



# การออกแบบและสร้างระบบการผลิตปุ๋ยหมักที่มีการควบคุมด้วย อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

สิริวิษ ทัตสวน<sup>1</sup> และ ภาณุวัฒน์ แตระกุล<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: panuwatt@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 4 ตุลาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 12 ธันวาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 15 ธันวาคม 2566

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 17 เมษายน 2567

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบการผลิตปุ๋ยหมัก โดยใช้วัตถุุดิบมูลวัวและต้นหน่อไม้ฝรั่งที่มีการควบคุมด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน รวมถึงจัดการสร้างมลภาวะทางอากาศเป็นพิษสาเหตุอันเนื่องมาจากการเผาทำลายต้นหน่อไม้ฝรั่ง โดยขั้นตอนการทำงานได้ขึ้นกองปุ๋ยหมักจำนวน 3 กอง กองที่ 1 ใช้เทคนิคการตั้งเวลาในการรดน้ำภายในกองปุ๋ย กองที่ 2 ใช้เทคนิคการรดน้ำในกองขึ้นกับความชื้นปุ๋ยที่ตั้งค่าไว้ และกองที่ 3 ใช้เทคนิควิศวกรรมแม่โจ้ 1 ขั้นตอนได้ทำการออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบการผลิตปุ๋ยหมัก จากนั้นออกแบบและเขียนโปรแกรม Arduino IDE เพื่อติดต่อกับเอ็มชียู ESP8266 ฝั่งด้านเน็ตเวิร์กใช้ Netpie 2020 เป็นตัวควบคุมและแสดงผล และได้นำ Node-Red เป็นเกตเวย์เพื่อรองรับการใช้ InfluxDB และ Grafana ในอนาคต และได้มีการสำรองข้อมูลกรณีที่เกิดคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ Netpie 2020 เกิดขัดข้องโดยการใช้ MySQL สร้างฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลจากตัวรับรู้ลงในเซิร์ฟเวอร์ และใช้ Line notify ในการแจ้งสถานะการทำงานของระบบ เมื่อนำปุ๋ยที่หมักตลอดระยะเวลา 60 วัน ไปวัดปริมาณแร่ธาตุอาหาร ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของทั้ง 3 กอง มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (เกรด A) ส่วนโพแทสเซียมมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยมีระยะเวลาการคืนทุนในการสร้างระบบควบคุมดังกล่าวมีค่าเพียง 2 ปี เท่านั้น

**คำสำคัญ:** ปุ๋ยหมัก; หน่อไม้ฝรั่ง; อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง; โหนดเอ็มชียู ESP8266

# Design and Construction of Compost Production System Controlled by the Internet of Things

Siriwich Tadsuan<sup>1</sup> and Panuwat Taerakul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University

\* Corresponding author, E-mail: panuwatt@sau.ac.th

Received: 4 October 2023; Revised: 12 December 2023; Accepted: 15 December 2023

Online Published: 17 April 2024

**Abstract:** This research focuses on designing and assembling a compost production system using cow manure and asparagus plants as raw materials. This system is controlled by the Internet of Things to reduce the cost of purchasing organic and chemical fertilizers, increase the fertility of nutrients in the soil, and reduce toxic air pollution caused by burning asparagus trees. The process uses three compost piles. The first one uses the technique of scheduling watering inside the fertilizer pile. The second one uses watering techniques in piles based on the set fertilizer moisture, and the third pile uses Maejo engineering techniques number one. This study includes designing and assembling compost pile control, then designing and programming an Arduino IDE to contact MCU ESP8266. The network side uses Netpie 2020 as a controller and display. This research adopted Node-Red as a gateway to support the future use of InfluxDB and Grafana. To maintain system stability, a backup was made in case of a cloud server failure of Netpie 2020 using MySQL, creating a database to store data from the sensor into the server, and using Line notify to report the operating conditions of the system. The fertilizer composted over a period of 60 days was taken to measure the amount of minerals and nutrients, the nitrogen and phosphorus elements of all three stacks were similar which is greater than the standard level of organic fertilizer (grade A). However, the potassium level is substandard. The payback period for setting us such a control system is only 2 years.

**Keywords:** Compost; Asparagus; Internet of Things; Node MCU ESP8266



## 1. บทนำ

จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศ ไทยปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณ 25.7 ล้านตัน ส่วนที่เป็น การกำจัดขยะแบบถูกต้องมี 38% โดยเกิดจากการฝัง กลบ เตาเผาผลิตพลังงาน และการนำไปทำปุ๋ยหมัก โดยแหล่งผลิตปุ๋ยหมักมีเพียง 4 แห่ง เท่านั้น [1] ใน ส่วนรัฐบาลไทยได้จัดทำแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระ แห่งชาติ ในเรื่องการพัฒนายั่งยืน(SDGs) ในเรื่อง นโยบายการจัดการ PM 2.5 จากการเผาในภาคเกษตร มีนโยบาย/มาตรการและข้อเสนอแนะต่างๆ เช่น ห้าม ไม่ให้มีการเผาในที่โล่งโดยเด็ดขาด ส่งเสริมให้มีการนำ เศษวัสดุทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ [2] แต่มาตรการ เหล่านี้อาจจะเกิดปัญหากับเกษตรกรที่ยังขาดองค์ ความรู้และเงินทุน คณะวิจัยของ Jo [3] ได้นำการ สื่อสารแบบ LoRa มาใช้เพื่อติดตามข้อมูลที่ได้จาก เซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในอาคารหมักปุ๋ยที่อยู่ห่างไกลจาก ตัวเกษตรกร คณะวิจัยของ Bhoir [4] สร้างไซโลใส่ขยะ อินทรีย์ ซึ่งมีใบป่นบดขยะที่มีแกนต่อเข้ากับมอเตอร์ โดยมีการใช้ตัวรับรู้อุณหภูมิ ความชื้นและก๊าซ แอมโมเนีย มีระบบควบคุมและสื่อสารด้วย ESP8266 คณะวิจัยของ Mamari [5] ได้นำโครงข่ายประสาท เทียมเชิงลึกมาใช้ในการคัดแยกขยะที่มีการติดตั้งตัว รับรู้และตัวมอเตอร์ในถังขยะ โดยมีการแจ้งเทศบาลเมื่อ ขยะเต็ม ขยะที่ถูกคัดแยกออกจ่าพวกเศษอาหารจะถูก นำไปทำปุ๋ยหมักอีกที คณะวิจัยของ Mujiyanti [6] นำ ระบบ IoT มาช่วยผลิตปุ๋ยอินทรีย์เหลวที่บรรจุอยู่ในถัง โดยใช้ ESP32 ต่อร่วมกับตัวรับรู้ ส่วนภาคแสดงผลใช้ แอปพลิเคชันของ Blynk ร่วมด้วย แต่งานวิจัยต่างๆ ที่ กล่าวอ้างข้างต้นยังไม่ตอบโจทย์เท่าที่ควร เพราะเป็น การผลิตปุ๋ยหมักปริมาณเล็กน้อยหรือใช้เศษอาหารใน

