

## การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์สำหรับเครื่องลมร้อน โดยใช้เทคโนโลยี IoT

### Real-Time Data Analytics System Development for Hot Air Dryer Using IoT Technology

อภิรักษ์ สุระสาย<sup>1</sup>, วีรทิตย์ วัชรพัฒนดิษฐ์<sup>2</sup>, จิรวินัญญ์ ตีเจริญชิตพงศ์<sup>3</sup>

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม, มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ [aphirak.sura@northbkk.ac.th](mailto:aphirak.sura@northbkk.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์สำหรับเครื่องลมร้อนโดยใช้เทคโนโลยี IoT มีวัตถุประสงค์ 3 ประการ ได้แก่ (1) พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์สำหรับกระบวนการอบกล้วย (2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ และ (3) ประเมินประสิทธิภาพของระบบรวมถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การพัฒนาระบบใช้แนวคิดวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับ Backend Service และฐานข้อมูล PostgreSQL รองรับการจัดเก็บข้อมูลแบบ Time-Series จากอุปกรณ์ตรวจวัด และแสดงผลผ่าน Web Dashboard แบบเรียลไทม์ ผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถรับ ส่ง และบันทึกข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและถูกต้อง มีค่า Latency เฉลี่ยต่ำกว่า 200 มิลลิวินาที รองรับการบันทึกข้อมูลไม่น้อยกว่า 50 รายการต่อนาที และอัปเดตแดชบอร์ดทุก 5 วินาที ด้านการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ระยะเวลาอบลดลง และความหนาของชิ้นกล้วยมีผลต่อระยะเวลาอบโดยตรงการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 6 คน พบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.66, S.D. = 0.34) และผู้ใช้งาน 30 คน มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดเช่นกัน (Mean = 4.50, S.D. = 0.51) ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้ผู้ใช้งานติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์วิเคราะห์แนวโน้มย้อนหลัง และนำผลไปปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำหลัก:** ระบบฐานข้อมูล, การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์, IoT

#### Abstract

This research, entitled "Real-Time Database Management and Data Analytics System for Dashboard Visualization in Banana Drying Process," was conducted with three objectives: (1) to develop a real-time database management and data analytics system for the banana drying process, (2) to analyze the relationship between temperature and drying

duration, and between banana slice thickness and drying duration, in the banana drying process, and (3) to evaluate system performance and user satisfaction. The system was developed using the System Development Life Cycle (SDLC) approach, integrating Internet of Things (IoT) technology with a Backend Service and PostgreSQL database to support Time-Series data storage from monitoring sensors, with results displayed through a real-time Web Dashboard. Performance testing revealed that the system could receive, transmit, and record data continuously and accurately, with an average latency below 200 milliseconds, supporting a minimum of 50 records per minute, and refreshing the dashboard every 5 seconds. Data analysis found that higher temperatures reduced drying time, and banana slice thickness directly affected drying duration. Expert evaluation by 6 specialists rated the overall system at the highest level (Mean = 4.66, S.D. = 0.34), while 30 users also reported the highest level of satisfaction (Mean = 4.50, S.D. = 0.51). The developed system effectively enables users to monitor data in real time, analyze historical trends, and apply findings to improve production quality and consistency.

**Keywords:** Database Management System, Real-Time Analytics, IoT

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นกลไกสำคัญในการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับสินค้าเกษตร ลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว และยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง ซึ่งเป็นสินค้าที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตและส่งออกสูง ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพการอบ ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาอบ ความหนาของชั้นผลไม้ ปริมาณวัตถุดิบ และตำแหน่งของถาดอบในตู้อบ หากควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ไม่เหมาะสม อาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแห้งไม่สม่ำเสมอ สีคล้ำ เนื้อสัมผัสแข็ง หรือเหนียวเกินไป และสูญเสียรสชาติ (Gubbi et al., 2013) ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมมักเกิดจากการจดบันทึกข้อมูลด้วยมือ การขาดระบบติดตามแบบต่อเนื่อง และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่เป็นระบบ ทำให้ไม่สามารถประเมินแนวโน้มและความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการยกระดับกระบวนการผลิตสู่ระบบดิจิทัล

การเลือกใช้ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ PostgreSQL มีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นระบบฐานข้อมูลแบบโอเพนซอร์สที่มีความเสถียร รองรับธุรกรรมตามหลัก ACID และสามารถจัดการข้อมูลปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Stonebraker & Rowe, 1986; Pavlo et al., 2017) นอกจากนี้ในยุคดิจิทัลที่

ข้อมูลมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การนำแนวคิด Big Data มาประยุกต์ใช้กับภาคการเกษตรถือเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน (Hashem et al., 2015)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบกล้วย จำนวน 30 คน พบว่า ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ประสบปัญหาการบันทึกข้อมูลแบบเดิม ซึ่งทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน ไม่สามารถติดตามข้อมูลย้อนหลังได้ และขาดการวิเคราะห์แนวโน้มเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

