



สวทศ
NSTDA



โครงการ

ระบบป้อนหมักไม่ว่าฟลิกกอนอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี IOT และปัญญาประดิษฐ์ AI

จัดทำโดย

นางสาวอลิสรา คำปา

นางสาวจิตสุภา มานพชัย

นางสาวปริยากร ชัยทา

ครูที่ปรึกษา

นายจิรันตร เองศิลป์

นางสาวสมาพร สุยะ

โรงเรียนสบเมยวิทยาคม อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน
โครงการสิ่งประดิษฐ์เพื่อเกษตรอัจฉริยะ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อเรื่อง: ระบบปุยหมักไม่พลิกกองอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี IOT และปัญญาประดิษฐ์ AI
(Smart Static Pile Composting System using IoT and Artificial Intelligence AI)

ผู้จัดทำ

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. นางสาวอลิสสา คำปา | ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 |
| 2. นางสาวจิตสุภา มานพชัย | ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 |
| 3. นางสาวปรียากร ชัยหา | ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 |

ครูที่ปรึกษา

1. นายจิรันดร เองศิลป์
2. นางสาวสมาพร สุยะ

โรงเรียนสบเมยวิทยาคม อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

บทคัดย่อ

โครงการเรื่อง ระบบปุยหมักไม่พลิกกองอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี IOT และปัญญาประดิษฐ์ AI มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมการผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์แบบไม่พลิกกองให้มีประสิทธิภาพสูง ลดการใช้แรงงาน และเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมัก โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT สำหรับการตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ย และใช้เทคโนโลยี AI ในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดจากการหมัก เช่น การเกิดราขาวและราดำ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการหมักที่ไม่เหมาะสม การดำเนินงานเริ่มจากการจัดทำกองปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกองตามหลักการพาความร้อน (Chimney Convection) จากนั้นติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นจำนวน 3 จุดภายในกองปุ๋ย ระบบจะประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์เพื่อควบคุมการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ โดยกำหนดให้รักษาความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ ได้พัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจจับการเกิดราขาวและราดำจากภาพถ่ายภายในกองปุ๋ย พร้อมระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE และสั่งการแก้ไขสภาพแวดล้อมโดยอัตโนมัติ

ผลการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยให้อยู่ในช่วงมากกว่า 40 องศาเซลเซียสอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเอื้อต่อกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์และการลดการปนเปื้อนของเชื้อโรค ระบบควบคุมความชื้นสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้อย่างเหมาะสม และช่วยรักษาความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดการทดลอง ขณะเดียวกัน ระบบ AI สามารถตรวจจับการเกิดราขาวและราดำได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น และช่วยลดการเกิดซ้ำของเชื้อราในช่วงปลายของการทดลอง ซึ่งสรุปได้ว่า ระบบปุยหมักไม่พลิกกองอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการลดภาระแรงงาน เพิ่มความสม่ำเสมอของกระบวนการหมัก และยกระดับคุณภาพของปุ๋ยหมักอย่างเป็นระบบ อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบในการจัดการปุ๋ยอินทรีย์ในสถานศึกษาและชุมชนได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงและแนวทางการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ (Keywords):

ปุ๋ยหมักไม่พลิกกอง, Internet of Things (IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรงเรียนสบเมยวิทยาคมได้รับการประกาศจากกระทรวงศึกษาธิการให้เป็น “ศูนย์การเรียนรู้ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงด้านการศึกษา” ซึ่งมุ่งเน้นการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้ทางวิชาการเข้ากับการลงมือปฏิบัติจริง โดยเฉพาะการเรียนรู้ด้านการเกษตรและการจัดการทรัพยากรในชุมชนอย่างยั่งยืน หนึ่งในกิจกรรมการเรียนรู้ที่สำคัญของโรงเรียนคือการส่งเสริมการทำปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกอง เพื่อใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุอินทรีย์และลดต้นทุนทางการเกษตร

อำเภอสบเมยเป็นพื้นที่ที่ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จึงมีบทบาทสำคัญต่อการลดต้นทุนการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบดั้งเดิมที่ต้องอาศัยการพลิกกลับกองปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้อากาศหมุนเวียนและช่วยให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการดังกล่าวแม้จะช่วยให้การหมักเกิดขึ้นได้ แต่ต้องใช้แรงงาน เวลา และความต่อเนื่องในการดูแลสูง หากขาดการพลิกกองหรือควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic decomposition) ทำให้ปุ๋ยมีกลิ่นเหม็น ย่อยสลายไม่สมบูรณ์ และมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน