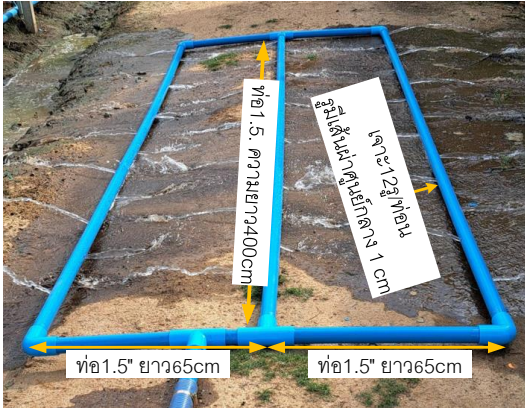
ครัวเรือน หรือเป็นเพียงแค่คัดแยกขยะ แต่ที่ตอบโจทย์ ได้ใกล้เคียงคือการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง (แม่ใจ1) [7] สาเหตุเพราะใช้ต้นทุนน้อย ใช้เศษขยะ ทางการเกษตรทั่วๆ ไปหมักร่วมกับมูลสัตว์ ทำในร่ม หรือที่โล่งแจ้งได้ทุกฤดูกาล และไม่มีการลื่นเหม็น จึงทำ ให้ขึ้นกองปุ๋ยได้ทุกๆ สถานที่ ส่วนขบวนการผลิตมี เพียงแต่รดน้ำในกองทุกๆ วัน แต่ปัญหาในทางปฏิบัติ คือ กรณีพื้นที่ที่ขึ้นกองปุ๋ยกับตัวเกษตรกรอาจอยู่ ห่างไกลกัน แต่เกษตรกรก็จำเป็นต้องเดินทางมาทำ กิจกรรมต่างๆ ตลอดระยะเวลามากกว่า 60 วัน จึงทำให้ ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลาอย่างมากและตัว เกษตรกรเองจะต้องใช้แรงงานมาก ซึ่งอาจมีปัญหากับ ผู้หญิงและคนชราและยังต้องมีประสบการณ์ร่วมด้วย

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงใช้ระบบ IoT เข้ามาผลิตปุ๋ย หมักได้ปริมาณครั้งละมากๆ ไม่ต้องเคลื่อนย้ายเศษวัสดุ ทางการเกษตรออกนอกพื้นที่ ไม่ต้องสร้างอาคารหมัก ปุ๋ย ไม่มีการลื่นเหม็นรบกวนพื้นที่ชุมชน ไม่ต้องใช้ แรงงานและประสบการณ์ สามารถควบคุมหรือติดตาม การทำงานจากสถานที่ใดก็ได้ที่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต เข้าถึงพื้นที่ดังกล่าวในการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งมาก ยิ่งขึ้น [5]

## 2. การดำเนินงานวิจัย

นำดินหน่อไม้ฝรั่งที่ถูกถอนทิ้งในไร่ [8] หมักร่วมกับ มูลวัว โดยแยกออกเป็น 3 กอง แต่ละกองจะมีเทคนิค การทำปุ๋ยหมักที่แตกต่างกัน

กองที่1 ใช้การรดน้ำบนกองปุ๋ยด้วยสปริงเกอร์ทุก ๆวัน วันละ 2 นาที เพื่อรักษาความชื้นที่กองปุ๋ย และ รดในกองปุ๋ยด้วยการปล่อยน้ำออกจากท่อ PVC ที่มีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ที่ต่อขนาน กัน 3 เส้น ซึ่งจะเรียกว่า "แผงท่อปล่อยน้ำ" ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ทดสอบการกระจายน้ำของแผงท่อระบายน้ำ

จำนวน 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 10 วัน ครั้งละ 2 นาที เพื่อให้ง่ายกับการกล่าวอ้างของเทคนิคนี้จะใช้คำว่าแบบ “IoT1”

กองที่ 2 ใช้การรดน้ำบนกองปุ๋ยด้วยสปริงเกอร์ ทุกๆวัน วันละ 2-3 นาทีเหมือนกับกองที่ 1 แต่การรดน้ำในกองจะใช้ค่าความชื้นของปุ๋ยที่ได้จากตัวรับรู้ความชื้นดิน โดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบฮีสเทอรีซิส กำหนดขอบเขตความชื้นในกองปุ๋ย 60% ถึง 70% [7] เมื่อความชื้นปุ๋ยต่ำกว่า 60% จะมีการรดในกองปุ๋ยด้วยแผงท่อปล่อยน้ำเหมือนเทคนิค IoT1 และเมื่อความชื้นสูงมากกว่า 70% ระบบควบคุมจะหยุดการจ่ายน้ำ โดยวิธีการนี้เรียกว่าแบบ “IoT2”

กองที่ 3 ใช้วิธีการของแม่โจ้ 1 โดยรดน้ำบนกองปุ๋ยด้วยการใช้สายยางฉีดโดยคนงานทุกๆ วัน และทุกๆ 7-10 วัน จะมีการเจาะกองปุ๋ยจากข้างบนลงถึงข้างล่าง โดยแต่ละรูจะมีระยะห่างกัน 40 cm จากนั้นกรอกน้ำลงรูที่เจาะจนเต็มแล้วปิดรูที่เจาะด้วยเศษวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยเพื่อรักษาอุณหภูมิในกองปุ๋ยไม่ให้ลดต่ำจนเกินไป

## 2.1 การออกแบบระบบควบคุมการรดน้ำบนกองปุ๋ยหมักและในกองปุ๋ยหมัก

รูปที่ 2 ถึงรูปที่ 3 เป็นแปลนและงานติดตั้งจริงของระบบการรดน้ำปุ๋ย เมื่อความสูงที่ใช้ในการยกน้ำจากพื้นถึงหัวปล่อยน้ำสปริงเกอร์เท่ากับ 2 เมตร ต้องการแรงดันที่ใช้สำหรับหัวปล่อยเท่ากับ 2 บาร์ หรือเท่ากับ 20 เมตร สามารถคำนวณหาขนาดกำลังมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ [9] ดังสมการที่ (1)

$$P = \frac{\rho \times Q \times H}{102 \cdot \eta} \quad (1)$$

P คือ กำลังไฟฟ้า, kW

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m<sup>3</sup>

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ, m<sup>3</sup>/sec

H คือ พลังงานที่ต้องการทั้งหมด, m

$\eta$  คือ ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

$$P = \frac{\left(1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(0.00333 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}\right) (20\text{m} + 2\text{m})}{(102)(0.7)}$$

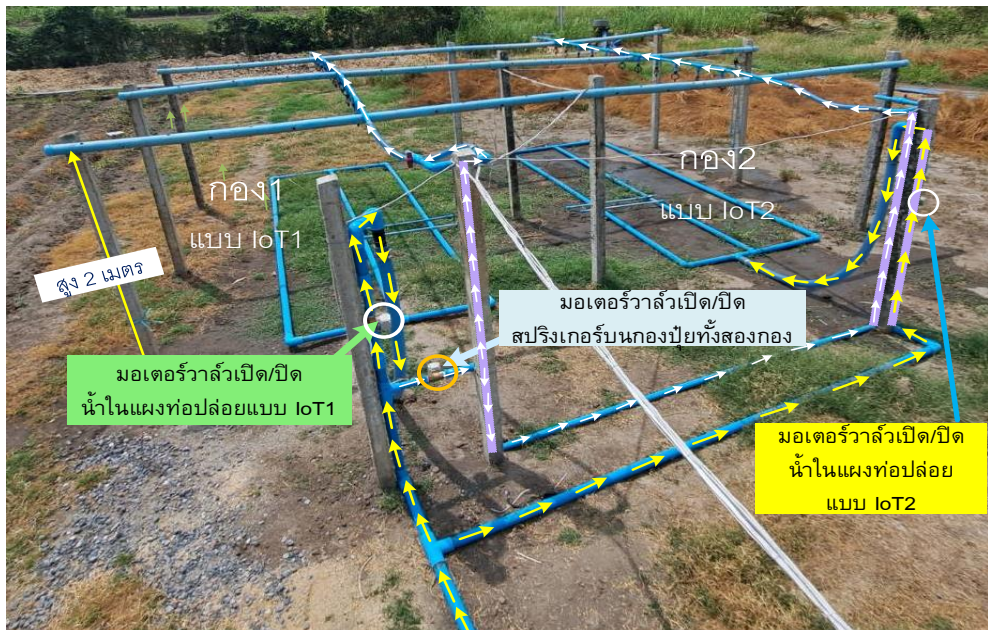
P = 1.026 kW (ในทางปฏิบัติเลือกขนาด 2 แรงม้า)

