# การพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิทยานิพนธ์

ของ

วิยศพล กวนคอนสาร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พฤษภาคม 2565

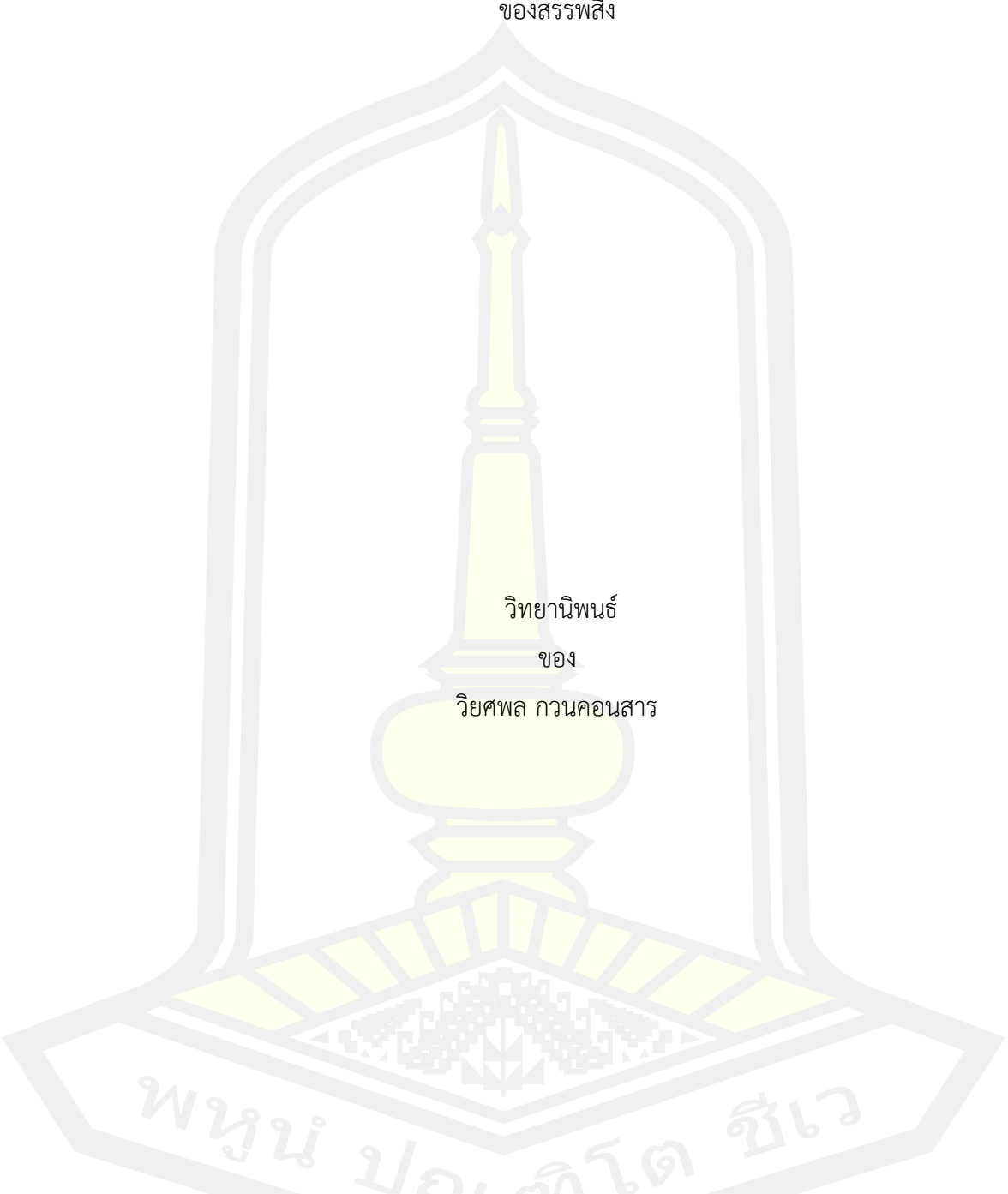
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

# การพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิทยานิพนธ์

ของ

วิยศพล กวนคอนสาร



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

# A Development of Monitoring and Notifying System for Machine Operation with Internet of Things Technology

Wiyossapon Khonconsan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

May 2022

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายวิยศพล กวนคอนสาร แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. อดิเรก จันตะคุณ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อ. ดร. บัญชา วัฒนะ )

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ )

.....กรรมการ
(รศ. ดร. ชลธี โพธิ์ทอง )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

| | |
|---|---|
| ..... | ..... |
| (รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป ) | (รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล ) |
| คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ | คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย |

**ชื่อเรื่อง** การพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

**ผู้วิจัย** วิยศพล กวนคอนสาร

**อาจารย์ที่ปรึกษา** อาจารย์ ดร. บัญชา วัฒนะ

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

**มหาวิทยาลัย** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2565

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบเฝ้าติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อใช้ในการเฝ้าติดตามและแจ้งเตือนค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ของเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนในสภาวะการทำงานที่ปกติและผิดปกติแบบเวลาจริง โดยระบบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เซนเซอร์ Pzem-004T สำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ ตัวประมวลผล Node MCU ESP8266 ใช้สำหรับประมวลผลค่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ และส่งข้อมูลขึ้นไปบันทึกและจัดเก็บบนคลาวด์ของเน็ตพายแพลตฟอร์ม โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาแสดงผลบนเน็ตพายฟรีบอร์ดและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ตามสถานะการทำงานที่มีการเปลี่ยนแปลง จากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำและการตอบสนองในการตรวจวัด แสดงผล และแจ้งเตือน พบว่าระบบสามารถตรวจวัดและแสดงผลค่าข้อมูลได้ถูกต้อง สามารถบ่งชี้และแจ้งเตือนสภาวะการทำงานที่ผิดปกติได้อย่างแม่นยำทุก ๆ เงื่อนไขในการเฝ้าติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนได้อย่างสมบูรณ์ รวมถึงสามารถนำค่าข้อมูลที่บันทึกและจัดเก็บมาวิเคราะห์เพื่อวางแผนการบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ระบบเฝ้าติดตามและแจ้งเตือน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, เน็ตพายแพลตฟอร์ม, แอปพลิเคชันไลน์

**TITLE** A Development of Monitoring and Notifying System for Machine Operation with Internet of Things Technology

**AUTHOR** Wiyossapon Khonconsan

**ADVISORS** Buncha Wattana , Ph.D.

**DEGREE** Master of Engineering **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

**UNIVERSITY** Mahasarakham University **YEAR** 2022

## ABSTRACT

This research paper presents a system for monitoring and notifying the operating status of hot press machine with Internet of Things technology for use in monitoring and notification the current and voltage values supplied to the heater of the hot press machine in normal and abnormal operating conditions in real time. The system consists of current and voltage sensors, this research will use the Pzem- 004T sensor to measure the current and voltage of the heater, Node MCU ESP8266 processor is used for processing the measured data values from the sensors and transmit data to the NETPIE Platform's cloud storage and recording. Such information will be displayed on the NETPIE Freeboard and notified via the LINE Application according to the working status changes. From testing the system developed to verify the accuracy and response of measurements, displayed and notification it was found that the system was able to measure and display the data values correctly, Able to accurately identify and notify any abnormal operating conditions for monitor and notification the abnormal operating status of the hot press machine a perfectly. In addition, the recorded and stored data values can be analyzed for more efficient maintenance planning.

Keyword : Monitoring and notification system, Internet of Things, NETPIE Platform, Application LINE

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ ความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้วิจัย ทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ตลอดระยะเวลาดำเนินงาน และนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปปรับใช้กับงานวิจัยจนสำเร็จในที่สุด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.บัญชา วัฒนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาวิจารณ์ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดจนการชี้แนะแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ระหว่างการดำเนินงานได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันตะคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชลธี โพธ์ทอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร์ อังควิศิษฐพันธ์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการและให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการดำเนินการเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ดร.บรรพต หอบรรลือกิจ ที่ช่วยให้ความรู้ มุมมอง และคำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถานประกอบการที่ให้โอกาสในการเพิ่มเติมความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน และอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล การใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ รวมถึงผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความร่วมมือในการดำเนินงาน โดยเฉพาะนายรัฐพงศ์ สุขสนอง ที่คอยให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาตลอดการดำเนินงาน ทำให้งานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งที่ได้รับความกรุณาจากท่าน จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้โอกาสและเงินทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นเตือน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ ทุกท่านในโครงการ RDI ที่ช่วยสนับสนุน ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือเสมอมา ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณและขอมอบความดีทั้งหลายของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นและผู้ที่ยังไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและเป็นแนวทางในการศึกษา วิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

วิยศพล กวนคอนสาร

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1 หลักการและเหตุผล ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 4

1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย ..... 4

1.4 กรอบการวิจัย ..... 5

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย ..... 7

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ..... 8

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 9

2.1 เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ..... 9

2.2 การบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ..... 11

2.3 ความหมายและแนวคิดของ Internet of Things ..... 13

2.4 องค์ประกอบของ Internet of Things ..... 13

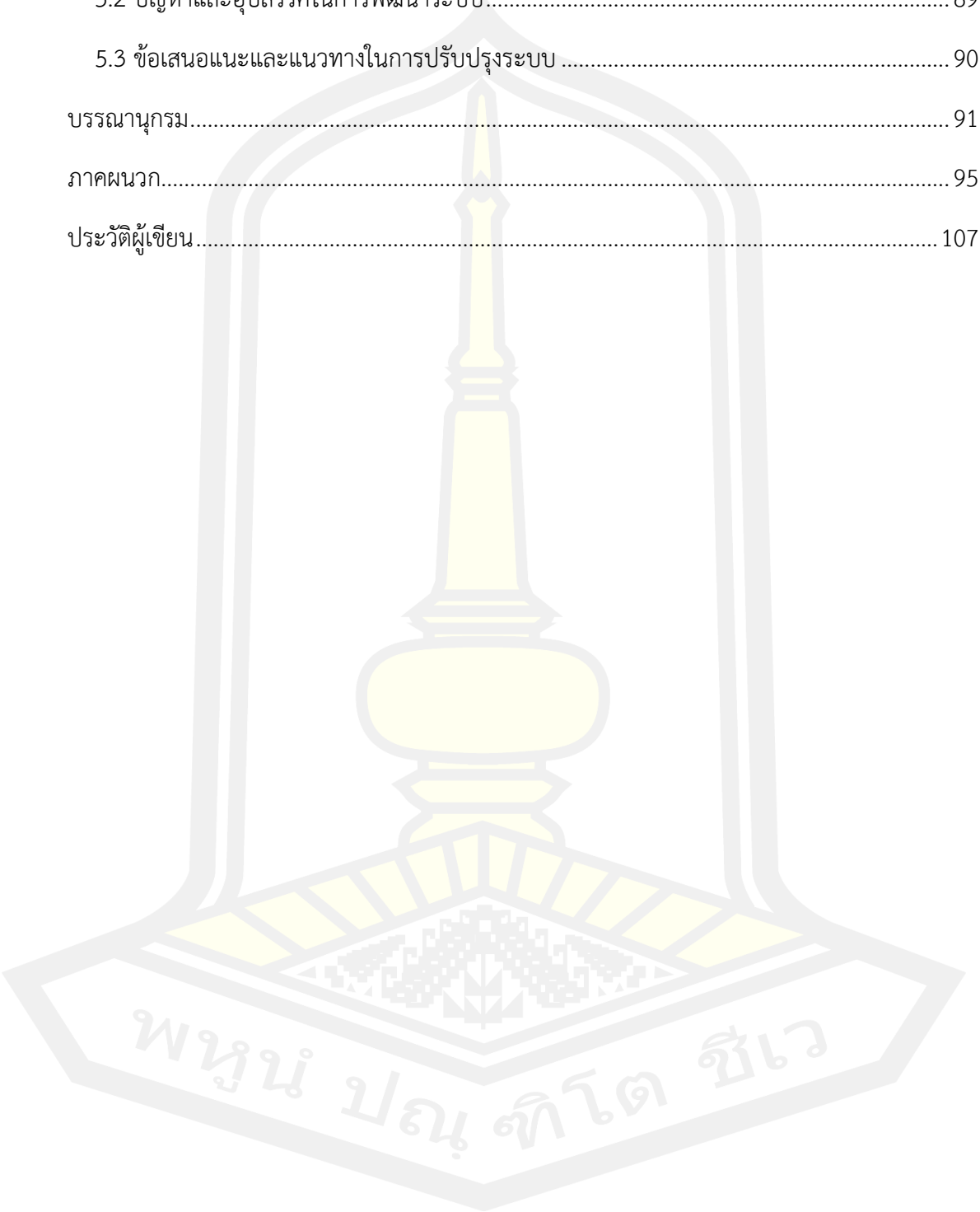
2.5 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในภาคอุตสาหกรรม ..... 13

2.6 NETPIE (Network Platform for Internet of Everything) ..... 19

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ..... 21

2.8 Node MCU ESP8266 ..... 25
2.9 Pzem-004T V3 ..... 26
2.10 ระบบการเชื่อมต่อสื่อสารแบบวายฟาย (Wi-Fi) ..... 28
2.11 Application LINE ..... 29
2.12 การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ ..... 30
2.13 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ..... 33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย ..... 39
3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท ..... 39
3.2 ขั้นตอนการออกแบบและกระบวนการผลิต ..... 40
3.3 ศึกษาและวิเคราะห์ประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ..... 49
3.4 สรุปประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก ..... 54
3.5 ศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยี ..... 54
3.6 การออกแบบและพัฒนาระบบ ..... 55
3.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ ..... 59
3.8 การออกแบบการเขียนโปรแกรมการพัฒนาระบบสำหรับการแสดงผล (Monitor) ..... 61
3.9 การออกแบบการเขียนโปรแกรมการพัฒนาระบบสำหรับการแจ้งเตือน (Notification) ..... 62
3.10 เงื่อนไขในการบันทึกและการแจ้งเตือนข้อมูล ..... 63
3.11 การออกแบบวงจรของระบบ (Electrical & Electronic Circuit) ..... 63
3.12 การออกแบบการทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ ..... 64
บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง ..... 67
4.1 การเตรียมการทดสอบระบบ ..... 67
4.2 การดำเนินการทดสอบระบบ ..... 70
4.3 การวิเคราะห์ผลการติดตั้งใช้งานระบบ ..... 82
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน ..... 88

5.1 ผลการวิจัย ..... 88
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาระบบ ..... 89
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงระบบ ..... 90
บรรณานุกรม ..... 91
ภาคผนวก ..... 95
ประวัติผู้เขียน ..... 107



# สารบัญตาราง

**หน้า**


ตาราง 1 แผนการดำเนินงานวิจัย ..... 7

ตาราง 2 ชนิดตัวแปรในภาษา C/C++ ..... 30

ตาราง 3 ชนิดตัวดำเนินการในภาษา C/C++ ..... 31

ตาราง 4 การแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) ในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก ..... 50

ตาราง 5 กำลังการผลิตที่สูญเสียจาก Downtime & Breakdown Machine (Capacity Loss) ..... 51

ตาราง 6 ของเสียที่เกิดจาก Downtime & Breakdown Machine (Quality Loss) ..... 53

ตาราง 7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ ..... 60

ตาราง 8 เงื่อนไขการทดสอบการแจ้งเตือนค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าผ่าน LINE Notify ..... 63

ตาราง 9 เงื่อนไขการทดลองและการทดสอบระบบ ..... 65

ตาราง 10 ตารางบันทึกผลการทดสอบการแสดงผลบน Dashboard ..... 66

ตาราง 11 ตารางบันทึกผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน LINE ..... 66

ตาราง 12 รายละเอียดอุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบ ..... 69

ตาราง 13 ระยะการทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ ..... 70

ตาราง 14 ผลการทดสอบการแสดงผลบน Dashboard ..... 72

ตาราง 15 ตารางสรุปผลการทดสอบระบบด้วยเงื่อนไขที่ 1 (การแสดงผลบน Dashboard) ..... 75

ตาราง 16 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน LINE ..... 78

ตาราง 17 ตารางสรุปผลการทดสอบระบบด้วยเงื่อนไขที่ 2 (การแจ้งเตือนผ่าน LINE) ..... 79

ตาราง 18 ตัวอย่างข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine ..... 82

ตาราง 19 ตัวอย่างข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (Current) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine ..... 84

# สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 เครื่องจักรในไลน์การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ..... 2
ภาพประกอบ 2 จำนวนครั้งการแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) ..... 2
ภาพประกอบ 3 ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Impact form downtime) ..... 3
ภาพประกอบ 4 เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนดิสก์เบรก (Hot Press Machine) ..... 3
ภาพประกอบ 5 กรอบการวิจัย ..... 7
ภาพประกอบ 6 Automation Pyramid (Automation Hierarchy) ..... 16
ภาพประกอบ 7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับ NETPIE ..... 19
ภาพประกอบ 8 การแสดงผลบน NETPIE Freeboard [7] ..... 20
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ..... 21
ภาพประกอบ 10 การติดต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ ..... 23
ภาพประกอบ 11 โครงสร้างแบบ SOIC ..... 23
ภาพประกอบ 12 โครงสร้างแบบ PDIP ..... 24
ภาพประกอบ 13 โครงสร้างแบบ PLCC ..... 24
ภาพประกอบ 14 โครงสร้างแบบ TQFP ..... 24
ภาพประกอบ 15 สถาปัตยกรรมวอนนิวแมนน์ (Von-Newman Architecture) ..... 24
ภาพประกอบ 16 สถาปัตยกรรมฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) [8] ..... 25
ภาพประกอบ 17 Node MCU ESP8266 ..... 25
ภาพประกอบ 18 ลักษณะขา PIN ของ Node MCU ESP8266 V3 [9] ..... 26
ภาพประกอบ 19 Pzem-004T V3 ..... 27
ภาพประกอบ 20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Pzem-004T V3 [11] ..... 28
ภาพประกอบ 21 ระบบการเชื่อมต่อสื่อสารแบบวายฟาย (Wi-Fi) ..... 29

ภาพประกอบ 22 LINE Notify..... 30
ภาพประกอบ 23 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่ง if-else..... 32
ภาพประกอบ 24 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่ง for ..... 32
ภาพประกอบ 25 แผนผังการทำงานของชุดคำสั่ง while [14]..... 33
ภาพประกอบ 26 เครื่อง Universal Testing Machine..... 40
ภาพประกอบ 27 เครื่อง Rockwell Hardness Test Machine..... 41
ภาพประกอบ 28 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic Balance) และ Hydro Meter ..... 41
ภาพประกอบ 29 เครื่อง Compressibility Tester Machine..... 41
ภาพประกอบ 30 เครื่อง IETEK Ultrasonic Measurement..... 42
ภาพประกอบ 31 เครื่อง Dynamometer ..... 42
ภาพประกอบ 32 เครื่อง Constant Speed Friction Tester..... 42
ภาพประกอบ 33 แผนภาพกระบวนการผลิตดิสก์เบรก ..... 43
ภาพประกอบ 34 การจัดเก็บ-เบิกจ่ายวัตถุดิบ..... 44
ภาพประกอบ 35 เครื่องผสมเคมี (Chemical Mixing Machine)..... 44
ภาพประกอบ 36 เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น (Preform Press Machine) ..... 44
ภาพประกอบ 37 เครื่องยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting Machine) 45
ภาพประกอบ 38 เครื่องพ่นกาวแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Adhesive Spaying Machine)..... 45
ภาพประกอบ 39 เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing Machine) ..... 45
ภาพประกอบ 40 เครื่องอบดิสก์เบรก (Baking Machine)..... 46
ภาพประกอบ 41 เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก (Disc Brake Pads Grinding Machine)..... 46
ภาพประกอบ 42 เครื่องผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer Machine)..... 46
ภาพประกอบ 43 เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก (Scorching Machine) ..... 47
ภาพประกอบ 44 เครื่องพ่นสี (Powder coating Machine)..... 47
ภาพประกอบ 45 เครื่องอบสี (Color Baking Machine)..... 47

ภาพประกอบ 46 เครื่องติดแผ่นชิม (Attach Shim Machine) ..... 48
ภาพประกอบ 47 เครื่องเคลือบสีหน้าผ้าเบรก (Coating Machine) ..... 48
ภาพประกอบ 48 เครื่องระบุรหัสผลิตภัณฑ์ (Inkjet Machine) ..... 48
ภาพประกอบ 49 เครื่องติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling Machine) ..... 49
ภาพประกอบ 50 เครื่องแพ็คบรรจุ (Packing Machine) ..... 49
ภาพประกอบ 51 องค์ประกอบของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) ..... 54
ภาพประกอบ 52 เครื่องจักรและอุปกรณ์ตรวจวัด (Machine และ Industrial Sensor) ..... 55
ภาพประกอบ 53 ตัวประมวลผลและส่งข้อมูล (Node MCU ESP8266 V3) ..... 55
ภาพประกอบ 54 ระบบเชื่อมโยงการสื่อสาร (Wi-Fi) ..... 55
ภาพประกอบ 55 แพลตฟอร์ม NETPIE (Cloud Server) ..... 56
ภาพประกอบ 56 การแสดงผลและการแจ้งเตือน (User Interface) ..... 56
ภาพประกอบ 57 ภาพรวมของระบบ ..... 56
ภาพประกอบ 58 รูปแบบการพัฒนาและออกแบบระบบ ..... 57
ภาพประกอบ 59 การเชื่อมโยงสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Wi-Fi) ..... 57
ภาพประกอบ 60 NETPIE Platform ..... 58
ภาพประกอบ 61 การแสดงผลข้อมูลผ่าน NETPIE Freeboard ..... 58
ภาพประกอบ 62 การแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ..... 59
ภาพประกอบ 63 Flowchart การออกแบบและพัฒนาระบบสำหรับการแสดงผล (Monitor) ..... 61
ภาพประกอบ 64 Flowchart การออกแบบและพัฒนาระบบสำหรับการแจ้งเตือน (Notification) 62
ภาพประกอบ 65 การออกแบบวงจรของระบบ ..... 64
ภาพประกอบ 66 การติดตั้งใช้งานและทดสอบระบบ ..... 64
ภาพประกอบ 67 Heater Hot Press ..... 67
ภาพประกอบ 68 อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ..... 68
ภาพประกอบ 69 การแสดงผลผ่าน NETPIE Freeboard ..... 68

ภาพประกอบ 70 การแจ้งเตือนระบบผ่าน LINE Notify ..... 68
ภาพประกอบ 71 เครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8..... 69
ภาพประกอบ 72 การแสดงผลข้อมูลบน NETPIE Freeboard..... 76
ภาพประกอบ 73 การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Over Current Phase A & B..... 80
ภาพประกอบ 74 การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Under Current Phase A & B ..... 80
ภาพประกอบ 75 การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Over Voltage Phase A & B..... 81
ภาพประกอบ 76 การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Under Voltage Phase A & B ..... 81
ภาพประกอบ 77 การวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine..... 84
ภาพประกอบ 78 การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine..... 86

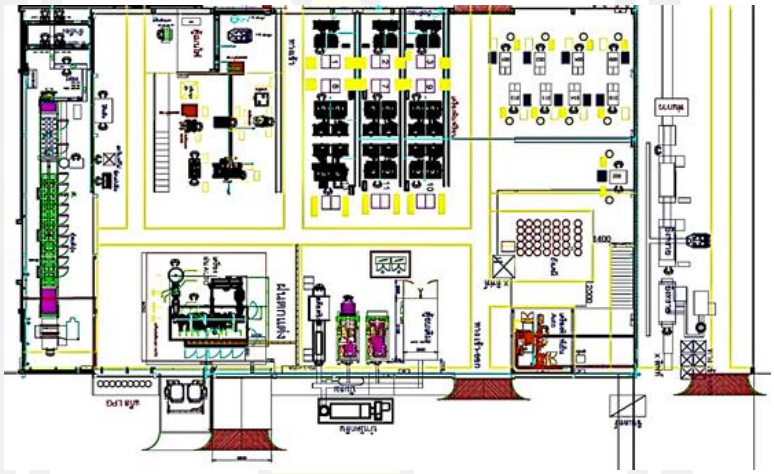
# บทที่ 1

# บทนำ

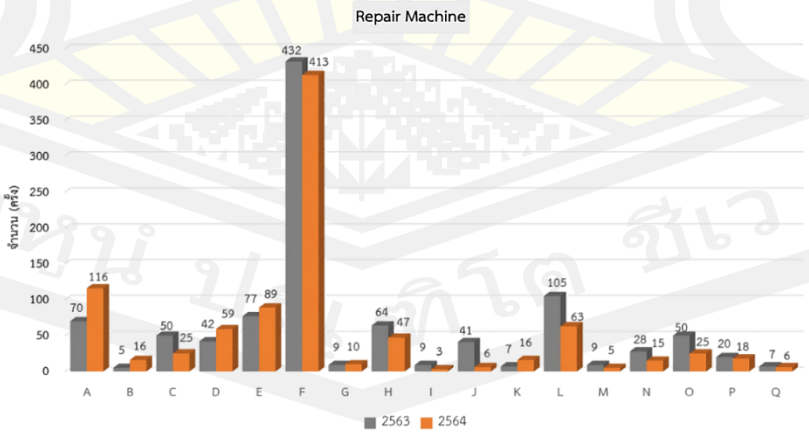
## 1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องจักรซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิต เช่น ไลน์การผลิต ไลน์คอนเวเยอร์ ไลน์สายพานหรือระบบลำเลียง เนื่องจากสามารถตอบสนองได้อย่างรวดรวดเร็วต่อกระบวนการผลิตและมีความแม่นยำสูง เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้ตรงตามความต้องการของภาคธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับตลาดและอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ รวมถึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตที่กำหนด แสดงดังภาพประกอบ 1 ซึ่งเครื่องจักรในไลน์การผลิตของบริษัทกรณีศึกษาและวิจัยประกอบด้วยเครื่องจักรที่เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติที่มีรูปแบบของกระบวนการผลิตเป็นการผลิตแบบกลุ่ม (Batch Production) และเครื่องจักรแบบอัตโนมัติที่มีรูปแบบของกระบวนการผลิตเป็นการผลิตแบบไหลชิ้นเดียว (One-Piece Flow) โดยในขณะที่เครื่องจักรกำลังดำเนินการในกระบวนการผลิตอาจมีกรณีที่เครื่องจักรทำงานผิดปกติหรือมีความบกพร่องเกิดขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์ภายในเครื่องจักร ทำให้เกิดปัญหาขึ้นในกระบวนการผลิตที่ดำเนินการอยู่ในขณะนั้น เช่น กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักจากการที่เครื่องจักรต้องหยุดทำงาน (Machine downtime) กำลังการผลิตที่ไม่เป็นไปตามแผนการผลิต (Capacity Loss) รวมถึงมีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Quality Loss) เป็นต้น โดยจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนครั้งของการแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) ที่เกิดจากการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรและอุปกรณ์ภายในเครื่องจักร แสดงภาพประกอบ 2 และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น แสดงภาพประกอบ 3 พบว่าเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Press Machine) แสดงดังภาพประกอบ 4 ที่เป็นเครื่องจักรในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนเกิดปัญหาการทำงานผิดพลาดหรือเกิดข้อบกพร่องมากที่สุดและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากที่สุด เนื่องจากมีจำนวนครั้งในการแจ้งซ่อมและเวลาที่เครื่องหยุดทำงานสูงสุดในกลุ่มของเครื่องจักรในไลน์การผลิตทั้งหมด โดยปัญหาส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ตัวอุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนเป็นหลัก เนื่องจากมีการให้ความร้อนและแรงกดอัดแก่ชิ้นงานค่อนข้างสูงอยู่ตลอดเวลา จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายในเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุดเสียหายในที่สุด ทั้งนี้พบว่าในเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนยังไม่มีระบบหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงาน จึงเป็นผลทำให้ไม่สามารถเข้าดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างทันท่วงทีหากเกิดความผิดปกติกับเครื่องจักร ซึ่งทำให้เครื่องจักรต้องหยุดทำงานและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