### วัตถุประสงค์

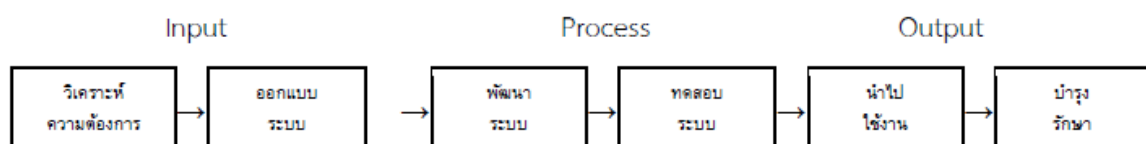
1. เพื่อพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อแสดงผลผ่านแดชบอร์ด
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบและระหว่างความหนาของชั้นกล้วยกับระยะเวลาในการอบ ในกระบวนการอบผลไม้
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลผลิตมีคุณภาพสม่ำเสมอ ลดความผิดพลาด และเพิ่มความน่าเชื่อถือของกระบวนการผลิตจากการตัดสินใจเชิงข้อมูล (Data-Driven Decision Making) แบบเรียลไทม์
2. สามารถจัดเก็บ ประมวลผล และเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง รองรับข้อมูลปริมาณมากได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ
3. ผู้ใช้งานสามารถติดตามแนวโน้มและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่านแดชบอร์ดได้อย่างชัดเจน นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### กรอบแนวคิดในการวิจัย

แนวคิดการพัฒนาระบบ (SDLC)



### แนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gubbi et al. (2013) อธิบายว่า IoT มุ่งเน้นการเชื่อมโยงอุปกรณ์ทางกายภาพเข้ากับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อให้สามารถตรวจวัด เก็บรวบรวม และแลกเปลี่ยนข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติและ

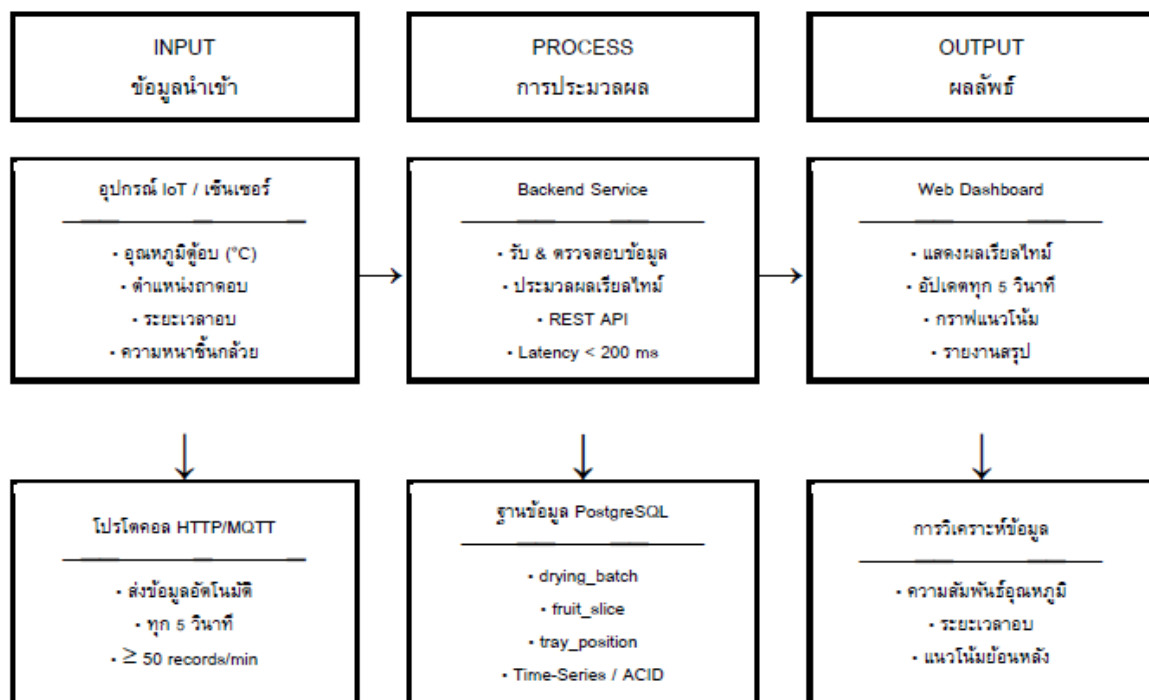
ต่อเนื่อง สถาปัตยกรรมของ IoT ประกอบด้วย ชั้นอุปกรณ์ตรวจวัด ชั้นเครือข่าย และชั้นประยุกต์ใช้งาน ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อเปลี่ยนข้อมูลจากโลกจริงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้

Stonebraker & Rowe (1986) วางรากฐานให้กับระบบฐานข้อมูล PostgreSQL ซึ่งมีจุดเด่นด้านความถูกต้องของธุรกรรมตามหลัก ACID และความสามารถในการจัดการข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งสำคัญมากสำหรับระบบที่ต้องรองรับการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องจากอุปกรณ์ IoT

Pavlo et al. (2017) เสนอแนวทางการพัฒนาฐานข้อมูลแบบ Self-driving เพื่อลดภาระผู้ดูแลระบบและเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบที่ต้องจัดการข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

Hashem et al. (2015) อธิบายถึงบทบาทของ Big Data และ Cloud Computing ในการสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก โดยเน้นคุณลักษณะสำคัญ ได้แก่ ปริมาณข้อมูลที่มาก ความรวดเร็วของการไหลของข้อมูล และความหลากหลายของรูปแบบข้อมูล ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาระบบเพื่อกระบวนการอบกล้วย

สถาปัตยกรรมระบบ (Input → Process → Output)



### วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบโดยอาศัยแนวคิดวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) เป็นกรอบแนวทางในการออกแบบ พัฒนา และประเมินผลระบบ เพื่อให้กระบวนการดำเนินงานเป็นลำดับขั้นตอน มีความเป็นระบบ และสามารถตรวจสอบได้ โดยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ (System Analysis) ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาและข้อจำกัดของกระบวนการรอบก๊วยในรูปแบบเดิม รวบรวมความต้องการของผู้ใช้งาน กำหนดขอบเขตของระบบ และระบุตัวแปรสำคัญที่ต้องจัดเก็บ ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาอบ ความหนาของชั้นก๊วย และตำแหน่งของถาดอบ