## 2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

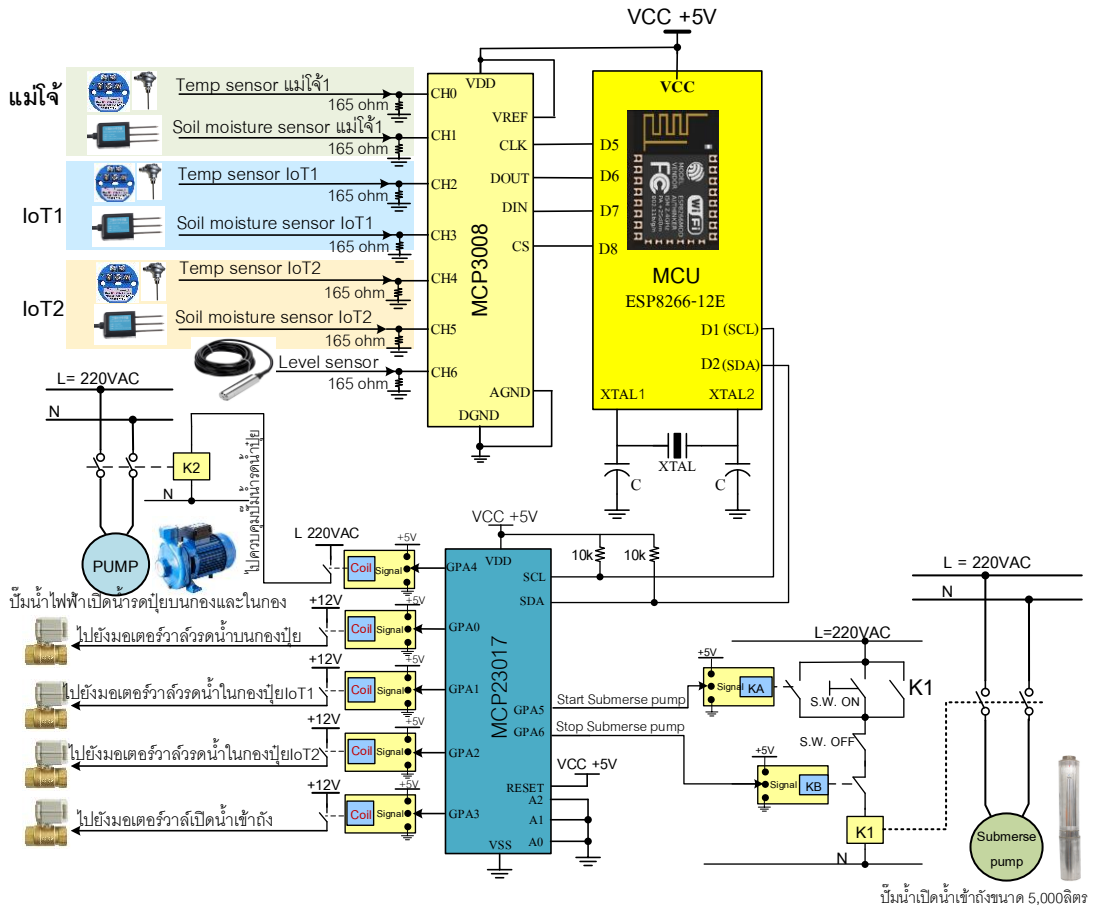
รูปที่ 4 ใช้ตัวรับรู้ความชื้นดินวัดความชื้นในกองปุ๋ย ส่วนการวัดค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเลือกใช้ RTD แบบ PT100 ใช้ตัวรับรู้ระดับความสูงของเหลววัดปริมาณน้ำในถัง ใช้ Node MCU ESP8266 เป็นตัวประมวลผลและควบคุมระบบ โดยมีการสื่อสารแบบ SPI กับ IC เบอร์ MCP 3008 ที่ใช้เป็นตัวแปลงสัญญาณ ADC ขนาด 10 บิต ที่รับข้อมูลจากตัวรับรู้ต่างๆ เลือกใช้ IC เบอร์ MCP 23017 เป็นตัวขยาย I/O พอร์ตเพื่อไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์วาล์วและปั๊มน้ำ



รูปที่ 2 การติดตั้งถังน้ำ ตู้ควบคุม ปั๊มน้ำแบบหอยโข่งขนาด 2 Hp เพื่อสูบน้ำออกจากถังไปยังกองปุ๋ยหมัก



รูปที่ 3 การเดินท่อPVC เพื่อรดน้ำปุ๋ยที่แผงท่อปล่อยน้ำและที่สปริงเกอร์ และติดตั้งมอเตอร์วาล์วจำนวน 3 ตัว

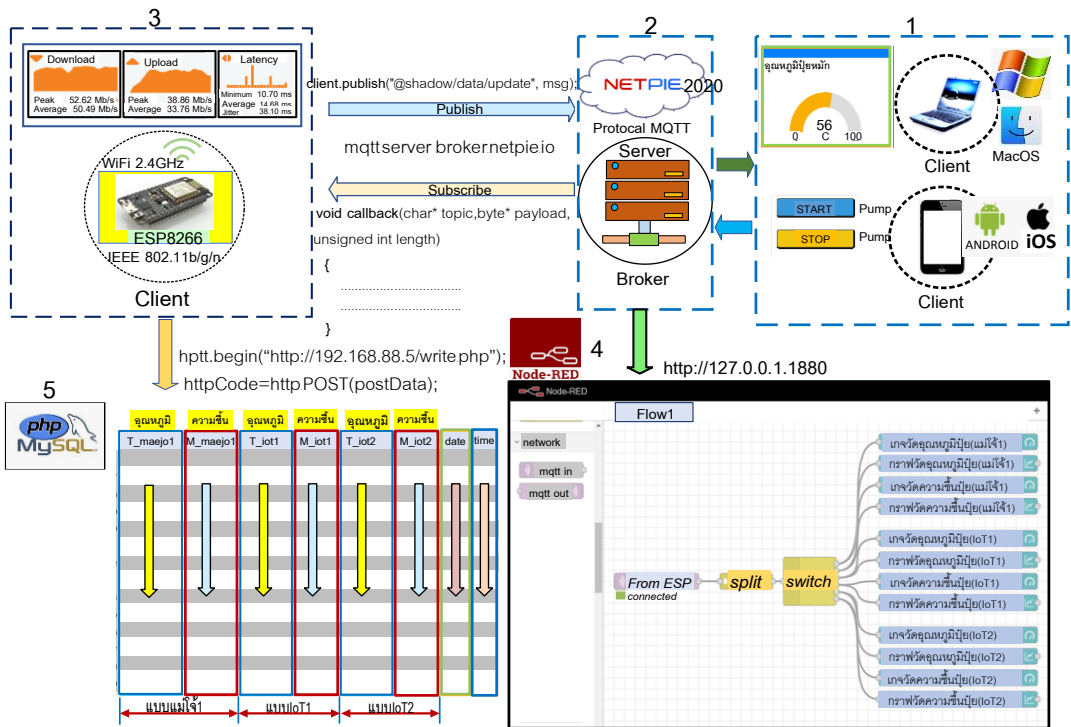


รูปที่ 4 วงจรควบคุมโดยใช้ Node MCU ESP8266 ประมวลผลและติดตามการผลิตปุ๋ยหมักด้วยระบบ IoT

### 2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

ฝั่งด้านเน็ตเวิร์กได้ใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ Netpie 2020[10] จะมี MQTT Telemetry Transport (MQTT) [11-12] เป็นโปรโตคอลสื่อสารแบบ M2M หรือ IoT ดังรูปที่ 5 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือไคลเอนต์และโบรกเกอร์ ในการเก็บค่าข้อมูลของตัวรับรู้แบบอนุกรมเวลา ได้ใช้พีดีที่สามารถดูข้อมูลแบบเวลาจริงหรือดูย้อนหลังและยังสามารถส่งค่าออกในรูปแบบ