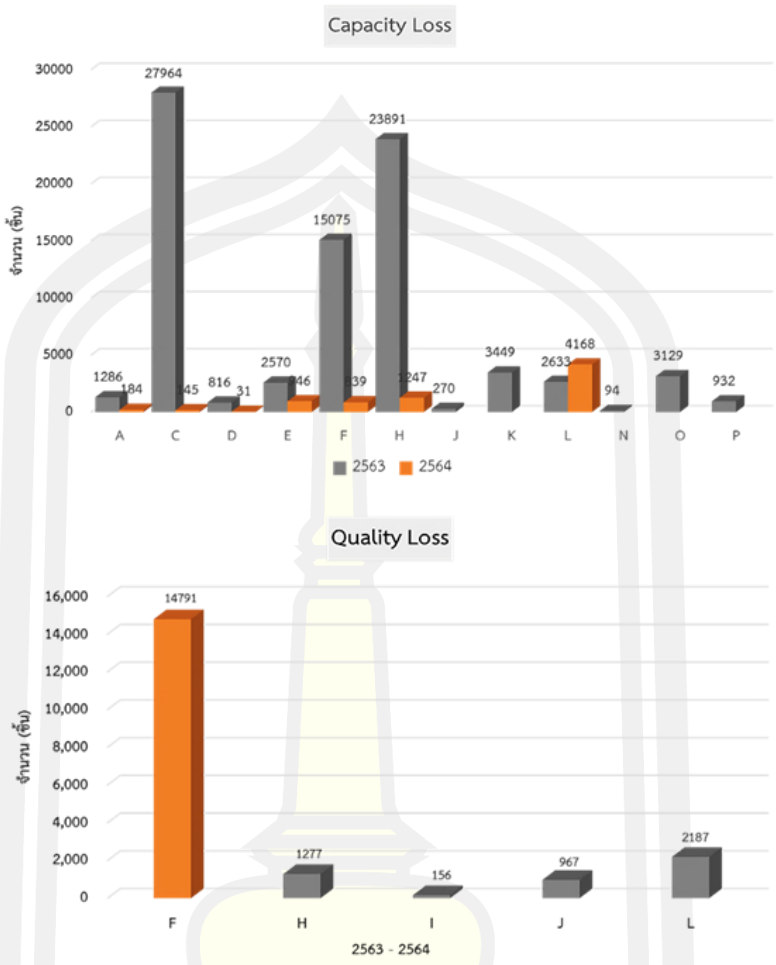
งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบติดตาม (Monitor) และแจ้งเตือน (Notification) สถานะการทำงานของเครื่องจักร (เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน) เพื่อตรวจสอบ เฝ้าติดตาม และป้องกันสถานะการทำงานที่ผิดปกติก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุดเสียหาย และเพื่อให้สามารถดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงในกรณีที่เครื่องจักรเริ่มทำงานผิดปกติได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมต่อกระบวนการผลิต โดยการนำเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่มีการนำเครื่องจักร การวิเคราะห์ประมวลขั้นสูง และคนมาทำงานร่วมกันผ่านโครงข่ายของอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงกันด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีการแสดงผลในรูปแบบเวลาจริง (Real-Time) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการในอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



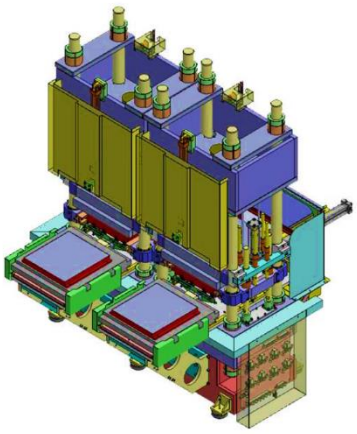
**ภาพประกอบ 1** เครื่องจักรในไลน์การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์




**ภาพประกอบ 2** จำนวนครั้งการแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine)




**ภาพประกอบ 3** ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Impact form downtime)



**ภาพประกอบ 4** เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนดิสก์เบรก (Hot Press Machine)

**1.2 วัตถุประสงค์**

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาระบบติดตาม (Monitor) และแจ้งเตือน (Notification) สถานะการทำงานของเครื่องจักร เพื่อเฝ้าติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตอย่าง Real-Time

1.2.2 ออกแบบและพัฒนาระบบติดตาม (Monitor) และแจ้งเตือน (Notification) สถานะการทำงานของเครื่องจักร เพื่อแสดงผลและบ่งชี้สถานะการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตอย่าง Real-Time

1.2.3 ออกแบบและพัฒนาระบบติดตาม (Monitor) และแจ้งเตือน (Notification) สถานะการทำงานของเครื่องจักร เพื่อป้องกันสถานะการทำงานที่ผิดปกติและการ Downtime ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตอย่าง Real-Time

**1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย**

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนากรอบแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย (Research framework) เพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน และประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีที่กระบวนการผลิตหยุดชะงัก รวมถึงนำเสนอทางเลือกหรือแนวทางในการดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งขอบเขตการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เพื่อทำความเข้าใจและบูรณาการองค์ความรู้ที่ได้ศึกษาไปใช้ให้เกิดประโยชน์และสร้างคุณค่าให้เกิดขึ้นแก่องค์กร

1.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จำแนกและบ่งชี้ประเด็นปัญหาที่มีผลกระทบกับกระบวนการผลิตมากที่สุด โดยวิเคราะห์ผ่านข้อมูลการแจ้งซ่อมเครื่องจักร ข้อมูลกำลังการผลิต และข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

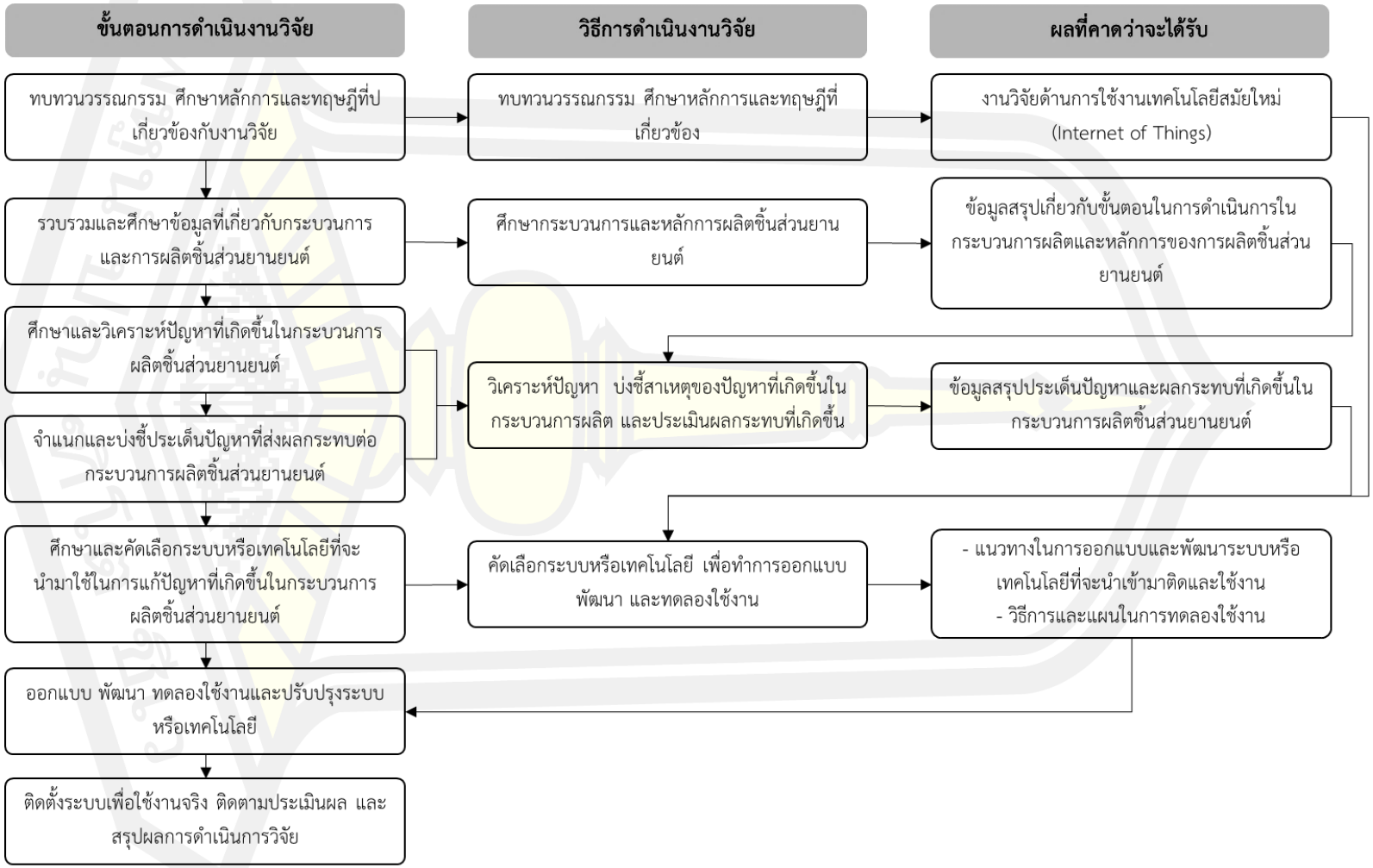
1.3.3 ศึกษาและบ่งชี้ระบบหรือเทคโนโลยีที่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำระบบเข้ามาติดตั้งใช้งาน

1.3.4 ออกแบบและพัฒนาระบบหรือเทคโนโลยีในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตที่สามารถนำมาใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ

1.3.5 สรุปและประเมินผลการดำเนินงานวิจัย เพื่อปรับปรุงแก้ไขและเสนอแนะเพิ่มเติม

**1.4 กรอบการวิจัย**

ในการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักร มีขั้นตอนการดำเนินการที่ประกอบด้วยหลายส่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนากรอบการวิจัยขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด แสดงดังภาพประกอบ 5 โดยกรอบการวิจัยที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย วิธีการที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นตอน รวมถึงผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้


ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
วิธีการดำเนินงานวิจัย
ผลที่คาดว่าจะได้รับ
ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
งานวิจัยด้านการใช้งานเทคโนโลยีสมัยใหม่ (Internet of Things)
รวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับกระบวนการและการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
ศึกษากระบวนการและหลักการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
ข้อมูลสรุปเกี่ยวกับขั้นตอนในการดำเนินการในกระบวนการผลิตและหลักการของการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
จำแนกและบ่งชี้ประเด็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
วิเคราะห์ปัญหา บ่งชี้สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น
ข้อมูลสรุปประเด็นปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
ศึกษาและคัดเลือกระบบหรือเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
คัดเลือกระบบหรือเทคโนโลยี เพื่อทำการออกแบบพัฒนา และทดลองใช้งาน
- แนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบหรือเทคโนโลยีที่จะนำเข้ามาติดและใช้งาน
- วิธีการและแผนในการทดลองใช้งาน
ออกแบบ พัฒนา ทดลองใช้งานและปรับปรุงระบบหรือเทคโนโลยี
ติดตั้งระบบเพื่อใช้งานจริง ติดตามประเมินผล และสรุปผลการดำเนินการวิจัย

**ภาพประกอบ 5** กรอบการวิจัย

## 1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

**ตาราง 1** แผนการดำเนินงานวิจัย

| กระบวนการดำเนินงานวิจัย | 2564 | | | | | | | | | | | | 2565 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. |
| **ส่วนที่ 1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปของบริษัท | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 2. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการออกแบบและกระบวนการผลิต | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 3. เก็บรวมรวม วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบและบ่งชี้ประเด็นปัญหา | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| **ส่วนที่ 2 ศึกษาและออกแบบโครงสร้างของระบบ** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 2. ศึกษาหลักการและวิธีการทำงานของเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการวิจัย | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 3. ศึกษาองค์ประกอบของเทคโนโลยีหรือระบบที่จะนำมาใช้ในการวิจัย | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 4. พิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีหรือระบบที่นำมาใช้ในการวิจัย | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 5. ออกแบบโครงสร้างและพัฒนาระบบ | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 6. กำหนดเงื่อนไขและออกแบบการทดสอบ ทดสอบใช้งาน และปรับปรุงแก้ไข | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| 7. นำระบบไปติดตั้งใช้งานจริงและติดตามประเมินผล | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| 8. วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงานวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| **ส่วนที่ 3 ดำเนินการเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. เขียนและสอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์ (Proposal) | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 2. เขียนและส่งบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ (Paper) | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 3. สอบวิทยานิพนธ์ (Defense) | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| 4. แก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ (Thesis) | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |

**1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย**

1.6.1 เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Press Machine & Heater Hot Press)

1.6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP8266 V3)

1.6.3 โมดูลวัดค่ากระแสและแรงดันฟ้า (Pzem-004T V3)

1.6.4 ระบบเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Wi-Fi)

1.6.5 ระบบคลาวด์ NETPIE Platform

1.6.6 แอปพลิเคชัน LINE

1.6.7 โปรแกรม Microsoft Excel

1.6.8 โปรแกรม Arduino IDE

1.6.9 เครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8

1.6.10 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Notebook)

**1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.7.1 สามารถตรวจสอบและเฝ้าติดตามสถานะการทำงานของเครื่องจักรได้อย่าง Real-Time ผ่านหน้าจอแสดงผลข้อมูล Dashboard (NETPIE Freeboard)

1.7.2 สามารถบ่งชี้และแจ้งเตือนสภาวะการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรไปยังผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance Machine) ผ่านไลน์แอปพลิเคชัน LINE (LINE Notify)

1.7.3 สามารถนำข้อมูลสถานการณ์ทำงานของเครื่องจักรที่บันทึกและจัดเก็บบนระบบคลาวด์ NETPIE Platform มาวิเคราะห์และประเมินเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Predictive Maintenance)

1.7.4 สามารถป้องกันและลดปัญหา Downtime & Breakdown Machine เพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและเป็นไปตามแผนการผลิต

# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบและพัฒนาระบบการติดตามและแจ้งเตือนสถานการณ์ทำงานของเครื่องจักรแบบเวลาจริง การศึกษาเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎี รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากต้องเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องจักร หลักการทำงานของระบบส่วนประกอบของระบบ รวมถึงการประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้สามารถออกแบบและพัฒนาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยนี้มีการนำหลักการและทฤษฎี รวมถึงสาระสำคัญจากการทบทวนวรรณกรรมมาสนับสนุนดังนี้

## 2.1 เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

เครื่องจักร คือ ชิ้นส่วนวัตถุที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างสำหรับใช้เป็นต้นกำเนิดของพลังงานใช้ปรับเปลี่ยนหรือส่งพลังงาน โดยปรากฏในรูปของเครื่องอุปกรณ์ สายพาน เกียร์ เพลา และส่วนประกอบจักรกลอื่น ๆ อีกทั้งยังมีการใช้เชื้อเพลิงเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องจักร ไม่ว่าจะเป็นน้ำ ไอน้ำ ลม แก๊ส หรือไฟฟ้าซึ่งอาจใช้แยกกันหรือรวมกันได้เช่นกัน โดยเครื่องจักรจะถูกเรียกตามประเภทของพลังงานที่ใช้ เช่น เครื่องจักรพลังงานเชิงกล เครื่องจักรพลังงานความร้อน เครื่องจักรพลังงานไอน้ำ หรือเครื่องจักรพลังงานลม เป็นต้น

ในปัจจุบันรูปแบบการทำงานของเครื่องจักรได้มีการปรับเปลี่ยนให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่หรือไฟฟ้าในการขับเคลื่อนกลไกการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการได้เต็มประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จึงมีแนวโน้มที่จะมีการปรับมาใช้เครื่องจักรในรูปแบบดังกล่าวเนื่องจากสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบโจทย์ต่อกระบวนการผลิต

### 2.1.1 ประเภทของเครื่องจักร

ปัจจุบันเครื่องจักรสามารถแบ่งออกตามลักษณะของพลังงานที่ใช้และประโยชน์ที่ได้รับจากการทำงานของเครื่องจักร โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) เครื่องต้นกำลัง เครื่องจักรประเภทนี้มีจุดเด่นที่ขีดความสามารถในการผลิตและเปลี่ยนพลังงานจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น เครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปของไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเครื่องจักร

2) เครื่องส่งกำลัง เป็นชิ้นส่วนสำคัญในเครื่องจักรกลทุกขนาด มีหน้าที่สำคัญในการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องต้นกำลังไปยังเครื่องจักรปลายทาง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเครื่องส่งกำลังเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการลำเลียงพลังงานนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น สายพาน โซ่ เฟือง เพลา และท่อลมอัดประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในเครื่องจักรทุกประเภท

3) เครื่องจักรทำการผลิต เป็นเครื่องจักรที่ใช้พลังงานจากเครื่องต้นกำลัง และเครื่องส่งกำลังในการดำเนินการผลิตหรือใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน โดยเครื่องจักรทำการผลิตจะถูกออกแบบมาเพื่อให้มีขีดความสามารถในการใช้งานประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเจาะ เครื่องอัด เครื่องตัด เครื่องไส เครื่องกลึง รวมถึงเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องใช้สายพานการผลิตสินค้าจำนวนมากอย่างบรรจุภัณฑ์ อาหารแปรรูป ตลอดจนเครื่องนุ่งห่ม เนื่องจากมีจุดเด่นที่สามารถทำงานได้อย่างปราศจากความเหน็ดเหนื่อย มีความผิดพลาดน้อยกว่ามนุษย์ ตลอดจนมีศักยภาพในการผลิตสินค้าได้ปริมาณมากในเวลาที่จำกัด

**2.1.2 ระบบการทำงานของเครื่องจักร**

ระบบอัตโนมัติ (Automation System) คือ ระบบการทำงานของเครื่องจักรที่มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุม สั่งการในการทำงาน มนุษย์ผู้ควบคุมมีหน้าที่ตั้งคำสั่งให้เครื่องจักรทำงานด้วยตนเองโดยไม่จำเป็นต้องควบคุมเครื่องจักรด้วยมือของตนเอง ทั้งนี้เครื่องจักรอาจทำงานด้วยระบบอัตโนมัติเต็มที่หรือระบบกึ่งอัตโนมัติโดยมีมนุษย์ควบคุมกำกับดูแลได้ด้วย เครื่องจักรที่ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) ระบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ เป็นเครื่องจักรที่นำหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์มาเป็นกลไกในการควบคุมและสั่งการให้เครื่องจักรทำงานบางประการ นิยมใช้ในงานที่มีความเสี่ยงสูง หากใช้แรงงานมนุษย์อาจจะสร้างผลกระทบต่อชีวิตได้ ดังนั้นการทำงานของเครื่องจักรในระบบนี้นั้นจะต้องมีมนุษย์คอยกำกับดูแลทางไกลอีกชั้นหนึ่ง โดยอาจทำหน้าที่สั่งการผ่านรีโมตหรือแผงควบคุม

2) ระบบเครื่องจักรอัตโนมัติ เครื่องจักรประเภทนี้ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ตลอดเวลาในทุกกระบวนการทำงาน มนุษย์อาจทำหน้าที่เพียงแค่เซ็ตระบบหรือสั่งการไว้ล่วงหน้าในช่วงเริ่มต้น หลังจากนั้นเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติก็จะทำงานด้วยตนเองโดยไม่

จำเป็นต้องมีการควบคุมกำกับดูแลอย่างใกล้ชิด นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานของมนุษย์ [1]

## 2.2 การบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

การบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance) หมายถึง การจะดำเนินการต่าง ๆ เพื่อที่จะรักษาสภาพของเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ โดยคลอบคลุมไปถึงการซ่อมบำรุง (Repair) ด้วย โดยวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาเครื่องจักร คือ เพื่อรักษาสมรรถนะความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักร รักษาประสิทธิผลของเครื่องจักร เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามแผนที่วางไว้ มีค่าใช้จ่ายที่ลดลง รวมถึงการบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องจักร

### 2.2.1 ความสำคัญของการบำรุงรักษา

เนื่องจากหลักการบริหารงาน คือ พยายามควบคุมให้ได้ผลงานทั้งปริมาณและคุณภาพภายใต้เวลาที่กำหนดด้วยต้นทุนที่ต่ำสุด สามารถทำงานให้แล้วเสร็จตามกำหนดเวลา รวมถึงผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นความสำคัญของการบำรุงรักษาจึงสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิผล (Effectiveness) ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และใช้งานได้เต็มความสามารถ

2) เพื่อให้เครื่องจักรมีสมรรถนะการทำงานสูง (Performance) ซึ่งการบำรุงรักษาจะช่วยยืดอายุการใช้งาน โดยอาศัยการปรับแต่งหรือซ่อมบำรุง

3) เพื่อให้เครื่องจักรมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการทำงาน ซึ่งการบำรุงรักษาจะมีผลโดยตรงตรงต่อการทำงานของเครื่องจักรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความละเอียด ความเที่ยงตรง และมาตรฐานของงาน

4) เพื่อให้มีความปลอดภัยในการทำงาน (Safety) เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เพราะถ้าหากมีการใช้งานเครื่องจักรที่ชำรุดหรือไม่พร้อมใช้งาน ก็สามารถก่อให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บต่อผู้ใช้งานเครื่องจักรได้

### 2.2.2 ชนิดของการบำรุงรักษา

1) การบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเกิดการชำรุดและหยุดทำงานโดยฉุกเฉิน ซึ่งเป็นวิธีการเดิมในการ

บำรุงรักษาแต่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะได้ใช้วิธีการนี้ เพราะสามารถเกิดเหตุขัดข้องกับเครื่องจักรได้ตลอดเวลาแม้จะมีการบำรุงรักษาที่ดี

2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM) เป็นการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ การเกิดเหตุขัดข้อง และการหยุดทำงานของเครื่องจักรโดยฉุกเฉิน โดยอาศัยการตรวจสภาพและการเตรียมความพร้อมของเครื่องจักร การปรับแต่งเครื่องจักร รวมถึงการบำรุงและเปลี่ยนชิ้นสวนอะไหล่ตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาตามวาระหรือระยะเวลาการใช้งานที่กำหนด เพื่อรักษาสภาพการทำงานของเครื่องจักรให้เหมาะสมก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหาย โดยมีการวางแผนและกำหนดช่วงระยะเวลาในการตรวจสอบเพื่อบำรุงรักษาไว้ล่วงหน้า

3) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) เป็นการดัดแปลงและปรับปรุงแก้ไขเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักร เพื่อลดหรือกำจัดเหตุขัดข้องเรื้อรังที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรให้หมดไป และเป็นการปรับปรุงสภาพของเครื่องจักรให้สามารถผลิตได้ด้วยคุณภาพและปริมาณที่สูงขึ้น

4) การป้องกันเพื่อบำรุงรักษา (Maintenance Prevention) เป็นการดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งเครื่องจักรที่ไม่ต้องมีการบำรุงรักษา หรือมีการบำรุงรักษาน้อยที่สุด โดยอาศัยการออกแบบเครื่องจักรให้มีความแข็งแรงทนทาน บำรุงรักษาง่าย มีการใช้เทคนิคและวัสดุที่จะทำให้เครื่องจักรมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) สูง รวมถึงเลือกใช้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ ทนทาน ซ่อมแซมง่าย และมีราคาที่เหมาะสม

5) การบำรุงรักษาทวีผล (Productive Maintenance) เป็นการนำเอาการบำรุงรักษาทุกรูปแบบมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ในด้านของการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นการส่งเสริมการผลิตให้เกิดผลลัพธ์สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

6) การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance : TPM) เป็นการบำรุงรักษาที่เน้นการมีส่วนร่วมของทุกคน ทั้งพนักงานในสายการผลิต (Operators) และพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance Group) ซึ่งทั้งสองส่วนจะรับผิดชอบในการบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องจักรต่าง ๆ ร่วมกัน [2]

**2.3 ความหมายและแนวคิดของ Internet of Things**

อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things) คือ เทคโนโลยีที่มีการประยุกต์ใช้แนวคิดการเชื่อมต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีการติดตั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ และอุปกรณ์เซนเซอร์ เพื่อให้อุปกรณ์หรือสิ่งต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานพาหนะ อาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือวัตถุอื่น ๆ สามารถเชื่อมต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และแสดงผลข้อมูลได้ [3][4]

**2.4 องค์ประกอบของ Internet of Things**

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1) อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ที่มาในรูปแบบของคอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน แท็บเล็ต อุปกรณ์สมองกลฝังตัว ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ ที่เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดและประมวลผลข้อมูล

2) การเชื่อมโยงการสื่อสาร เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ให้สื่อสารกันได้ ซึ่งการสื่อสารในที่นี้อาจผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสาธารณะ หรือเป็นการสื่อสารภายในเครือข่ายส่วนตัว ทางเลือกในการเชื่อมต่อเครือข่ายมีตั้งแต่การสื่อสารแบบใช้สายไปจนถึงการสื่อสารแบบไร้สายไม่ว่าจะเป็น 3G, 4G, 5G, Wifi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Lora การเลือกใช้รูปแบบการสื่อสารขึ้นอยู่กับข้อจำกัดด้านระยะทางสื่อสาร อัตรารับส่งข้อมูล แบนด์วิดท์ และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

3) ระบบเซิร์ฟเวอร์ (Server) เป็นระบบสำหรับจัดการการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ การส่งต่อข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง การจัดเก็บข้อมูล ความปลอดภัยของการสื่อสาร การตรวจสอบสิทธิ์ รวมถึงการจัดการชุดซอฟต์แวร์ หรือการจัดการส่วนต่อประสาน การเขียนโปรแกรมแอปพลิเคชัน หรือเอพีไอ (Application Programming Interface: API) เพื่ออำนวยความสะดวกในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนเทคโนโลยีไอโอที [5]

**2.5 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในภาคอุตสาหกรรม**

ในปัจจุบันเทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ตมีบทบาทสำคัญในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตในยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 หรือ Industry 4.0 ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพิ่มผลผลิตได้เร็วขึ้นด้วยคุณภาพที่สูงขึ้น และลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันความเสียหายหรือยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครื่องจักร หรือสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ยืดหยุ่นตามความต้องการที่หลากหลาย ทั้งนี้ Industry 4.0 เกิดขึ้นได้จากการนำ

เทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ตมาบูรณาการในรูปแบบใหม่ ซึ่งเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์ เครื่องจักร หรือระบบต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อสื่อสารและรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกันได้

เทคโนโลยี IoT ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมหรือที่เรียกกันว่า Industrial Internet of Things (IIoT) มีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและธุรกิจในภาคอุตสาหกรรม โดยเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์หรือเครื่องจักร รวมทั้งระบบต่าง ๆ ภายในโรงงานสามารถสื่อสารกันได้แบบเป็นเครือข่าย สามารถรับรู้ แลกเปลี่ยนข้อมูล แสดงผล ควบคุมหรือทำงานร่วมกันได้ โดยก้าวข้ามขีดจำกัดในเรื่องของเวลาและสถานที่ ซึ่งการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี IoT ต้องมีการเตรียมความพร้อมและพิจารณาตามองค์ประกอบสำคัญดังต่อไปนี้