จากแนวคิดดังกล่าว กลุ่มผู้วิจัยจึงให้ความสนใจการทำปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกอง ซึ่งอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า Chimney Convection หรือการพาความร้อนแบบปล่องไฟ โดยอากาศร้อนภายในกองปุ๋ยจะลอยตัวขึ้นและดูดอากาศเย็นจากภายนอกเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศตามธรรมชาติ ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาวะแบบใช้ออกซิเจนได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้แรงงานในการพลิกกอง อย่างไรก็ตาม กระบวนการหมักรูปแบบนี้ยังคงมีข้อจำกัดสำคัญ คือ การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในกองปุ๋ย ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยแบบอัตโนมัติ โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นร่วมกับระบบควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติ เพื่อรักษาสภาพที่เหมาะสมต่อการหมักอย่างต่อเนื่อง โครงการนี้ไม่เพียงช่วยลดภาระแรงงานและเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมักเท่านั้น แต่ยังเป็นการบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการเกษตร เข้ากับบริบทของโรงเรียนและชุมชน อันสอดคล้องกับหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงและแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างต้นแบบระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในกองปุ๋ย โดยใช้เซนเซอร์และไม่โครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับระบบ AI
2. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการรดน้ำอัตโนมัติให้สามารถรักษาความชื้นในกองปุ๋ยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์
3. เพื่อพัฒนาระบบ AI ในการตรวจจับราดน้ำในกองปุ๋ยและสามารถแจ้งเตือนได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการหมักปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT และ AI ในควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ย ในพื้นที่ของโรงเรียนสบเมยวิทยาคม โดยใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 60 วัน

1.4 คำจำกัดความ (นิยามศัพท์เฉพาะ)

ปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกอง หมายถึง วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ต้องพลิกกลับกองวัสดุหมักตลอดกระบวนการหมัก โดยอาศัยการไหลเวียนของอากาศตามธรรมชาติภายในกองปุ๋ยจากหลักการพาความร้อน (Chimney Convection) เพื่อให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้ต้องควบคุมสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยให้มีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 60–70 และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ จนเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์และได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปุ๋ยหมักไม่พลิกกอง

2.1.1 ความชื้น

รักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอ ตลอดเวลา (มีค่าประมาณร้อยละ 60–70) โดยมี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รดน้ำภายนอกกองปุ๋ยวันละครั้ง โดยไม่ให้มีน้ำไหลนองออกมาจากกองปุ๋ยมากเกินไป

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อครบวันที่ 10 ใช้ไม้แทงกองปุ๋ยให้เป็นรูลึกถึง ข้างล่างแล้วกรอกน้ำลงไป ระยะห่างของรูประมาณ 40 เซนติเมตร ทำขั้นตอน ที่สองนี้ 5 ครั้ง ระยะเวลากัน 10 วัน เมื่อเติมน้ำเสร็จแล้วให้ปิดรูเพื่อไม่ให้ สูญเสียความร้อนภายในกองปุ๋ย ขั้นตอนนี้แม้ว่าอยู่ในช่วงของฤดูฝนก็ยังคงทำ เพราะน้ำฝนไม่สามารถ ไหลซึมเข้าไปในกองปุ๋ยได้จากข้อดีที่น้ำฝนไม่สามารถ ซะล้างเข้าไปในกองปุ๋ยได้เกษตรกรจึงสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีนี้ในฤดูฝนได้ด้วย



ภาพ 2.1 แสดงตัวอย่างเซนเซอร์วัดความชื้น

2.1.2 อุณหภูมิ

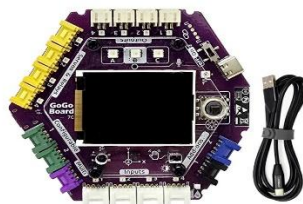
การสร้างความร้อนที่เหมาะสม ราว 55-65 °C ในช่วงแรกเพื่อฆ่าเชื้อ จากจุลินทรีย์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการจัดวางวัสดุให้มีช่องว่างให้อากาศไหลเวียนผ่านธรรมชาติ (Chimney Convention) เพื่อให้เกิดการย่อยสลายแบบแอโรบิก (ใช้อากาศ) ทำให้ปุ๋ยมีคุณภาพดีใน 60 วันโดยไม่ต้องใช้แรงงานพลิก แต่ต้องรักษาความชื้นและขนาดกองให้เหมาะสม