นามสกุล.CSV และใช้ Node-RED ที่เป็นเครื่องมือการพัฒนาที่ใช้ไฟล์สำหรับการเขียนโปรแกรมด้วยภาพ ในกรณีนี้ที่ Netpie 2020 เกิดขัดข้องหรือหยุดปรับปรุงระบบชั่วคราว เพื่อให้ข้อมูลจากตัวรับรู้ต่างๆ ไม่มีการสูญหาย ใงานวิจัยได้มีการเก็บข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์ใช้ MySQL ในการสร้างฐานข้อมูลเพื่อเก็บค่าต่างๆ ที่ได้จากตัวรับรู้ทั้ง 6 ค่า

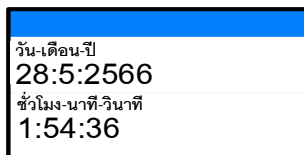
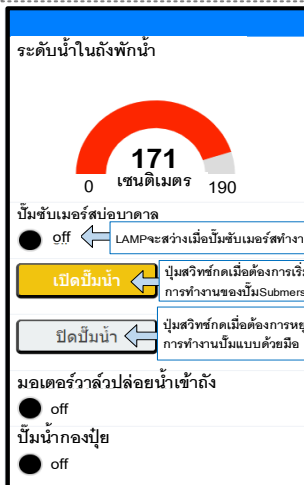
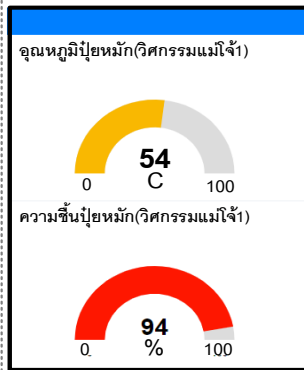


รูปที่ 5 การสื่อสารโปรโตคอล MQTT ของ Netpie 2020 การใช้ Node-RED และการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล

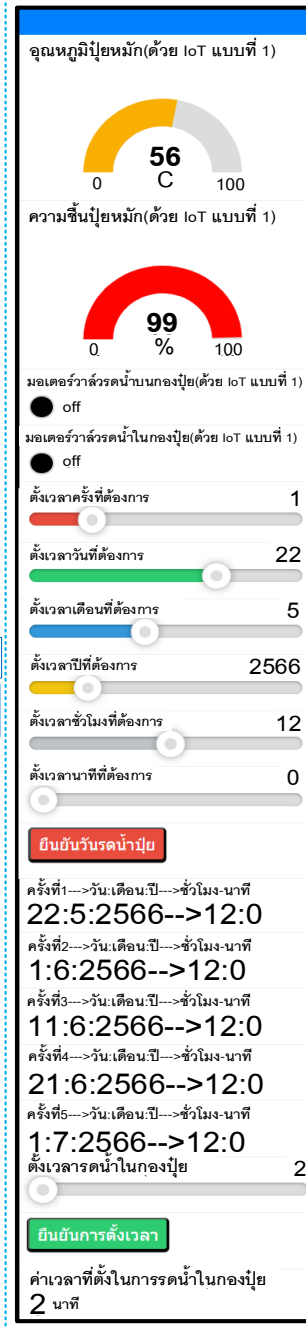
การทดสอบระบบสื่อสารใช้สัญญาณ WiFi 2.4 GHz จากเราเตอร์อินเทอร์เน็ตบ้าน 3BB ไปยัง Node MCU ESP8266 ที่ระยะ 14 เมตร ปรากฏจากสิ่งกีดขวางได้ อัตราการส่งถ่ายข้อมูลที่ Upload ได้ค่าสูงสุด 38.86 Mbps และค่าเฉลี่ยที่ 33.76 Mbps ส่วนที่ Download ได้ค่าสูงสุด 52.62 Mbps และค่าเฉลี่ยที่ 50.49 Mbps เป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดจากมาตรฐาน IEEE 802.11n[13] (รองรับสูงสุดต้องไม่เกิน 300 Mbps และมีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณได้ระยะประมาณ 70 เมตรในโครงสร้างปิดและ 250 เมตรในที่โล่งแจ้ง) ส่วนค่า Latency หรือค่า Ping เป็นความเร็วในการตอบสนองของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการมีค่าต่ำสุด 10.70 mS (การตอบสนองยิ่งค่าน้อยยิ่งดี)

รูปที่ 6 การใช้งานวิดเจ็ตบนพรีบอร์ดแพลตฟอร์ม Netpie 2020 ใช้วิดเจ็ตเกจวัดอุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยทั้ง 3 กอง(แบบ IoT1 IoT2 และแม่ใจ1) ส่วนการรดน้ำบนกองปุ๋ยด้วยหัวปล่อยน้ำสปริงเกอร์ จะทำการรดน้ำกองที่1 (IoT1) และกองที่2 (IoT2) ในเวลาเดียวกัน โดยสามารถตั้งค่าเวลาจากวิดเจ็ตสไลเดอร์ ซึ่งถ้าสังเกตจากรูปที่ 4 ฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบจะไม่นำโมดูลนาฬิกาแบบเรียลไทม์มาใช้งาน เช่น ไอซีเบอร์ DS 1307 แต่จะนำวิธีการตั้งเวลามาตรฐานสากลที่เป็นเวลาปัจจุบันจากโปรโตคอล NTP ที่อยู่บนอินเทอร์เน็ตมาใช้ ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่ใช้เลี้ยงไอซีเมื่อพลังงานหมดลง

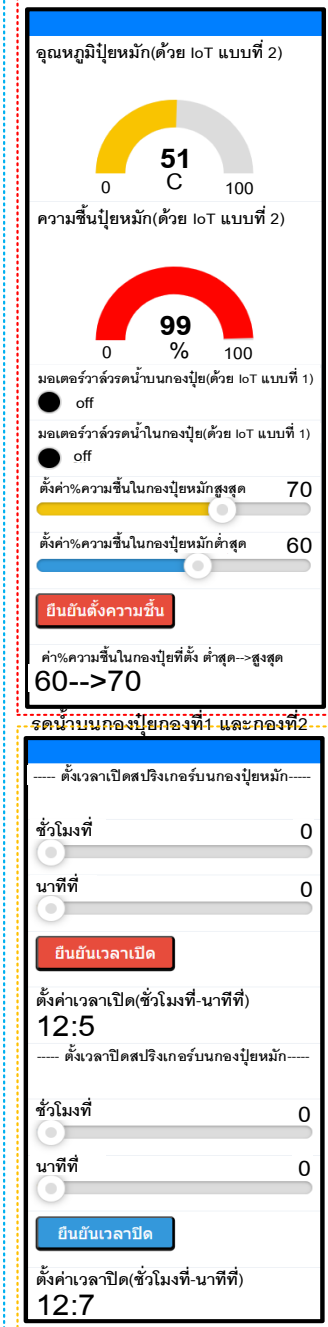
กองที่3 แม้ใจ้ การรดน้ำใช้แรงงานคน



รดในกองที่1 เทคนิคการตั้งเวลา(loT1)



รดในกองที่2 เทคนิคตั้ง%ความชื้น(loT2)