**2.5.1 การเชื่อมต่อ (Connectivity)**

เพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุด อุปกรณ์หรือเครื่องจักรซึ่งเป็น Things ในความหมายของเทคโนโลยี IoT ต้องมีการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายเพื่อให้สามารถดึงข้อมูลสำคัญหรือสั่งควบคุมได้จากระบบส่วนกลาง โดยเครื่องจักรในโรงงานที่เป็นเครื่องจักรแบบเดี่ยว (Stand-Alone) จะทำการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้นไปแต่ละขั้นตอน แล้วจะส่งต่อไปผลิตในเครื่องจักรถัดไปตามกระบวนการ ทำให้ข้อมูลการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เช่น จำนวนการผลิตได้ในหน่วยของเวลาที่กำหนด หรือข้อมูลความก้าวหน้าในการผลิตในแต่ละขั้นตอนหรือทั้งหมดยังไม่มีการเชื่อมโยงกันเพื่อใช้ประโยชน์ในการดูภาพรวมการผลิตทั้งหมด ประโยชน์ของการเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือเครื่องจักรทั้งหมดนี้ คือ ทำให้เห็นภาพรวมการผลิตทั้งส่วนย่อยและส่วนรวมออกมาได้อย่างรวดเร็วตามเวลาจริงหรือเวลาขณะนั้น (Real-Time) และถูกต้องแม่นยำ มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลสื่อสารหรือข้อมูลควบคุมระหว่างกัน และสามารถนำข้อมูลออกมาใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้การนำข้อมูลออกมาจากอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ต้องติดอุปกรณ์ควบคุม เช่น Programmable Logic Controller (PLC) หรืออุปกรณ์เซนเซอร์ และทำการเชื่อมต่อกับระบบกลางเพื่อตรวจวัด เก็บรวบรวมและประมวลผลข้อมูลต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องจักรกับเทคโนโลยี IoT คลาวด์ (IoT Cloud Server) สามารถออกแบบและพัฒนาโดยเริ่มจากการจัดหาอุปกรณ์เซนเซอร์วัดค่าต่าง ๆ ที่ต้องการวัดจากเครื่องจักร แล้วต่อกับอุปกรณ์ควบคุม เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่สามารถเขียนโปรแกรมตรรกะเพื่อรับส่งข้อมูลหรือควบคุม และมีโมดูลเพื่อเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อให้เชื่อมต่อกับ IoT คลาวด์ได้

**2.5.2 การเก็บข้อมูล (Data Collection/ Data Acquisition)**

ในแต่ละเครื่องจักรจะมีข้อมูลที่จำเป็นเพื่อบ่งชี้สถานะการทำงาน (Status) สมรรถนะการทำงาน (Performance) หรือข้อมูลที่ต้องแจ้งเตือนสำหรับการดูแลและซ่อมบำรุง (Maintenance) นอกจากนี้ข้อมูลในฝ่ายผลิต (Production) จะมีการเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบความคุ้มค่าในการผลิต หรือการใช้ประโยชน์สูงสุดของทรัพยากร คน เครื่องจักร พลังงาน เช่น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จำนวนชิ้นงานที่ดีหรือเสีย หรือข้อมูลในมิติของเวลาต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้ในขั้นตอนย่อย ๆ จนถึงเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมดในสายการผลิต เวลาสูญเปล่าหรือเวลารอคอย เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ เวลาการปรับตั้งเครื่องจักร เป็นต้น การรวบรวมหรือบันทึกข้อมูลอย่างอัตโนมัติด้วยวิธีการของเทคโนโลยี IoT ช่วยลดภาระของพนักงานที่มีหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลจากที่ต้องคอยจดบันทึกตามเวลาเปลี่ยนเป็นการบันทึกแบบอัตโนมัติ และยังช่วยลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลได้ ซึ่งการเริ่มทดลองประยุกต์เทคโนโลยี IoT กับระบบที่มีอยู่โรงงานอาจเริ่มเก็บข้อมูลของเครื่องจักรในสายการผลิตที่สำคัญที่สุดก่อนดังต่อไปนี้

1) ติดอุปกรณ์หรือเซนเซอร์สำหรับดึงสัญญาณการทำงานของเครื่องจักรเพื่อวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ เช่น เวลาการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้งานจริงเทียบกับเวลาที่วางแผนไว้เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการผลิต หรือเพื่อตรวจหาปัญหาที่ทำให้การผลิตหยุดชะงัก

2) ติดตั้งอุปกรณ์หรือเซนเซอร์นับจำนวนเพื่อเปรียบเทียบจำนวนการผลิตที่ได้ต่อจำนวนที่วางแผนไว้ในหนึ่งหน่วยเวลา

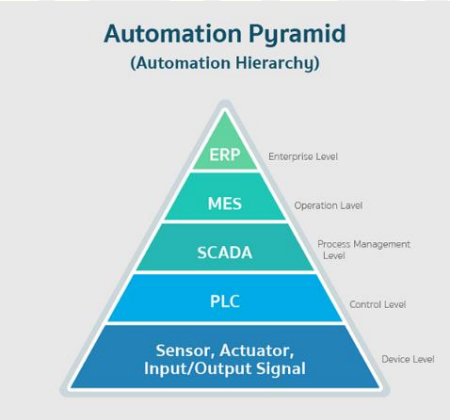
3) ติดตั้งอุปกรณ์หรือเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพหรือตรวจนับส่วนที่เสียเมื่อเทียบกับจำนวนที่ผลิตทั้งหมด

ทั้งนี้ข้อมูลบางประเภท เช่น การปิด-เปิดเครื่องจักร เวลาที่เครื่องจักรทำงาน และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรสามารถนำออกมาได้จากอุปกรณ์เฉพาะของเครื่องจักรโดยตรงผ่านทางกล่องควบคุม เช่น PLC แต่ยังมีข้อมูลบางประเภทที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ (Sensor) เพื่อนำสภาวะต่าง ๆ มาเปลี่ยนเป็นข้อมูล เช่น อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับวัดค่าความร้อน ความดัน อัตราการไหลของของเหลวในท่อ หรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในโรงงาน เป็นต้น หรือข้อมูลที่แสดงสมรรถภาพของการผลิต เช่น ความเร็วหรือพฤติกรรมของเครื่องจักรในการผลิต โดยสามารถเลือกใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ได้ตามความเหมาะสมและความจำเป็น

ข้อมูลต่าง ๆ ในระบบสามารถจัดเก็บได้ในระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการแสดงผล (Visualization) หรือการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป หรือสามารถส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปเก็บไว้ในแหล่งเก็บข้อมูลในคลาวด์ (Cloud Storage) ของผู้ให้บริการต่าง ๆ ซึ่งข้อดีของการใช้งานบนเครือข่ายคลาวด์ เช่น การเข้าถึงเครือข่ายได้ทุกสถานที่ที่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต การบูรณาการเข้ากับระบบหรือบริการอื่น ๆ ในอนาคต รวมทั้งรองรับการขยายตัวเมื่อมีระบบใหญ่ขึ้น เป็นต้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการใช้บริการและอาจต้องพิจารณาถึงเรื่องมาตรฐานในการรักษาความปลอดภัย (Security) และความเป็นส่วนตัว (Privacy) ของข้อมูล

### 2.5.3 การบูรณาการข้อมูล (Data Integration)

ในยุคของ Industry 3.0 เป็นยุคที่นำระบบอัตโนมัติมาใช้ มีการไหลของข้อมูลไปตามลำดับชั้นแสดงดังภาพประกอบ 6 ที่เรียกว่า Automation Pyramid หรือ Automation Hierarchy โดยที่ชั้นต่าง ๆ เหล่านี้มีระบบที่คอยเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ระดับของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณ (Input/Output) หรือเซนเซอร์ต่าง ๆ ขึ้นมาถึงระดับควบคุมที่มีระบบตรวจสอบ ควบคุมและเก็บข้อมูล เช่น SCADA และส่งผ่านไปยังระบบ MES (Manufacturing Execution System) ที่ตรวจสอบและติดตามกระบวนการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงได้ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จ ส่วนในระบบ ERP (Enterprise Resource Planning) นั้นจะเกี่ยวข้องกับข้อมูลในชั้นบนสุดของธุรกิจของบริษัท ที่เกี่ยวข้องกับงานวางแผนการผลิตและสินค้าคงคลัง งานขาย งานบัญชี งานทรัพยากรบุคคล เป็นต้น ดังนั้นโรงงานที่ต้องการพัฒนาให้เป็น Smart Factory จึงต้องมีการเชื่อมโยงข้อมูลการผลิตในทุกระดับ




**ภาพประกอบ 6** Automation Pyramid (Automation Hierarchy)

การบูรณาการข้อมูลสามารถเริ่มทำได้ตั้งแต่ระดับล่างขึ้นมา ผู้ใช้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมหรืออุปกรณ์เซนเซอร์เพื่อดึงข้อมูลจากเครื่องจักรและค่าต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตมาเก็บไว้ โดยที่ไม่ต้องดัดแปลงหรือรบกวนการทำงานของระบบเดิมที่มีอยู่ เนื่องจากการเชื่อมต่อแบบ IoT นั้นมีความยืดหยุ่นสูง การสื่อสาร การรับและส่งข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถข้ามชั้นของระบบที่เคยเชื่อมต่อในรูปแบบเดิม ข้อมูลต่าง ๆ สามารถส่งตรงไปยังหน้าจอแสดงผล ผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์หรือแอปพลิเคชันที่แยกอิสระจากระบบเดิมที่มีอยู่ได้ และสามารถเข้าถึงจากที่ใดก็ได้ ทำให้การบูรณาการข้อมูลเป็นเรื่องที่ง่ายและผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานแต่ละส่วนผสมผสานกันตามความต้องการโดยไม่ถูกผูกขาดด้วยระบบใดระบบหนึ่ง

นอกจากนี้เมื่อมีการตรวจสอบค่าต่าง ๆ แบบ Real-Time ผู้ใช้จะได้รับประโยชน์จากพลวัตของข้อมูลอย่างเต็มที่ และหากนำข้อมูลที่เก็บไว้มาวิเคราะห์จะได้รับประโยชน์จากการใช้งานระบบ เช่น เมื่อเกิดปัญหาผลิตสินค้าได้ไม่ทันหรือมีปัญหาด้านคุณภาพ ทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว เช่น อยู่ที่เครื่องจักร กระบวนการผลิตที่ออกแบบไม่ดี หรืออยู่ที่พนักงานปฏิบัติงาน เป็นต้น

ความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลนำไปสู่การวางแผนและการตัดสินใจที่เร็วขึ้นตามความต้องการที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ในแต่ละสัปดาห์โรงงานจะได้ภาพรวมการผลิตเพื่อนำไปวางแผนในรอบถัดไป แต่หากมีข้อมูลจากส่วนต่าง ๆ ไหลเข้ามาอย่างต่อเนื่องจะสามารถวิเคราะห์หรือตัดสินใจได้รวดเร็วกว่าเดิม ทำให้การวางแผนการผลิตและการจัดจำหน่ายเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis / Data Analytics) และการแสดงผล (Visualization)

การวิเคราะห์และการแสดงผลเป็นส่วนสำคัญที่ต่อยอดการใช้งาน IoT การวิเคราะห์เบื้องต้นเป็นการหาข้อสรุปทางสถิติขั้นพื้นฐานสำหรับช่วยในการตัดสินใจและวางแผนอย่างง่าย ส่วนการวิเคราะห์ชั้นสูงเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลึก มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณตามหลักการของศาสตร์ต่าง ๆ เช่น คณิตศาสตร์ สถิติประยุกต์ การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) วิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) เป็นต้น ทำให้มีความเข้าใจในระดับที่ลึกมากขึ้นเพื่อช่วยในการตัดสินใจ การวางแผน หรือกระบวนการอื่น ๆ ที่ซับซ้อนได้

ส่วนการแสดงผล คือ การถ่ายทอดเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมทั้งความหมายของข้อมูลให้ผู้ใช้ได้เข้าใจในเชิงคุณภาพและปริมาณในรูปแบบของตัวเลข ตารางเปรียบเทียบ กราฟ แผนภูมิ แผนภาพต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันรูปแบบการแสดงผลตั้งแต่ในงานผลิตจนถึงระดับของธุรกิจกับลูกค้าสามารถสื่อสารให้ผู้ใช้เข้าใจโดยใช้แอปพลิเคชันในลักษณะของ Dashboard แสดงผลแบบ Real-Time ที่มองเห็นข้อมูลที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ และสามารถย้อนดูผลในอดีตได้

การแสดงผลที่ดีจึงต้องควบคู่กันไปกับการวิเคราะห์ ซึ่งการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้หลายระดับ เช่น การวิเคราะห์ผลย้อนหลัง (Descriptive Analytics) การวิเคราะห์เพื่อวินิจฉัย (Diagnostic Analytics) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) โดยเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวชี้วัดที่จำเป็นสำหรับการผลิต เช่น ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness หรือ OEE) ที่คำนวณมาจากผลคูณของสามค่าหลักต่อไปนี้

1) Availability คำนวณจากระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้งานจริงต่อระยะเวลาที่วางแผนไว้

2) Productivity คำนวณจากอัตราการผลิตที่ได้ต่ออัตราการผลิตที่วางแผนไว้

3) Quality คำนวณจากจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อจำนวนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้

ค่า OEE ที่คำนวณได้สามารถบ่งชี้ได้คร่าว ๆ ว่าปัญหาเกิดจากส่วนใดและโรงงานต้องปรับปรุงในส่วนใดเพื่อให้ค่าของ OEE ดีขึ้นหรือมีประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น มีการใช้ประโยชน์ (Utilization) ของทรัพยากร เครื่องจักร คน พลังงานอย่างคุ้มค่า โดยที่ค่า OEE ที่อยู่ในเกณฑ์ระดับโลกนั้นมีค่าประมาณ 85% ขึ้นไป

ข้อมูลที่สำคัญอีกอย่างที่ควรนำไปวิเคราะห์ คือ ข้อมูลเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance) ในโรงงานส่วนใหญ่จะมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบ Preventive Maintenance คือ จะทำการตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องจักรและทำการบำรุงรักษาตามเวลาที่กำหนดในแผน ซึ่งในแต่ละชิ้นส่วน (Part) ของเครื่องจักรอาจมีระยะเวลาสำหรับการทำ Maintenance ที่แตกต่างกันออกไป สำหรับโรงงานในประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำจะให้ความสำคัญกับการบำรุงรักษาแบบ Predictive Maintenance ซึ่งจะมีระบบที่คอยตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจาก Parameter ต่าง ๆ ของเครื่องจักร เพื่อบำรุงรักษาให้ทันเวลาก่อนที่เครื่องจักรจะเสีย [6]

## 2.6 NETPIE (Network Platform for Internet of Everything)

NETPIE เป็นแพลตฟอร์มที่ให้บริการสำหรับ IoT (Internet of Things) ซึ่งเป็นระบบพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาฮาร์ดแวร์สามารถพัฒนาอุปกรณ์โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการติดตั้งดูแลระบบสื่อสาร ระบบเซิร์ฟเวอร์หรือระบบฐานข้อมูลใด ๆ Cloud Platform NETPIE เป็น Middleware ที่มีหัวใจหลักเป็น Distributed MQTT Brokers ซึ่งเป็นเสมือนจุดนัดพบให้สิ่งต่าง ๆ (Things) มาติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันผ่านวิธีการส่งข้อความแบบ Publish/Subscribe

NETPIE มีโครงสร้างเป็นคลาวด์ในทุกองค์ประกอบ ทำให้สามารถขยายตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงขนาดของระบบได้อย่างอัตโนมัติ (Auto-scale) สามารถดูแลและซ่อมแซมเมื่อมีส่วนหนึ่งส่วนใดในระบบมีปัญหาได้อย่างอัตโนมัติ (Self-healing, Self-recovery) การจัดการเกี่ยวกับการทำงานของระบบเป็นแบบ Plug-and-Play ซึ่งไม่ต้อง Configure หรือปรับแต่ง และในส่วนของอุปกรณ์จะมี Client Library หรือที่เรียกว่า Microgear ทำหน้าที่ในการสร้างและดูแลช่องทางสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับ NETPIE รวมไปถึงรักษาความปลอดภัยในการส่งข้อมูล

ในขณะเดียวกันแพลตฟอร์ม NETPIE ยังช่วยให้นักพัฒนาซอฟต์แวร์เข้าถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้นผ่านไลบรารี่สำเร็จรูป ดังนั้นบริการแพลตฟอร์ม NETPIE จึงเป็นเสมือนสะพานเชื่อมระหว่างนักพัฒนาฮาร์ดแวร์และนักพัฒนาซอฟต์แวร์ แสดงดังภาพประกอบ 7

**ภาพประกอบ 7** การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับ NETPIE

**ที่มา** : https://www.nectec.or.th/innovation/innovation-software/netpie.html

### 2.6.1 ประโยชน์ของ NETPIE

1) ช่วยลดการใช้ทรัพยากรของการเชื่อมต่อ โดย NETPIE เป็นแพลตฟอร์มที่ช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ โดยการนำ Microgear Library ไปติดตั้งในอุปกรณ์ จากนั้น NETPIE จะดูแลการเชื่อมต่อทั้งหมดไม่ว่าอุปกรณ์นั้นจะอยู่ในเครือข่ายใด ลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบใด และสถานที่ในการติดตั้งอุปกรณ์จะอยู่ที่ใด อีก

ทั้งการเริ่มต้นใช้งาน NETPIE สามารถเข้าสู่บริการได้โดยอัตโนมัติ (Automatic Discovery, Plug-and-Play)

2) ช่วยลดภาระด้านความปลอดภัยของข้อมูล โดย NETPIE ได้มีการออกแบบเพื่อกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงในระดับ Fine Grain โดยสามารถออกแบบให้สิ่งต่าง ๆ มีสิทธิ์ในการสื่อสารระหว่างกัน สิทธิ์ในการอ่านหรือเขียนข้อมูล และกำหนดอายุการใช้งานของสิทธิ์ต่าง ๆ เหล่านั้นได้

3) ยืดหยุ่นต่อการขยายระบบ โดย NETPIE มีโครงสร้างที่เป็นคลาวด์อย่างแท้จริงในทุกองค์ประกอบ ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นและคล่องสูงตัวเพื่อรองรับการขยายตัว อีกทั้งได้มีการออกแบบให้ทำงานแยกจากกันเพื่อให้เกิดสภาวะ Loose Coupling และสื่อสารกันด้วยวิธี Asynchronous Messaging ซึ่งช่วยให้แพลตฟอร์มมีความน่าเชื่อถือสูงสามารถนำไปใช้ซ้ำและพัฒนาต่อได้ง่าย

### 2.6.2 NETPIE Freeboard

NETPIE Freeboard เป็น Web Application ที่สามารถสร้าง Dashboard เพื่อแสดงผลสำหรับการนำข้อมูลที่จัดเก็บอยู่บน NETPIE Platform มาแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ โดยเป็นเหมือนช่องทางให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามหรือควบคุมการทำงานของ Device ที่นำมาเชื่อมต่อได้อย่าง Real-Time ซึ่งการสร้างหน้า Dashboard สามารถสร้างได้หลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น สร้างปุ่มกดสวิตช์ไว้ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์หรือวางหน้าปัดเพื่อแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในระบบ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลเป็นกราฟได้เพื่อให้เห็นแนวโน้มของข้อมูลที่ตรวจวัดได้ อีกทั้ง NETPIE Freeboard ยังเป็น Open-Source ที่ทำให้นักพัฒนาสามารถต่อยอดและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นได้อีก โดยรูปแบบสำหรับ NETPIE Freeboard สามารถปรับแต่งให้มีความเหมาะสม ดังภาพประกอบ 8

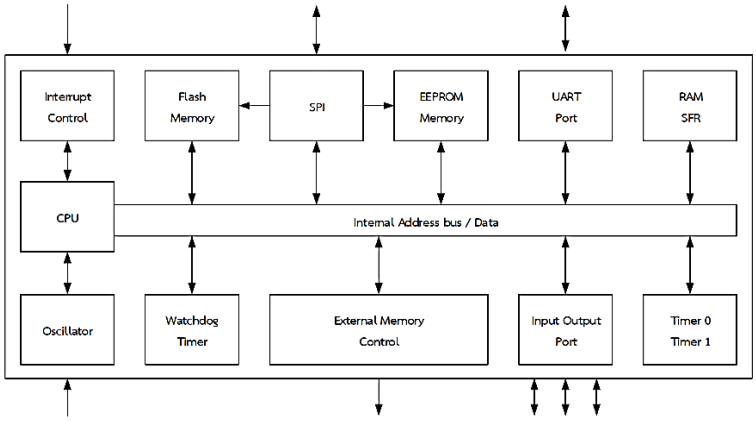
**ภาพประกอบ 8** การแสดงผลบน NETPIE Freeboard [7]

## 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์เพราะใช้งานได้ง่าย สะดวก มีขนาดเล็ก ราคาถูก และที่สำคัญสามารถสั่งงานให้ทำงานตามเงื่อนไขใหม่ตามที่ผู้ใช้งานกำหนดโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนวงจรภายนอก ซึ่งไอซีในไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลากหลายตระกูล เช่น Z80, PIC, MCS51, AVR, ARM7, ARM9, 68HC โดยในแต่ละตระกูลก็จะมีคุณสมบัติต่างกันออกไป

### 2.7.1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์แต่ละตระกูลนั้นมีโครงสร้างภายในแตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและจุดประสงค์ของการสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น ๆ พื้นฐานของโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีส่วนประกอบดังภาพประกอบ 9




**ภาพประกอบ 9** โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1) หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางที่ควบคุมการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ โดยที่จะมีการนำข้อมูลที่ได้จากจากอุปกรณ์รับข้อมูลมาประมวลผลตามคำสั่งของโปรแกรมและส่งผลลัพธ์จากการประมวลผลไปแสดงผลที่หน่วยแสดงผล ลักษณะการทำงานของซีพียูมี 2 จังหวะ ดังนี้

1.1 เฟตซ์ (Fetch) เป็นการอ่านคำสั่งโปรแกรมแล้วถอดรหัสคำสั่งเป็นภาษาเครื่อง

1.2 เอ็กซิคิวต์ (Executed) เป็นการทำตามคำสั่งโปรแกรมที่ถอดรหัสแล้ว

2) หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใด ๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยง

2.2 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) เป็นพื้นที่สำหรับการคำนวณของซีพียูและเป็นจุดพักข้อมูลชั่วคราวขณะที่ทำงาน โดยในปัจจุบันหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม (RAM) ซึ่งข้อมูลจะสูญหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงระบบ และอีอีพรอม (EEPROM: Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงระบบ

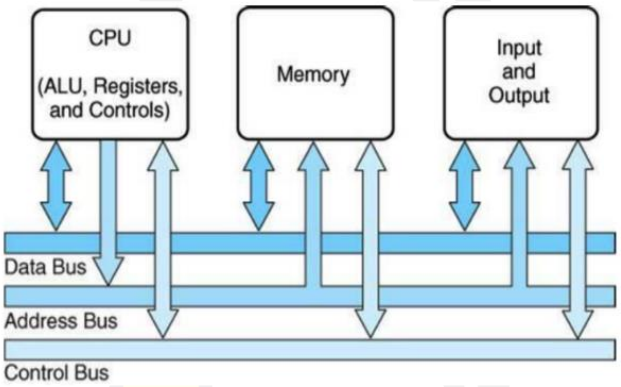
3) ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) เป็นส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก โดยพอร์ตอินพุตทำหน้าที่รับสัญญาณและนำไปประมวลผล และพอร์ตเอาต์พุตทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อแสดงผลข้อมูล

4) ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) เป็นเส้นทางหรือจุดที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ตการเชื่อมต่อ โดยช่องทางเดินหรือบัสสามารถแบ่งได้เป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 บัสตำแหน่ง (Address Bus) จะเป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของข้อมูลในหน่วยความจำหรือระบุตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์ภายนอกต่าง ๆ โดยบัสตำแหน่งจะเป็นเส้นทางที่ใช้ส่งข้อมูลออกจากไมโครโพรเซสเซอร์เพียงทิศทางเดียว โดยใช้เพื่อระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการจะติดต่อด้วยเท่านั้น

4.2 บัสข้อมูล (Data Bus) จะเป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลหรือรหัสคำสั่งต่าง ๆ ระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล อุปกรณ์อินพุตและอุปกรณ์เอาต์พุตทุกตัวที่ต่อพ่วงอยู่กับระบบ โดยบัสข้อมูลนี้จะเป็นแบบสองทิศทางสามารถรับและส่งข้อมูลทั้งไปและกลับได้ในสายสัญญาณเดียวกัน โดยบัสข้อมูลเปรียบเสมือนช่องทางเดินรถถ้ามีมากจะทำให้การติดต่อทำได้รวดเร็วขึ้น เช่น บัสข้อมูลแบบ 8 บิตจะทำงานได้เร็วกว่า บัสข้อมูลแบบ 4 บิต

4.3 บัสควบคุม (Control Bus) จะเป็นกลุ่มสายสัญญาณที่ส่งสัญญาณควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของระบบ โดยไมโครโพรเซสเซอร์สามารถส่งสัญญาณไปควบคุมหน่วยความจำและอุปกรณ์อินพุตหรือเอาต์พุตภายนอกเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลได้ และอุปกรณ์ภายนอกสามารถส่งสัญญาณมาควบคุมการทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ได้ เช่น การรีเซต




**ภาพประกอบ 10** การติดต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์

5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

**2.7.2 โครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์**

ในปัจจุบันผู้ผลิตไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ได้สร้างโครงสร้างขาเพื่อต่อใช้งานหลายลักษณะ เช่น โครงสร้างแบบ SOIC, PDIP, PLCC และ TQFP โดยโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์มีรูปแบบและลักษณะดังนี้

1) โครงสร้างแบบ SOIC (Small Outline Integrated Circuit)

**ภาพประกอบ 11** โครงสร้างแบบ SOIC

2) โครงสร้างแบบ PDIP (Plastic Dual In-line Package)

**ภาพประกอบ 12** โครงสร้างแบบ PDIP

3) โครงสร้างแบบ PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier)

**ภาพประกอบ 13** โครงสร้างแบบ PLCC

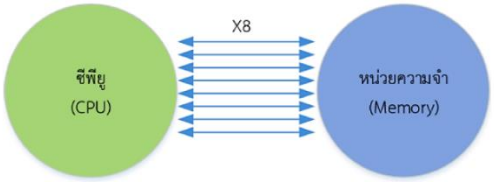
4) โครงสร้างแบบ TQFP (Thin Quad Flat Packages)

**ภาพประกอบ 14** โครงสร้างแบบ TQFP

**2.7.3 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์**

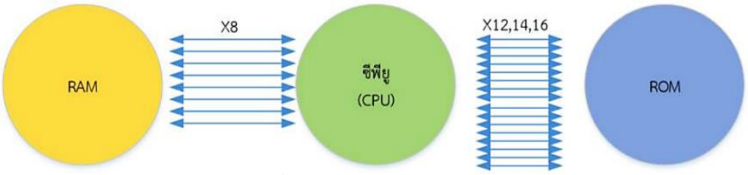
สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์มี 2 แบบ คือ

1) สถาปัตยกรรมวอนนิวแมนน์ (Von-Newman Architecture) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สถาปัตยกรรมนี้ ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำผ่านบัสข้อมูลเพียง 8 บิต ทำให้ซีพียูไม่สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลกับหน่วยความจำได้ในเวลาเดียวกัน การทำงานจึงค่อนข้างช้า