ภาพ 2.2 แสดงตัวอย่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

2.1.3 GoGo Board

เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิและความชื้นและแสดงค่าบนหน้าจอเพื่อดูค่าของอุณหภูมิและความชื้น



ภาพ 2.3 แสดงตัวอย่าง GoGo Board

2.2 ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ปุ๋ยหมักไม่พลิกกอง

หัวใจสำคัญของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธีนี้ คือ ต้องรักษาความชื้น ภายในกองปุ๋ยให้มีความเหมาะสมอยู่เสมอตลอดเวลาทั้งภายในและภายนอก กองปุ๋ยด้วยวิธีการ 2 ขั้นตอนข้างต้น บริเวณใดที่แห้งเกินไปหรือแฉะเกินไป จุลินทรีย์จะไม่สามารถย่อยสลายได้ทำให้วัสดุไม่ย่อยสลาย กระบวนการ อาจใช้เวลาจนถึง 6 เดือนถึง 1 ปีก็ได้

2.2.1 เชื้อรา(Fungi)

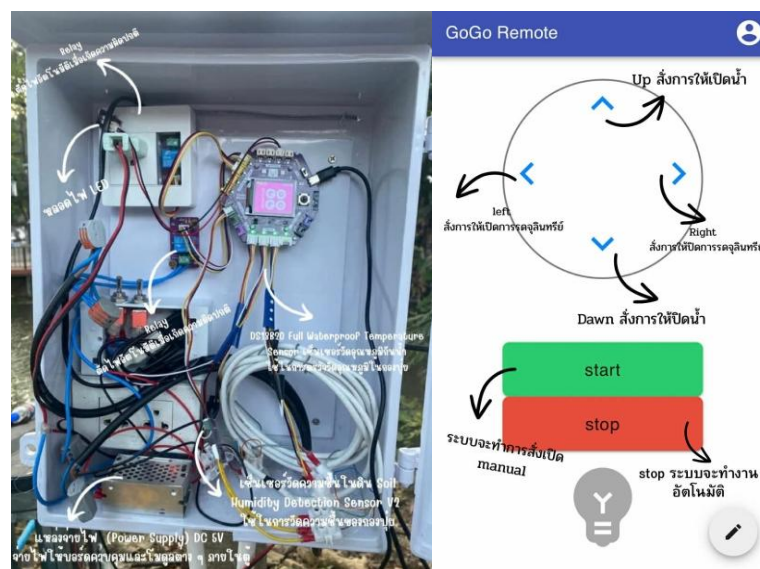
เทคนิคที่ใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายแบบใช้อากาศ ทำให้ไม่ต้องพลิก ลดแรงงาน และได้ปุ๋ยคุณภาพดี โดยอาศัยหลักการพาความร้อน และการระบายอากาศจากภายในกอง (Chimney Convection) เหมาะสำหรับกองขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กในวงตาข่าย ทำได้ง่ายด้วยเศษพืชและมูลสัตว์ ใช้เวลา 60 วัน ก็ใช้ได้ โดยไม่ต้องกังวลเรื่องเชื้อราโรคพืช เพราะการหมักที่อุณหภูมิสูงจะช่วยกำจัดเชื้อโรค แต่การเติมสารที่ทำให้เป็นกรด เช่น กรดน้ำตาล อาจทำให้เกิดเชื้อราที่ไม่พึงประสงค์ได้หากทำผิดวิธี ภายในเวลา 5 วันแรก กองปุ๋ยจะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นมา บางครั้งสูงถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับกองปุ๋ยที่ทำได้ถูกวิธี ความร้อนสูงนี้เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (จุลินทรีย์มีมากมายและ หลากหลายในมูลสัตว์อยู่แล้ว) และความชื้นสูงยังเป็นสภาวะแวดล้อม ที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยอีกด้วย (จุลินทรีย์ กลุ่ม Thermophiles และ Mesophiles) หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง จนมีค่าอุณหภูมิก่อนที่อายุ 60 วัน เมื่อกองปุ๋ยมีอายุครบ 60 วัน ก็หยุดให้ความชื้น กองปุ๋ยจะมี ความสูงเหลือเพียง 1 เมตร แล้วทำปุ๋ยอินทรีย์ให้แห้งเพื่อให้จุลินทรีย์สงบตัว (Stabilization Period) และไม่ให้เป็นอันตรายต่อรากพืช วิธีการทำปุ๋ยอินทรีย์ ให้แห้งอาจทำได้ทั้งไว้ในกองเฉยๆ ประมาณ 1 เดือน หรืออาจแผ่กระจาย ให้มีความหนาประมาณ 20–30 ซม ซึ่งจะแห้งภายในเวลา 3–4 วัน สำหรับ ผู้ที่ต้องการจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ก็อาจนำปุ๋ยอินทรีย์ที่แห้งแล้วไปตีป่นให้มีขนาด เล็กสม่ำเสมอ กองปุ๋ยที่สูง 1.5 เมตรจะสามารถเก็บกักความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา การย่อยสลายของจุลินทรีย์เอาไว้ในกองปุ๋ย ความร้อนนั้นนอกจากจะเป็น สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ชนิดชอบความร้อนสูงที่มีในมูลสัตว์แล้ว เมื่อความร้อนนี้ลอยตัวสูงขึ้นจะทำให้อากาศภายนอกที่เย็นกว่าไหลเวียนเข้าไป ในภายในกองปุ๋ย ซึ่งเกิดจากการพาความร้อน (Chimney Convection) อากาศ ภายนอกที่ไหลหมุนเวียนเข้ากองปุ๋ยนี้ ช่วยทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลาย ของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) ทำให้ไม่ต้องมีการ พลิกกลับกอง และช่วยให้กองปุ๋ยไม่มีกลิ่นหรือน้ำเสียใดๆ