รูปที่ 6 วิตเจ็ตต่างๆ ของระบบการควบคุมและติดตามขณะเก็บผลการทำงาน





### 3. ขั้นตอนการผลิตปุ๋ยหมัก

การทดสอบทำการขึ้นกองปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง เป็นจำนวน 3 กอง ในวันที่ 13 พ.ค. 2566 โดยแต่ละกองมีความกว้าง 2.5 m ยาว 4.2 m ใช้มูลวัวกับต้นหน่อไม้ฝรั่งวางปูสลับชั้นกันอย่างหลวมๆ โดยแต่ละชั้นหนา 7 cm แต่ละชั้นใช้มูลวัว 10 kg ต่อต้นหน่อไม้หน้าหนักประมาณ 40 kg ทำการรดน้ำตอนขึ้นกองแต่ละชั้นให้ทั่วๆ กอง ข้อสำคัญเพื่อให้อากาศสามารถถ่ายเทภายในกองปุ๋ยได้สะดวก อย่าเหยียบอัดแน่นวัตถุดิบบนกองปุ๋ย โดยขึ้นกองรวมทั้งหมด 15 ชั้น รวมความสูงกองที่วัดได้จริงประมาณ 110 cm ติดตั้งตัวรับรู้ความชื้นและอุณหภูมิในกองปุ๋ยในชั้นที่ 4 ติดตั้งแผงท่อปล่อยน้ำในกองบนกองชั้นที่ 8 จากรูปที่ 7 เป็นกองปุ๋ยหมักจำนวน 3 กองที่ขึ้นกองเสร็จสิ้นแล้ว และมีการรดน้ำบนกองปุ๋ยกองที่ 1 และกองที่ 2 โดยใช้ระบบ IoT ส่วนกองที่ 3 เป็นการรดน้ำด้วยตัวเกษตรกร โดยใช้สายยางฉีดน้ำบริเวณบนกองให้ทั่ว ๆ และทำทุกๆ วัน กรณีที่เวลาผ่านไปทุกๆ 10 วันจะมีการเจาะรูกองปุ๋ยเพื่อกรอกน้ำลงในกองปุ๋ย โดยที่รูมีระยะห่างกัน 40 cm สภาพกองปุ๋ยที่เวลาผ่านไป 30 วันมีความสูงกองปุ๋ยลดลงจาก 110 cm เหลือ 40 cm และกองปุ๋ยที่เวลาผ่านไป 60 วัน ความสูงกองปุ๋ยลดลงเหลือเพียง 30 cm

เมื่อมีการล้มกองปุ๋ยเพื่อตากปุ๋ยหมักให้ความชื้นลดลงและอุณหภูมิลดลง(เหลือใกล้เคียงอุณหภูมิแวดล้อม ในงานวิจัยวัดได้ 32.5 °C) โดยมีการพลิกกลับกองปุ๋ยทุกๆ วัน เป็นระยะเวลา 5 วัน จากนั้นเก็บใส่กระสอบหรือนำไปใช้งานได้แล้ว ส่วนอินทรีย์วัตถุขนาดใหญ่ที่ย่อยสลายไม่หมดยังสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักรอบถัดไปได้อีกด้วย



รูปที่ 7 การรดน้ำบนกองปุ๋ยทั้ง 2 กองด้วยหัวจ่ายสปริงเกอร์ตามเวลาที่ตั้งไว้ด้วยระบบ IoT

### 4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์แบ่งได้ 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 สมรรถนะของเครื่องผลิตปุ๋ยหมัก กรณีที่ 2 ศึกษาพฤติกรรมของอุณหภูมิและความชื้นที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ย กรณีที่ 3 ศึกษาถึงคุณภาพของปุ๋ยหมักในเรื่องของธาตุอาหารและคุณสมบัติทางเคมีจากปุ๋ยหมักทั้ง 3 กอง กรณีที่ 4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

#### 4.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตปุ๋ยหมัก

จากตารางที่ 1 เป็นผลการทดสอบสมรรถนะในด้านต่างๆ เช่น ระบบปฏิบัติการที่รองรับ ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลไร้สายคลื่นความถี่ WiFi 2.4 GHz คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ที่ใช้งาน การสำรองน้ำในถังใช้งาน รวมถึงขีดจำกัดในเรื่องของปริมาณการผลิตปุ๋ยต่อครั้ง

#### 4.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ย

จากรูปที่ 8 เป็นค่าของอุณหภูมิในกองปุ๋ยทั้ง 3 กองตลอดระยะเวลา 60 วัน เห็นได้ว่าในช่วงของ 5 วันแรกค่าของอุณหภูมิของปุ๋ยทั้ง 3 กองจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่าอุณหภูมิต่ำๆ ลดลงอย่างช้าๆ แล้วไปสิ้นสุดที่อุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นในการศึกษาจะแยกศึกษาที่ละส่วน



ตารางที่ 1 สมรรถนะของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักที่สร้างขึ้น

รายการ	
ระบบปฏิบัติการที่รองรับ	macOS, windows iOS, Android
คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ที่ใช้งาน	Netpie2020, Node red MySQL, Line notify
ระยะทางที่ทดสอบสัญญาณ WiFi 2.4GHz	95 m
ได้มากที่สุด คิดระยะทางจากเราเตอร์ไปยัง ESP8266 ในสภาวะมีสิ่งกีดขวางปานกลาง	
จำนวนวันมากที่สุดที่สามารถสำรองน้ำในถังขนาด 5,000 ลิตร เพื่อใช้รดน้ำกองปุ๋ย	5 วัน
จำนวนกองปุ๋ยสูงสุดที่สามารถขึ้นกองต่อรอบการผลิต (ขนาดกองปุ๋ย กว้าง 2.5m ยาว 4.2m สูง 1.5m)	2 กอง

- ค่าอุณหภูมิสูงสุดของปุ๋ยหมัก

รูปที่ 9 เป็นการศึกษาช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นในกองปุ๋ยที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วช่วง 62 ชั่วโมงแรก การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเป็นลักษณะใกล้เคียงค่าของลอการิธึมธรรมชาติ ดังสมการที่ (2)

Temp = Slope\*ln(hour)+ Initial temp (2)

Temp คือ อุณหภูมิปุ๋ยหมักที่เวลาใดๆ, °C

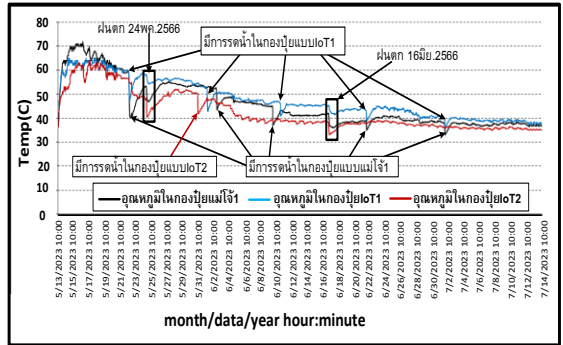
Slope คือ ค่าความชัน

Initial temp คือ อุณหภูมิปุ๋ยหมักที่เวลาเริ่มต้น, °C

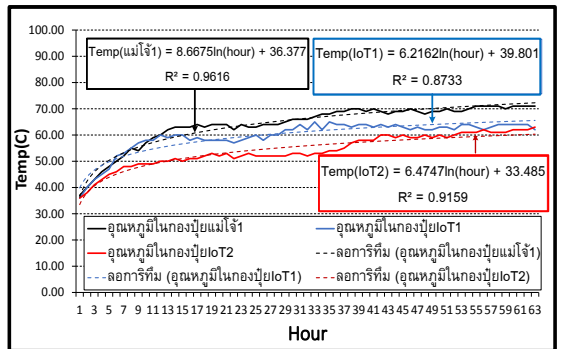
เมื่อนำข้อมูลนี้ไปสร้างเส้นแนวโน้มหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิปุ๋ยกับเวลาที่ใช้หมักปุ๋ย โดยใช้วิธีถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Method) ได้โมเดลทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ (3) ถึง (5)

Temp(แม่ใจ1) = 8.6675\*ln(hour)+36.377 (3)

Temp(loT1) = 6.2162\*ln(hour)+39.801 (4)



รูปที่ 8 ค่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทั้ง 3 กองที่ได้จากการทดสอบตลอดระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 9 ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยทั้ง 3 กองที่ได้จากการทดสอบและการทำนายในช่วง 62 ชั่วโมงแรก

Temp(loT2) = 6.4747\*ln(hour)+33.485 (5)

นำค่าความชันของทั้ง 3 สมการไปหาความชันเฉลี่ย จะได้โมเดลใหม่ที่สามารถนำไปทำนายค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักอื่นๆ แบบล่วงหน้าได้ ดังสมการที่ (6)