**ภาพประกอบ 15** สถาปัตยกรรมวอนนิวแมนน์ (Von-Newman Architecture)

2) สถาปัตยกรรมฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สถาปัตยกรรมนี้จะมีบัสข้อมูลสองทาง ส่วนแรก คือ ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำแรมผ่านบัสข้อมูล 8 บิต และส่วนที่สอง คือ ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำรอมผ่านบัสข้อมูล 12, 14, 16 บิต ซีพียูจึงสามารถอ่านและเข้าถึงหน่วยความจำแรมและหน่วยความจำรอมได้ในเวลาเดียวกันทำให้กระบวนการทำตามคำสั่งลดขั้นตอนลง ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงทำงานได้เร็วขึ้น




**ภาพประกอบ 16** สถาปัตยกรรมฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) [8]

## 2.8 Node MCU ESP8266

Node MCU เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้งานสำหรับการพัฒนาบนพื้นฐานของเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งประกอบด้วยตัวบอร์ด (Development Kit) และซอฟต์แวร์ (Firmware) ที่มีคุณสมบัติเป็น Open Source โดยตัวบอร์ด Node MCU สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lau, C/C++ ได้

Node MCU มีลักษณะการทำงานไกล้เคียงกับ Arduino สามารถเขียนโปรแกรมสำหรับการควบคุม (Control) อุปกรณ์ได้ ภายในบอร์ดของประกอบด้วย ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ Wi-Fi ได้ พร้อมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น พอร์ต micro USB สำหรับจ่ายไฟ/อัปโหลดโปรแกรม, ชิพสำหรับอัปโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB, ชิพแปลงแรงดันไฟฟ้า และขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก เป็นต้น

**ภาพประกอบ 17** Node MCU ESP8266

**ที่มา** : http://ias.it.msu.ac.th/course/1201376-Unix-Linux/2-2561/BasicBook_ESP32.pdf

### 2.8.1 คุณสมบัติของ Node MCU ESP8266 V3

1) Based On โมดูล Wi-Fi ที่ชื่อ ESP8266 เบอร์ ESP-12E

2) มี GPIO, PWM, I2C, 1-Wire และ ADC รวมอยู่บนบอร์ดเดียว

3) มี USB-TTL มาในตัว ทำให้ใช้งานได้สะดวกขึ้น

4) มีขา GPIO 10 ขา ทุก ๆ ขาสามารถเป็น PWM, I2C และ 1-wire ได้

5) มี PCB antenna สำหรับรับส่งสัญญาณไร้สาย

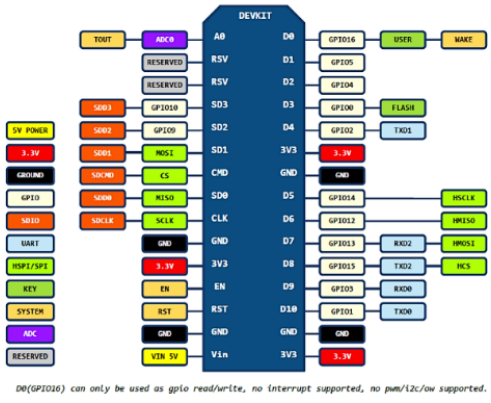
6) ใช้ Micro-USB สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงและสำหรับดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์

7) มีขา A0 รับอินพุตแรงดันแบบ Analog (ADC ขนาด 10 บิต) ผ่านวงจรแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน 100k/220k (ลดแรงดันอินพุตจาก 0V–3.3V ให้อยู่ในช่วง 0V-1V)

8) มีวงจรควบคุมแรงดัน 3.3V บนบอร์ด

### 2.8.2 ลักษณะขา PIN ของ Node MCU ESP8266 V3

Node MCU ESP8266 V3 มีตำแหน่งของพิน (PIN) หรือขาการต่อใช้งานดังภาพประกอบ 18 โดยพินหรือขาที่มีการใช้งานบ่อย ๆ คือ ขา GPIO (General Purpose Input/Output) หรือขา D0–D12 ขา ADC (Analog to Digital) หรือขา A0 และขาไฟเลี้ยง (VUSB และ 3.3 V) และกราวด (Ground, GND)




**ภาพประกอบ 18** ลักษณะขา PIN ของ Node MCU ESP8266 V3 [9]

## 2.9 Pzem-004T V3

Pzem-004T V3 เป็นโมดูลที่ใช้สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สร้างโดยบริษัท PeaceFair อิเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่าพลังงาน อีกทั้งยังสามารถแจ้งเตือนเมื่อมีสภาวะโหลดเกิน พร้อมทั้งสามารถตั้งค่าล่วงหน้าและรีเซ็ตค่าใหม่ได้ ทั้งนี้ยังสามารถเก็บข้อมูลไว้ได้เมื่อมีการปิดระบบทำให้ข้อมูลหรือค่าที่ตรวจวัดไม่

สูญหาย ความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 45-65 Hz และมีระดับชั้นความแม่นยำในการวัด คือ 1.0 ซึ่งเป็นระดับชั้นที่มีความคาดเคลื่อนและมีความถูกต้องในระดับปานกลาง มีความเหมาะสมสำหรับการตรวจวัดในงานไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป

**ภาพประกอบ 19** Pzem-004T V3
**ที่มา** : https://www.cybertice.com

**2.9.1 รูปแบบตรวจวัดและการแสดงผล**

1) กำลังไฟฟ้า ช่วงทดสอบและการตรวจวัด 0-22 kW โดยที่ระหว่างช่วง 0-10 kW รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 0.000-9.999 kW และช่วง 10-22 kW รูปแบบการแสดงผลจะเป็น 10.00-22.00

2) พลังงาน ช่วงทดสอบและการตรวจวัด 0-22 kWh โดยที่ระหว่างช่วง 0-10 kWh รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 0.000-9.999 kW ช่วง 10-100 kWh รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 10.00-22.00 ช่วง 100-1000 kWh รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 100.0-999.9 และช่วง 1000-9999 kWh ขึ้นไป รูปแบบการแสดงผลจะเป็นแบบ 1000-9999

3) แรงดันไฟฟ้า ช่วงทดสอบและการตรวจวัด 80-260 VAC รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 110.0-220.0

4) กระแสไฟฟ้า ช่วงทดสอบและการตรวจวัด 0-100 A รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 00.00-99.99 [10]

**2.9.2 คุณสมบัติของ Pzem-004T V3**

1) ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า 80-260 VAC (Measurement Accuracy : 0.5%)

2) ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า 0-100 A (Measurement Accuracy : 0.5%)

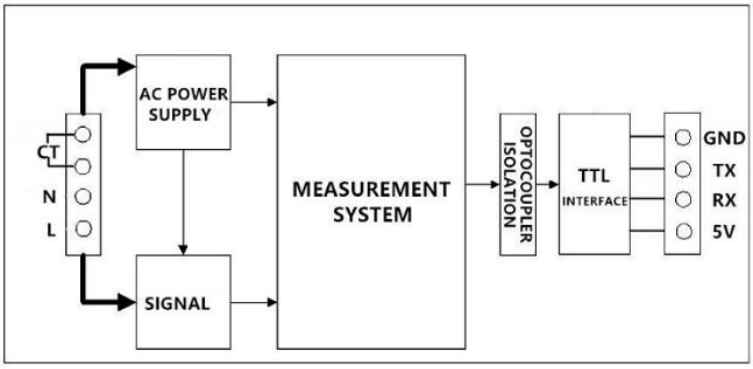
3) ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า 0-23 kW (Measurement Accuracy : 0.5%)

4) Power Factor 0.00-1.00 (Measurement Accuracy : 1.0%)

5) ตรวจวัดความถี่ทางไฟฟ้า 45-65 Hz (Measurement Accuracy : 0.5%)

6) ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า 0-9999.99 kWh (Measurement Accuracy : 0.5%)

**2.9.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Pzem-004T V3**




**ภาพประกอบ 20** บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Pzem-004T V3 [11]

**ที่มา** : https://th.manuals.plus/innovatorsguru/ac-communication-module-pzem-004t-v3-0-manual#axzz7T7wtVXqC

**2.10 ระบบการเชื่อมต่อสื่อสารแบบวายฟาย (Wi-Fi)**

วายฟาย (Wi-Fi) มาจากคำว่า Wireless Fidelity หมายถึง องค์กรที่ทำหน้าที่ทดสอบผลิตภัณฑ์ระบบเครือข่ายแบบไร้สาย (Wireless Lan) ภายใต้เทคโนโลยีการสื่อสารมาตรฐาน IEEE 802.11 ว่าอุปกรณ์แต่ละยี่ห้อนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่มีปัญหา ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เหล่านั้นผ่านการตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว อุปกรณ์ก็จะถูกประทับตราสัญลักษณ์ Wi-Fi Certified รับรองว่าอุปกรณ์ชิ้นนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ที่มีตราสัญลักษณ์ Wi-Fi Certified ได้ ซึ่งนี่คือที่มาของคำนี้ที่ใช้เรียกแทนอุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย

ลักษณะการเชื่อมต่อของแบบวายฟาย มีลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้สองลักษณะ คือ โหมด Infrastructure และโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer โดยประเภทของอุปกรณ์วายฟาย (Wi-Fi) สามารถแยกได้ ดังนี้

1) 802.11a มาตรฐานนี้จะมีความเร็วและความเสถียรภาพของการเชื่อมต่อสูงแต่ไม่สามารถที่จะทำงานร่วมกับ 802.11b ได้ สำหรับ 802.11a นี้ สามารถที่จะส่งถ่ายข้อมูลได้ที่ความเร็วสูงถึง 54 Mbps และทำงานที่ความถี่ 5 GHz

2) 802.11b มาตรฐานนี้จะนิยมใช้ตามสนามบินใหญ่ ๆ หรือบริการในร้านอินเตอร์เน็ต ซึ่งจะทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz (เป็นความถี่เดียวกับมือถือและไมโครเวฟซึ่งไม่มีอันตราย) และสามารถที่จะส่งถ่ายข้อมูลได้ที่ความเร็ว 11 Mbps

3) 802.11g มาตรฐานนี้ทำงานได้ที่ความถี่ 2.4 GHz และสามารถเข้ากับมาตรฐาน 802.11b แต่มีอัตราการส่งถ่ายข้อมูลได้ที่ความเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps มักนำมาใช้กับงานที่ต้องการความแน่นอนและความเร็วในการเชื่อมต่อรวมถึงการแชร์ไฟล์ขนาดใหญ่ [9]

**ภาพประกอบ 21** ระบบการเชื่อมต่อสื่อสารแบบวายฟาย (Wi-Fi)

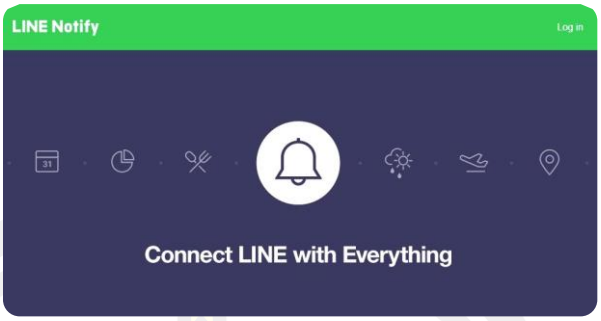
**ที่มา** : https://www.cybertice.com

## 2.11 Application LINE

Application LINE คือ แอปพลิเคชันที่ผสมผสานบริการ Messaging และ Voice Over IP นำมารวมเข้าด้วยกัน จึงทำให้เกิดเป็นแอปพลิชันที่สามารถส่งข้อความมัลติมิเดียต่าง ๆ สามารถสร้างกลุ่ม ส่งข้อความ โพสต์รูปต่าง ๆ หรือจะโทรคุยกันแบบเสียงและแบบภาพวีดิโอเคลื่อนไหวได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในกรณีที่ผู้ใช้งานใช้โทรศัพท์ที่มีแพคเกจอินเทอร์เน็ตอยู่แล้ว ทั้งนี้ไลน์แอปพลิเคชันยังสามารถใช้งานร่วมกันระหว่าง iOS และ Android รวมทั้งระบบปฏิบัติการอื่น ๆ การทำงานของ Application LINE นั้นมีลักษณะคล้าย ๆ กับ Whats App ที่ต้องใช้เบอร์โทรศัพท์เพื่อยืนยันการใช้งาน แต่ Application LINE ได้เพิ่มเติมรูปแบบการใช้งานอื่น ๆ เข้ามา ทำให้ Application LINE มีรูปแบบและฟังก์ชันการใช้งานที่มากกว่า ข้อได้เปรียบอีกอย่างหนึ่งของ Application LINE คือ การบริการ Free Voice Calls ที่ให้ผู้ใช้งานสามารถโทรหาผู้ที่ใช้ Application LINE ด้วยกันโดยใช้งานผ่านเครือข่ายตั้งแต่ระบบ 3G ขึ้นไปและระบบ Wi-Fi เพื่อรับข้อส่งข้อมูลในรูปแบบเสียงและภาพโดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมนอกเหนือจากค่าบริการอินเตอร์เน็ต [12]

### 2.11.1 Line Notify

LINE Notify คือ บริการที่สามารถรับข้อความการแจ้งเตือนจากเว็บเซอร์วิสต่าง ๆ ทางแอปพลิเคชัน LINE โดยเมื่อเชื่อมต่อกับทางเว็บเซอร์วิสแล้วจะได้รับการแจ้งเตือนจากบัญชีทางการของ LINE Notify อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับบริการที่หลากหลายและยังสามารถรับการแจ้งเตือนทางกลุ่มได้ โดยบริการหลัก ๆ ที่สามารถเชื่อมต่อและใช้บริการได้แก่ GitHub, IFTTT หรือ Mackerel เป็นต้น [13]




**ภาพประกอบ 22** LINE Notify

**ที่มา** : https://www.lordgift.in.th/2019/06/line-notify.html

## 2.12 การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++

### 2.12.1 ตัวแปรในภาษา C/C++ และคำสั่งพื้นฐาน

ในภาษา C/C++ เราจะต้องประกาศชื่อและชนิดตัวแปรก่อนจะนำไปใช้เก็บข้อมูลหรือประมวลผล โดยตัวแปรในภาษา C/C++ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดหลัก ๆ ได้แก่ ตัวอักษร (character) ตัวเลขจำนวนเต็ม (integer) ตัวเลขทศนิยม (floating point number) และค่าความจริง (true/false) โดยอาจแบ่งย่อยลงไปอีกขึ้นอยู่กับการกำหนดในแต่ละระบบปฏิบัติการ (16, 32 หรือ 64 บิต) โดยในตาราง 2 จะแสดงชนิดของตัวแปรในภาษา C/C++ ซึ่งตัวแปรพื้นฐานที่ใช้งานได้แก่ ตัวอักษร, ตัวเลขจำนวนเต็ม และตัวเลขทศนิยม โดยคำสำคัญที่ใช้ประกาศตัวแปรทั้ง 3 คือ char, int และ float เป็นต้น

**ตาราง 2** ชนิดตัวแปรในภาษา C/C++

| ชนิดตัวแปร | คำสั่งสำหรับการประกาศ | ขนาด (บิต) | ช่วงของข้อมูล |
|---|---|---|---|
| ตัวอักษร* | char | 8 | -128 ถึง 127 |
| ตัวอักษร | unsigned char | 8 | 0 ถึง 255 |
| จำนวนเต็ม | int | 16 | -32768 ถึง 32767 |
| จำนวนเต็ม | unsigned int | 16 | 0 ถึง 65535 |
| จำนวนเต็ม | long | 32 | $2^{31}$ ถึง $2^{31}$-1 |
| เลขทศนิยม | float | 32 | -3.4E+38 ถึง 3.4E+38* |
| เลขทศนิยม | double | 64 | -1.8E+308 ถึง 1.8E+308 |
| ค่าความจริง | bool | 8 | True (=1) หรือ False (=0) |

สำหรับการดำเนินการพื้นฐาน แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ซึ่งสรุปไว้ในตาราง 3 และสำหรับตัวดำเนินการที่ไม่ใช่ตัวดำเนินการพื้นฐาน เช่น การหาค่ารากที่สอง การหาค่าจากการคำนวณเลขยกกำลัง $X^Y$ ภาษา C/C++ ก็สามารถดำเนินการได้โดยเรียกใช้คำสั่งหรือฟังก์ชันเฉพาะ เช่น sqrt(), pow() โดยอาจจะต้องเรียกใช้ไลบรารี่เพิ่มเติมในตอนต้นของโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง #include เช่น #include <math.h> เป็นการเพิ่มไลบรารีที่มีชุดคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติมเข้าไปในโปรแกรม

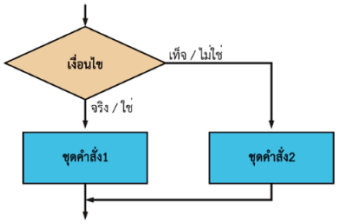
**ตาราง 3** ชนิดตัวดำเนินการในภาษา C/C++

| กลุ่มตัวดำเนินการ | ตัวดำเนินการ | คำอธิบาย |
|---|---|---|
| ตัวดำเนินการคำนวณ | + (บวก), – (ลบ)<br>* (คูณ) และ / (หาร) | เครื่องหมาย * และ / จะถูกกระทำก่อนเครื่องหมาย + และ - |
| ตัวดำเนินการเชิงความสัมพันธ์ (Relational Operation) | > (มากกว่า), < (น้อยกว่า)<br>>= (มากกว่าหรือเท่ากับ),<br><= (น้อยกว่าหรือเท่ากับ),<br>== (เท่ากับ) และ != (ไม่เท่ากับ) | ผลลัพธ์จากตัวดำเนินการนี้จะเป็นค่าความจริง (จริงหรือเท็จ) เท่านั้น<br>เช่น 2 => 1 ให้ค่าความจริงเป็นจริง<br>และ 1 != 7/7 ให้ค่าความจริงเป็นเท็จ |
| ตัวดำเนินการทางตรรกะ (Logical Operation) | && (และ) \|\| (หรือ) และ ! (นิเสธ) | ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมโดยดำเนินการกับผลลัพธ์ที่ได้จากตัวดำเนินการความสัมพันธ์ |
| ตัวดำเนินการประกอบ (Compound Operation) | ++ (เพิ่มค่าอีกหนึ่งแล้วแทนที่)<br>-- (ลดค่าลงหนึ่งแล้วแทนที่)<br>+= (เพิ่มค่าแล้วแทนที่)<br>-= (ลดค่าแล้วแทนที่) | เช่น i++ หมายถึง i = i +1;<br>j += 2 หมายถึง j = j + 2;<br>โดยตัวดำเนินการนี้ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมได้กระชับขึ้น |

**2.12.2 คำสั่งควบคุม**

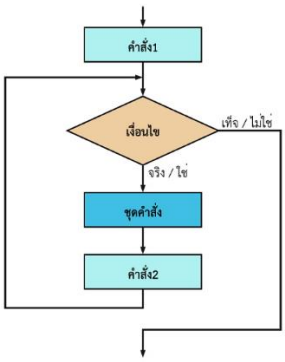
ในการเขียนโปรแกรมภาษา C/C++ เพื่อควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์นั้น จะต้องกำหนดการดำเนินการ คือ การเขียนชุดคำสั่งให้โปรแกรมทำงานเป็นลำดับ โดยชุดคำสั่งควบคุมที่จะเป็นตัวกำหนดลำดับการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบเลือกทางใดทางหนึ่งโดยใช้คำสั่ง if-else และ แบบวนลูปโดยการตรวจสอบเงื่อนไข คือ คำสั่ง for และ while โดยคำสั่งควบคุมดังกล่าวจะใช้ผลลัพธ์จากการดำเนินการเชิงความสัมพันธ์เป็นตัวตัดสินใจ

1) ชุดคำสั่ง if-else เงื่อนไขจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นจริง (True) หรือเท็จ (False) ได้เท่านั้น โดยเมื่อเงื่อนไขเป็นจริง โปรแกรมก็จะทำชุดคำสั่ง 1 และหากเป็นเท็จโปรแกรมก็จะทำชุดคำสั่ง 2 โดยชุดคำสั่ง if-else สามารถเขียนแสดงได้ในรูปแผนผังการทำงาน ดังภาพประกอบ 23



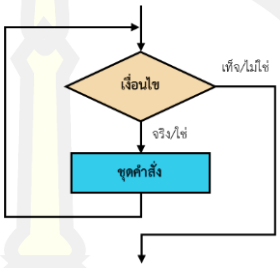

**ภาพประกอบ 23** แผนผังการทำงานของชุดคำสั่ง if-else

2) ชุดคำสั่ง for เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ในการวนลูป โดยการทำงานของคำสั่ง for จะเริ่มจากการทำชุดคำสั่ง 1 แล้วตรวจสอบเงื่อนไข จากนั้นจึงทำชุดคำสั่งภายในลูป 1 ครั้ง แล้วจึงทำชุดคำสั่ง 2 ก่อนตรวจสอบเงื่อนไข เพื่อดำเนินการในรอบถัดไป โดยหากเงื่อนไขที่ตรวจสอบให้ผลลัพธ์เป็นเท็จ โปรแกรมก็จะออกจากคำสั่ง for แล้วดำเนินการในลำดับถัดไป โดยชุดคำสั่ง for สามารถเขียนแสดงได้ในรูปแผนผังการทำงาน ดังภาพประกอบ 24




**ภาพประกอบ 24** แผนผังการทำงานของชุดคำสั่ง for

3) ชุดคำสั่ง while เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ในการวนลูปโดยตรวจสอบเงื่อนไขก่อน (คล้าย for) โดยการทำงานของคำสั่ง while จะตรวจสอบเงื่อนไข ซึ่งถ้าหากผลการตรวจสอบเป็นจริงโปรแกรมก็จะทำชุดคำสั่งภายในลูป 1 ครั้ง แล้วจึงกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขอีกที แผนผังการทำงานของชุดคาสั่ง while จะคล้ายกับของชุดคำสั่ง for แต่จะไม่มีคำสั่ง 1 และคำสั่ง 2 โดยชุดคำสั่ง while สามารถเขียนแสดงได้ในรูปแผนผังการทำงาน ดังภาพประกอบ 25




**ภาพประกอบ 25** แผนผังการทำงานของชุดคำสั่ง while [14]

## 2.13 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกคาดหมายว่าจะเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในภาคอุตสาหกรรมโทรคมนาคม เศรษฐกิจ และสังคมในอนาคต ซึ่งเทคโนโลยีไอโอทีเป็นสถาปัตยกรรมที่มีคุณสมบัติทางเทคนิคที่มีความซับซ้อนที่ต้องผสมผสานทักษะการพัฒนาทั้งด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และการสื่อสารให้สามารถทำงานเชื่อมโยงเข้ากันได้ในทุกองค์ประกอบ เพื่อให้เกิดระบบที่สามารถเชื่อมโยงถึงกันและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และผู้ใช้งานได้ งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดและประเด็นที่งานวิจัยอื่น ๆ ใช้ในการศึกษาวิจัย โดยในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอผลของการดำเนินการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีการนำแนวคิดอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) ไปใช้ในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งพบว่างานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบที่จะนำไปใช้กับทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร และสังคมเมือง (Smart City) โดยสาระสำคัญที่สรุปได้จากการทบทวนวรรณกรรม มีรายละเอียดดังนี้

ณพวุฒิ โพธิ์หอม (2561) [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์แจ้งเตือนอัตโนมัติผ่าน Line, SMS และ E-Mail โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์การแจ้งเตือนผ่าน Line, SMS และ E-Mail โดยการใช้ Raspberry Pi ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแบบใช้สายหรือไร้สายได้ ซึ่งนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ จากนั้นทำการพัฒนาระบบด้วยภาษา Python

และ Visual Basic.Net เพื่อทำการตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ที่วัดได้จากเซนเซอร์แล้วนำไปจัดเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ที่มีระบบประมวลผลและแยกประเภทของข้อมูล เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line, SMS และ E-Mail ตามข้อกำหนดและเงื่อนไขของระบบที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจากการทดลองใช้งานระบบสามารถส่งข้อมูลการแจ้งเตือนผ่าน Line, SMS และ E-Mail ไปยังกลุ่มผู้รับข้อมูลที่อยู่ปลายทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการแจ้งเตือนผ่าน Line มีความเร็วในการส่งข้อมูลการแจ้งเตือนรวดเร็วที่สุด การแจ้งเตือนผ่าน SMS สามารถส่งข้อมูลการแจ้งเตือนได้ในกรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต และการแจ้งเตือนผ่าน E-Mail สามารถส่งข้อมูลการแจ้งเตือนที่มีรายละเอียดของข้อมูลได้มากกว่าวิธีการอื่น

กิตติภูมิ เรืองฤทธิ์ และคณะ (2563) [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบติดตามและป้องกันความผิดปกติขณะมอเตอร์ทำงานด้วยแพลตฟอร์มของเน็ตพาย ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพายในการติดตามและป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการทำงานผิดปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ได้แก่ การป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าต่ำ แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เฟสหาย ภาระโหลดเกิน อุณหภูมิขดลวดเกิน และความสั่นสะเทือนเกิน อุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งประกอบด้วย เซนเซอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้า เซนเซอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้า เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิขดลวด เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ และตัวประมวลผลใช้โหนดเอ็มซียู (MCU) และภาคป้องกันใช้แม็กเนติกเป็นตัวตัดต่อวงจรกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จากการทดสอบได้มีการใช้มอเตอร์ต่อคัปปลิ้งกับชุดทอร์คมอเตอร์ จากนั้นทดสอบสภาวะการทำงานแบบปกติและแบบผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยนอกจากการทดสอบแบบเชิงป้องกันการทำงานที่ผิดปกติ ยังได้มีการทดสอบการติดตามสถานะการทำงานโดยใช้แพลตฟอร์มของเน็ตพาย ผลการทดสอบเครื่องป้องกันการทำงานที่ผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้สมบูรณ์ทุก ๆ เงื่อนไข ซึ่งเป็นการป้องกันความความเสียหายที่จะเกิดขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการติดตามสถานะการทำงานไปใช้ในการวางแผนการซ่อมบำรุงสายการผลิตหรือเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการรักษาเสถียรภาพให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

สิริวิช ทัดสวน และ ประสิทธิ์ สุขเสริม (2562) [17] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบป้องกันฟอลต์และเฝ้าติดตามการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟสด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยมีการออกแบบและสร้างวงจรตรวจรู้โดยใช้โหนดเอ็มซียู (MCU) ESP8266 ที่เป็นโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สายเป็นตัว

ประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ และมีการสื่อสารข้อมูลกับระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย โดยการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถควบคุมได้จากกล่องควบคุมหรือรีโหมดทางไกลผ่านสมาร์โฟน แทปเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โหนดเอ็มซียู (MCU) ESP8266 จะสั่งให้หยุดการทำงานของมอเตอร์ พร้อมทั้งส่งข้อมูลชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นไปเก็บไว้บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย เพื่อทำการวิเคราะห์ประมวลผล จากการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่าระบบสามารถป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีสาเหตุมาจากการเกิดฟอลต์ได้ อีกทั้งสามารถติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้

