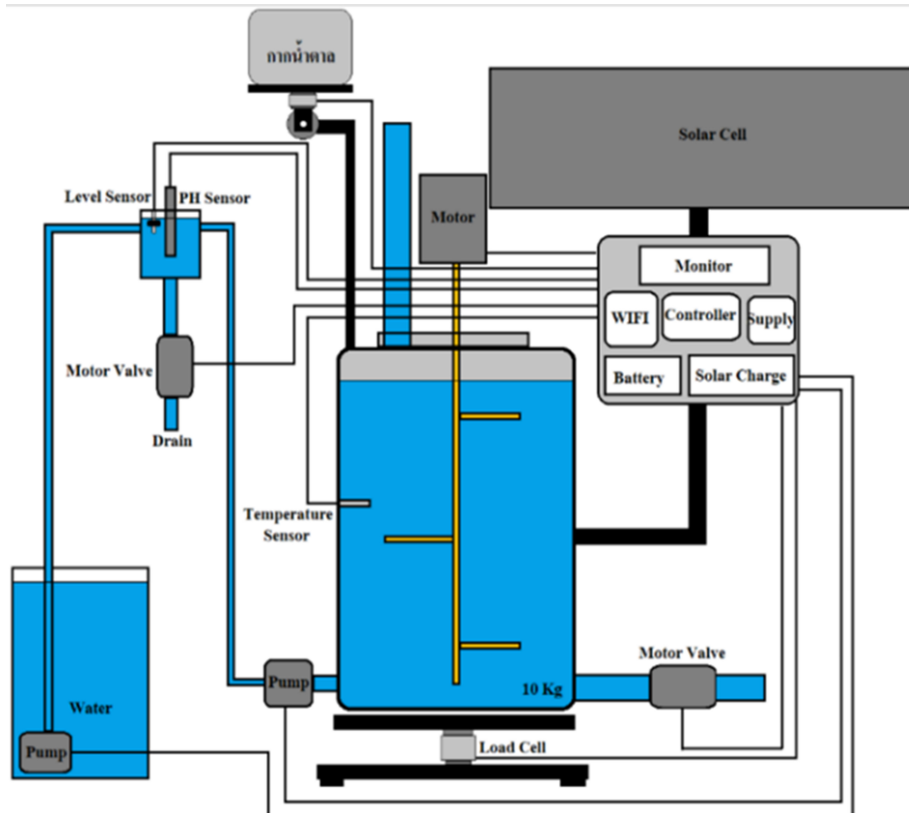
ภาพ 8 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การวัดค่าน้ำหนักของถังหมักชีวภาพ



ภาพ 6 การแสดงผลของหน้าจอ LCD ตั้งค่าเครือข่าย



ภาพ 9 การแสดงผลของหน้าจอ LCD การรีเซ็ตค่าเป็นศูนย์



ภาพ 10 การออกแบบโครงสร้างของถังหมักชีวภาพ

4. การทดสอบประสิทธิภาพการหมักและการเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อสร้างถังน้ำหมักชีวภาพเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้มีการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบในการทำน้ำหมักชีวภาพ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ประกอบด้วย เศษผัก (ผัก กวางตุ้ง กะหล่ำปลี และผักกาดขาว) เศษอาหาร (ข้าว เส้น ก๋วยเตี๋ยว เลือด เต้าหู้ เศษเนื้อสัตว์ ถั่วงอก ผักชี มะเขือ) กากน้ำตาล และ พด.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี ๆ ละ 2 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้ระยะเวลาการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร เป็นเวลา 14 วัน สูตรน้ำหมักชีวภาพที่ใช้เป็นกรรมวิธีอ้างอิง ดัดแปลงจากสูตรน้ำหมักชีวภาพจากผักและผลไม้ที่ใช้เวลาหมัก 7 วัน (Land Development Department, 2015) การกำหนดชุดกรรมวิธีแบ่งออกเป็น 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 การหมักเศษผัก ร้อยละ 100 โดยปริมาตร (เศษผัก 20 ลิตร: กากน้ำตาล 5 ลิตร: พด.2 12.50 กรัม: น้ำ 5 ลิตร) ปริมาตรรวม 30 ลิตร ไม่รวม พด.2