Slope = (8.6675+ 6.2162+6.4747)/3 = 7.1195

Temp = 7.1195\*ln(hour)+ Initial temp (6)

ถ้าค่าอุณหภูมิที่ทำนายล่วงหน้ามีค่าสูงเกิน นั้นหมายถึงจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เช่น เชื้อรา แบคทีเรียและแอกติโนมัยซีทตายได้ [14]



ส่งผลทำให้ขบวนการย่อยสลายไม่สมบูรณ์และทำให้ระยะเวลาในการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุนานมากยิ่งขึ้น

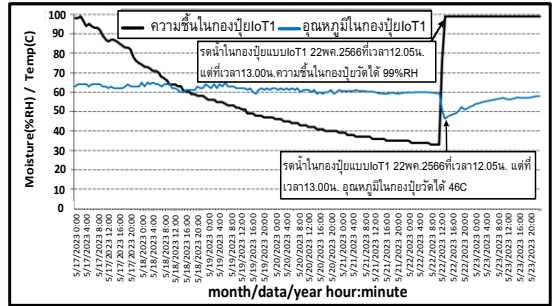
- ช่วงการเว้นจำนวนวันที่เหมาะสมกับการรดน้ำในกองปุ๋ยหมัก

ที่กองปุ๋ยหมักที่ 1 (IoT1) การรดน้ำในกองปุ๋ยแต่ละครั้งจะใช้วิธีการเว้นระยะเวลาห่างกัน 10 วัน รูปที่ 10 เป็นผลการทดสอบการรดน้ำในกองด้วยแผงท่อปล่อยน้ำ ครั้งที่ 1 ในวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 เห็นได้ว่าอุณหภูมิลดลงเหลือ 46 °C หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ค่าเดิม แต่เมื่อพิจารณาค่าความชื้นเห็นได้ว่าการเว้นระยะเวลา 10 วัน ค่าความชื้นลดลงมาอยู่ที่ 32 % ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเกินไปทำให้บริเวณนี้มีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ได้ ค่าความชื้นที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 60-70% [7] ซึ่งอยู่ในช่วงระยะเวลา 6 วัน ในทางปฏิบัติอาจจะอยู่ในช่วง 6-7 วันตามความสะดวกของเกษตรกร

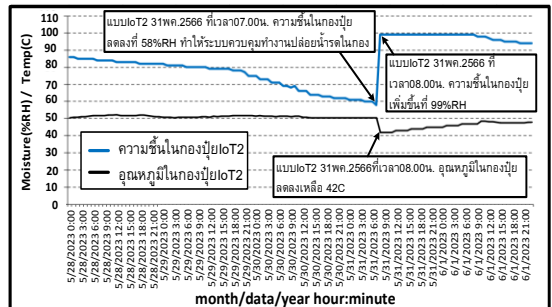
ส่วนรูปที่ 11 เป็นการการรดน้ำในกองปุ๋ยหมักด้วยแผงท่อปล่อยน้ำในกองที่ 2 (IoT2) ในวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 เมื่อความชื้นในกองปุ๋ยลดต่ำกว่า 60% จะมีการปล่อยน้ำและจะหยุดปล่อยน้ำเมื่อความชื้นในกองปุ๋ยสูงมากกว่า 70 %

- จำนวนเวลา (นาที) ที่เหมาะสมกับการรดน้ำกองปุ๋ย

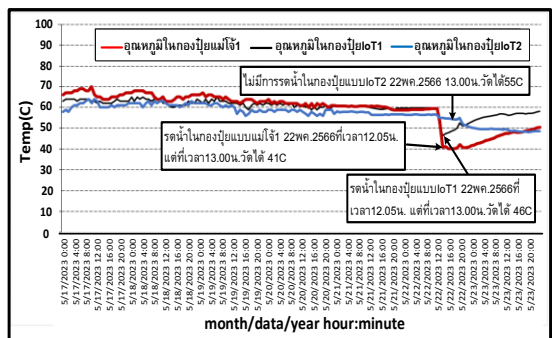
ในการรดน้ำบนกองปุ๋ยกองที่ 1 (IoT1) และกองที่ 2 (IoT2) จะรดน้ำทุกๆ วันด้วยหัวจ่ายสปริงเกอร์พร้อมกันทั้งสองกองโดยใช้เวลา 2 นาที ซึ่งวัดปริมาณน้ำที่ใช้ต่อกองมีค่า 200 ลิตร จากรูปที่ 12 ในวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ได้มีการสั่งให้มีการรดน้ำในกองปุ๋ยหมักที่ 1 (IoT1) โดยปล่อยน้ำเข้าแผงท่อปล่อยน้ำ โดยตั้งค่าเวลา 2 นาที (ใช้น้ำ 400 ลิตร) โดยการรดน้ำในกองปุ๋ยแต่ละครั้งเว้นระยะเวลาห่างกัน 10 วัน



รูปที่ 10 ค่าอุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยที่ 1 (IoT1) ก่อนและหลังที่มีการรดน้ำในกองปุ๋ย



รูปที่ 11 ค่าอุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ยที่ 2 (IoT2) ก่อนและหลังที่มีการรดน้ำในกองปุ๋ย



รูปที่ 12 ค่าอุณหภูมิที่ลดลงอันเนื่องจากการรดน้ำในกองปุ๋ยหมักที่ 1 (IoT1) และในกองปุ๋ยหมักที่ 3 (แม่ใจ)



อุณหภูมิที่วัดได้ลดจาก 60 °C ลงไปอยู่ที่ 46 °C ส่วน กองที่ 3 (แม่ใจ) จะใช้เกษตรกรรดน้ำทั้งบนกองปุ๋ย และในกองปุ๋ยด้วยสายยาง จากรูปที่ 12 เห็นได้ว่าเมื่อ เกษตรกรรดน้ำในกองปุ๋ยด้วยระยะเวลาสั้นเกินไป ทำให้ เกิดการสูญเสียความร้อนในกองปุ๋ยปริมาณมาก ค่า อุณหภูมิที่วัดได้ลดจาก 60 °C ลงไปอยู่ที่ 41 °C ดังนั้น กว่าที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับ กระบวนการย่อยสลายจะใช้เวลานาน ด้วยเหตุนี้ ประสิทธิภาพของเกษตรกรจึงเป็นสิ่งจำเป็นกับการ ปฏิบัติงาน ส่วนการรดน้ำในกองปุ๋ยที่ 2 (IoT2) ในวัน ดังกล่าวระบบปล่อยน้ำยังไม่ทำงาน สาเหตุเพราะ ความชื้นในกองปุ๋ยยังไม่ลดลงต่ำกว่า 60%

### 4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

ข้อดีของปุ๋ยอินทรีย์มีจำนวนธาตุอาหารมากกว่า ปุ๋ยเคมี คือมีทั้งหมด 13 ชนิด[7] ประกอบด้วยธาตุ อาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ จากตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการเคมีฯ ภาควิชา ปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ. นครปฐม เห็นได้ว่าการทดสอบทั้ง 3 แบบให้ผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียง กัน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (เกรดA) [15] ผ่านเกณฑ์การทดสอบทุกรายการยกเว้น