เสฏฐวุฒิ เตี้ยเนตร และ วิมาน ใจดี (2561) [18] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบแจงเตือนการเกิดอัคคีภัยผ่านแอปพลิเคชันไลนด้วยเทคโนโลยีอินเทอรเน็ตของสรรพสิ่ง โดยระบบที่พัฒนาขึ้นได้มีการใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอูณหภูมิ ความชื้น และควัน แล้วทำการส่งค่าที่ตรวจวัดได้ไปที่บอร์ดควบคุมเพื่อประมวลผล และส่งข้อมูลการแจ้งเตือนไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยการพัฒนาระบบจะใช้บอร์ดควบคุมชนิดเอ็มซียูที่สามารถควบคุมการวัดอุณหภูมิและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นใช้ชนิดเอสทีสิบเอ็ด ใช้บอร์ดอาดุยโน่ (Arduino) ในการพัฒนาโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ และใช้เซิร์ฟเวอร์อันโตในการเชื่อมโยงอุปกรณ์เข้ากับแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ต การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันใช้ไมโครซอฟต์วิชวลสตูดิโอคอมมิวนิตี้สองพันสิบเจ็ด (Microsoft Visual Studio Community 2017) ภาษาซีชาร์ป (C#) และเอเอสพีดอทเน็ต (ASP.Net) ช่วยเสริมการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลการพัฒนาและทดลองระบบพบว่าสามารถตรวจวัดอุณหภูมิ ควัน และความชื้นได้อย่างถูกต้องแม่นยำ การรับส่งข้อมูลกับเซิร์ฟเวอร์อันโตสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ตลอดเวลา และการส่งข้อความการแจ้งเตือนผ่านไลน์เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด และการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าและเรียกใช้ข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ชินวัจน์ งามวรรณากร และคณะ (2561) [19] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง โดยเป็นการพัฒนาระบบควบคุมเกี่ยวกับระบบไฟส่องสว่างและระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้กล้องวงจรปิดในโรงงาน ซึ่งการพัฒนาระบบมีการใช้บอร์ดอาดุยโน่ (Arduino) เป็นตัวควบคุมและประมวลผล เขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ภาษซี (C++) และพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วยแอปอินเวอร์เตอร์ (App Inverter) การทดสอบประสิทธิภาพ

ของระบบมีการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ $\bar{x}$ = 4.19 และ *S.D* = 0.83 โดยหัวข้อในการประเมินประกอบด้วยการติดตั้งใช้งานระบบและแอปพลิเคชัน การกำหนดผู้ใช้งาน การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน เสียรภาพและความเร็วในการประมวลผล ความแม่นยำในการสั่งการ และความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งจากการทดลองระบบที่พัฒนาขึ้นทำให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมการเปิดปิดระบบไฟส่องสว่างและระบบความปลอดภัยจากกล้องวงจรปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พิพัฒน์ ถาวรทอง และ อนุวัฒน์ สลุบพล (2558) [20] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบแจ้งเตือนสถานะอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าห้องแม่ข่าย ซึ่งการทำงานของระบบจะมีรูปแบบการทำงานเริ่มจากเมื่อห้องแม่ข่ายมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนดหรือมีกระแสไฟฟ้าดับ ระบบจะส่งสัญญาณโทรศัพท์และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์แจ้งเตือนไปยังเครื่องแม่ข่ายอัตโนมัติ ซึ่งสัญญาณที่ส่งมีการตรวจวัดจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ และเซนเซอร์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้บอร์อาดุยโน่ (Arduino) ในการควบคุมและประมวลผลการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัด ข้อมูลที่ได้จากบอร์ดอาดุยโน่จะถูกส่งไปยังส่วนติดต่อกับผู้ที่พัฒนาระบบด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์วิชวลซีชาร์ป (Microsoft Visual C#) จากการทดสอบระบบในสถานการณ์จำลอง พบว่าเมื่อห้องแม่ข่ายมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือมีกระแสไฟฟ้าดับ ระบบสามารถแจ้งเตือนผ่านหมายเลขโทรศัพท์และอีเมลตามที่ผู้ดูแลระบบกำหนดไว้

สุเมธี อินคำเชื้อ (2560) [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้กระแสไฟฟ้า ด้วยเครือข่ายไร้สาย โดยมีการสร้างเครื่องตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านแบบไร้สาย เพื่อให้ผู้ใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตรวจสอบและเฝ้าติดตามค่ากระแสไฟฟ้า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถเก็บรวบรวมและตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้ โดยการพัฒนาระบบจะใช้เซนเซอร์กระแส (CT-Sensor SCT013) ตรวจสอบในขณะที่มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โหนดเอ็มซียู (Node MCU) รุ่น ESP8266 เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานเป็นตัวรับส่งสัญญาณค่ากระแสไฟฟ้า และส่งผลการตรวจสอบไปบันทึกที่อุปกรณ์ Raspberry Pi ของเครื่องแม่ข่าย (Server) เพื่อให้เครื่องแม่ข่ายสามารถรองรับการเรียกใช้ข้อมูล จากนั้นแสดงผลข้อมูลไปยังแอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มบนระบบอินเทอร์เน็ตที่มีฟังก์ชันการใช้งานสำหรับเป็นแผงควบคุมระบบดิจิทัลบน Smartphone ตามแนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จากผลการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ต้นแบบ พบว่าอุปกรณ์มีคุณสมบัติในการวัดค่า

กระแสไฟฟ้าไกล้เคียงกับเครื่องแคลมป์มิเตอร์ และมีเปอร์เซ็นความคาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 1.16% และความคาดเคลื่อนมากสุดเท่ากับ 3.65% และระยะห่างที่ระบบสามารถรองรับการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดไม่ควรเกิน 14 เมตร

ณัฐพัชญ์ ศรีราจันทร์ และ ภีมวัจน์ วรรณทวี (2562) [21] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมด้วยเซนเซอร์การตรวจจับการสั่นสะเทือนบนเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยเป็นการสร้างระบบการตรวจจับแรงสั่นสะเทือนของประตูและหน้าต่างในขณะที่เจ้าของบ้านไม่ได้อยู่อาศัยที่บ้าน และยังสามารถกำหนดช่วงเวลาให้ทำการตรวจสอบได้ผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน กรณีที่เกิดการสั่นสะเทือนในช่วงระดับที่กำหนดจะมีการแจ้งเตือนข้อมูลการโจรกรรมผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ โดยในการพัฒนาและออกแบบระบบประกอบด้วย 1) ส่วนของไอโอทีและอุปกรณ์ ซึ่งเป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Node MCU และเซนเซอร์ตรวจจับค่าการสั่นสะเทือนที่ติดตั้งในส่วนที่ต้องการจะตรวสอบ 2) ส่วนของเครื่องแม่ข่ายอันโต เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลจากซอฟต์แวร์การจัดการข้อมูลของอุปกรณ์ไอโอที 3) ส่วนของเว็บแอปพลิเคชัน ใช้สำหรับรับข้อมูลการตั้งค่าการสั่นสะเทือนและการแจ้งเตือนจากผู้ใช้งาน จากการทดสอบติดตั้งใช้งานพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถตรวจจับแรงสั่นสะเทือนในแต่ละช่วงได้อย่างถูกต้อง รวมถึงระบบสามารถแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ได้ แต่ยังมีปัญหาในส่วนของการตอบสนองที่ล่าช้า

โอฬาร เชี่ยวชาญ และ อนุกิจ เสาร์แก้ว (2560) [22] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการบูรณาการประยุกต์ใช้ RFID (Radio Frequency Identification) และ IoT (Internet of thing) ผ่านระบบคลาวด์ (Cloud Computing) โดยได้มีการประยุกต์ใช้ระบบ RFID และ IoT กับรถบรรทุกถ่านหินลิกไนต์ในเหมืองการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ผ่านระบบ Private Cloud Computing ของการไฟฟ้าแม่เมาะ เพื่อลดความผิดพลาดในการตรวจสอบจำนวนเที่ยวรถขนถ่านหินลิกไนต์แทนการนับด้วยคน และสามารถดูข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือได้แบบเวลาจริง (Real Time) อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบประกอบด้วย RFID Reader, UHF Passive RFID Tag, Arduino Mega 2560 & Ethernet Shield, ภาษา PHP, JSON, Node.JS และ MariaDB เป็นระบบฐานข้อมูล และโปรโตคอลที่ใช้ในการส่งข้อมูล คือ MQTT โดยได้ทำการติด UHF Passive Tag กับรถขนถ่านหิน 27 คัน และติดตั้งเครื่องอ่าน RFID 1 จุด ผลการวิจัยและทดสอบระบบพบว่า RFID และ IoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถลดความผิดพลาดในการตรวจสอบการจัดการโลจิสติกส์ โดยสามารถอ่านค่าและนับจำนวนรถขนถ่านหินลิกไนต์ได้ถูกต้อง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่า

จะส่งขึ้นไปที่ระบบคลาวด์ (Cloud) และสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือได้

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจะเห็นว่ามีการนำเทคโนโลยี IoT เข้ามาช่วยในการติดตามและแจ้งแจ้งเตือนสถานะการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยภาพรวมดีขึ้น รวมถึงมีรูปแบบและลักษณะการใช้งานที่ตอบสนองต่อการใช้งาน แต่ระบบดังกล่าวยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตผ้าเบรก ที่ประกอบด้วยเครื่องจักรประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรแบบอัตโนมัติและเครื่องจักรแบบกึ่งอัตโนมัติ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะพัฒนาระบบการติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยแนวคิดของเทคโนโลยี IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามสถานะของของเครื่องจักร และแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรทำงานผิดปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินได้อย่างราบเรียบ และลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต เป็นต้น

# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะบรรยายเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการศึกษาในการทำงานวิจัย ซึ่งทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลในด้านของกระบวนการผลิต ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา โดยจากการศึกษาและวิเคราะห์ได้พบปัญหาเกี่ยวกับการหยุดทำงานของเครื่องจักร (Downtime & Breakdown Machine) ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบัน จึงได้มีการประยุกต์ใช้แนวคิดอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักร เพื่อให้สามารถเฝ้าติดตามสถานะการทำงานและแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรทำงานผิดปกติ ซึ่งเป็นการป้องกันความเสียหายและความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต โดยมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

## 3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการผลิตผ้าเบรกประเภทดิสก์เบรก ก้ามเบรก และผ้าเบรกใหญ่สำหรับรถบรรทุก โดยมีสินค้าหลักเป็นผ้าเบรกรถยนต์ประเภทดิสก์เบรกซึ่งมีการผลิตอยู่ที่ประมาณ 66% ของผ้าเบรกที่มีการผลิตทั้งหมด โดยผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกมีการขายทั้งในและนอกประเทศซึ่งส่วนใหญ่จะขายในประเทศประมาณ 67% และขายที่ต่างประเทศประมาณ 33% ซึ่งการผลิตดิสก์เบรกมีการผลิตที่มีความหลากหลายเพื่อให้ตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้งานที่มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การบรรทุกหนัก การขับขี่ในเมือง การขนส่งโดยสาร เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีความหลากหลายของโมเดล (SKU) ในแต่ละรุ่นของผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกซึ่งมีรูปร่าง ขนาด และความหนาที่แตกต่างกันตามรถยนต์ยี่ห้อหรือรุ่นต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันมีมากถึง 495 รุ่น (โมเดล)

ดังนั้นจากความหลากหลายของรุ่นผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกที่มีการผลิตในปัจจุบัน จึงเป็นเหตุผลที่ต้องมีการเตรียมความพร้อมในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบและกระบวนการผลิตที่ต้องมีประสิทธิภาพเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดิสก์เบรกมีคุณสมบัติตามความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้งาน กระบวนการผลิตที่ต้องรองรับและมีความยืดหยุ่นต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในปัจจุบันและในอนาคตของภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์

## 3.2 ขั้นตอนการออกแบบและกระบวนการผลิต

### 3.2.1 ขั้นตอนการออกแบบ

1) พิจารณาความต้องการของลูกค้า โดยศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าในด้านของประสิทธิภาพการใช้งานและคุณสมบัติที่ลูกค้าพึงประสงค์ เนื่องจากความต้องการของลูกค้าจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพและคุณสมบัติที่สำคัญของดิสก์เบรกที่จะทำการออกแบบว่าควรมีประสิทธิภาพและคุณสมบัติอย่างไร มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติในด้านใดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีคุณสมบัติตามที่ลูกค้าต้องการ

2) ทดลองผลิตดิสก์เบรกด้วยการออกแบบและพัฒนาสูตรเคมีที่มีองค์ประกอบและสัดส่วนที่แตกต่างกัน รวมถึงเงื่อนไขการผลิตที่แตกต่างกัน ให้ตอบสนองต่อลักษณะการใช้งานที่หลากหลาย รวมถึงตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในด้านของประสิทธิภาพและคุณสมบัติตามที่ลูกค้าพึงประสงค์

3) การทดสอบผ้าเบรกที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นจะมีการทดสอบ 2 ด้าน คือ ทดสอบทางกายภาพ (Physical Test) และการทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Test) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Universal Testing Machine ใช้ในการทดสอบค่าแรงเฉือนของผ้าเบรก (Shear Strength) เพื่อดูสภาพการยึดติด ซึ่งเป็นการทดสอบทางกายภาพของผ้าเบรก (Friction Property)

**ภาพประกอบ 26** เครื่อง Universal Testing Machine

- Rockwell Hardness Test Machine ใช้ในการทดสอบความแข็งของผ้าเบรก (Hardness) เพื่อดูความแข็ง เป็นการทดสอบทางกายภาพของผ้าเบรก (Friction Property)

**ภาพประกอบ 27** เครื่อง Rockwell Hardness Test Machine

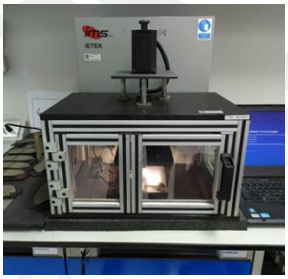
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic Balance) และ Hydro Meter ใช้ในการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของผ้าเบรก (Specific Gravity) เพื่อดูความหนาแน่น เป็นการทดสอบทางกายภาพของผ้าเบรก (Friction Property)

**ภาพประกอบ 28** เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic Balance) และ Hydro Meter

- Compressibility Tester Machine ใช้ในการทดสอบการบีบอัดตัวของผ้าเบรก (Compressibility) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงความหนาหรือระยะยุบ ซึ่งเป็นการทดสอบทางกายภาพของผ้าเบรก (Friction Property)

**ภาพประกอบ 29** เครื่อง Compressibility Tester Machine

- Modulus ใช้ในการทดสอบไดนามิกมอดูลัสของผ้าเบรก (Dynamic Modulus) เพื่อดูความแข็งแกร่ง (Stiffness) และความแข็ง (Hardness) ของวัสดุ เป็นวิธีการตรวจสอบและทดสอบคุณภาพทางกายภาพที่ไม่ทำลายชิ้นงาน



**ภาพประกอบ 30** เครื่อง IETEK Ultrasonic Measurement

- Dynamometer ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของผ้าเบรกโดยจำลองสภาวะหรือลักษณะการใช้งานจริงของผ้าเบรก เช่น ลักษณะการเบรกบนความเร็วที่แตกต่างกัน ความถี่ในการใช้งานเบรก เป็นการทดสอบในด้านประสิทธิภาพของผ้าเบรก (Performance Test)

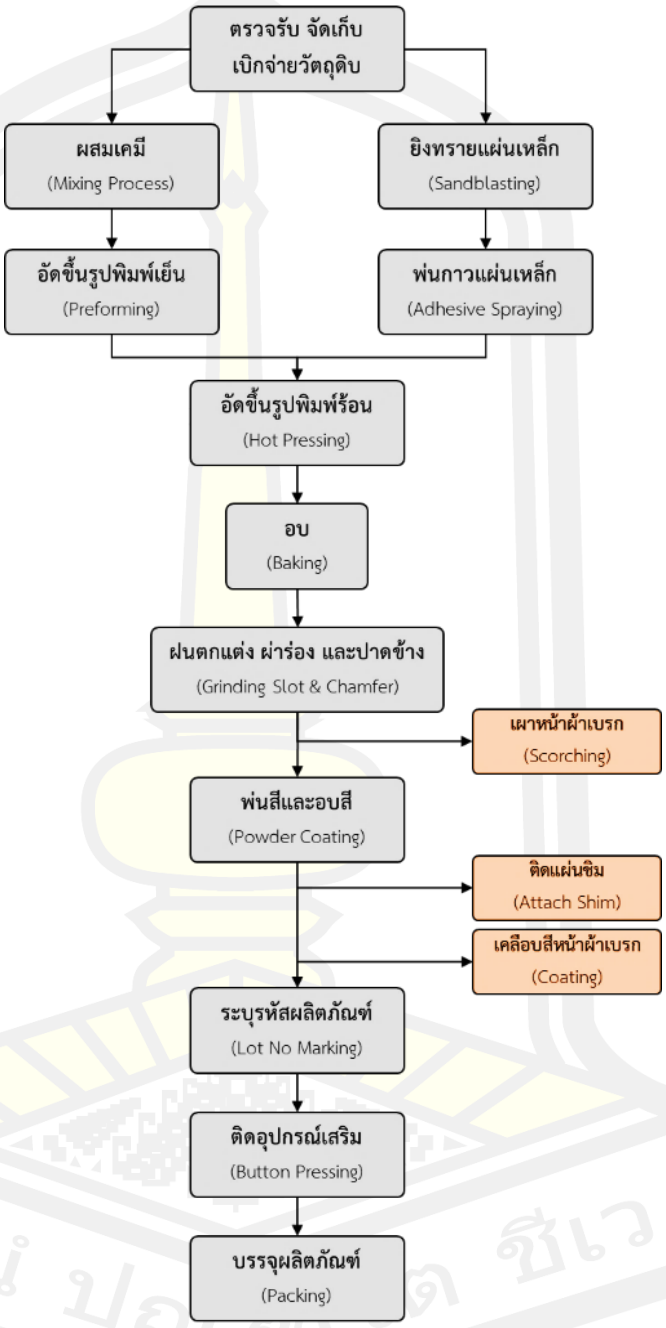
**ภาพประกอบ 31** เครื่อง Dynamometer

- Constant Speed Friction Tester ใช้ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอของผ้าเบรก (Friction Coefficient & Ware Rate) เพื่อดูประสิทธิภาพแรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอ เป็นการทดสอบในด้านประสิทธิภาพของผ้าเบรก (Performance Test)

**ภาพประกอบ 32** เครื่อง Constant Speed Friction Tester

### 3.2.2 กระบวนการผลิตดิสก์เบรก

กระบวนการผลิตมีขั้นตอนและวิธีการดังแผนภาพต่อไปนี้




**ภาพประกอบ 33** แผนภาพกระบวนการผลิตดิสก์เบรก

1) การตรวจรับวัตถุดิบ โดยจะแบ่งการตรวจรับออกเป็นสองชนิด คือ การตรวจรับเคมีและการตรวจรับแผ่นเหล็ก ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบตามมาตรฐานของแผนกประกันคุณภาพ

2) จัดเก็บ–เบิกจ่ายวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ผ่านการตรวจสอบจะถูกส่งเข้าคลังวัตถุดิบที่มีการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับจัดเก็บเพื่อรอแผนการผลิตในการเบิกวัตถุดิบออกมาใช้ในกระบวนการผลิต

**ภาพประกอบ 34** การจัดเก็บ-เบิกจ่ายวัตถุดิบ

3) ผสมเคมี (Chemical Mixing) เป็นการนำเคมีที่ประกอบด้วยเส้นใย ผงโลหะ และสารยึดติดมาผสมเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสมเคมี ซึ่งวัตถุดิบที่ผสมเสร็จแล้วจะได้สัดส่วนที่เหมาะสมตามสูตรเคมีที่ได้ออกแบบและพัฒนา โดยในแต่ละสูตรเคมีจะมีสัดส่วนและชนิดของเคมีที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ผ้าเบรกในแต่ละสูตรที่ผลิตมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน

**ภาพประกอบ 35** เครื่องผสมเคมี (Chemical Mixing Machine)

4) อัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น (Preform) เป็นการนำเคมีที่ถูกผสมรวมกันจากกระบวนการผสมเคมีมาทำการอัดโดยใช้แรงอัดภายใต้รูปร่างของแม่พิมพ์ตามลักษณะของผ้าเบรกในแต่ละรุ่น ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะตามที่ต้องการ โดยจะมีการควบคุมน้ำหนักของเคมี แรงอัด และเวลาที่ใช้ในการอัดตามมาตรฐานการผลิต

**ภาพประกอบ 36** เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น (Preform Press Machine)

5) ยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting) เป็นขั้นตอนในการขัดผิวเพื่อทำความสะอาดผิวแผ่นเหล็กโดยใช้แรงดันจากปั๊มลมเป็นแรงขับเคลื่อนทรายให้ไปกระทบผิวของแผ่นเหล็ก

**ภาพประกอบ 37** เครื่องยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting Machine)

6) พ่นกาวแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Adhesive Spaying) เป็นการนำแผ่นเหล็กที่ผ่านการขัดผิวทำความสะอาดมาพ่นกาว โดยความหนาของกาวจะต้องมีความหนาตามมาตรฐานและกระจายทั่วทั้งแผ่นเหล็ก

**ภาพประกอบ 38** เครื่องพ่นกาวแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Adhesive Spaying Machine)

7) อัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing) เป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็นมาทำการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของโมเลกุลเคมีและองค์ประกอบอื่น ๆ รวมถึงทำให้กาวที่อยู่บนแผ่นเหล็กหลอมละลายและยึดแผ่นเหล็กกับชิ้นงานเคมี (Preform) โดยการให้แรงอัดและความร้อนแก่ชิ้นงาน ซึ่งการอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อนเป็นกระบวนการที่ควบคุมประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของผ้าเบรก

**ภาพประกอบ 39** เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing Machine)

8) อบ (Baking) เป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปร้อนมาให้ความร้อนโดยการอบ เพื่อให้ชิ้นงานเกิดปฏิกิริยาเคมีที่สมบูรณ์และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างการใช้งานที่เสี่ยงต่อการเกิดเบรก-เฟด

**ภาพประกอบ 40** เครื่องอบดิสก์เบรก (Baking Machine)

9) ฝนตกแต่งดิสก์เบรก (Disc Brake Pads Grinding) เป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการอบมาฝนตกแต่งให้มีความหนาตรงตามที่กำหนด และปรับสภาพผิวหน้าชิ้นงานให้มีความเรียบสม่ำเสมอกันตลอดทั้งชิ้น เพื่อให้สัมผัสกับจานเบรกได้ดีขึ้นและไม่ทำลายผิวหน้าของจานเบรกขณะใช้งาน

**ภาพประกอบ 41** เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก (Disc Brake Pads Grinding Machine)

10) ผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer) เป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการฝนตกแต่งมาทำการผ่าร่องและปาดข้าง ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามรุ่น (Model) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรก ช่วยในการระบายความร้อน ลดการเกิดเสียง และลดการเกิดฝุ่นในการใช้งาน

**ภาพประกอบ 42** เครื่องผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer Machine)

11) เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก (Scorching) เป็นการเผาหน้าผ้าเบรกด้วยความร้อนสูง เพื่อให้ผิวหน้าเกิดรูพรุนที่ทำให้ดิสก์เบรกจับกับจานเบรกได้ดีขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพการเบรกในช่วงการใช้งานเริ่มต้น ทำให้ดิสก์เบรกพร้อมใช้งานโดยที่ไม่ต้องทำการ Run-In และช่วยระบายแก๊สภายในดิสก์เบรก

**ภาพประกอบ 43** เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก (Scorching Machine)

12) พ่นสี (Powder Coating) เป็นการพ่นสีแผ่นเหล็ก เพื่อให้ชิ้นงานสวยงามและป้องกันสนิมที่เกิดจากลักษณะการใช้งานที่หลากหลาย โดยมีการควบคุมความเร็วสายพาน ปริมาณสี และแรงดันในการพ่นสี เพื่อให้ได้ความหนาของสีที่พ่นตามมาตรฐานที่กำหนด

**ภาพประกอบ 44** เครื่องพ่นสี (Powder coating Machine)

13) อบสี (Color Baking) เป็นการอบสีชิ้นงานที่ผ่านการพ่นสี เพื่อให้สีพ่นที่อยู่บนแผ่นเหล็กสุกและไม่ไหม้ตามที่กำหนด ซึ่งเฉดสีของชิ้นงานจะต้องได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

**ภาพประกอบ 45** เครื่องอบสี (Color Baking Machine)

14) ติดแผ่นชิม (Attach Shim) เป็นการติดแผ่นชิมที่เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดเสียงในขณะเบรก รวมถึงช่วยลดความร้อนจากการใช้งานเบรก โดยมีการติดไว้บริเวณหลังแผ่นเหล็ก

**ภาพประกอบ 46** เครื่องติดแผ่นชิม (Attach Shim Machine)

15) เคลือบสีหน้าผ้าเบรก (Coating) เป็นการเคลือบผิวหน้าผ้าเบรกด้วยสีเคลือบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกมีความสวยงามและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

**ภาพประกอบ 47** เครื่องเคลือบสีหน้าผ้าเบรก (Coating Machine)

16) ระบุรหัสผลิตภัณฑ์ (Lot No Marking) เป็นการระบุรหัสการผลิตที่แผ่นเหล็กดิสก์เบรก เพื่อให้สะดวกในการตรวจสอบย้อนกลับเมื่อเกิดความผิดพลาดต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

**ภาพประกอบ 48** เครื่องระบุรหัสผลิตภัณฑ์ (Inkjet Machine)

17) ติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling) อุปกรณ์เสริมส่วนใหญ่จะเป็นกิ๊ฟสำหรับเตือนเมื่อผ้าเบรกหมด ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกก่อนทำการบรรจุ

**ภาพประกอบ 49** เครื่องติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling Machine)

18) แพ็คบรรจุ (Packing) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตที่มีการบรรจุผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกสำเร็จรูป และมีการตรวจสอบคุณภาพหลังบรรจุ (Inspection of finished product after packing) ก่อนส่งเข้าคลังสินค้า

**ภาพประกอบ 50** เครื่องแพ็คบรรจุ (Packing Machine)

**3.3 ศึกษาและวิเคราะห์ประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต**

จากการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบัน พบว่าในกระบวนการผลิตมีปัญหาเกิดขึ้น คือ เครื่องจักรเกิดการ Downtime & Breakdown ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) โดยปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในด้านของกำลังการผลิตที่ไม่เป็นไปตามแผนการผลิตและเกิดของเสียในกระบวนการผลิต โดยเครื่องจักรที่มีปัญหาและส่งผลกระบบต่อกระบวนการผลิต ประกอบด้วยดังนี้

1) เครื่องยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting Machine)

2) เครื่องพ่นกาวแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Adhesive Spaying Machine)

3) เครื่องผสมเคมี (Chemical Mixing Machine)

4) เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น Auto (Preform Press Machine)

5) เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น Manual (Preform Press Machine)

6) เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing Machine)

7) เครื่องอบดิสก์เบรก (Baking Machine)

8) เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Auto (Disc Brake Pads Grinding Machine)

9) เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Manual (Disc Brake Pads Grinding Machine)

10) เครื่องผ่าร่องและปาดข้าง Manual (Slot & Chamfer Machine)

11) เผาหน้าผ้าเบรก (Scorching Machine)

12) เครื่องพ่นสีอบสี (Automatic Spray Painting Machine)

13) เครื่องติดแผ่นชิม (Attach Shim Machine)

14) เครื่องเคลือบสีหน้าผ้าเบรก (Coating Machine)

15) เครื่องระบุรหัสผลิตภัณฑ์ (Inkjet Machine)

16) เครื่องติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling Machine)

17) เครื่องแพ็คบรรจุ (Packing Machine)

**ตาราง 4** การแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) ในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก

| **เครื่องจักรในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก** | **Repair Machine** | |
|---|---|---|
| | **2563 (ครั้ง)** | **2564 (ครั้ง)** |
| เครื่องยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting Machine) | 70 | 116 |
| เครื่องพ่นกาวแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Adhesive Spaying Machine) | 5 | 16 |
| เครื่องผสมเคมี (Chemical Mixing Machine) | 50 | 25 |
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น Auto (Preform Press Machine) | 42 | 59 |
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น Manual (Preform Press Machine) | 77 | 89 |
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing Machine) | 432 | 413 |
| เครื่องอบดิสก์เบรก (Baking Machine) | 9 | 10 |
| เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Auto (Disc Brake Pads Grinding Machine) | 64 | 47 |
| เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Manual (Disc Brake Pads Grinding Machine) | 9 | 3 |