2.2.2 แบคทีเรีย(Bacteri)

- ราขาว ช่วยกำจัดแมลงศัตรูพืช เช่น เพลี้ยต่างๆ และหนอน โดยเฉพาะ เชื้อราบิวเวอเรีย (*Beauveria bassiana*)
- ราดำ ประสิทธิภาพการย่อยสลาย, ส่งกลิ่นเหม็น, ดึงดูดแมลง, และหากเป็นเชื้อราดำอันตราย (*Stachybotrys*) อาจสร้างสารพิษ (Mycotoxins) เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ

1. การวัดอุณหภูมิในปุย ได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิจำนวน 3 จุดซึ่งติดตั้งภายในกองปุย เพื่อให้สามารถสะท้อนอุณหภูมิโดยรวมของกองปุยได้อย่างแม่นยำระบบจะคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากเซนเซอร์ทั้งสาม โดยนำค่าที่วัดได้มารวมกันแล้วหารสาม โดยทั่วไปการหมักปุยที่มีประสิทธิภาพจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในกองปุยสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยลดเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนอยู่ในวัสดุหมัก

3. การใช้เทคโนโลยี AI ในการตรวจจับโรค ระบบ AI สามารถตรวจจับการเกิดราขาวและราดำได้ในระยะเริ่มต้น และสามารถแจ้งเตือนพร้อมสั่งการแก้ไขได้อย่างทันท่วงที ส่งผลให้ปัญหาการเกิดเชื้อราลดลง ในช่วงหลังของการทดลองผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อระบบ AI ตรวจพบการเกิดราขาวหรือราดำ ระบบ จะทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ดูแลระบบทันที พร้อมทั้งสั่งการเปิดปั๊มรดน้ำหมักชีวภาพ เพื่อปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมภายในโรงปุ๋ย การทำงานดังกล่าวช่วยลดการสะสมของเชื้อรา ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงสภาวะการหมักที่ไม่เหมาะสม เช่น ความชื้นสูงเกินไปหรือการระบายอากาศไม่ดี



ภาพ 3.1 แสดงตัวอย่างระบบการควบคุมและ GoGo Remote

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดอุณหภูมิในปุย

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิจำนวน 3 จุด (Sensor 1–3) ซึ่งติดตั้งภายในกองปุ๋ย เพื่อให้สามารถสะท้อนอุณหภูมิโดยรวมของกองปุ๋ยได้อย่างแม่นยำ ระบบจะคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากเซนเซอร์ทั้งสาม

เงื่อนไขการทำงานของระบบกำหนดให้ เกือบสถิติข้อมูลใน GOGO CODE ทั้งนี้ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยทั่วไปการหมักปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในกองปุ๋ยสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยลดเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนอยู่ในวัสดุหมัก