กรรมวิธีที่ 2 การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 25 โดยปริมาตร (เศษอาหาร 5 ลิตร: กากน้ำตาล 1.25 ลิตร: พด.2 3.13 กรัม: น้ำ 1.25 ลิตร) ปริมาตรรวม 7.50 ลิตร ไม่รวม พด.2

กรรมวิธีที่ 3 การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 50 โดยปริมาตร (เศษอาหาร 10 ลิตร: กากน้ำตาล 2.50 ลิตร: พด.2 6.25 กรัม: น้ำ 2.50 ลิตร) ปริมาตรรวม 15 ลิตร ไม่รวม พด.2

กรรมวิธีที่ 4 การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 75 โดยปริมาตร (เศษอาหาร 15 ลิตร: กากน้ำตาล 3.75 ลิตร: พด.2 9.38 กรัม: น้ำ 3.75 ลิตร) ปริมาตรรวม 22.50 ลิตร ไม่รวม พด.2

กรรมวิธีที่ 5 การหมักเศษอาหาร ร้อยละ 100 โดยปริมาตร (เศษอาหาร 20 ลิตร: กากน้ำตาล 5 ลิตร: พด.2 12.50 กรัม: น้ำ 5 ลิตร) ปริมาตรรวม 30 ลิตร ไม่รวม พด.2

หมักทิ้งไว้ในร่มเป็นเวลา 14 วัน ระหว่างการหมักเปิดฝากวนคลุกเคล้าส่วนผสมทุก ๆ 3 วัน กวนนานประมาณ 5 วินาที เมื่อหมักครบ 7 วัน และ 14 วัน นำน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการกรองมาบันทึกผลการทดลองโดยพิจารณาจาก สี และกลิ่นของน้ำหมัก ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าของแข็ง

ที่ละลายน้ำได้ (TDS) และค่าความเป็นกรด-ด่าง และเมื่อหมักครบ 14 วัน ทำการสุ่มตัวอย่างที่ผ่านการกรอง ปริมาตร 200 มิลลิลิตรต่อตัวอย่างส่งตรวจยังห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 17025 เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม การวิเคราะห์ผลโดยนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยโปรแกรมสำเร็จรูป รายงานผลในรูปของค่าร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. เมื่อได้สูตรน้ำหมักที่มีธาตุอาหารหลักเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแล้วนั้น ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบและนำไปทดสอบการทำงานของถังน้ำหมักชีวภาพที่สร้างขึ้น โดยเริ่มจากการนำเศษผัก กากน้ำตาล พด.2 และน้ำ เติมลงไปในถังหมักให้ครบตามปริมาตรที่กำหนดโดยจะมีการแสดงค่าน้ำหนักของส่วนผสมผ่านหน้าจอแสดงผลบริเวณถังน้ำหมัก ในการทดสอบประสิทธิภาพของถังน้ำหมัก ดำเนินการทดสอบ 14 วัน ระหว่างการหมักนั้นภายในถังหมักจะมีมอเตอร์กวนในถังหมัก มีการหมุนของใบพัดทุก ๆ 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที โดยการทดสอบประสิทธิภาพของถังหมักนี้ จะมีกระบวนการและขั้นตอนเหมือนกับการหมักโดยวิธีการดั้งเดิม แต่การสูบน้ำหมักชีวภาพจะนำส่งตรวจไปยังห้องปฏิบัติการเมื่อระยะการหมักครบ 5 วัน 10 วัน และ 14 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพการทำงานของถังน้ำหมัก

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การออกแบบและสร้างถังน้ำหมักชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับกำจัดขยะอินทรีย์ประกอบด้วย ตัวถังสแตนเลส 304 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ตัวถังมีฝาปิด มีก๊อกเปิด-ปิดถ่ายน้ำหมักชีวภาพโดยมีการติดตั้งตะแกรงกรองไว้ภายใน ตัวถังถอดทำความสะอาดได้ ชุดควบคุมการหมุน ประกอบด้วย มอเตอร์กระแสตรงแบบ BLDC อัตรารอบ 1:133 ส่วนตัวควบคุมการทำงาน มีการออกแบบวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน ประกอบด้วย วงจรควบคุมอุณหภูมิของน้ำหมัก วงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์กวน วงจรแสดงผลค่า PH ค่าน้ำหนักของส่วนผสม มีระบบการแจ้งเตือนค่าอุณหภูมิ และค่า PH ของน้ำหมักชีวภาพผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