**ตาราง 4 (ต่อ)** การแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) ในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก

| เครื่องจักรในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก | Repair Machine | |
|---|---|---|
| | 2563 (ครั้ง) | 2564 (ครั้ง) |
| เครื่องผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer Machine) | 41 | 6 |
| เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก (Scorching Machine) | 7 | 16 |
| เครื่องพ่นสีอบสี (Automatic Spray Painting Machine) | 105 | 63 |
| เครื่องติดแผ่นชิม (Attach Shim Machine) | 9 | 5 |
| เครื่องเคลือบสีหน้าผ้าเบรก (Coating Machine) | 28 | 15 |
| เครื่องระบุรหัสผลิตภัณฑ์ (Inkjet Machine) | 50 | 25 |
| เครื่องติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling Machine) | 20 | 18 |
| เครื่องแพ็คบรรจุ (Packing Machine) | 7 | 6 |

จากการศึกษาและวิเคราะห์ Downtime & Breakdown ของเครื่องจักร ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต คือ ผลกระทบในด้านของกำลังการผลิตที่คำนวณจากเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานเทียบกับกำลังการผลิตแสดงดังตาราง 5 และผลกระทบในด้านคุณภาพของชิ้นงานที่เป็นของเสียแสดงดังตาราง 6

**ตาราง 5** กำลังการผลิตที่สูญเสียจาก Downtime & Breakdown Machine (Capacity Loss)

| เครื่องจักรในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก | Downtime & Breakdown Machine | | | | Capacity Loss (ชิ้น) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2563 | | 2564 | | |
| | จำนวน (ครั้ง) | เวลา (ชั่วโมง) | จำนวน (ครั้ง) | เวลา (ชั่วโมง) | |
| เครื่องยิงทรายแผ่นเหล็กดิสก์เบรก (Backing plate Sand Blasting Machine) | 1 | 0.35 | 2 | 0.05 | 1,470 |
| เครื่องผสมเคมี (Chemical Mixing Machine) | 3 | 5.80 | 1 | 0.03 | 28,109 |

**ตาราง 5 (ต่อ)** กำลังการผลิตที่สูญเสียจาก Downtime & Breakdown Machine (Capacity Loss)

| เครื่องจักรในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก | Downtime & Breakdown Machine | | | | Capacity Loss (ชิ้น) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2563 | | 2564 | | |
| | จำนวน (ครั้ง) | เวลา (ชั่วโมง) | จำนวน (ครั้ง) | เวลา (ชั่วโมง) | |
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น Auto (Preform Press Machine) | 3 | 5.82 | 1 | 0.22 | 847 |
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เย็น Manual (Preform Press Machine) | 3 | 1.63 | 7 | 0.60 | 3,516 |
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing Machine) | 9 | 8.63 | 3 | 0.48 | 15,914 |
| เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Auto (Disc Brake Pads Grinding Machine) | 12 | 17.05 | 2 | 0.89 | 25,138 |
| เครื่องผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer Machine) | 1 | 0.41 | - | - | 270 |
| เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก (Scorching Machine) | 1 | 2.15 | - | - | 3,449 |

**ตาราง 5 (ต่อ)** กำลังการผลิตที่สูญเสียจาก Downtime & Breakdown Machine

| เครื่องจักรในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก | Downtime & Breakdown Machine | | | | Capacity Loss (ชิ้น) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2563 | | 2564 | | |
| | จำนวน (ครั้ง) | เวลา (ชั่วโมง) | จำนวน (ครั้ง) | เวลา (ชั่วโมง) | |
| เครื่องพ่นสีอบสี (Automatic Spray Painting Machine) | 3 | 1.20 | 3 | 1.90 | 6,801 |
| เครื่องเคลือบสีหน้าผ้าเบรก (Coating Machine) | 1 | 0.07 | - | - | 94 |
| เครื่องระบุรหัสผลิตภัณฑ์ (Inkjet Machine) | 2 | 1.03 | - | - | 3,129 |
| เครื่องติดอุปกรณ์เสริม (Accessories Assembling Machine) | 3 | 0.40 | - | - | 932 |

**ตาราง 6** ของเสียที่เกิดจาก Downtime & Breakdown Machine (Quality Loss)

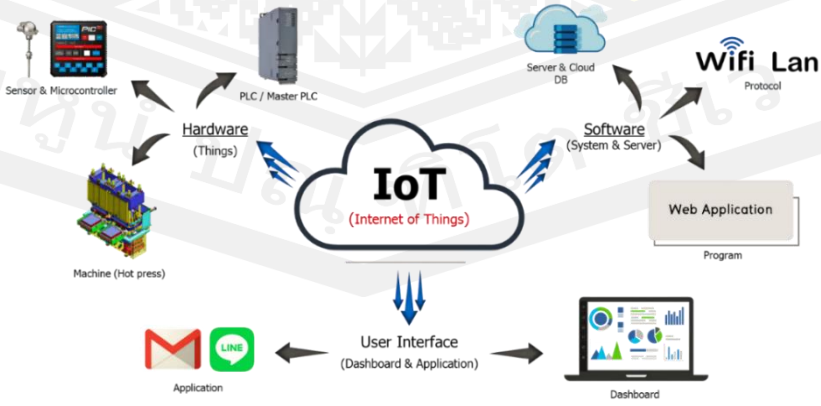
| เครื่องจักรในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก | Quality Loss (ชิ้น) |
|---|---|
| เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Pressing Machine) | 14,791 |
| เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Auto (Disc Brake Pads Grinding Machine) | 1,277 |
| เครื่องฝนตกแต่งดิสก์เบรก Manual (Disc Brake Pads Grinding Machine) | 156 |
| เครื่องผ่าร่องและปาดข้าง (Slot & Chamfer Machine) | 967 |
| เครื่องพ่นสีอบสี (Automatic Spray Painting Machine) | 2,187 |

### 3.4 สรุปประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตดิสก์เบรก

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการผลิต ข้อมูลการ Downtime & Breakdown Machine ที่วิเคราะห์ผ่านข้อมูลการแจ้งซ่อมเครื่องจักร (Repair Machine) และผลกระทบที่เกิดจากการ Downtime & Breakdown Machine (Capacity & Quality Loss) สามารถสรุปได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ต้องทำการแก้ไขและปรับปรุงเป็นอันดับแรก คือ การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ป้องกันการเกิด Downtime & Breakdown Machine ในกระบวนการผลิต เพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตได้ตามแผนการผลิตที่วางไว้ และเพื่อป้องกันผลเสียและผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

### 3.5 ศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยี

จากข้อสรุปประเด็นปัญหาที่ต้องแก้ไขและปรับปรุง คือ ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ป้องกันการเกิด Downtime & Breakdown Machine ในกระบวนการผลิต จึงได้มีการศึกษาและคัดเลือกเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาแก้ปัญหาดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่จะนำเข้ามาต้องสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตได้ ประสิทธิภาพของระบบต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และไม่มีผลกระทบในด้านลบต่อกระบวนการผลิต โดยจากการศึกษาและวิเคราะห์จึงได้ข้อสรุป คือ การประยุกต์ใช้แนวคิดของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับเฝ้าติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรเพื่อป้องกันสถานะการทำงานที่ผิดปกติที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักร เนื่องจากมีความเหมาะสมทั้งในด้านความพร้อมของเครื่องจักร ฟังก์ชันการใช้งานตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งาน และเป็นเทคโนโลยีที่จะช่วยให้ปัญหาดังกล่าวมีแนวโน้มที่ดีขึ้น โดยมีองค์ประกอบของเทคโนโลยีดังภาพประกอบ 51




**ภาพประกอบ 51** องค์ประกอบของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things)

## 3.6 การออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.6.1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบ

ระบบที่ออกแบบและพัฒนาประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ ส่วนของการเชื่อมต่อระบบ และส่วนของซอฟต์แวร์และการแสดงผล โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังนี้

1) เครื่องจักรและอุปกรณ์ตรวจวัด (Machine และ Industrial Sensor) เครื่องจักรที่นำระบบไปติดตั้ง ได้แก่ เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน (Hot Press Machine) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัด ได้แก่ โมดูล Pzem-004T เป็นโมดูลสำหรับวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater ที่อยู่ใน Hot Press Machine

**ภาพประกอบ 52** เครื่องจักรและอุปกรณ์ตรวจวัด (Machine และ Industrial Sensor)

2) ตัวประมวลผลและส่งข้อมูล (Node MCU ESP8266) เป็นบอร์ด Microcontroller ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคำสั่ง ประมวลผล และส่งข้อมูล ซึ่ง Node MCU ESP8266 สามารถเชื่อมต่อระบบอินเตอร์เน็ตในรูปแบบ Wi-Fi ได้

**ภาพประกอบ 53** ตัวประมวลผลและส่งข้อมูล (Node MCU ESP8266 V3)

3) ระบบเชื่อมโยงการสื่อสาร (Protocol) และระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) เป็นระบบที่เชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ Hardware & Software คลาวด์แพลตฟอร์ม การแสดงผล และการใช้งานในส่วนอื่น ๆ ให้สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกันภายในระบบ

**ภาพประกอบ 54** ระบบเชื่อมโยงการสื่อสาร (Wi-Fi)

4) แพลตฟอร์ม NETPIE (Cloud Server) เป็นคลาวด์แพลตฟอร์มที่ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถสื่อสารกันได้ เกิดการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แบบ Real-Time และยังสามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบ Dashboard และสามารถเชื่อมต่อกับ Application อื่น ๆ ที่สามารถเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายยิ่งขึ้น

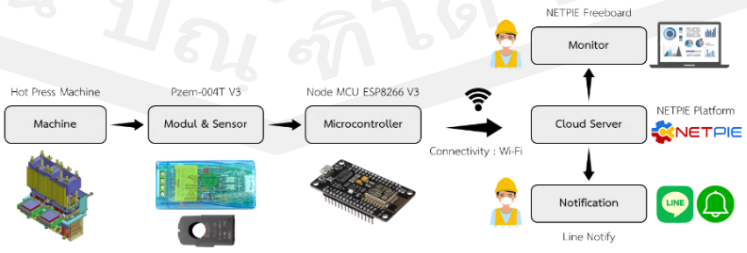
**ภาพประกอบ 55** แพลตฟอร์ม NETPIE (Cloud Server)

5) การแสดงผลและการแจ้งเตือน (User Interface : Dashboard & Application) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการแสดงผลข้อมูล โดยแสดงผลผ่าน NETPIE Freeboard ที่สามารถสร้างขึ้นได้จาก NETPIE Platform ส่วนของการแจ้งเตือนข้อมูลจะใช้ Application LINE โดยแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

**ภาพประกอบ 56** การแสดงผลและการแจ้งเตือน (User Interface)

### 3.6.2 หลักการทำงานของระบบ

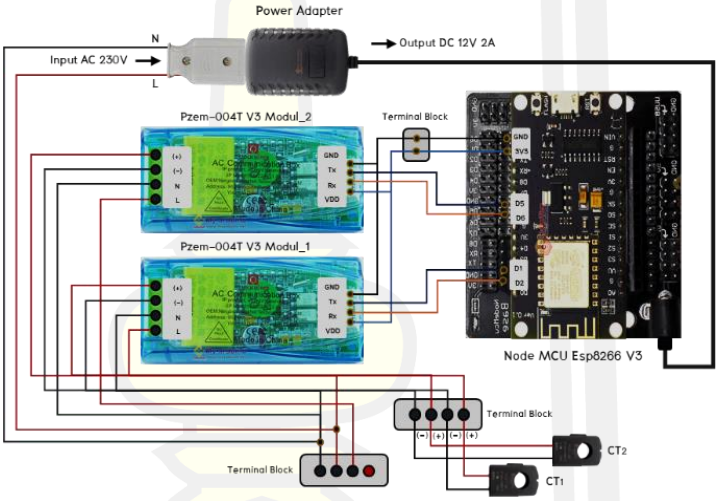
งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยแนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) ซึ่งเป็นการออกแบบและพัฒนาระบบที่มีการนำเครื่องจักร การวิเคราะห์ประมวลขั้นสูง และคนมาทำงานร่วมกันผ่านโครงข่ายของอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงกันด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารที่สามารถติดตาม ตรวจสอบ และแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรได้แบบเวลาจริง (Real-Time) โดยภาพรวมของระบบมีรายละเอียดดังภาพประกอบ 57




**ภาพประกอบ 57** ภาพรวมของระบบ

หลักการและขั้นตอนการทำงานเบื้องต้นของระบบ เริ่มต้นจากการเรียกใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งข้อมูลไปเพื่อประมวลผลผ่านตัวประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ เชื่อมโยงการสื่อสารด้วยระบบ Wi-Fi จากนั้นข้อมูลชุดดังกล่าวจะถูกส่งไปที่ Cloud Server ที่เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับประมวลผล สำรองและเก็บข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจวัด ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแสดงบนส่วนแสดงผลข้อมูลที่เป็น Dashboard และส่วนที่เป็นการแจ้งเตือน ซึ่งในระบบจะมีส่วนหลัก ๆ ที่สำคัญอยู่ 5 ส่วน ดังนี้

1) ส่วนที่ใช้สำหรับการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยจะใช้โมดูล Pzem-004T V3 ซึ่งเป็นเป็นโมดูลสำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะถูกประมวลผลและส่งต่อด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 V3




**ภาพประกอบ 58** รูปแบบการพัฒนาและออกแบบระบบ

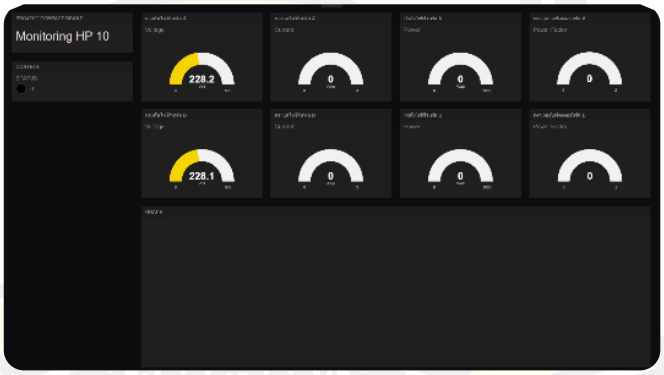
2) ส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อและเชื่อมโยงการสื่อสาร ซึ่งเป็นการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ตในรูปแบบของการส่งสัญญาณวายฟาย (Wi-Fi) ในการทำให้ทุกองค์ประกอบที่อยู่ภายในระบบสามารถทำงานเชื่อมโยงกัน และสามารถติดต่อสื่อสาร รับ-ส่งข้อมูลระหว่างกันได้

**ภาพประกอบ 59** การเชื่อมโยงสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Wi-Fi)

3) ส่วนที่ใช้สำหรับรับข้อมูล เก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูล โดยในส่วนนี้จะมีการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม NETPIE ในการทำหน้าที่ประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 V3 ไว้บน Cloud Sever

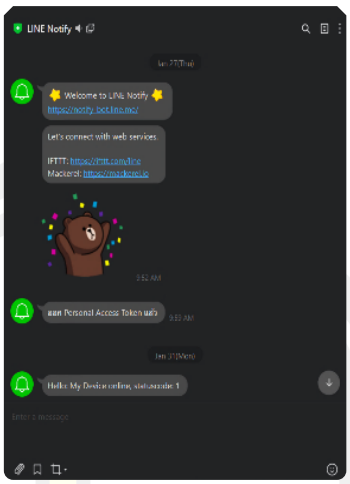
**ภาพประกอบ 60** NETPIE Platform

4) ส่วนของการแสดงผล เป็นส่วนที่ใช้แสดงผลข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลและจัดเก็บบน Cloud Server NETPIE ผ่าน NETPIE Freeboard ซึ่งมีการออกแบบชุดคำสั่งแสดงผลทั้งแบบ Gauge, Graph และแบบตัวอักษรที่สามารถแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน




**ภาพประกอบ 61** การแสดงผลข้อมูลผ่าน NETPIE Freeboard

5) ส่วนของการแจ้งเตือน เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการแจ้งเตือนเกี่ยวกับสภาวะการทำงานของเครื่องจักรและสภาวะการทำงานของระบบผ่าน LINE Notify




**ภาพประกอบ 62** การแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

### 3.6.3 Software ที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบ

1) โปรแกรม Arduino IDE ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 V3 ซึ่งภาษาที่ใช้เขียนจะเขียนด้วยภาษา C

2) NETPIE Platform ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมและพัฒนาให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถสื่อสารกันได้ เกิดการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ บันทึกและจัดเก็บข้อมูลแบบ Real-Time

3) Application LINE ใช้สำหรับการแสดงผลและการแจ้งเตือนด้วย LINE Notify

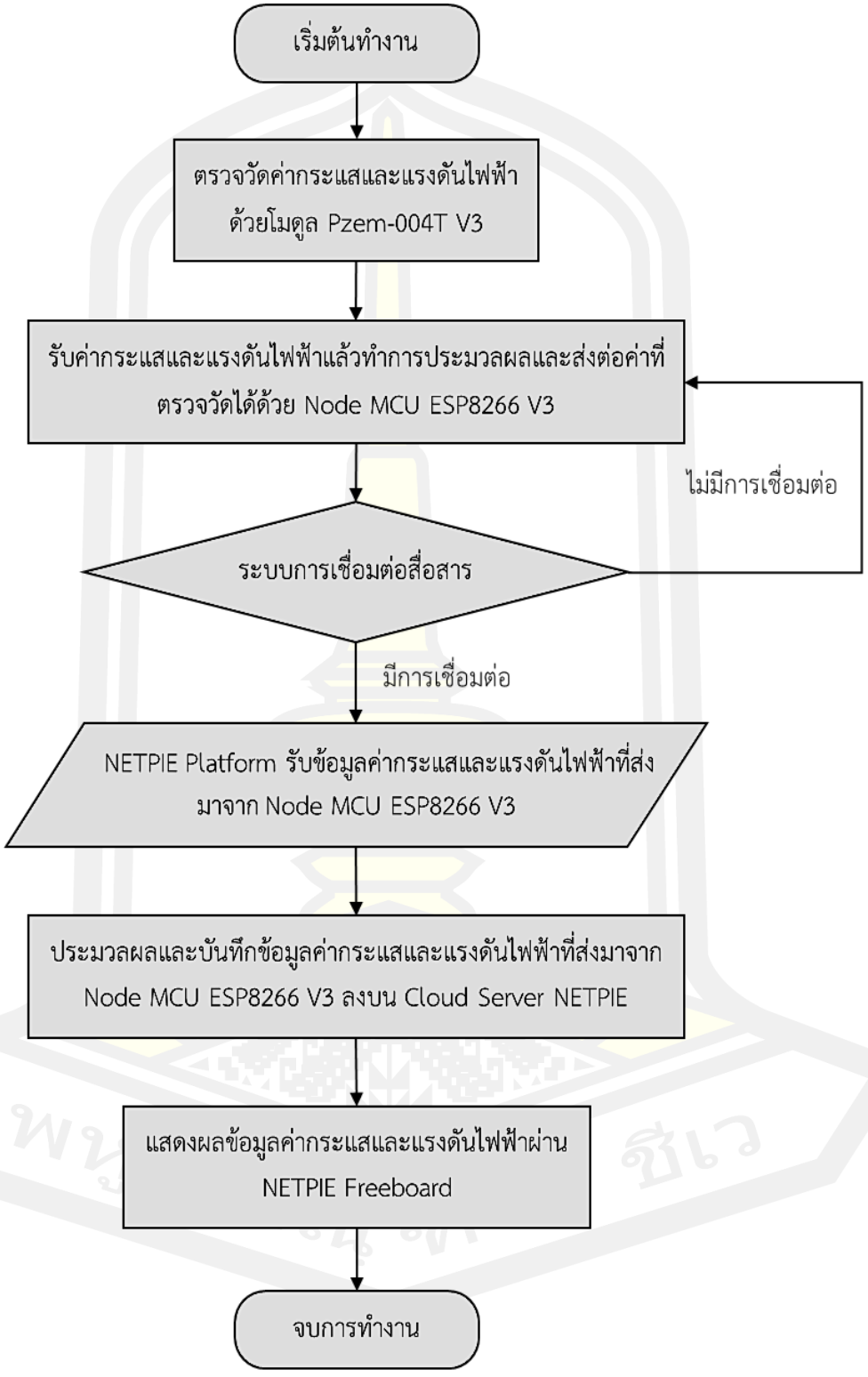
## 3.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบจะเริ่มต้นจากโมดูลตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า Pzem-004T V3 ส่งค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้ไปประมวลผลที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 V3 จากนั้นจะส่งข้อมูลไปประมวลผล บันทึกและจัดเก็บบน NETPIE Platform ที่เป็น Cloud Server ด้วยโปรโตคอลการเชื่อมต่อสื่อสารแบบวายฟาย (Wi-Fi) เพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างโมดูลตรวจวัดไมโครคอนโทรลเลอร์ และระบบเซิร์ฟเวอร์ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกส่งมาประมวลผลและจัดเก็บทุก ๆ 2 วินาทีลงบน Cloud Server NETPIE และมีการแสดงผลแบบ Real-Time ผ่าน NETPIE Freeboard และแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ซึ่งบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบแสดงดังตาราง 7

**ตาราง 7** บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

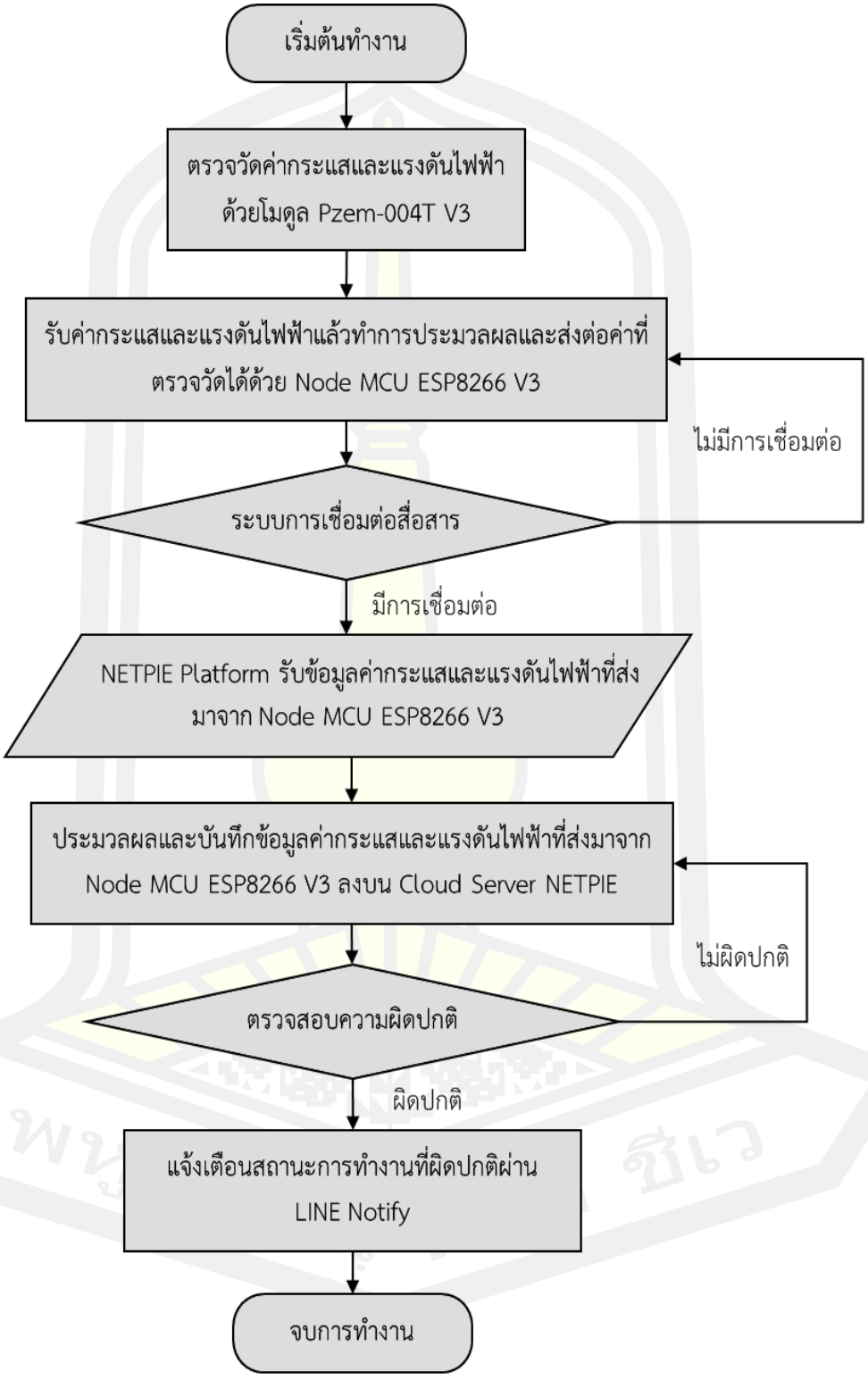
| อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบ | | กระบวนการทำงานของระบบ |
|---|---|---|
| Device | | เครื่องจักร (Hot Press Machine) |
| Modul & Sensor | | วัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าด้วยโมดูล Pzem-004T V3 |
| Microcontroller | | รับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าแล้วทำการประมวลผลและส่งข้อมูลไปยัง NETPIE Platform ด้วย Node MCU ESP8266 V3 |
| Cloud Server | | รับข้อมูลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าจาก Node MCU ESP8266 V3 แล้วทำการประมวลผลและบันทึกข้อมูลลงบน Cloud Server NETPIE |
| User Interface | Monitor | แสดงผลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าบน NETPIE Freeboard แบบ Real-Time |
| | Notification | แจ้งเตือนค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าผ่าน LINE Notify |

**3.8 การออกแบบการเขียนโปรแกรมการพัฒนาระบบสำหรับการแสดงผล (Monitor)**




**ภาพประกอบ 63** Flowchart การออกแบบและพัฒนาระบบสำหรับการแสดงผล (Monitor)

### 3.9 การออกแบบการเขียนโปรแกรมการพัฒนาระบบสำหรับการแจ้งเตือน (Notification)




**ภาพประกอบ 64** Flowchart การออกแบบและพัฒนาระบบสำหรับการแจ้งเตือน (Notification)

## 3.10 เงื่อนไขในการบันทึกและการแจ้งเตือนข้อมูล

### 3.10.1 การบันทึกข้อมูลบน Cloud Server NETPIE

การบันทึกข้อมูลลงบน Cloud Server NETPIE จะมีการประมวลผลและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 2 วินาที โดยข้อมูลที่ถูกบันทึกจะเป็นข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าความถี่ทางไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ตรวจวัดได้จากโมดูล Pzem-004T V3 จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกแสดงผลผ่านหน้า Dashboard บน NETPIE Freeboard แบบ Real-Time