2. การออกแบบระบบ (System Design) การออกแบบโครงสร้างและสถาปัตยกรรมของระบบ โดยกำหนดให้ระบบประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) ส่วนอุปกรณ์ IoT สำหรับตรวจวัดข้อมูล (2) ส่วน Backend Service สำหรับรับ ตรวจสอบ และจัดการข้อมูล และ (3) ส่วนฐานข้อมูล PostgreSQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลเชิงเวลา พร้อมทั้งออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล ความสัมพันธ์ของตาราง การกำหนด Primary Key และ Foreign Key เพื่อรองรับข้อมูลจำนวนมากและลดความซ้ำซ้อน

3. การพัฒนาระบบ (System Development) ติดตั้งและกำหนดค่าอุปกรณ์ IoT พัฒนา Backend Service และแดชบอร์ดสำหรับแสดงผลแบบเรียลไทม์

4. การทดสอบระบบ (System Testing) ตรวจสอบความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลและความเสถียรของฐานข้อมูล

5. การนำระบบไปใช้งานจริง (System Implementation) ติดตั้งในกระบวนการรอบก๊วยจริง

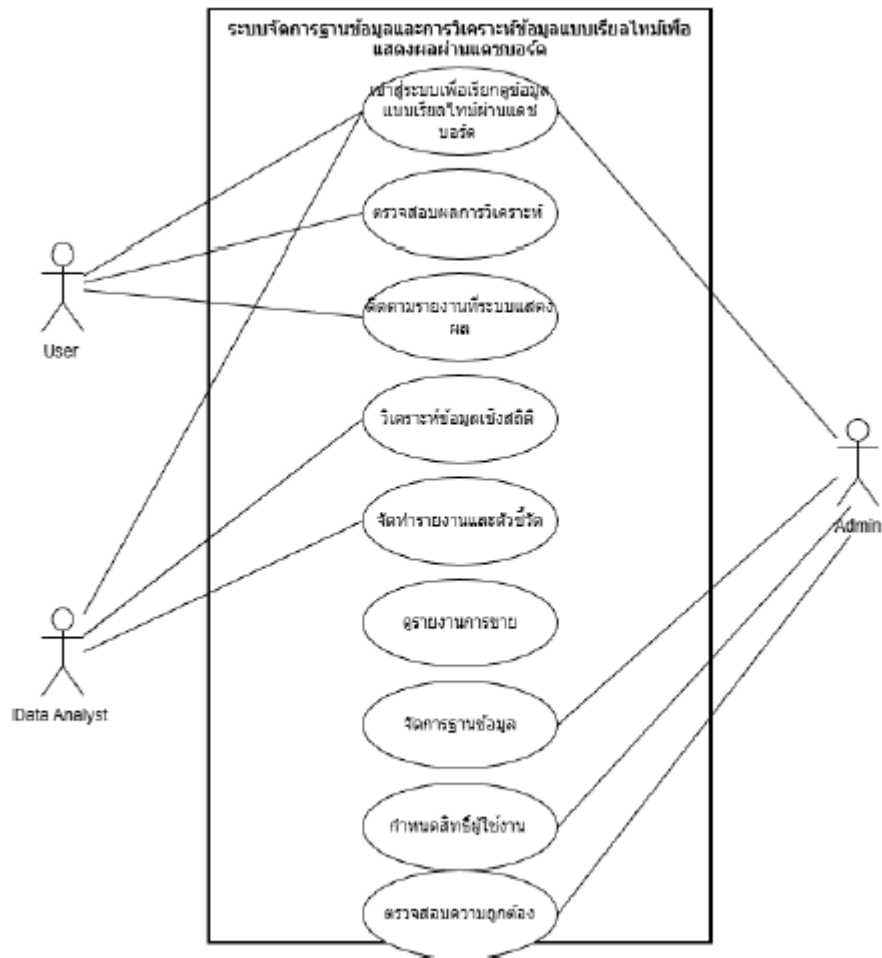
6. การบำรุงรักษาและปรับปรุงระบบ (System Maintenance) กำหนดแนวทางการดูแลและสำรองข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ

#### การออกแบบ Use case diagram

ผู้วิจัยได้จัดทำแผนภาพ Use Case Diagram เพื่ออธิบายลักษณะการทำงานโดยรวมของระบบและความเกี่ยวข้องกับหน่วยงานหรือบุคคลภายนอกที่มีปฏิสัมพันธ์กับระบบ ช่วยกำหนดขอบเขตของระบบให้ชัดเจน โดยแบ่ง Actor ออกเป็น 3 บทบาท ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 คำอธิบาย Use case diagram

ลำดับ	Actor	บทบาทหน้าที่ (Description)
1	Admin (ผู้ดูแลระบบ)	บริหารจัดการฐานข้อมูล กำหนดสิทธิ์ผู้ใช้งาน ควบคุมการตั้งค่าระบบ และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลภายในระบบ
2	Data Analyst (นักวิเคราะห์ข้อมูล)	ดำเนินการจัดเตรียม ประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ รวมถึงจัดทำรายงานและตัวชี้วัดเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ
3	User (ผู้ใช้งานทั่วไป)	เข้าสู่ระบบเพื่อเรียกดูข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านแดชบอร์ด ตรวจสอบผลการวิเคราะห์ และติดตามรายงานที่ระบบแสดงผล