ผลการออกแบบและสร้างถังน้ำหมักชีวภาพ ตัวถังหมักรองรับน้ำหนัก 10 กิโลกรัม มีฝาปิด-เปิดได้ ด้านล่างมีมอเตอร์กวนภายในถังใช้ DC motor แบบ BLDC พร้อมชุดควบคุมความเร็วรอบที่ 30 รอบ/นาที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phakul et al. (2023) ที่มีการใช้มอเตอร์รอบช้า 30 รอบ/นาที่ ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพแบบกวนผสมอัตโนมัติ มีการหมุนของใบพัด 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที มอเตอร์ไฟฟ้า AC 220 โวลต์ ถูกควบคุมด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560 ที่เขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino IDE สำหรับการควบคุมของถังน้ำหมักชีวภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phuasaengpan and Soemphol (2023) ที่มีการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า AC 220 โวลต์ ควบคุมด้วย Arduino Mega ADK เพื่อพัฒนาเครื่องกวนสารด้วยระบบควบคุมวงรูปปิด นอกจากนี้ถังน้ำหมักชีวภาพได้เชื่อมต่อเครือข่ายโดยการปล่อยสัญญาณ Wi-Fi เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปตั้งค่าผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ที่สามารถกรอกชื่อ Wi-Fi ที่ต้องการให้เครื่องเชื่อมต่อ การกรอกรหัสผ่าน การกรอก Line Token สำหรับการให้มีการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

การหมักโดยวิธีการดั้งเดิมใช้วิธีการหมักเศษอาหารในถังหมักขนาด 30 ลิตร ด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 25 50 75 และ 100 มีผลให้เกิดช่องว่างในถังหมักแตกต่างกัน 5 ระดับ เช่นกัน คือร้อยละ 75 50 25 และ 0 เป็นเวลา 14 วัน แม้จะมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่แตกต่างกันทางสถิติ หากพิจารณาภาพรวมพบว่า น้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารที่ใช้วัตถุดิบหมักร้อยละ 50 ซึ่งมีปริมาณช่องว่างในถังหมักร้อยละ 50 เป็นสถานะที่มีช่องว่างการหมักที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิด สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยที่พระราชบัญญัติปุ๋ยปี พ.ศ.2548 กำหนด

ไว้ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่มีปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 0.53 และร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนักตามลำดับ หากต้องการน้ำหมักที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสสูง น้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารที่ใช้วัสดุหมักร้อยละ 25 ซึ่งมีปริมาณช่องว่างในถังร้อยละ 75 เป็นสถานะที่มีช่องว่างการหมักเหมาะสมที่สุด ซึ่งมีธาตุฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนัก

ประสิทธิภาพการหมักของน้ำหมักชีวภาพ โดยเริ่มทำการเติมวัสดุหมักที่ได้จากการศึกษาสูตรน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับเป็นทางเลือกสภาวะการหมักของเครื่องหมักชีวภาพ ประกอบด้วย เศษอาหาร 10 กิโลกรัม กากน้ำตาล 2.5 ลิตร สารเร่ง พด.2 6.25 กรัม น้ำ 15 ลิตร (จากปริมาตรถัง 30 ลิตร) ใช้ความเร็วรอบในการกวน 30 รอบต่อนาที การหมุนของใบพัด 15 นาที และหยุดพัก 45 นาที มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.79 โดยน้ำหนัก ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.06 โดยน้ำหนัก โพแทสเซียม ร้อยละ 1.16 โดยน้ำหนัก ธาตุอาหารในน้ำหมักมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (Royal Gazette, 2014) ซึ่งผลการทดลองในระยะหมัก 10 วัน มีค่าใกล้เคียงกับระยะการหมักด้วยวิธีดั้งเดิม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มแถบสีแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักชีวภาพ
2. ควรมีการศึกษาอัตราการใช้น้ำหมักชีวภาพให้เหมาะสมกับพืชแต่ละกลุ่ม ร่วมกับการศึกษาแนวทางการเพิ่มอากาศในถังหมัก เพื่อให้สามารถหมักได้มากขึ้นในแต่ละครั้ง