### 3.10.2 การแจ้งเตือนข้อมูลผ่าน LINE Notify

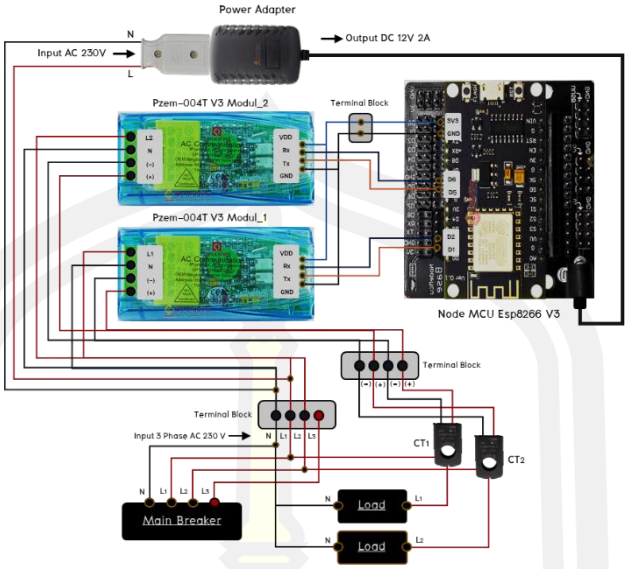
การแจ้งเตือนข้อมูลผ่าน LINE Notify จะเป็นการแจ้งเตือนข้อมูลสถานะค่ากระแสและแรงดันที่มีความผิดปกติ โดยเงื่อนไขในการแจ้งเตือนมีรายละเอียดดังตาราง 8

**ตาราง 8** เงื่อนไขการทดสอบการแจ้งเตือนค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าผ่าน LINE Notify

| เงื่อนไขการแจ้งเตือน | รายละเอียด |
|---|---|
| สภาวะกระแสต่ำเกิน | - กระแสไฟฟ้าเฟส A ต่ำกว่า 2.4 A และไม่เท่ากับ 0 A<br>- กระแสไฟฟ้าเฟส B ต่ำกว่า 2.4 A และไม่เท่ากับ 0 A |
| สภาวะกระแสสูงเกิน | - กระแสไฟฟ้าเฟส A สูงกว่า 2.3 A<br>- กระแสไฟฟ้าเฟส B สูงกว่า 2.3 A |
| สภาวะแรงดันต่ำเกิน | - แรงดันไฟฟ้าเฟส A ต่ำกว่า 230 V<br>- แรงดันไฟฟ้าเฟส B ต่ำกว่า 230 V |
| สภาวะแรงดันสูงเกิน | - แรงดันไฟฟ้าเฟส A สูงกว่า 220 V<br>- แรงดันไฟฟ้าเฟส B สูงกว่า 220 V |

## 3.11 การออกแบบวงจรของระบบ (Electrical & Electronic Circuit)

วงจรของระบบเป็นการเชื่อมต่อวงจรในรูปแบบของวงจรไฟฟ้า (Electrical Circuit) และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuit) ประกอบด้วยโมดูลวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า Pzem-004T V3 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 V3 และมี Power Adaptor ต่อร่วมด้วยเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าสำหรับเป็นไฟเลี้ยงระบบ โดยวงจรของระบบมีรูปแบบดังภาพประกอบ 65




**ภาพประกอบ 65** การออกแบบวงจรของระบบ

### 3.12 การออกแบบการทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ

ในการทดสอบใช้งานระบบจะเป็นการนำระบบที่ได้ออกแบบและพัฒนาไปติดตั้งในเครื่องจักรที่ต้องการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการ Downtime & Breakdown Machine โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำไปติดตั้งใช้งานกับ Heater Hot Press เพื่อทำการทดสอบระบบ ซึ่งเครื่องดังกล่าวเป็นเครื่องจำลองสถานะการทำงานของเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Press Machine) โดยการติดตั้งและทดสอบระบบแสดงดังภาพประกอบ 66

**ภาพประกอบ 66** การติดตั้งใช้งานและทดสอบระบบ

การทดสอบติดตั้งใช้งานระบบจะมีการบันทึกข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบในการแสดงผลและแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของ Heater Hot Press ด้วยเงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดขึ้น และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปรับปรุงระบบให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยได้กำหนดเงื่อนไขการทดสอบระบบดังตาราง 9 รวมถึงออกแบบตารางบันทึกผลดังตาราง 10 และตาราง 11

**ตาราง 9** เงื่อนไขการทดลองและการทดสอบระบบ

| เงื่อนไขการทดสอบ | ระยะทดสอบ | หน่วย | ความเร็ว Internet |
|---|---|---|---|
| 1. ทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของระบบสำหรับการแสดงผลบน Dashboard | 0 - ระยะที่ระบบไม่สามารถตอบสนองได้ | เมตร | 10 Mbps |
| 2. ทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ และความรวดเร็วของระบบสำหรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE | 0 - ระยะที่ระบบไม่สามารถตอบสนองได้ | เมตร | 10 Mbps |

**ตาราง 10** ตารางบันทึกผลการทดสอบการแสดงผลบน Dashboard

| ระยะทดสอบ | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase A | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase A | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase A (%Error) | | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase B | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase B | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase B (%Error) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

**ตาราง 11** ตารางบันทึกผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน LINE

| ระยะทดสอบ | Date & Time ที่ตรวจวัดและแสดงผลด้วย Fluke Energy | ค่า Parameter ที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase A | | Date & Time ที่ตรวจวัดและแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify | ค่า Parameter ที่ตรวจวัดและแจ้งเตือนผ่าน LINE Phase A | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase A (Delay) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Voltage | Current | | Voltage | Under Current | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

# บทที่ 4

## การดำเนินการทดลอง

ในบทนี้จะบรรยายเกี่ยวกับการเตรียมอุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบ รวมถึงอธิบายขั้นตอนและวิธีการทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

1) การทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press ของระบบเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำของระบบสำหรับการแสดงผลข้อมูลบน Dashboard เมื่อระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลง

2) การทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press ของระบบเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำ และการตอบสนองของระบบสำหรับการแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของ Heater Hot Pressผ่าน LINE เมื่อระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลง

### 4.1 การเตรียมการทดสอบระบบ

#### 4.1.1 สถานที่และเครื่องจักรในการทดสอบระบบ

1) อาคาร 3 โรงผลิตดิสก์เบรก หน่วยงานอัดขึ้นรูปร้อนดิสก์เบรก

2) Heater Hot Press (Hot Press Machine 10)

**ภาพประกอบ 67** Heater Hot Press

**4.1.2 อุปกรณ์และองค์ประกอบที่ใช้ในการทดสอบระบบ**

1) ระบบสำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press ประกอบด้วยโมดูลสำหรับวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า Pzem-004T V3 และไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 V3 สำหรับประมวลผลและส่งข้อมูลไปยัง NETPIE Platform

**ภาพประกอบ 68** อุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า

2) ระบบสำหรับรับค่าและแสดงผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากโมดูล Pzem-004T V3 ประกอบด้วย NETPIE Platform และ NETPIE Freeboard โดย NETPIE Platform เป็นระบบคลาวด์แพลตฟอร์มสำหรับเก็บและประมวลผลข้อมูล เพื่อนำชุดข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปแสดงผลที่ NETPIE Freeboard ในรูปแบบของหน้าจอ Dashboard

**ภาพประกอบ 69** การแสดงผลผ่าน NETPIE Freeboard

3) ระบบสำหรับการแจ้งเตือนข้อมูลสถานะการทำงานที่ผิดปกติที่ตรวจวัดได้จากโมดูล Pzem-004T V3 และประมวลผลบน NETPIE Platform โดยรูปแบบการแจ้งเตือนจะเป็นการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

**ภาพประกอบ 70** การแจ้งเตือนระบบผ่าน LINE Notify

4) เครื่องมือวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เป็นเครื่องมือวัดสำหรับวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ระบบสามารถตรวจวัด แสดงผล และแจ้งเตือนได้ โดยค่าความคาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 คือ 0.2-1% ± 0.01-0.02%

**ภาพประกอบ 71** เครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8

**ตาราง 12** รายละเอียดอุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบ

| รายการอุปกรณ์ | ราคา | จำนวน |
|---|---|---|
| 1. Platform NETPIE 2020 | Free | 1 Platform |
| 2. Application LINE : LINE Notify | Free | 1 Application |
| 3. Connectivity : Wi-Fi | Free | 1 User |
| 4. Node MCU ESP8266 V3 | 315 บาท | 1 ชุด |
| 5. PZEM-004T V3 | 840 บาท | 2 ชุด |
| 6. Power Adapter | 180 บาท | 1 ชุด |
| 7. อุปกรณ์อื่น ๆ | 672 บาท | 15 ชุด |
| **รวม** | 2,007 บาท | 23 Part |

จากตาราง 12 จะเห็นว่าราคาของอุปกรณ์และส่วนประกอบของระบบมียอดรวมสุทธิ 2,007 บาท ถ้าหากเปรียบเทียบกับราคาของเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและมีข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบที่มีประสิทธิภาพไกล้เคียงและสามารถใช้งานบนข้อจำกัดของเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 ในด้านของเวลาและสถานที่ในการใช้งานและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 4.2 การดำเนินการทดสอบระบบ

### 4.2.1 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบระบบ

1) ติดตั้งระบบและเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 สำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press เฟส A และ เฟส B

2) กำหนดเงื่อนไขการการทดสอบระบบ

3) ดำเนินการทดสอบระบบและทำการบันทึกผล

4) วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบระบบ

### 4.2.2 เงื่อนไขในการทดสอบระบบ

1) เงื่อนไขที่ 1 การทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบถูกต้องและความแม่นยำของระบบสำหรับการแสดงผลบน Dashboard เมื่อระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลง

2) เงื่อนไขที่ 2 การทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ และการตอบสนองของระบบสำหรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE เมื่อระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลง

**ตาราง 13** ระยะการทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ

| ระยะทดสอบ | หน่วย | ความเร็ว Internet |
|---|---|---|
| 0 | เมตร | 10 Mbps |
| 1 | เมตร | 10 Mbps |
| 2 | เมตร | 10 Mbps |
| 3 | เมตร | 10 Mbps |
| 4 | เมตร | 10 Mbps |
| 5 | เมตร | 10 Mbps |
| 6 | เมตร | 10 Mbps |
| 7 | เมตร | 10 Mbps |
| 8 | เมตร | 10 Mbps |
| ++ ระยะทดสอบ | เมตร | 10 Mbps |
| ++ ระยะทดสอบ | เมตร | 10 Mbps |

จากระยะห่างในการทดสอบที่กำหนดเบื้องต้นจะเห็นว่าระยะทดสอบจะเพิ่มขึ้นที่ละ 1 เมตร เริ่มจาก 0 เมตร จนถึงระยะที่ระบบไม่สามารถทำงานและตอบสนองได้ เพื่อตรวจสอบการตอบสนองและความเสถียรของระบบสำหรับการติดตั้งใช้งานจริง

**4.2.3 การทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ**

**การทดสอบระบบด้วยเงื่อนไขที่ 1** : ทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบถูกต้องและความแม่นยำของระบบสำหรับการแสดงผลบน Dashboard

**วัตถุประสงค์** : เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการแสดงผลข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากระบบสำหรับการติดตามสถานะการทำงานของ Heater Hot Press ผ่าน NETPIE Freeboard เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เมื่อระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลง

**วิธีการทดสอบระบบ**

1) ติดตั้งระบบและเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เพื่อวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press เฟส A และ เฟส B

2) เปิดระบบการทำงานของ Heater Hot Press ระบบตรวจวัด และเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 ให้พร้อมใช้งานสำหรับการทดสอบระบบ

3) ดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบ และตรวจสอบค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่แสดงผลบน NETPIE Freeboard และหน้าจอแสดงผลของเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8

4) บันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากระบบและเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 ลงในตารางบันทึกผล

5) ทำการทดสอบระบบซ้ำข้อ 1-4 โดยการเปลี่ยนระยะการทดสอบตามเงื่อนไขระยะห่างการทดสอบที่กำหนดจนระบบไม่สามารถตอบสนองหรือรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้

6) ติดตั้งระบบเพื่อตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine 10 ด้วยระยะเวลาการทดสอบและตรวจวัดค่า 5 วัน เพื่อเฝ้าติดตามและบันทึกข้อมูลสถานะการทำงานอย่าง Real-Time

7) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ

**ตาราง 14** ผลการทดสอบการแสดงผลบน Dashboard

| ระยะทดสอบ | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase A | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase A | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase A (%Error) | | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase B | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase B | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase B (%Error) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp |
| 0 | 224.1 V | 2.3 A | 225.9 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% | 226.0 V | 2.3 A | 225.8 V | 2.31 A | 0.09% | 0.04% |
| 1 | 225.9 V | 2.3 A | 225.7 V | 2.32 A | 0.09% | 0.87% | 225.8 V | 2.3 A | 225.6 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% |
| 2 | 225.7 V | 2.3 A | 225.6 V | 2.31 A | 0.04% | 0.44% | 225.7 V | 2.3 A | 225.6 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% |
| 3 | 225.5 V | 2.3 A | 25.6 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% | 225.5 V | 2.3 A | 225.4 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% |
| 4 | 225.1 V | 2.3 A | 225.0 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% | 225.3 V | 2.3 A | 225.1 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% |
| 5 | 225.8 V | 2.3 A | 225.9 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% | 225.8 V | 2.3 A | 225.6 V | 2.32 A | 0.09% | 0.87% |
| 6 | 225.5 V | 2.3 A | 225.4 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% | 225.5 V | 2.3 A | 225.3 V | 2.32 A | 0.09% | 0.87% |

**ตาราง 14 (ต่อ)** ผลการทดสอบการแสดงผลบน Dashboard

| ระยะทดสอบ | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase A | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase A | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase A (%Error) | | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase B | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase B | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase B (%Error) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp |
| 7 | 225.7 V | 2.3 A | 225.9 V | 2.32 A | 0.09% | 0.87% | 225.7 V | 2.3 A | 225.6 V | 2.32 A | 0.04% | 0.87% |
| 8 | 225.5 V | 2.3 A | 225.2 V | 2.31 A | 0.13% | 0.44% | 225.5 V | 2.3 A | 225.3 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% |
| 9 | 225.1 V | 2.3 A | 225.4 V | 2.32 A | 0.13% | 0.87% | 225.1 V | 2.3 A | 225.4 V | 2.32 A | 0.13% | 0.87% |
| 10 | 225.2 V | 2.3 A | 225.5 V | 2.31 A | 0.13% | 0.44% | 225.2 V | 2.3 A | 225.4 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% |
| 11 | 225.1 V | 2.3 A | 225.5 V | 2.33 A | 0.18% | 1.30% | 225.0 V | 2.3 A | 225.3 V | 2.32 A | 0.13% | 0.87% |
| 12 | 225.2 V | 2.3 A | 225.5 V | 2.32 A | 0.13% | 0.87% | 225.2 V | 2.3 A | 225.4 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% |
| 13 | 224.8 V | 2.3 A | 224.6 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% | 224.8 V | 2.3 A | 224.5 V | 2.31 A | 0.13% | 0.44% |

**ตาราง 14 (ต่อ)** ผลการทดสอบการแสดงผลบน Dashboard

| ระยะทดสอบ | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase A | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase A | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase A (%Error) | | ค่าที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase B | | ค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัด Phase B | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase B (%Error) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp | Volt | Amp |
| 14 | 224.7 V | 2.3 A | 224.5 V | 2.32 A | 0.09% | 0.87% | 224.7 V | 2.3 A | 224.7 V | 2.32 A | 0.09% | 0.87% |
| 15 | 225.1 V | 2.3 A | 224.8 V | 2.29 A | 0.13% | 0.44% | 225.1 V | 2.3 A | 224.8 V | 2.29 A | 0.13% | 0.44% |
| 16 | 225.5 V | 2.3 A | 225.7 V | 2.31 A | 0.09% | 0.44% | 225.5 V | 2.3 A | 225.6 V | 2.31 A | 0.04% | 0.44% |
| 17 | 225.3 V | 2.3 A | 225.7 V | 2.32 A | 0.18% | 0.87% | 225.3 V | 2.3 A | 225.7 V | 2.32 A | 0.18% | 0.87% |
| 18 | 225.7 V | 2.3 A | 225.3 V | 2.31 A | 0.18% | 0.44% | 225.7 V | 2.3 A | 225.7 V | 2.33 A | 0.18% | 1.30% |
| 19 | 225.7 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A | 225.7 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 20 | 225.5 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A | 225.5 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A |

**ตาราง 15** ตารางสรุปผลการทดสอบระบบด้วยเงื่อนไขที่ 1 (การแสดงผลบน Dashboard)

| ระยะทดสอบ | ค่าความคาดเคลื่อน (%Error) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Phase A | | Phase B | |
| | Volt | Amp | Volt | Amp |
| 0 | 0.09 | 0.44 | 0.09 | 0.44 |
| 1 | 0.09 | 0.87 | 0.09 | 0.44 |
| 2 | 0.04 | 0.44 | 0.04 | 0.87 |
| 3 | 0.04 | 0.87 | 0.04 | 0.87 |
| 4 | 0.04 | 0.87 | 0.04 | 0.87 |
| 5 | 0.04 | 0.87 | 0.09 | 0.87 |
| 6 | 0.04 | 0.87 | 0.09 | 0.87 |
| 7 | 0.09 | 0.87 | 0.04 | 0.87 |
| 8 | 0.13 | 0.44 | 0.09 | 0.44 |
| 9 | 0.13 | 0.87 | 0.13 | 0.87 |
| 10 | 0.13 | 0.44 | 0.09 | 0.44 |
| 11 | 0.18 | 1.30 | 0.13 | 0.87 |
| 12 | 0.13 | 0.87 | 0.09 | 0.44 |
| 13 | 0.09 | 0.44 | 0.13 | 0.44 |
| 14 | 0.09 | 0.87 | 0.09 | 0.87 |
| 15 | 0.13 | 1.74 | 0.13 | 1.74 |
| 16 | 0.09 | 0.44 | 0.04 | 0.44 |
| 17 | 0.18 | 0.87 | 0.18 | 0.87 |
| 18 | 0.18 | 0.44 | 0.18 | 1.30 |
| 19 | ระบบไม่ตอบสนอง | | | |
| 20 | ระบบไม่ตอบสนอง | | | |

จากการทดสอบระบบในการแสดงผลบน Dashboard สามารถออกแบบหน้า NETPIE Freeboard เพื่อใช้ในการติดตามสถานะการทำงานของ Heater Hot Press โดยมีการแสดงผลค่า Voltage Phase A, Current Phase A, Power Phase A, Power Factor Phase A, Voltage Phase B, Current Phase B, Power Phase B, Power Factor Phase B และ Graph V, I, P, pf ได้ดังภาพประกอบ 72

**ภาพประกอบ 72** การแสดงผลข้อมูลบน NETPIE Freeboard

**การทดสอบระบบด้วยเงื่อนไขที่ 2** : ทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ และความรวดเร็วของระบบสำหรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE

**วัตถุประสงค์** : เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำที่ตรวจวัดได้ และความรวดเร็วของระบบสำหรับการแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของ Heater Hot Press ผ่าน LINE Notify เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เมื่อระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตมีการเปลี่ยนแปลง

**วิธีการทดสอบระบบ**

1) ติดตั้งระบบและเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 เพื่อวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press เฟส A และ เฟส B

2) เปิดระบบการทำงานของ Heater Hot Press ระบบตรวจวัด และเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 ให้พร้อมใช้งานสำหรับการทดสอบระบบ

3) ดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบ และตรวจสอบค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่แสดงผลบนหน้าจอแสดงผลของเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 และค่าที่แจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

4) บันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในสภาวะการทำงานที่ผิดปกติลงในตารางบันทึกผล รวมถึงบันทึกค่าเวลาที่เครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 วัดได้ และบันทึกค่าเวลาที่ระบบมีการแจ้งเตือนสภาวะการทำงานที่ผิดปกติผ่าน LINE Notify ลงในตารางบันทึกผล

5) ทำการทดสอบระบบซ้ำข้อ 1-4 โดยการเปลี่ยนระยะการทดสอบตามเงื่อนไขระยะห่างการทดสอบที่กำหนดจนระบบไม่สามารถตอบสนองหรือรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้

6) ทำการทดสอบการแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของ Heater Hot Press ด้วยเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อตรวจสอบการแจ้งเตือนสำหรับป้องกันสถานะการทำงานที่ผิดปกติของ Heater Hot Press อย่าง Real-Time

6) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ

**ตาราง 16** ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่าน LINE

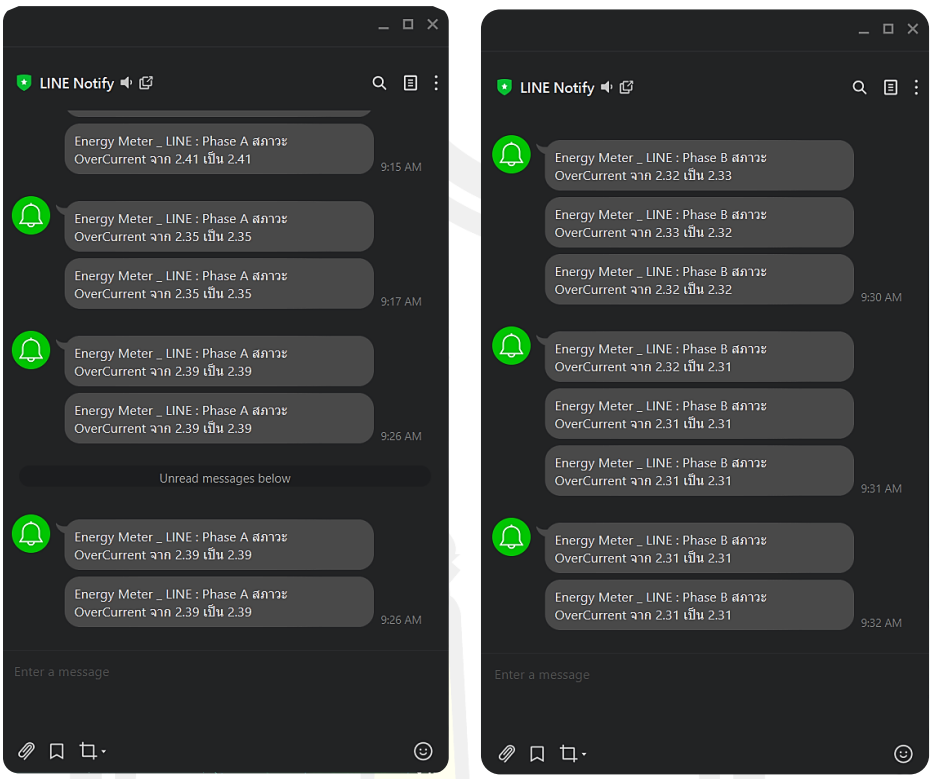
| ระยะทดสอบ | Date & Time ที่ตรวจวัดและแสดงผลด้วย Fluke Energy | ค่า Parameter ที่วัดได้จาก Fluke Energy Phase A | | Date & Time ที่ตรวจวัดและแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify | ค่า Parameter ที่ตรวจวัดและแจ้งเตือนผ่าน LINE Phase A | | ค่าความคาดเคลื่อน Phase A (Delay) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Voltage | Current | | Voltage | Under Current | |
| 0 | 13.35 น. | 228.8 V | 2.3 A | 13.35 น. | 228.6 V | 2.28 A | 0 นาที |
| 1 | 13.36 น. | 228.5 V | 2.3 A | 13.36 น. | 228.6 V | 2.27 A | 0 นาที |
| 2 | 13.39 น. | 228.7 V | 2.3 A | 13.39 น. | 228.6 V | 2.28 A | 0 นาที |
| 3 | 13.40 น. | 228.6 V | 2.3 A | 13.40 น. | 228.7 V | 2.28 A | 0 นาที |
| 4 | 13.41 น. | 228.9 V | 2.3 A | 13.41 น. | 228.8 V | 2.29 A | 0 นาที |
| 5 | 14.21 น. | 228.1 V | 2.3 A | 14.21 น. | 227.9 V | 2.32 A | 0 นาที |
| 6 | 14.28 น. | 228.0 V | 2.3 A | 14.28 น. | 228.2 V | 2.31 A | 0 นาที |
| 7 | 14.32 น. | 228.5 V | 2.3 A | 14.32 น. | 228.1 V | 2.33 A | 0 นาที |
| 8 | 14.38 น. | 227.9 V | 2.3 A | 14.38 น. | 227.6 V | 2.32 A | 0 นาที |
| 9 | 14.59 น. | 227.6 V | 2.3 A | 14.59 น. | 227.7 V | 2.31 A | 0 นาที |
| 10 | 15.02 น. | 227.6 V | 2.3 A | 15.02 น. | 227.5 V | 2.27 A | 0 นาที |
| 11 | 15.05 น. | 227.9 V | 2.3 A | 15.05 น. | 228.0 V | 2.29 A | 0 นาที |
| 12 | 15.10 น. | 228.5 V | 2.3 A | 15.11 น. | 227.9 V | 2.25 A | 1 นาที |
| 13 | 15.17 น. | 228.4 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 14 | 15.20 น. | 227.8 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 15 | 15.25 น. | 228.1 V | 2.3 A | N/A | N/A | N/A | N/A |

**ตาราง 17** ตารางสรุปผลการทดสอบระบบด้วยเงื่อนไขที่ 2 (การแจ้งเตือนผ่าน LINE)

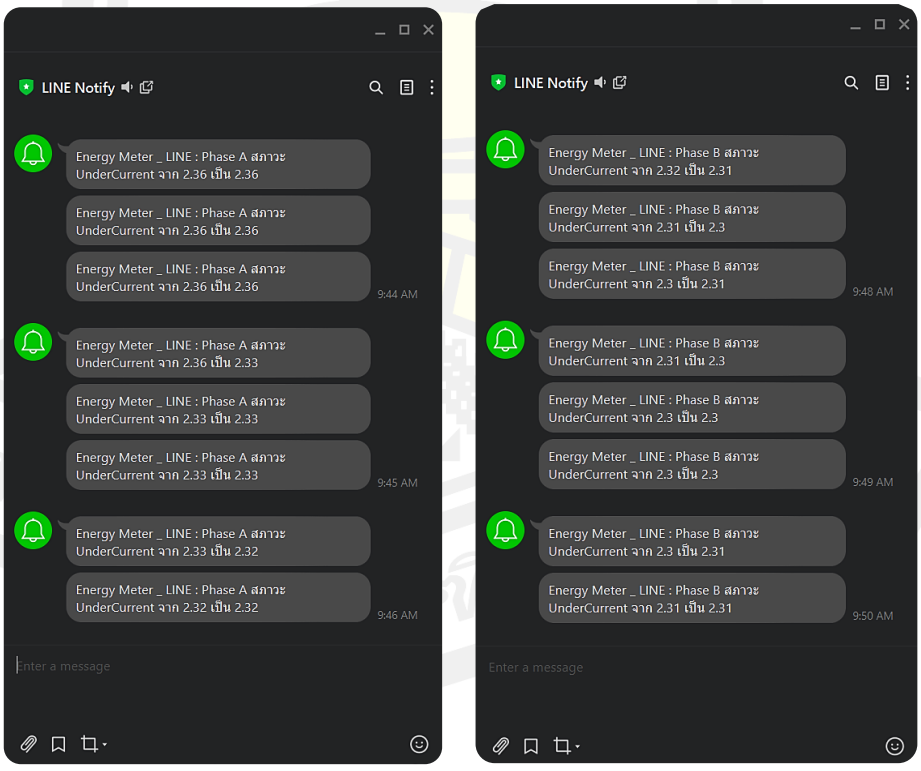
| ระยะทดสอบ | ค่าความคาดเคลื่อน (%Error) | | Delay | |
|---|---|---|---|---|
| | Volt | Amp | min | %Delay |
| 0 | 0.09 | 0.87 | 0 | 0 |
| 1 | 0.04 | 1.30 | 0 | 0 |
| 2 | 0.04 | 0.87 | 0 | 0 |
| 3 | 0.04 | 1.30 | 0 | 0 |
| 4 | 0.04 | 0.44 | 0 | 0 |
| 5 | 0.09 | 0.87 | 0 | 0 |
| 6 | 0.09 | 0.44 | 0 | 0 |
| 7 | 0.18 | 1.30 | 0 | 0 |
| 8 | 0.13 | 0.87 | 0 | 0 |
| 9 | 0.04 | 0.44 | 0 | 0 |
| 10 | 0.04 | 1.30 | 0 | 0 |
| 11 | 0.04 | 0.44 | 0 | 0 |
| 12 | 0.26 | 2.17 | 1 | 1.67 |
| 13 | ระบบไม่ตอบสนอง | | | |