ธาตุโพแทสเซียมที่ต่ำกว่า แต่ค่าไนโตรเจนและ ฟอสเฟอรัสมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ (เกรด A) ที่กำหนดไว้มาก ซึ่งเหมาะกับพืชที่ต้องการเร่งการ เจริญเติบโตของลำต้นและเร่งการแผ่ขยายของราก [16] จากผลการทดสอบปุ๋ยทั้ง 3 กองมีค่า C/N ประมาณ 12 หมายความว่าระบบการหมักมีปริมาณไนโตรเจนที่มาก พอที่จะทำให้ขบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์เป็นไป อย่างรวดเร็ว ค่า pH ของดินที่เหมาะสมกับการ เจริญเติบโตของต้นหน่อไม้ฝรั่งมีค่า 6.0-8.0 [17] ค่า การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ทั้ง 3 กองมี ค่ามากกว่า 80% ส่วนอินทรีย์วัตถุที่เหลือเป็นเศษเล็กๆ เมื่อนำไปใช้งานส่งผลทำให้ดินฟู อากาศถ่ายเทในดินได้ ดี อีกทั้งช่วยในการรักษาความชื้นหน้าดิน ทำให้ ประหยัดค่าน้ำและค่าไฟฟ้าในการรดน้ำของแต่ละวัน และเมื่อที่โคนต้นมีสภาพดินฟู ส่งผลดีทำให้การถอน หน่อขึ้นจากตัวเหง้าได้อย่างง่ายไม่เสี่ยงกับหน่อหัก ทำ ให้ลดค่าสูญเสียอันเนื่องจากการเก็บผลผลิตได้อย่าง มาก ส่วนการปรับปรุงค่าธาตุโพแทสเซียมให้สูงขึ้นนั้น ทำได้โดยการใช้เศษพืชอื่นๆ ที่มีธาตุโพแทสเซียมสูง ร่วมหมักด้วย เช่น ผักตบชวา(4.84%) [18] เปลือก ทุเรียน (1.57% - 2.04%) [19]

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบธาตุอาหารและค่าอื่นๆ ของปุ๋ยทั้ง 3 กอง กับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์(เกรด A)

	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์(เกรดA)	แม่ใจ1	IoT1	IoT2
กรด-ด่าง (pH; 1:5)	5.5-8.5	7.32	7.39	7.52
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	ไม่น้อยกว่า30 ของน้ำหนัก	59.35	58.44	55.82
การย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ยอินทรีย์	ไม่น้อยกว่า 80	สมบูรณ์ (97.64%)	สมบูรณ์ (83.31%)	สมบูรณ์ (111.81%)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)	ไม่เกิน 20:1	12.12	12.24	12.13
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ไม่น้อยกว่า1% ของน้ำหนัก	2.84	2.77	2.67
ฟอสเฟอรัสมทั้งหมด (%)	ไม่น้อยกว่า0.5%ของน้ำหนัก	1.54	1.65	1.55
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	ไม่น้อยกว่า0.5%ของน้ำหนัก	0.18	0.15	0.06



#### 4.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

โดยงานวิจัยนี้ได้นำต้นหน่อไม้ฝรั่งที่ถอนต้นทิ้งในไร่มาใช้ผลิตเป็นปุ๋ยหมัก ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยอินทรีย์และลดการใช้ปุ๋ยเคมี ลดสภาพดินเปรี้ยวอันเนื่องมาจากใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง [20] ส่วนธาตุฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มความต้านทานโรคพืชและโพแทสเซียมช่วยทำให้รากแข็งแรงทนทานต่อโรคแมลง [21] ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อยาฉีดป้องกัน/กำจัดโรคต่างๆ และลดการสะสมของยาตังกกล่าวในตัวเกษตรกรผู้ใช้ และเมื่อไม่มีการเผาต้นหน่อไม้ฝรั่งทำให้ไม่เกิดมลภาวะในอากาศเป็นพิษรวมถึงไม่ทำลายธาตุอาหารและจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าดิน ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสภาพดินให้ดีขึ้น [22]

จากตารางที่ 3 ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยจะมีค่าสูง สาเหตุเพราะเป็นบริบทในเรื่องของงานวิจัย จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากมาวิเคราะห์ แต่ถ้านำไปใช้งานจริงสามารถตัดส่วนที่ไม่จำเป็นออกได้ ซึ่งทั้งหมดนี้จะทำให้เกษตรกรสามารถลดค่าใช้จ่ายอีกจำนวนมาก ส่วนปุ๋ยหมักที่มีส่วนของอินทรีย์วัตถุย่อยสลายและไม่ย่อยสลายรวมกันจากทั้ง 3 กองมีน้ำหนัก 867 กิโลกรัม (ความชื้น 80%) แต่เมื่อตากแห้งที่ความชื้นไม่เกิน 15% (ผลจากตารางที่ 2) น้ำหนักจะลดลงเหลือ 217 กิโลกรัม (1/4 ของน้ำหนักเดิม) และเมื่อร่อนเอาเฉพาะปุ๋ยที่เป็นผงอย่างเดียว น้ำหนักจะลดลงอีก 10% จึงทำให้ได้น้ำหนักสุทธิ 195.3 กิโลกรัม/รอบการผลิต ดังนั้นใน 1 ปี ผลิตได้ 4 รอบ ทำให้ได้จำนวนปุ๋ยหมัก 781.2 กิโลกรัมจากราคาท้องตลาดราคาปุ๋ยยังไม่รวมค่าขนส่ง กิโลกรัมละ 35 บาท [23] ทำให้มีค่าประหยัดปีละ 27,342 บาท

และยังได้เศษของอินทรีย์วัตถุมาใช้คลุมหน้าดินเพื่อรักษาความชื้นอีกด้วย ไม่จำเป็นต้องซื้อแกลบหรือซีเถ้าแกลบมาผสมกับปุ๋ยหมักใช้งานเพิ่มอีก เมื่อนำค่าการลงทุน 55,043 บาท หารด้วยค่าประหยัดจะได้ค่าระยะเวลาการคืนทุน [24] ดังสมการที่ (7) มีค่าประมาณ 2 ปี ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่า 5 ปี จึงคุ้มค่ากับการลงทุน และหลังจากนั้นการลงทุนจะลดลง สาเหตุเพราะไม่ต้องลงทุนในส่วนของอุปกรณ์มีเฉพาะค่าใช้จ่ายส่วนที่เหลือเป็นเงิน 10,043 บาท จึงทำให้ได้กำไร 17,299 บาท/ปี (27,342-10,043) แต่ถ้าเกษตรกรขึ้นกองปุ๋ยเองจะทำให้เพิ่มกำไรอีกปีละ 4,500 บาท และที่สำคัญเมื่อเกษตรกรสามารถผลิตปุ๋ยได้เอง ก็จะทำให้มีช่องทางต่อยอดในการทำธุรกิจใหม่เพิ่มอีก แต่ถ้ามีการซื้อปุ๋ยมาใช้งานตลอดเวลา ราคาปุ๋ยดังกล่าวมีโอกาสปรับขึ้นตามค่าเงินเพื่อในแต่ละปี ทำให้ราคาต้นทุนการปลูกหน่อไม้ฝรั่งผันผวนและเสี่ยงกับการขาดทุน ในกรณีที่น่าปุ๋ยหมักที่ผลิตได้ไปใช้ในไร่ ไม่มีความจำเป็นต้องลดความชื้นปุ๋ยลงเหลือต่ำกว่า 30% (ตามเกณฑ์มาตรฐาน) ในกรณีของเกษตรกรรายนี้ได้ใช้ปุ๋ยที่ผสมกับเศษอินทรีย์วัตถุที่ย่อยไม่หมดรวมน้ำหนัก 623 กิโลกรัม (ความชื้น 40%) ใส่โคนต้นหน่อไม้ฝรั่งประมาณ 1 กำมือ/กอ ซึ่งทดสอบแล้วใส่ได้จำนวน 2 ไร่ ดังนั้น ถ้าผลิตได้ปีละ 4 รอบ จะได้น้ำหนักปุ๋ย 2,492 กิโลกรัม ทำให้ใส่ปุ๋ยได้จำนวน 8 ไร่ ส่วนพื้นที่จากงานวิจัยมีขนาด 4.22 ไร่ ทำให้สามารถใส่ได้ประมาณ 2 ครั้งต่อ 1 ปี โดยใส่ครั้งละ 1,252 กิโลกรัม เว้นระยะเวลาห่างกัน 6 เดือน

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ค่าการลงทุน}}{\text{ค่าประหยัด}} \quad (7)$$