ตารางที่ 4.1 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยด้วยระบบอัตโนมัติ (ระยะเวลา 30 วัน)

วันทดลอง (วัน)	อุณหภูมิ (°C) Sensor 1	อุณหภูมิ (°C) Sensor 2	อุณหภูมิ (°C) Sensor 3	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ช่วงอุณหภูมิที่ เหมาะสม (>40°C)
1	25	27	28	26.7	เหมาะสม
5	42	44	43	43.0	เหมาะสม
10	45	46	44	45.0	เหมาะสม
15	48	49	47	48.0	เหมาะสม
20	50	51	49	50.0	เหมาะสม
25	52	53	51	52.0	เหมาะสม
30	54	55	53	54.0	เหมาะสม

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยด้วยระบบอัตโนมัติ โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดได้จากเซนเซอร์จำนวน 3 จุด ซึ่งติดตั้งภายในกองปุ๋ย และนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อประเมินสภาวะการหมักตลอดระยะเวลาการทดลอง 30 วัน พบว่า อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยมีค่าสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสตลอดช่วงการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการหมักปุ๋ยได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติในการดูแลสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ย

4.2 ผลการควบคุมความชื้นในปุย

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิจำนวน 3 จุด (Sensor 1–3) ซึ่งติดตั้งภายในกองปุ๋ย เพื่อให้สามารถสะท้อนอุณหภูมิโดยรวมของกองปุ๋ยได้อย่างแม่นยำ ระบบจะคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากเซนเซอร์ทั้งสาม

เงื่อนไขการทำงานของระบบกำหนดให้ เมื่อค่าเฉลี่ยจากเซนเซอร์มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 60 ระบบจะสั่งเปิดการรดน้ำเพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ย และเมื่อค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 70 ระบบจะสั่งหยุดการรดน้ำโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดช่วงค่าดังกล่าวให้สัมพันธ์กับระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งควรอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 60–70 เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ หากความชื้นต่ำหรือสูงเกินไปจะส่งผลให้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 4.2 ผลการควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยด้วยระบบอัตโนมัติ (ระยะเวลา 30 วัน)

วันทดลอง (วัน)	ความชื้น (หน่วย) Sensor 1	ความชื้น (หน่วย) Sensor 2	ความชื้น (หน่วย) Sensor 3	ความชื้นเฉลี่ย (หน่วย)	ความชื้น โดยประมาณ (%)	สถานะ
1	730	725	720	725	< 60	เปิดรดน้ำ
5	680	675	670	675	> 70	-
10	660	655	650	655	> 70	-
15	640	635	630	635	> 70	-
20	620	615	610	615	> 70	-
25	710	705	700	705	< 60	เปิดรดน้ำ
30	580	575	570	575	> 70	-

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยหมักด้วยระบบอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความชื้นจำนวน 3 จุด (Sensor 1–3) ซึ่งติดตั้งภายในกองปุ๋ย และนำค่าที่วัดได้มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการสั่งงานระบบรดน้ำอัตโนมัติ พบว่า ค่าความชื้นเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0–699 หน่วย ซึ่งหมายถึงกองปุ๋ยอยู่ในสภาพเปียก คิดเป็นความชื้นสูงกว่าร้อยละ 70 ระบบจึงอยู่ในภาวะปกติและไม่เปิดระบบรดน้ำ

อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 25 ของการทดลอง พบว่าค่าความชื้นเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 700 หน่วยขึ้นไป แสดงให้เห็นว่ากองปุ๋ยอยู่ในสภาพแห้ง คิดเป็นความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 60 ระบบจึงสั่ง เปิดระบบรดน้ำอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ย ผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่า ระบบสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นภายในกองปุ๋ยได้อย่างเหมาะสม และช่วยรักษาสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 การใช้เทคโนโลยี AI ในการตรวจจับโรค

จากการทดลองประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจจับโรคราขาวและราดำ พบว่าระบบสามารถตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในกองปุ๋ยได้อย่างรวดเร็ว โดยโมเดล AI ได้รับการฝึกด้วยชุดข้อมูลภาพตัวอย่างของราขาวและราดำจำนวนไม่น้อยกว่า 1,000 ภาพ

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจจับโรคราขาวและราดำด้วยเทคโนโลยี AI (ระยะเวลา 30 วัน)