References

- Bumroongsalee, W. (2011). Household composter. *Proceeding of the 21th Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference (TICChE 2011)* (pp. 1-5). Songkla: Songkla University. (in Thai)
- Gunaseelan J, Sundaram S, Mariyappan B. A. (2023). Design and implementation using an innovative deep-learning algorithm for garbage segregation. *Sensors*, 23(18), 7963. <https://doi.org/10.3390/s23187963>

- Kanong, P., & Keawmanee, J. (2022). Composting of household organic waste using self-assemble simple composting bin. *Proceeding of the 7th National Science and Technology Conference* (pp. 1586-1591). Suratthani: Suratthani Rajabhat University. (in Thai)
- Kullimratchai, P. (2016). Internet of Things: Current technology trends for future. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 10(1), 29–36. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/48908> (in Thai)
- Land Development Department. (2015). *Knowledge set on the production of biological fermentation water*. Retrieved from <https://www.ldd.go.th/publication/>(in Thai)
- Mookkaiah, S. S., Thangavelu, G., Hebbar, R., Nipun, H., & Hargovind, S. (2022). Design and development of smart Internet of Things–based solid waste management system using computer vision. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 64871–64885. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20428-2>
- Munsawaeng, R. (2023). Design and development of solar powered compost bin. *RMUTL Journal of Socially Engaged Scholarship*, 7(1), 75-81. Retrieved from <https://so07.tci-thaijo.org/index.php/JsesRMUTL/article/view/2617> (in Thai)
- Phakul, P., Phiphithirankarn, P., & Yabosdee, P. (2023). The development of automatic rotary composter. *Proceeding of the 10th National and the 8th International Conference on Research and Innovation: Research and Innovation Development for Developing Sustainable Communities* (pp. 507-517). Khon kaen: Northeastern University. (in Thai)
- Phaengthip, T. (2020). Organic waste management for sustainable development. *Thai Journal of Environment Science*, 9(2), 43-59.
- Phuisaengpan, P., & Soemphol, C. (2023). The operation controlling of agitator using closed loop control . *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 17(2), 69–81. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/258334> (in Thai)
- Pollution Control Department. (2023). *Solid waste management situation*. Retrieved from <https://www.pcd.go.th/publication/14100/> (in Thai)
- Royal Gazette Organic Fertilizers Standards B.E. 2557. (2014, 6 October). *Royal Gazette*. Vol 31, Special Section 29 D, p. 4. (in Thai)
- Sombatyotha, C., Saentrong, T., & Kudthalang, N. (2024). Biogas from wastewater treatment of Rajabhat Mahasarakham University water supply system, Maha Sarakham Province. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 18(1), 194–205. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/266364> (in Thai)

- Soralump, C, Ubonrat, P., & Meesukanulul, S. (2019). Design of Small Household Composter for Municipal Organic Waste. *Kasetsart Engineering Journal*, 32(108), 63-70. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kuengj/article/view/223399/163967> (in Thai)
- Tadsuan, S. & Taeakul, P. (2024). Design and Construction of Compost Production System Controlled by the Internet of Things. *The Journal of Industrial Technology*, 20(1), 16-31. Retrieved from https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jit_journal/article/view/256434/172053 (in Thai)
- Thumkanon, C., Asavasaksakul, S., Pokudom, N., & Pokudom, K. (2017). Cloud Computing: Infrastructure for the Internet of Things. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 11(1), 30–37. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/84518> (in Thai)
- Vijuksungsith, P., Sukcharoen, A., Varasan, J., Benjawan, L., & Boonprasert, R. (2016). *Automatic stirred bioreactor*. Nakhon Pathom: Central Laboratory and Greenhouse Complex. (in Thai)