### ตารางที่ 3 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปี

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าก่อสร้างและอุปกรณ์ทั้งหมด	45,000
ต้นทุนไม้ฟรังน้ำหนัก 6,840 kg	0
มูลวัว(ทำปุ๋ย 12 กอง) 1,800 kg	5,143
ค่าไฟฟ้า 80 หน่วย	400
ค่าน้ำใช้ตลอดขบวนการหมัก	0(ยกเว้น)
ค่าแรงขึ้นกองปุ๋ยทั้ง 12 กอง	4,500
ค่าบริการอินเทอร์เน็ต 3BB	0(มีใช้อยู่แล้ว)
รวมทั้งหมด	55,043

### 5. บทสรุป

ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ ปุ๋ยหมักที่ได้จากทั้ง 3 เทคนิคามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ขบวนการผลิตแตกต่างกัน แต่ยังให้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ค่าไนโตรเจนมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (เกรดA) ประมาณ 2.76 เท่า ฟอสฟอรัสมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์(เกรดA) 3.16 เท่า แต่โพแทสเซียมมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์(เกรดA) 3.85 เท่า สาเหตุเพราะเศษพืชที่นำมาใช้มีเฉพาะต้นหน่อไม้ฝรั่งเพียงอย่างเดียว แนวทางปรับปรุงเพื่อเพิ่มโพแทสเซียมสามารถกระทำโดยนำวัชพืชผักตบชวาหมักร่วมด้วย เทคนิคแบบ IoT1 จะประหยัดค่าต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตปุ๋ยมากกว่าแบบ IoT2 สาเหตุเพราะไม่จำเป็นต้องใช้ตัวรับรู้ การทำงานจะใช้ฟังก์ชันเวลาที่กำหนด และแบบ IoT1 จะดีกว่าแบบแม่โจ้1 สาเหตุเพราะไม่ต้องใช้คนงานมาปฏิบัติหน้าที่ตลอดระยะเวลามากกว่า 60 วัน ถ้าพิจารณาเป็นค่าแรงคิดเฉพาะเดินทางมาปฏิบัติงานรดน้ำกองปุ๋ยชั่วระยะเวลาสั้นๆ เป็นเงิน 50 บาท/วัน จำนวน 60 วัน รวมเป็นเงิน 3,000 บาท/รอบ ที่ระยะเวลา 1 ปีสามารถผลิตปุ๋ย

หมักได้ 4 รอบ ซึ่งหมายความว่าสามารถลดค่าแรงงานได้มากถึง 12,000 บาท/ปี เมื่อนำระบบ IoT มาช่วยในการผลิตปุ๋ยหมัก (ความชื้น 40%) สามารถผลิตได้ 2,492 กิโลกรัม/ปี ส่วนระยะเวลาการคืนทุนมีค่าประมาณ 2 ปี

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการวิจัยที่กรุณาให้ความเห็นชอบในการอนุมัติงบประมาณ โดยโครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากบริษัทอุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด และมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีการศึกษา 2563 ตามสัญญาขอรับทุนอุดหนุนการวิจัย หมายเลข ST001/2564

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://www.pcd.go.th/publication/29509>. (Accessed on 3 September 2023)
- [2] <https://www.sdgmove.com/2023/05/17/sdg-insights-policy-pm2-5-agriculture/>. (Accessed on 1 September 2023)
- [3] R.S. Jo, M. Lu, V. Raman and P.H.H. Then, Design and implementation of IoT-enabled compost monitoring system, 9<sup>th</sup> IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE), Proceeding, 2019, 23-28.
- [4] R. Bhoir, R. Thakur, P. Tambe, R. Borase and S. Pawar, Design and implementation of smart compost system using IoT, IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON), Proceeding, 2020, 1-5.



- [5] H.I.B.A. Mamari, N.A.A.A. Washahi, M.H.K.A. Busaidi and F. Hajamohideen, Deep neural network based composting processing technology: A solution for municipality and fertilizer companies, 6<sup>th</sup> IET International Smart Cities Symposium, Proceeding, 2022, 1-9.
- [6] S.F. Mujiyanti, P.Y. Aisyah, A.F. Salsabilla, T.R. Darmawan and A. Rohid, IoT-based for monitoring and control system of composter to accelerate production time of liquid organic fertilizer, The Journal of Engineering, 2022, 8(2), 49-55.
- [7] <https://archives.mju.ac.th/intellectualhub/?p=1469> (Accessed on 5 September 2023)
- [8] S. Tadsuan and P. Taerakul, Increasing yield and reducing the cost of cultivation of asparagus with the internet of things, The Journal of Industrial Technology, 2022, 18(3), 69-88. (in Thai)
- [9] R.K. Rajput, Electrical machines in S.I. units, Laxmi Publications Ltd., New Delhi, India, 2007.
- [10] <https://netpie.io/tutorials> (Accessed on 7 September 2023)
- [11] A. Minteer, Analytics for the internet of things (IoT), Packt Publishing Ltd., UK, 2017.
- [12] S.V. Mukherji, R. Sinha, S. Basak and S.P. Kar, Smart agriculture using internet of things and mqtt protocol, International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (Com-IT-Con), Proceeding, 2019, 14-16.
- [13] <https://iiot.riverplus.com/ieee-802-11/>. (Accessed on 20 December 2023)
- [14] <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/tjsf/article/view/4410/2078>. (Accessed on 30 October 2023)
- [15] <http://r08.idd.go.th/KM%20-%206.htm> (Accessed on 2 September 2023)
- [16] [http://oss101.idd.go.th/web\\_soils\\_for\\_youth/s\\_prop\\_nutri02.htm](http://oss101.idd.go.th/web_soils_for_youth/s_prop_nutri02.htm). (Accessed on 9 September 2023)
- [17] <https://www.tools.in.th/ph/suitable-soil-ph/>. (Accessed on 25 September 2023)
- [18] <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn%3Aaaid%3Aascds%3AUS%3A26f5db6d-5f74-3e82-b12e-bb38c73d0088>. (Accessed on 14 September 2023)
- [19] W. Thaymuang, J. Boonjan and S. Singhabandhu, Nutrient in leaves, flesh and peel of Monthong durian planting on Khlong Chak series, Journal of Agricultural Science and Management, 2022, 5(1), 82–90. (in Thai)



- [20] [https://www.opsmoac.go.th/angthong-local\\_wisdom-preview-412891791829](https://www.opsmoac.go.th/angthong-local_wisdom-preview-412891791829). (Accessed on 20 September 2023)
- [21] [https://www.baanlaesuan.com/144528/garden-farm/farming-101/plants\\_nutrients](https://www.baanlaesuan.com/144528/garden-farm/farming-101/plants_nutrients). (Accessed on 20 September 2023)
- [22] S. Khetjoi, W. Thasa, S. Raisa-nguan and S. Khatjoi, Impact of burning sugarcane leaves polluted pm 2.5 Nai-Muang sub-district, Wiangkao district, Khon kaen province, Journal of Buddhist Education and Research, 2021, 7(1), 16-25. (in Thai)
- [23] [https://shopee.co.th/product/5468522/9734469687?gclid=CjwKCAjwgsqoBhBNEiAwEw5w0xJgGnr401ceY7C5zOIC0tp8URQOUEHvQmMmNsRVxipCbkrzwohoCG6MQAvD\\_BwE](https://shopee.co.th/product/5468522/9734469687?gclid=CjwKCAjwgsqoBhBNEiAwEw5w0xJgGnr401ceY7C5zOIC0tp8URQOUEHvQmMmNsRVxipCbkrzwohoCG6MQAvD_BwE). (Accessed on 26 September 2023)
- [24] [http://cmuir.cmu.ac.th/bitstream/6653943832/11424/7/econ30555pp\\_ch4.pdf](http://cmuir.cmu.ac.th/bitstream/6653943832/11424/7/econ30555pp_ch4.pdf). (Accessed on 24 September 2023)