ภาพ 1 แผนภาพการออกแบบ Use Case Diagram การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์  
สำหรับเครื่องมร้อนโดยใช้เทคโนโลยี IoT

### การออกแบบฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลใน PostgreSQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลกระบวนการอบผลไม้ กำหนดให้  
รองรับข้อมูลอุณหภูมิ ระยะเวลาอบ ความหนาของชั้นผลไม้ ปริมาณวัตถุดิบ และตำแหน่งของถาดอบ  
โดยออกแบบเป็นฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่มี 3 ตารางหลัก เชื่อมโยงกันด้วยความสัมพันธ์แบบ One-to-  
Many

ตาราง 2 โครงสร้างตาราง drying\_batch (รอบการอบ)

ชื่อฟิลด์	ประเภทข้อมูล	Constraint	ค่าตัวอย่าง	คำอธิบาย
batch_id	SERIAL	PRIMARY KEY	1, 2, 3 ...	รหัสรอบการอบ (Auto Increment)
temperature	NUMERIC(5,2)	NOT NULL	60.00 – 75.00	อุณหภูมิที่ใช้ออบ (°C)
drying_time	NUMERIC(4,1)	CHECK 1–12	6.0 – 12.0	ระยะเวลาอบ (ชั่วโมง)
raw_material_weight	NUMERIC(6,2)	NOT NULL	2.50 – 10.00	ปริมาณวัตถุดิบ (กิโลกรัม)
start_time	TIMESTAMP	NOT NULL	2025-01-15 08:30:00	วันเวลาเริ่มต้นการอบ
end_time	TIMESTAMP	NULLABLE	2025-01-15 14:30:00	วันเวลาสิ้นสุดการอบ
status	VARCHAR(20)	DEFAULT 'active'	'active'/'done'	สถานะรอบการอบ
notes	TEXT	NULLABLE	'กล้วยหอมทอง'	หมายเหตุเพิ่มเติม

ตาราง 3 โครงสร้างตาราง fruit\_slice (ความหนาชิ้นผลไม้)

ชื่อฟิลด์	ประเภทข้อมูล	Constraint	ค่าตัวอย่าง	คำอธิบาย
slice_id	SERIAL	PRIMARY KEY	1, 2, 3 ...	รหัสรายการความหนา
batch_id	INTEGER	FOREIGN KEY	1	อ้างอิงรอบการอบ (drying_batch)
slice_thickness_mm	NUMERIC(4,1)	CHECK IN (3,5,10)	3.0 / 5.0 / 10.0	ความหนาชิ้นกล้วย (มม.)
recorded_at	TIMESTAMP	DEFAULT NOW()	2025-01-15 08:35:00	วันเวลาที่บันทึก

ตาราง 4 โครงสร้างตาราง tray\_position (ตำแหน่งถาดอบ)

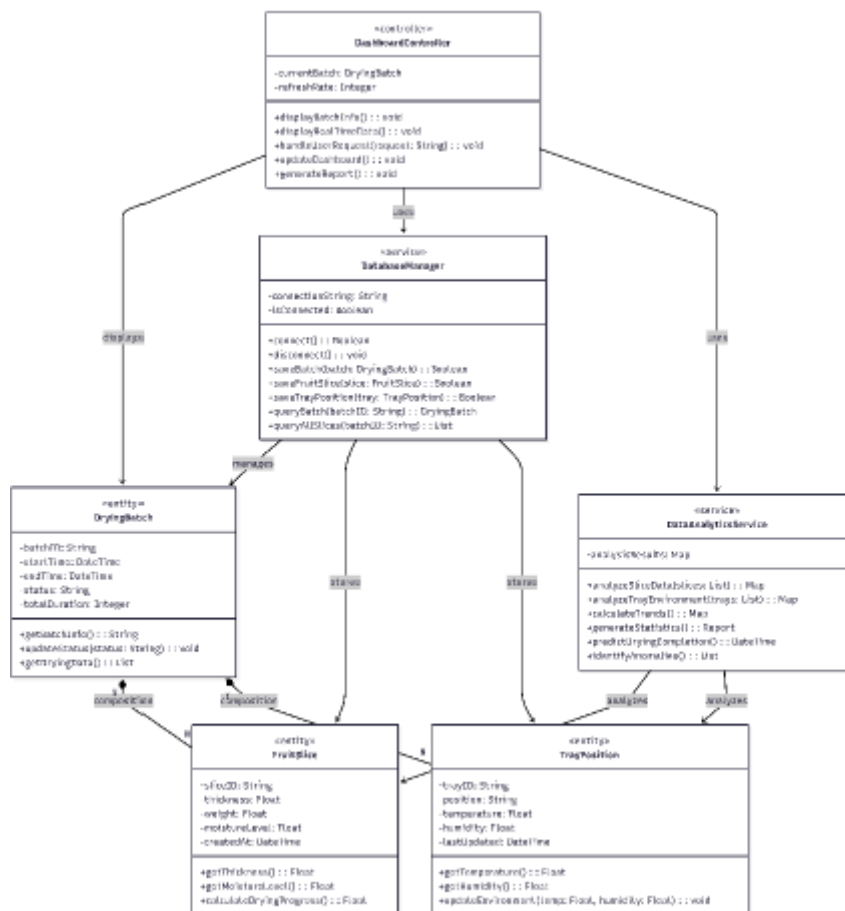
ชื่อฟิลด์	ประเภทข้อมูล	Constraint	ค่าตัวอย่าง	คำอธิบาย
tray_id	SERIAL	PRIMARY KEY	1, 2, 3 ...	รหัสถาดอบ
batch_id	INTEGER	FOREIGN KEY	1	อ้างอิงรอบการอบ (drying_batch)
tray_number	SMALLINT	CHECK 1–8	1 – 8	หมายเลขถาดอบภายในตู้
level	VARCHAR(10)	NOT NULL	'top'/'mid'/'bot'	ระดับชั้นถาดในตู้อบ
temp_sensor_reading	NUMERIC(5,2)	NULLABLE	68.50	อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งถาด (°C)
recorded_at	TIMESTAMP	DEFAULT NOW()	2025-01-15 10:00:00	เวลาที่บันทึกค่าเซ็นเซอร์

ความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลถูกออกแบบในลักษณะ One-to-Many กล่าวคือ การอบหนึ่งรอบ (drying\_batch) สามารถมีหลายถาด (tray\_position) และแต่ละถาดสามารถกำหนดความหนาของชิ้นผลไม้ (fruit\_slice) ได้แตกต่างกัน การกำหนดข้อจำกัด (Constraint) เช่น ช่วงระยะเวลาอบ 1-12 ชั่วโมง และค่าความหนา 3, 5, 10 มม. ช่วยให้ข้อมูลมีความถูกต้อง (Data Integrity)

### การออกแบบ Class Diagram

แผนภาพ Class Diagram แสดงโครงสร้างเชิงวัตถุ (Object-Oriented) ของระบบจัดการฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยระบุ Class ทั้งหมด 6 คลาส พร้อมแสดง Attribute ประเภทข้อมูล Method และความสัมพันธ์ระหว่างคลาส ซึ่งช่วยให้ทีมพัฒนาเข้าใจโครงสร้างระบบและสามารถนำไปพัฒนาโปรแกรมได้อย่างถูกต้อง

แผนภาพ Class Diagram ระบุคลาสหลัก 6 คลาส ได้แก่ DryingBatch, FruitSlice, TrayPosition (entity), DatabaseManager, DataAnalyticsService (service) และ DashboardController (controller) โดยมีความสัมพันธ์แบบ Composition (1:N) ระหว่าง DryingBatch กับ FruitSlice และ TrayPosition ดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 แผนภาพ Class Diagram การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์สำหรับเครื่องลมร้อน โดยใช้เทคโนโลยี IoT

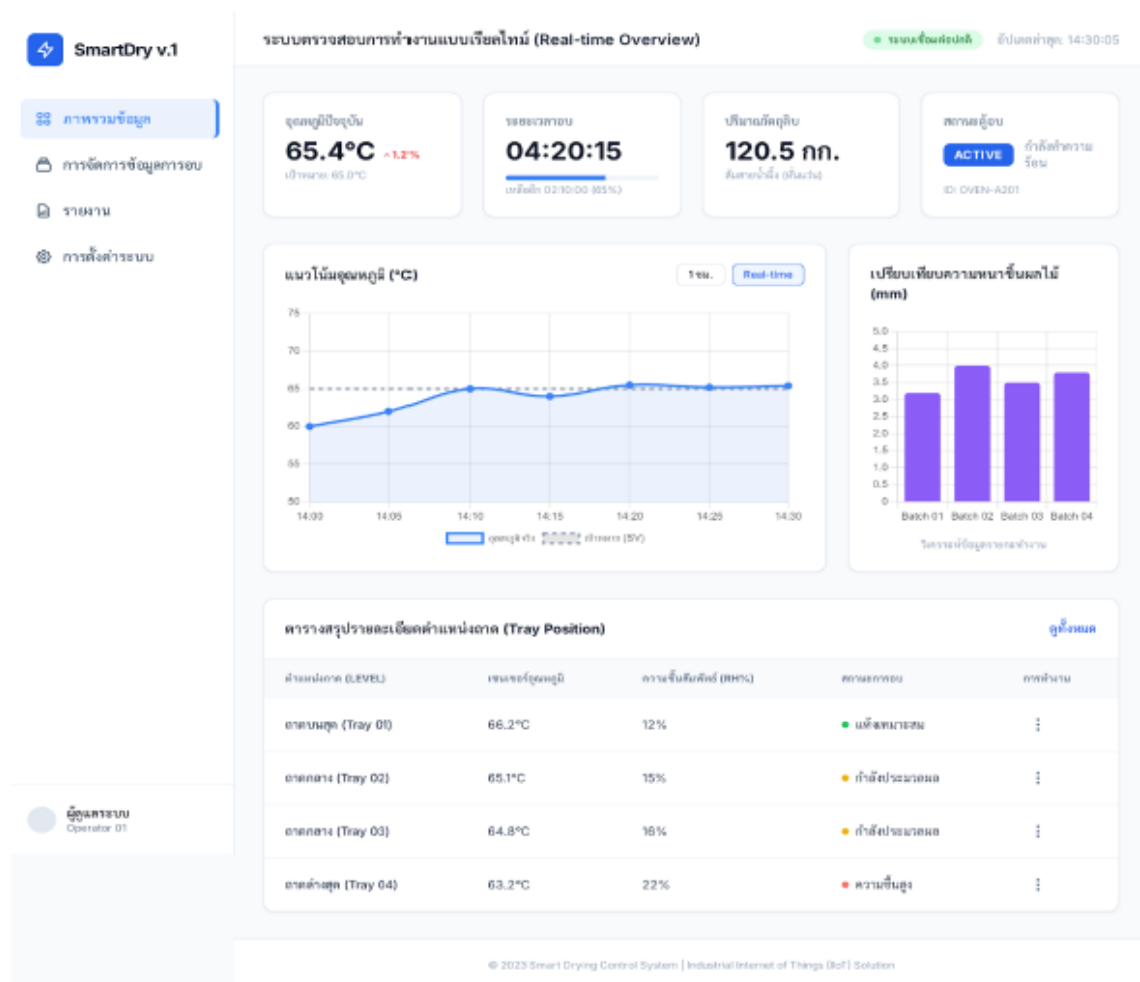
## การออกแบบแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์

การออกแบบแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์พัฒนาในลักษณะหน้าจอบรรณ (Overview Dashboard) แบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

เมนูด้านซ้าย (Sidebar): สำหรับนำทางไปยังหน้าต่าง ๆ เช่น ภาพรวมข้อมูล การจัดการข้อมูล การออกรายงาน และการตั้งค่าระบบ

ส่วนสรุปข้อมูลด้านบน (Summary Cards / KPI): แสดงค่าปัจจุบันแบบเรียลไทม์ เช่น อุณหภูมิปัจจุบัน ระยะเวลาอบ ปริมาณวัตถุดิบ และสถานะตู้อบ พร้อมเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง

ส่วนวิเคราะห์ (Analytics Section): กราฟเส้นแสดงแนวโน้มอุณหภูมิตามเวลา กราฟแท่งเปรียบเทียบความหนาขึ้นผลไม้ และตารางสรุปรายละเอียดตำแหน่งถาด อัปเดตทุก 5-10 วินาที



ภาพ 4 การออกแบบการแสดงผลผ่านแดชบอร์ด การพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์สำหรับ  
เครื่องลมร้อนโดยใช้เทคโนโลยี IoT

## รูปแบบการวิจัยและลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Development Research) ร่วมกับการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมุ่งพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพในสภาพการใช้งานจริงกับกระบวนการอบกล้วยหอมทอง ตัวแปรต้น ได้แก่ อุณหภูมิในการอบ (60-70 องศาเซลเซียส) และความหนาของชั้นกล้วย (3, 5 และ 10 มิลลิเมตร) ตัวแปรตาม ได้แก่ ระยะเวลาในการอบ ประสิทธิภาพของระบบ (ค่า Latency และอัตราการบันทึกข้อมูล) และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ลักษณะของอุปกรณ์ IoT ที่ใช้ในระบบ ประกอบด้วย (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลและสื่อสารผ่านเครือข่าย Wi-Fi ได้ในตัว (2) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ MAX6675 ซึ่งเป็นโมดูล Thermocouple-to-Digital Converter รองรับการวัดอุณหภูมิสูงได้ถึง 1,024 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำ  $\pm 2$  องศาเซลเซียส เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในตู้อบ และ (3) สายเชื่อมต่อแบบ SPI Interface ระหว่าง ESP32 และ MAX6675 โดย ESP32 จะอ่านค่าอุณหภูมิจาก MAX6675 ทุก 5 วินาที แล้วส่งข้อมูลไปยัง Backend ผ่านโปรโตคอล HTTP/REST API

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ESP32 ส่งค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก MAX6675 ไปยัง Backend ที่พัฒนาด้วย Node.js (Express) ผ่าน HTTP POST ทุก 5 วินาที จากนั้น Backend จะบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล PostgreSQL ในรูปแบบ Time-Series ตามโครงสร้างตาราง temp\_sensor\_reading พร้อมระบุเวลาบันทึก รอบการอบ และตำแหน่งถาด และ (2) ข้อมูลจากการประเมิน เก็บรวบรวมโดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่าแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (Likert Scale) ส่งให้กลุ่มตัวอย่างกรอกด้วยตนเองภายหลังการทดลองใช้ระบบ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 คน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 3 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการแปรรูปอาหาร 3 คน คัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ และ (2) ผู้ใช้งานระบบ จำนวน 30 คน ประกอบด้วยผู้ปฏิบัติงานและผู้ดูแลกระบวนการผลิตกล้วยอบแห้ง คัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน Web Dashboard

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ (1) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยแปลความหมายระดับคะแนนตามเกณฑ์ของ Likert Scale 5 ระดับ (2) การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) ใช้สำหรับสรุปผลข้อมูลการอบกล้วยในแต่ละรอบ และ (3) การวัดประสิทธิภาพระบบเชิงเทคนิค (Technical Performance Metrics) ได้แก่ ค่า Latency เฉลี่ย อัตราการบันทึกข้อมูลต่อนาที และความถูกต้องของข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของระบบจัดการฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ในกระบวนการอบก๊วย โดยเปรียบเทียบระหว่างการดำเนินงานในรูปแบบเดิมที่ไม่มีการใช้เทคโนโลยีฐานข้อมูลและแดชบอร์ด กับการดำเนินงานในระบบที่พัฒนาขึ้นซึ่งใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับระบบฐานข้อมูลและการแสดงผลแบบเรียลไทม์ ทั้งสองกรณีใช้ก๊วยที่มีขนาด ความสูง และความหนาของชิ้นใกล้เคียงกันเพื่อควบคุมตัวแปรในการทดลอง เริ่มต้นจากการเตรียมวัตถุดิบและกำหนดค่าปัจจัยที่ใช้ในการอบ จากนั้นทำการเตรียมอุปกรณ์และพื้นที่ทดลอง โดยในระบบใหม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ IoT และตรวจสอบความพร้อมของระบบฐานข้อมูลและแดชบอร์ด ก่อนดำเนินการอบก๊วยในระบบแบบเดิมพร้อมจดบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและระยะเวลาอบด้วยวิธีปกติ ต่อมาจึงดำเนินการอบก๊วยในระบบที่ใช้ IoT ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกเข้าสู่ฐานข้อมูลและแสดงผลแบบเรียลไทม์ ภายหลังจากทดลอง ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากทั้งสองรูปแบบ นำมาวิเคราะห์และจัดทำตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินงาน เพื่อประเมินความแตกต่างด้านความถูกต้อง ความต่อเนื่องของข้อมูล และประสิทธิภาพในการติดตามและควบคุมกระบวนการอบก๊วย

#### ผลการทดสอบการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์

จากการพัฒนาระบบและทดสอบการทำงาน โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและระยะเวลาอบเข้ากับระบบ IoT เพื่อส่งข้อมูลเข้าสู่ Backend Service และจัดเก็บลงในฐานข้อมูล PostgreSQL ก่อนนำข้อมูลไปแสดงผลผ่านแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ ผลการทดสอบสรุปได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลการทดสอบการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์

ลำดับ	รายการทดสอบ	ผลการทดลอง	ผลลัพธ์
1	การรับข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT	ระบบสามารถรับข้อมูลอุณหภูมิและระยะเวลาอบได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการหลุดของข้อมูล	ผ่าน
2	การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต	ข้อมูลถูกส่งผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ไปยัง Backend Service ได้สำเร็จ Latency เฉลี่ย < 200 ms	ผ่าน
3	การบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล PostgreSQL	ระบบบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลได้ถูกต้องและครบถ้วน รองรับ Concurrent Write ได้ไม่น้อยกว่า 50 records/min	ผ่าน
4	การแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ด	ระบบแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ในรูปแบบกราฟและตาราง อัปเดตอัตโนมัติทุก 5 วินาที	ผ่าน
5	การเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง	ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลการอบย้อนหลังตามช่วงวันที่และรอบการผลิตได้	ผ่าน

#### ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการอบก๊วย

จากการทดสอบอบก๊วยหอมทอง จำนวน 5 รอบการอบ โดยแปรผันอุณหภูมิและความหนาของชิ้นก๊วย พบว่า ปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลที่ได้รับการวิเคราะห์ผ่านแดชบอร์ดแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาอบอย่างชัดเจน ดังตาราง 6

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการอบกล้วย (บันทึกใน drying\_batch + fruit\_slice + tray\_position)

รอบ	อุณหภูมิ (°C)	เวลาอบ (ชม.)	ความหนา (มม.)	น้ำหนักวัตถุดิบ (กก.)	ตำแหน่งถาด	ผลการอบ
1	60	10	5 มม.	3.00	ชั้นกลาง	แห้งปานกลาง
2	65	8	5 มม.	3.00	ชั้นกลาง	แห้งเหมาะสม
3	70	6	5 มม.	2.50	ชั้นบน	แห้งเร็ว
4	60	11	10 มม.	4.00	ชั้นล่าง	แห้งช้า
5	70	7	3 มม.	2.00	ชั้นบน	แห้งมาก

จากตาราง 7 ดังกล่าว สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการอบกล้วย แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาอบลดลง และความหนาของชิ้นกล้วยมีผลต่อระยะเวลาอบโดยตรง โดยชิ้นที่บางกว่า (3 มม.) ใช้เวลาน้อยกว่าชิ้นที่หนากว่า (10 มม.) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าการอบที่เหมาะสมกับลักษณะวัตถุดิบในแต่ละรอบการผลิต

#### ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 คน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการแปรรูปอาหาร ได้ทำการประเมินระบบโดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่าแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ ผลการประเมินแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ (n=6)

ด้านการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (Mean)	S.D.	ระดับความคิดเห็น
Functional Requirement Test	4.75	0.32	มากที่สุด
Functional Test	4.68	0.35	มากที่สุด
Security Test	4.52	0.40	มาก
Usability Test	4.70	0.30	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.66	0.34	มากที่สุด

#### ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ประกอบด้วยผู้ปฏิบัติงานและผู้ดูแลกระบวนการผลิต ทำการประเมินระบบ Web Dashboard โดยใช้แบบประเมินแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ ผลการประเมินแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ Web Dashboard (n=30)

ลำดับ	รายการประเมิน	Mean	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1	ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลการออกแบบเรียลไทม์ได้ตรงตามความต้องการ	4.60	0.49	มากที่สุด
2	ระบบสามารถรับและจัดเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ได้อย่างถูกต้อง	4.53	0.50	มากที่สุด
3	การแสดงผลกราฟและตารางข้อมูลบน Dashboard มีความชัดเจน	4.47	0.51	มาก
4	ระบบมีความรวดเร็วในการแสดงผลข้อมูล	4.50	0.50	มากที่สุด
5	ระบบมีความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล	4.33	0.55	มาก
6	การใช้งาน Dashboard มีความง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้	4.57	0.49	มากที่สุด
	ค่าเฉลี่ยรวม	4.50	0.51	มากที่สุด

### สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าระบบจัดการฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ระบบสามารถบันทึกข้อมูลการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาอบ ความหนาของชิ้นผลไม้ ปริมาณวัตถุดิบ และตำแหน่งถาดอบ ลงในฐานข้อมูล PostgreSQL ได้อย่างถูกต้องครบถ้วน สามารถเรียกดูข้อมูลผ่านแดชบอร์ดเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและเปรียบเทียบผลการอบในแต่ละรอบการผลิต ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบจากผู้เชี่ยวชาญ 6 คน ในภาพรวมอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด (Mean = 4.66)