วันทดลอง (วัน)	การตรวจพบเชื้อรา	ความชื้น (หน่วย) Sensor 2	ความชื้น (หน่วย) Sensor 3	ความชื้นเฉลี่ย (หน่วย)
7	พบ	ราดำ	แฉ่งเตือน	เปิดปั้มน้ำหมัก
14	พบ	ราขาว	แฉ่งเตือน	-
21	ไม่พบ	-	-	-
30	ไม่พบ	-	-	-

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ระบบ AI สามารถตรวจจับการเกิดราขาวและราดำได้ในระยะเริ่มต้น และสามารถแจ้งเตือนพร้อมสั่งการแก้ไขได้อย่างทันท่วงที ส่งผลให้ปัญหาการเกิดเชื้อราลดลงในช่วงหลังของการทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อระบบ AI ตรวจพบการเกิดราขาวหรือราดำ ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ดูแลระบบทันที พร้อมทั้งสั่งการเปิดปั้มนรดน้ำหมักชีวภาพเพื่อปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ย การทำงานดังกล่าวช่วยลดการสะสมของเชื้อรา ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึง

สภาวะการหมักที่ไม่เหมาะสม เช่น ความชื้นสูงเกินไปหรือการระบายอากาศไม่ดี นอกจากนี้ จากการสังเกตผลหลังการปรับแก้ด้วยระบบอัตโนมัติ พบว่าปัญหาการเกิดเชื้อราลดลงอย่างเห็นได้ชัด และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดสารพิษจากเชื้อรา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของปุ๋ยและพืชที่นำปุ๋ยไปใช้ในภายหลัง

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการวัดอุณหภูมิในปุ๋ย

จากการทดลองพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักไม่พลิกกองด้วยระบบอัตโนมัติ เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักได้อย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 จุด มีค่ามากกว่า 40 องศาเซลเซียสตลอดช่วงการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองปุ๋ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงต้นของการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 43 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นจนถึงประมาณ 55 องศาเซลเซียสในช่วงปลายการทดลอง ซึ่งสะท้อนถึงการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

5.1.2 ผลการควบคุมความชื้นในปุ๋ย

จากการทดลองควบคุมความชื้นในกองปุ๋ยหมักด้วยระบบอัตโนมัติเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า ระบบสามารถรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความชื้นจำนวน 3 จุด และนำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อควบคุมการทำงานของระบบรดน้ำอัตโนมัติ ผลการทดลองพบว่า ค่าความชื้นเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0-699 หน่วย ซึ่งคิดเป็นความชื้นสูงกว่าร้อยละ 70 ระบบอยู่ในภาวะปกติและไม่เปิดการรดน้ำ และเมื่อค่าความชื้นเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 700 หน่วยขึ้นไป ซึ่งบ่งชี้ว่ากองปุ๋ยอยู่ในสภาพแห้ง คิดเป็นความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 60 ระบบจึงสั่งเปิดการรดน้ำอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความชื้น ส่งผลให้สภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยกลับเข้าสู่ระดับที่เหมาะสมต่อการหมัก

5.1.3 ผลการใช้เทคโนโลยี AI ในการตรวจจับโรค

จากการทดลองประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการตรวจจับการเกิดราขาวและราดำภายในกองปุ๋ยหมักไม่พลิกกอง พบว่า ระบบ AI สามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในช่วงต้นและช่วงกลางของการทดลอง ระบบ AI สามารถตรวจพบการเกิดราขาวและราดำ และทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ดูแลระบบ พร้อมทั้งสั่งการให้ระบบรดน้ำหมักชีวภาพเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น หลังจากดำเนินการปรับแก้ตามคำแนะนำของระบบ พบว่าในช่วงปลายของการทดลองไม่พบการเกิดเชื้อราซ้ำ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ AI ในการเฝ้าระวังและควบคุมคุณภาพของกระบวนการหมักปุ๋ย

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

5.2.1 ผลการวัดอุณหภูมิในปุ๋ย

เมื่อพิจารณาผลการควบคุมอุณหภูมิจากตารางที่ 4.1 พบว่า ระบบอัตโนมัติสามารถรักษาอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการหมักปุ๋ยได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยที่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ซึ่งช่วยเร่งกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและลดระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมัก แนวโน้มของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงวันทดลองที่ 1 ถึงวันที่ 30 ตามที่ปรากฏในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า สภาพแวดล้อมภายใน

กองปุยมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และสะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติในการรักษาสมดุลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมัก เช่น ความชื้นและการระบายอากาศ

นอกจากนี้ การที่อุณหภูมิภายในกองปุยสามารถรักษาให้อยู่ในระดับมากกว่า 50 องศาเซลเซียสในช่วงกลางถึงปลายของการทดลอง ยังช่วยลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของปุยหมักที่มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองยังพบว่า อุณหภูมิภายในกองปุยมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางธรรมชาติของกระบวนการหมักปุย โดยในช่วงต้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะค่อย ๆ ทรงตัวในช่วงหลังการหมัก ทั้งนี้ การควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบอัตโนมัติช่วยลดความจำเป็นในการควบคุมด้วยแรงงานคน และช่วยให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น

5.2.2 ผลการควบคุมความชื้นในปุย

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.2 และสรุปผลในข้อ 5.1.2 พบว่า ระบบควบคุมความชื้นอัตโนมัติสามารถรักษาความชื้นภายในกองปุยให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าความชื้นเฉลี่ยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0-699 หน่วย ซึ่งคิดเป็นความชื้นสูงกว่าร้อยละ 70 แสดงให้เห็นว่ากองปุยอยู่ในภาวะปกติและเอื้อต่อการทำงานของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 25 ของการทดลองพบว่าค่าความชื้นเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 700 หน่วยขึ้นไป ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาพกองปุยที่แห้ง คิดเป็นความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 60 ระบบจึงสั่งเปิดการรดน้ำอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความชื้น ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า หลังการรดน้ำ ค่าความชื้นสามารถกลับเข้าสู่ช่วงภาวะปกติได้อย่างรวดเร็ว สะท้อนถึงความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในกองปุยได้อย่างเหมาะสม

การควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของกระบวนการหมัก เนื่องจากหากความชื้นสูงหรือต่ำเกินไป อาจส่งผลให้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบอัตโนมัติช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากการควบคุมด้วยแรงงานคน ทำให้กระบวนการหมักมีความสม่ำเสมอ และช่วยเพิ่มคุณภาพของปุยหมักที่ได้

5.2.3 ผลการใช้เทคโนโลยี AI ในการตรวจจับโรค

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.3 พบว่า การเกิดราขาวและราดำภายในกองปุยเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงสภาวะการหมักที่ไม่สมดุล เช่น ความชื้นสูงเกินไป การระบายอากาศไม่เพียงพอ หรือการเกิดการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยี AI เข้ามาช่วยตรวจจับความผิดปกติ ทำให้สามารถรับรู้ปัญหาได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น และดำเนินการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว การแจ้งเตือนผ่านระบบสื่อสารออนไลน์และการสั่งการระบบรดน้ำหมักชีวภาพโดยอัตโนมัติ ช่วยลดการสะสมของเชื้อราและลดความเสี่ยงในการเกิดสารพิษที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของปุยและพืชที่นำไปใช้ในภายหลัง จากผลในตารางที่ 4.3 พบว่า หลังจากมีการปรับแก้ตามคำแนะนำของระบบ AI ปัญหาการเกิดเชื้อราลดลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่พบการเกิดซ้ำในช่วงปลายของการทดลอง นอกจากนี้ การใช้ AI ยังช่วยลดการพึ่งพาการตรวจสอบด้วยสายตาของมนุษย์ ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนหรือความล่าช้า ส่งผลให้กระบวนการหมักปุยมีความสม่ำเสมอและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการพัฒนาระบบเพิ่มเติม โดยอาจเพิ่มการบันทึกข้อมูลค่าความชื้นแบบเรียลไทม์และการแสดงผลในรูปแบบกราฟ เพื่อช่วยให้สามารถติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ อาจขยายระยะเวลาการทดลองหรือทดลองในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นในระยะยาว

5.3.2 ควรมีการพัฒนาระบบเพิ่มเติม โดยอาจเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลภาพในการฝึกโมเดล AI เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับเชื้อรา รวมถึงการขยายระบบให้สามารถตรวจจับความผิดปกติประเภทอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีหรือโครงสร้างของวัสดุหมัก นอกจากนี้ อาจพัฒนาแดชบอร์ดแสดงผลแบบเรียลไทม์ เพื่อช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามสถานะของกองปุ๋ยได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2558. ปุ๋ยหมักไม่พลิกกอง. ภาควิชาวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.