ด้านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่า อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการอบในทิศทางตรงข้าม กล่าวคือ อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาอบลดลง และความหนาของชิ้นกล้วยมีผลต่อระยะเวลาอบโดยตรง โดยชิ้นที่บางกว่า (3 มม.) ใช้เวลาน้อยกว่าชิ้นที่หนากว่า (10 มม.) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าการอบที่เหมาะสมกับลักษณะวัตถุดิบในแต่ละรอบการผลิต สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน 30 คน พบว่ามีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.50, S.D. = 0.51) โดยด้านการแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้รับคะแนนสูงสุด (Mean = 4.60) แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### การอภิปรายผล

ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean = 4.66) โดยด้าน Functional Requirement และ Usability Test ได้รับคะแนนสูงสุด สะท้อนให้เห็นว่าระบบตอบสนองความต้องการหลักของผู้ใช้ได้ครบถ้วน และมีการออกแบบหน้าจอ Web Dashboard ที่ใช้งานง่าย ส่วนด้าน Security Test ที่อยู่ในระดับมาก (Mean = 4.52) ต่ำกว่าด้านอื่น เป็นเพราะระบบในระยะนี้ยังมุ่งเน้นการพัฒนาฟังก์ชันหลักก่อน โดยยังไม่ได้เพิ่มกลไกความปลอดภัยขั้นสูง เช่น การเข้ารหัสแบบ End-to-end หรือการตรวจสอบสิทธิ์แบบหลายปัจจัย ซึ่งควรพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต ด้านความพึงพอใจของ

ผู้ใช้งาน 30 คน อยู่ในระดับมากที่สุดเช่นกัน (Mean = 4.50) โดยเฉพาะด้านการแสดงผลแบบเรียลไทม์ (Mean = 4.60) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาอบ พบว่า ทั้งสองปัจจัยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านแดชบอร์ดสนับสนุนการตัดสินใจเชิงข้อมูล (Data-Driven Decision Making) ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถกำหนดค่าการอบที่เหมาะสมกับลักษณะวัตถุดิบในแต่ละรอบการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Hashem et al. (2015)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Gubbi et al. (2013) ที่ระบุว่า การประยุกต์ใช้ IoT ในกระบวนการผลิตช่วยเพิ่มความแม่นยำและความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงค่า Latency เฉลี่ยต่ำกว่า 200 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานแบบเรียลไทม์ สาเหตุที่ระบบสามารถรักษาค่า Latency ให้อยู่ในระดับต่ำได้นั้น เป็นผลมาจากการออกแบบสถาปัตยกรรมแบบ Event-driven ร่วมกับการใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL ที่รองรับการเขียนข้อมูลแบบ Batch Insert ซึ่งลดภาระการประมวลผลต่อรายการได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ระบบฐานข้อมูล PostgreSQL ที่เลือกใช้นั้นสอดคล้องกับแนวทางของ Stonebraker & Rowe (1986) และ Pavlo et al. (2017) ที่เน้นความเสถียรและการรองรับข้อมูลปริมาณมากแบบต่อเนื่อง ในขณะที่งานวิจัยของ Hashem et al. (2015) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการนำแนวคิด Big Data มาประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตรช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถตัดสินใจปรับค่าการอบได้อย่างทันท่วงที อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินด้าน Security Test ที่อยู่ในระดับมาก (Mean = 4.52) ซึ่งต่ำกว่าด้านอื่น อาจเป็นเพราะระบบในระยะนี้ยังมุ่งเน้นการพัฒนาฟังก์ชันหลักก่อน โดยยังไม่ได้เพิ่มกลไกความปลอดภัยขั้นสูง เช่น การเข้ารหัสข้อมูลแบบ End-to-end หรือการตรวจสอบสิทธิ์แบบหลายปัจจัย ซึ่งควรพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต

## ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษา สามารถแบ่งข้อเสนอแนะออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

### 1. ข้อเสนอแนะเชิงการนำไปใช้

ควรพัฒนาระบบให้รองรับการเชื่อมต่อข้อมูลแบบเรียลไทม์จากอุปกรณ์ตรวจวัดเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลและลดขั้นตอนการบันทึกข้อมูลด้วยตนเอง นอกจากนี้ควรมีการจัดทำคู่มือการใช้งานระบบหรือจัดการอบรมผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำข้อมูลจากแดชบอร์ดและรายงานไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมทั้งควรมีการสำรองข้อมูล (Backup) และปรับปรุงมาตรการด้านความปลอดภัยของระบบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล

## 2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

สำหรับการวิจัยในอนาคต อาจขยายขอบเขตการศึกษาไปยังผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทอื่น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบในบริบทการใช้งานที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น รวมถึงควรพิจารณาเพิ่มการวิเคราะห์เชิงสถิติขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ควรศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยของระบบให้รัดกุมยิ่งขึ้น รวมถึงการขยายกลุ่มผู้ใช้งานในการประเมินเพื่อให้ผลการศึกษา มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง

### เอกสารอ้างอิง

- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*.
- Stonebraker, M., & Rowe, L. (1986). *The design of POSTGRES*.
- Pavlo, A., et al. (2017). *Self-driving database management systems*.
- Hashem, I. A. T., et al. (2015). *The rise of big data on cloud computing*.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637-646.
- Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1), 30-39.
- Shneiderman, B. (2020). Human-centered artificial intelligence: Reliable, safe & trustworthy. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(6), 495-504.
- Liang, Y., He, D., & Xu, M. (2021). Real-time monitoring system for agricultural products drying process based on IoT technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 182, 106023.