จากการทดสอบระบบในการแจ้งเตือนผ่าน LINE มีการกำหนดเงื่อนไขการทดสอบการแจ้งเตือนเพื่อป้องกันสถานะการทำงานที่ผิดปกติของ Heater Hot Press 4 สถานะ ได้แก่ กระแสสูงเกิน (Over Current) กระแสต่ำเกิน (Under Current) แรงดันสูงเกิน (Over Voltage) และแรงดันต่ำเกิน (Under Voltage) โดยมีการกำหนดเงื่อนไขการทดสอบการแจ้งเตือน ดังนี้

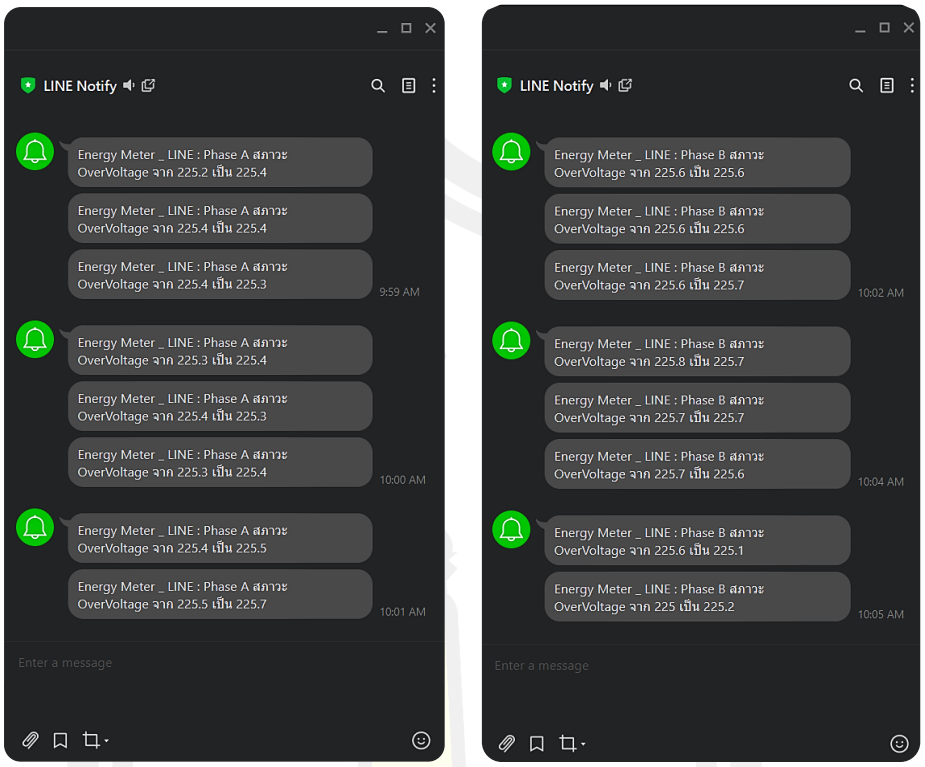
- สถานะกระแสสูงเกิน ถ้ากระแสสูงกว่า 2.3 A ให้แจ้งเตือนไปที่ LINE Notify แสดงดังภาพประกอบ 73
- สถานะกระแสต่ำเกิน ถ้ากระแสต่ำกว่า 2.4 A และไม่เท่ากับ 0 A ให้แจ้งเตือนไปที่ LINE Notify แสดงดังภาพประกอบ 74
- สถานะแรงดันสูงเกิน ถ้าแรงดันสูงกว่า 220 V ให้แจ้งเตือนไปที่ LINE Notify แสดงดังภาพประกอบ 75
- สถานะแรงดันต่ำเกิน ถ้าแรงดันต่ำกว่า 230 V ให้แจ้งเตือนไปที่ LINE Notify แสดงดังภาพประกอบ 76



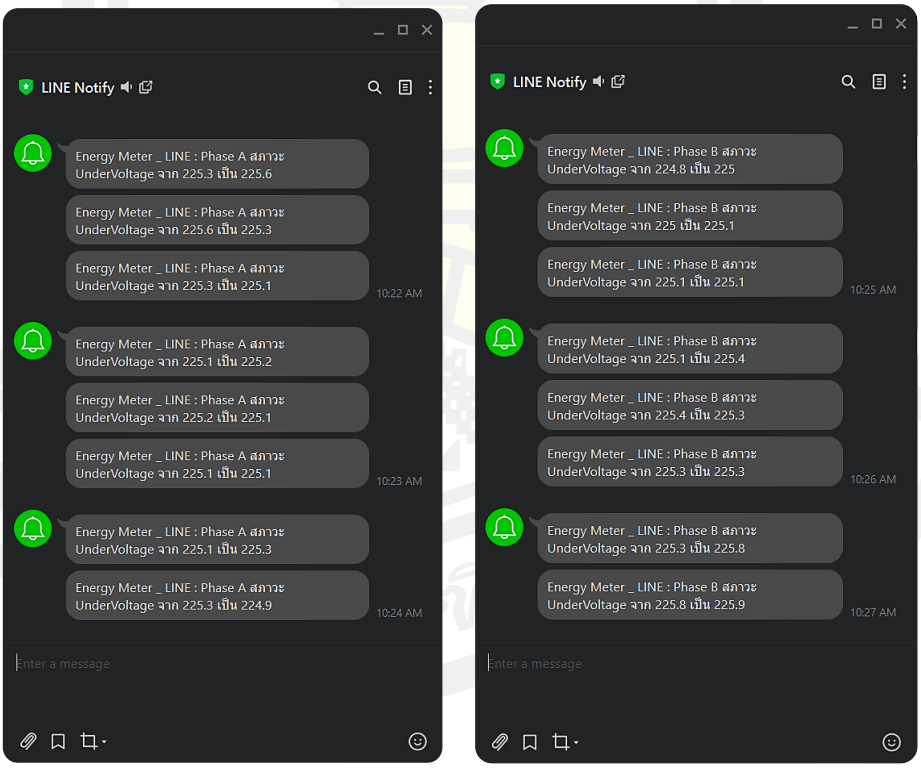

**ภาพประกอบ 73** การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Over Current Phase A & B




**ภาพประกอบ 74** การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Under Current Phase A & B




**ภาพประกอบ 75** การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Over Voltage Phase A & B




**ภาพประกอบ 76** การแจ้งเตือนค่าสถานะการทำงาน Under Voltage Phase A & B

**4.3 การวิเคราะห์ผลการติดตั้งใช้งานระบบ**

ส่วนนี้จะเป็นการทดสอบและบันทึกข้อมูลจากการนำระบบไปติดตั้งใช้งานจริงเพื่อดูค่าสถานะและแนวโน้มพฤติกรรมการทำงานของเครื่องจักร (Hot Press Machine 10) โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้และคาดการณ์การเกิด Downtime ของเครื่องจักรดังกล่าว

ข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press (Hot Press Machine 10) โดยข้อมูลตัวอย่างการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าดังตาราง 18 และข้อมูลตัวอย่างการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าดังตาราง 19

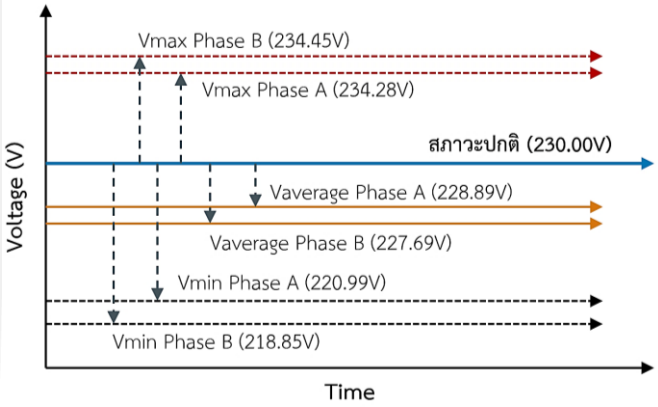
**ตาราง 18** ตัวอย่างข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

| วันที่บันทึกข้อมูล | เวลาในการบันทึก | Phase A | Phase B |
|---|---|---|---|
| วันที่ 1<br>14-03-65 | 23:50:00 | 228.987 | 226.252 |
| | 23:51:00 | 227.818 | 224.525 |
| | 23:52:00 | 226.345 | 225.66 |
| | 23:53:00 | 226.832 | 226.343 |
| | 23:54:00 | 227.799 | 226.995 |
| | 23:55:00 | 227.324 | 227.435 |
| | 23:56:00 | 229.239 | 229.949 |
| | 23:57:00 | 230.285 | 229.922 |
| วันที่ 2<br>15-03-65 | 0:00:00 | 227.126 | 227.213 |
| | 0:01:00 | 228.46 | 227.014 |
| | 0:02:00 | 226.111 | 225.498 |
| | 0:03:00 | 228.364 | 225.389 |
| | 0:04:00 | 228.813 | 226.434 |
| | 0:05:00 | 227.857 | 225.865 |
| | 0:06:00 | 228.17 | 226.615 |
| | 0:07:00 | 226.741 | 225.393 |

**ตาราง 18 (ต่อ)** ตัวอย่างข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

| วันที่บันทึกข้อมูล | เวลาในการบันทึก | Phase A | Phase B |
|---|---|---|---|
| วันที่ 3 16-03-65 | 0:00:00 | 228.081 | 227.288 |
| | 0:01:00 | 228.973 | 228.564 |
| | 0:02:00 | 229.713 | 228.96 |
| | 0:03:00 | 229.965 | 226.852 |
| | 0:04:00 | 232.342 | 228.139 |
| | 0:05:00 | 232.048 | 229.04 |
| | 0:06:00 | 233.223 | 229.401 |
| | 0:07:00 | 233.275 | 228.539 |
| วันที่ 4 17-03-65 | 0:00:00 | 230.185 | 231.2 |
| | 0:01:00 | 231.285 | 229.981 |
| | 0:02:00 | 230.746 | 226.013 |
| | 0:03:00 | 231.861 | 225.672 |
| | 0:04:00 | 232.276 | 225.475 |
| | 0:05:00 | 230.273 | 226.937 |
| | 0:06:00 | 230.231 | 229.656 |
| | 0:07:00 | 230.188 | 232.407 |
| วันที่ 5 18-03-65 | 0:00:00 | 228.704 | 227.44 |
| | 0:01:00 | 228.764 | 228.409 |
| | 0:02:00 | 231.201 | 228.925 |
| | 0:03:00 | 231.41 | 227.69 |
| | 0:04:00 | 230.893 | 229.009 |
| | 0:05:00 | 231.02 | 230.543 |
| | 0:06:00 | 230.628 | 230.045 |
| | 0:07:00 | 228.556 | 230.881 |

จากข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine 10 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด Phase A เท่ากับ 234.28 Volt Phase B เท่ากับ 234.45 Volt ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด Phase A เท่ากับ 220.99 Volt Phase B เท่ากับ 218.85 Volt และค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย Phase A เท่ากับ 228.89 Volt Phase B เท่ากับ 227.69 Volt จะเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine 10 มีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันไฟฟ้าสภาวะการทำงานปกติของ Hot Press Machine 10 ที่ช่วงแรงดัน 230 Volt และค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด Phase A และ Phase B มีค่าสูง ทำให้สามารถคาดการณ์ได้เบื้องต้นว่าช่วงแรงดันดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุทำให้ Heater ขาดหรือชำรุดได้




**ภาพประกอบ 77** การวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

**ตาราง 19** ตัวอย่างข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (Current) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

| วันที่บันทึกข้อมูล | เวลาในการบันทึก | Phase A | Phase B |
|---|---|---|---|
| วันที่ 1 14-03-65 | 23:40:00 | 29.7831 | 31.4429 |
| | 23:41:00 | 29.6961 | 30.979 |
| | 23:42:00 | 29.7828 | 30.8791 |
| | 23:43:00 | 30.2356 | 30.7373 |
| | 23:49:00 | 29.7058 | 31.9072 |
| | 23:50:00 | 29.6619 | 31.1336 |
| | 23:51:00 | 29.4412 | 30.7087 |
| | 23:52:00 | 30.39 | 30.7002 |

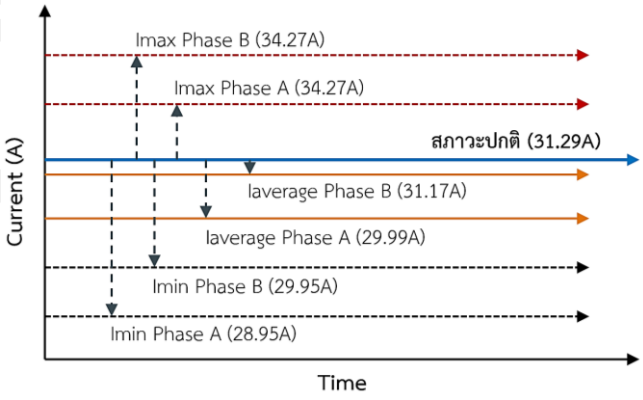
**ตาราง 19 (ต่อ)** ตัวอย่างข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (Current) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

| วันที่บันทึกข้อมูล | เวลาในการบันทึก | Phase A | Phase B |
|---|---|---|---|
| วันที่ 2 15-03-65 | 0:00:00 | 29.628 | 30.9886 |
| | 0:01:00 | 30.4868 | 30.8967 |
| | 0:02:00 | 29.9329 | 30.356 |
| | 0:07:00 | 29.8741 | 32.2473 |
| | 0:08:00 | 29.7924 | 31.175 |
| | 0:09:00 | 31.0909 | 30.8972 |
| | 0:10:00 | 30.0335 | 30.8485 |
| | 0:11:00 | 29.9298 | 30.5029 |
| วันที่ 3 16-03-65 | 0:03:00 | 32.6212 | 31.9291 |
| | 0:04:00 | 30.8168 | 31.3747 |
| | 0:05:00 | 30.0398 | 31.3144 |
| | 0:06:00 | 30.1315 | 31.3028 |
| | 0:07:00 | 30.0527 | 31.1801 |
| | 0:12:00 | 30.9453 | 32.3801 |
| | 0:13:00 | 30.5002 | 31.6072 |
| | 0:14:00 | 30.4076 | 31.2856 |
| วันที่ 4 17-03-65 | 0:02:00 | 30.0861 | 32.8114 |
| | 0:03:00 | 29.9842 | 31.4074 |
| | 0:04:00 | 29.975 | 30.7745 |
| | 0:05:00 | 30.6209 | 30.8862 |
| | 0:06:00 | 30.1705 | 31.2569 |
| | 0:11:00 | 30.0178 | 33.2611 |
| | 0:12:00 | 30.063 | 31.5574 |
| | 0:13:00 | 30.3425 | 30.8293 |

**ตาราง 19 (ต่อ)** ตัวอย่างข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (Current) ที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

| วันที่บันทึกข้อมูล | เวลาในการบันทึก | Phase A | Phase B |
|---|---|---|---|
| วันที่ 5 18-03-65 | 0:00:00 | 29.9658 | 31.2246 |
| | 0:01:00 | 29.9453 | 31.0893 |
| | 0:02:00 | 30.0358 | 31.093 |
| | 0:07:00 | 30.556 | 31.0407 |
| | 0:08:00 | 29.9558 | 33.2415 |
| | 0:09:00 | 30.0451 | 31.5919 |
| | 0:10:00 | 29.9431 | 31.0096 |
| | 0:15:00 | 30.6423 | 30.9973 |

จากข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine 10 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด Phase A เท่ากับ 32.62 A Phase B เท่ากับ 34.27 A ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุด Phase A เท่ากับ 28.95 A Phase B เท่ากับ 29.95 A และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย Phase A เท่ากับ 29.99 A Phase B เท่ากับ 31.17 A จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่าค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะการทำงานปกติของ Hot Press Machine จึงสามารถคาดการณ์ได้เบื้องต้นว่า Heater มีโอกาสและมีแนวโน้มที่จะขาดหรือชำรุดได้ ซึ่งจากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด Phase A และ Phase B มีค่าสูง จึงสามารถคาดการณ์ได้เบื้องต้นว่าช่วงค่ากระแสดังกล่าวอาจทำให้เกิดสภาวะ Overload ที่ทำให้ Heater ขาดหรือชำรุด และจากค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุด Phase A และ Phase B มีค่าต่ำ ทำให้คาดการณ์ได้ว่า Heater บางแท่งในแม่พิมพ์ Hot Press Machine อาจมีการขาดหรือชำรุด




**ภาพประกอบ 78** การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine

จากข้อมูลค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Hot Press Machine 10 ที่มีการบันทึกและจัดเก็บเก็บข้อมูลไว้บนคลาวด์ NETPIE Platform ซึ่งได้ถูกนำมาวิเคราะห์และคาดการณ์เบื้องต้นถึงอาการชำรุดเสียหายของ Heater ที่อยู่ในเครื่องจักรดังกล่าว เพื่อให้การคาดการณ์มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น อาจจะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วย โมเดลวิเคราะห์การถดถอย (Regression model) เพื่อใช้ในการทำนายอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของ Heater ที่อยู่ภายในเครื่องจักร และนำผลการวิเคราะห์มาใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาในขั้นตอนต่อไปให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

# บทที่ 5

# สรุปผลการดำเนินงาน

## 5.1 ผลการวิจัย

การพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things เข้ามาใช้งานร่วมกับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต โดยการดำเนินงานได้ออกแบบระบบซึ่งมีการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ Hardware และเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ด Microcontroller สำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Hot Press จากนั้นส่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปประมวลผลและจัดเก็บบน NETPIE Platform แสดงผลข้อมูลแบบ Real-Time ด้วย NETPIE Freeboard และแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรผ่าน LINE Notify

องค์ประกอบของระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก คือ Hardware & Microcontroller เป็นส่วนที่ใช้สำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าด้วยโมดูล Pzem-004T V3 เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีสำหรับประมวลผล และส่งข้อมูลโดย Node MCU ESP8266 V3 ส่วนที่สอง คือ การเชื่อมต่อระบบด้วยสัญญาณอินเทอร์เน็ตในรูปแบบ Wi-Fi และส่วนที่ 3 คือ Software & User Interface เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประมวลผลข้อมูล แสดงผลข้อมูล และแจ้งเตือนข้อมูลสถานะการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งส่วนที่ใช้ประมวลผลข้อมูล คือ NETPIE Platform ส่วนที่ใช้แสดงผลข้อมูล คือ NETPIE Freeboard และส่วนที่ใช้แจ้งเตือนข้อมูล คือ LINE Notify ส่วนประกอบของระบบทั้ง 3 ส่วนจะทำงานเชื่อมโยงกันเพื่อติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรแบบ Real-Time

จากการนำระบบไปติดตั้งเพื่อตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 พบว่าระบบสามารถตรวจวัด แสดงผล และแจ้งเตือนข้อมูลได้ถูกต้องและใกล้เคียงกันกับเครื่องมือวัดดังกล่าว โดยกระบวนการทดสอบได้มีการกำหนดเงื่อนไขออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขการทดสอบที่ 1 เป็นการตรวจสอบถูกต้องและความแม่นยำของระบบสำหรับการแสดงผลบน Dashboard ด้วยระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่มีการเปลี่ยนแปลง พบว่าสามารถใช้งานระบบสำหรับการเฝ้าติดตามสถานะการจ่ายกระแสและแรงดันไฟฟ้าและการทำงานของเครื่องจักรได้อย่าง Real-Time ซึ่งความคาดเคลื่อนในการตรวจวัดและแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 0.18%

และมีค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.04% การตรวจวัดและแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าความคาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 1.30% และมีค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.04% โดยระบบสามารถใช้งานได้ที่ระยะสูงสุดเท่ากับ 18 เมตร และระยะที่ระบบไม่สามารถทำงานและตอบสนองได้ คือ 19 เมตรเป็นต้นไป เงื่อนไขการทดสอบที่ 2 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ และความรวดเร็วของระบบสำหรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE ด้วยระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการแจ้งเตือนสถานะการทำงานที่ผิดปกติของฮีตเตอร์ผ่านไลน์จะมีการแจ้งเตือนความผิดปกติ 4 สถานะ คือ กระแสสูงเกิน กระแสต่ำเกิน แรงดันสูงเกิน และแรงดันต่ำเกิน พบว่าระบบสามารถแจ้งเตือนและตอบสนองได้รวดเร็วในป้องกันการทำงานที่ผิดปกติของฮีตเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ทุก ๆ เงื่อนไขและสามารถใช้งานได้อย่าง Real-Time ซึ่งระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์ที่ระบบสามารถใช้งานและตอบสนองได้เร็วที่สุด คือ 0 – 11 เมตร มีค่า Delay ในการแจ้งเตือนเท่ากับ 0 นาที ความคาดเคลื่อนในการตรวจวัดและแจ้งเตือนค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 1.30% และมีค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.44% และระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์ที่ระบบสามารถใช้งานและตอบสนองได้ช้าที่สุด คือ 12 เมตร มีค่า Delay ในการแจ้งเตือนเท่ากับ 1 นาที และมีค่าความคาดเคลื่อนในการตรวจวัดและการแจ้งเตือนค่ากระแสไฟและแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 2.17% โดยระบบสามารถใช้งานได้ที่ระยะสูงสุดเท่ากับ 12 เมตร และระยะที่ระบบไม่สามารถทำงานและตอบสนองได้ คือ 13 เมตรเป็นต้นไป

จึงสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัด แสดงผล และแจ้งเตือนข้อมูลได้ใกล้เคียงกันกับเครื่องมือวัด Fluke Energy Analyze Plus 3.8 สามารถใช้งานสำหรับการตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลสถานะการทำงานของเครื่องจักรบน Dashboard ได้อย่าง Real-Time ด้วยระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตสูงสุด 18 เมตร และสามารถใช้งานสำหรับการตรวจวัดและแจ้งเตือนเพื่อป้องกันสถานะการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรผ่าน LINE ได้อย่าง Real-Time ด้วยระยะการส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตสูงสุด 12 เมตร อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่บันทึกและจัดเก็บบน Cloud Server NETPIE มาวิเคราะห์และประเมินเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Predictive Maintenance) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

**5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาระบบ**

จากการดำเนินการพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มีปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาระบบ ดังนี้

1) สถานที่หรือบริเวณที่ทำการทดสอบติดตั้งใช้งานระบบ จำเป็นต้องมีระบบอินเทอร์เน็ตอยู่เสมอ เนื่องจากการทำงานของระบบจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณอินเทอร์เน็ตในการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ เพื่อส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปประมวลผลและแสดงผลบน Cloud Platform และแจ้งเตือนผ่าน Application LINE

2) ความเร็วหรือความเสถียรของระบบอินเทอร์เน็ตมีผลต่อการทำงานและความเสถียรของระบบ จำเป็นต้องมีความเร็วและความเสถียรที่เหมาะสมต่อการใช้งานของระบบ

3) สภาพแวดล้อมมีผลต่อความเสถียรของระบบ เช่น มีผนังกั้นหรือมีวัตถุทึบแสดงลดทอนสัญญาณอินเทอร์เน็ต ทำให้ความสามารถในการรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตของระบบลดลง

4) ระบบที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมีการติดตั้งใช้งานเพียง 1 จุด ซึ่งยังไม่ครอบคลุมต่อการใช้งานจริง จึงต้องมีการพัฒนาและติดตั้งระบบให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

**5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงระบบ**

จากการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบติดตามและแจ้งเตือนสถานะการทำงานของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขระบบ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนี้

1) การพัฒนาระบบต่อไปอาจมีการนำอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่มีคุณสมบัติที่สามารถใช้งานได้ในระยะที่ไกลขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีความละเอียดมากขึ้นมาติดตั้งเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ในระยะที่ไกลและมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

2) การวางโครงสร้างเครือข่ายอินเทอร์เน็ตให้ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพต่อการใช้งานของระบบ เพื่อให้การทำงานของระบบมีความเสถียรและตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว

3) การขยายระบบที่ใหญ่ขึ้นและมีข้อมูลที่มากขึ้น จำเป็นต้องมีการขยายในส่วนของ Cloud Server ให้มีพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเพียงพอ ตัวอย่างเช่น NEXTPIE Platform

4) นำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโมเดลวิเคราะห์การถดถอย (Regression model) เพื่อทำนายอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของเครื่องจักร ซึ่งทำให้การคาดการณ์มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นและนำผลการวิเคราะห์มาใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาต่อไป

5) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเพิ่มเติม ได้แก่ Temperature Sensor เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการทำงานของเครื่องจักรและสามารถป้องกันการทำงานที่ผิดปกติได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

# บรรณานุกรม

# บรรณานุกรม


[1] CHAIJAROENTECH. เครื่องจักร ประเภทของเครื่องจักร วิธีการบำรุงรักษา และความรู้เรื่องระบบอัตโนมัติ (Automation System) (ออนไลน์). 2563 [5 ตุลาคม 2564]; สืบค้นจาก: https://www.chi.co.th/

[2] ฉัตรชัย ดิสกร. “การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร : กรณีศึกษาบริษัทก่อสร้าง” [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร; 2560.

[3] วิวัฒน์ มีสุวรรณ์. (2559). อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา. วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม, 4(2), 83-9

[4] ถิรพิรุฬห์ ทองคำวิฑูรย์. (2559). เทคโนโลยี Internet of Things และข้อเสนอแนะในการบริหาร คลื่นความถี่ในประเทศไทย. วารสารวิชาการ กสชท. 1(10), 167-195

[5] พนิตา พงษ์ไพบูลย์, เอมอัชนา นิรันตสุขรัตน์ และ กุลชาติ มีทรัพย์หลาก. (2563). แพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ฐานรากสำคัญสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรมดิจิทัล. วารสารวิชาการ กสชท. 4(4), 270-287

[6] กุลชาติ มีทรัพย์หลาก. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ในภาคอุตสาหกรรม. (ออนไลน์).2561 [12 ธันวาคม 2564]; สืบค้นจาก: https://www.nectec.or.th/

[7] “คู่มือการใช้งาน NETPIE (An Official Guide to NETPIE)” (ออนไลน์). 2560 [10 ธันวาคม 2564]; สืบค้นจาก: http://203.159.154.241/innogoth/wp-content/uploads/2017/09/NETPIE-WS_v23.pdf

[8] วิโรจน์ กิตติวรปรีดา. เอกสารประกอบการสอน: วิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม. สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ; 2556.

[9] สุเมธี อินคำเชื้อ. การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้กระแสไฟฟ้าด้วยเครือข่ายไร้สาย (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2560.

[10] จินตนา จันทร, จุฑาทิพย์ กวานหลวง, นันทภรณ์ แสงเงิน และเนติวิทย์ สิทธินันทวัฒน์. การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2560.

[11] “คู่มือผู้ใช้โมดูลการสื่อสาร AC PZEM-004T V3.0” (ออนไลน์). 2564 [9 กุมภาพันธ์ 2565]; สืบค้นจาก: https://th.manuals.plus/innovatorsguru/ac-communication-module-pzem-004t-v3-0-manual#google_vignette

[12] “LINE” (ออนไลน์). สืบค้นจาก: https://linecorp.com/th/business/service (2565).

[13] “Line notify” (ออนไลน์). สืบค้นจาก: https://www.ibuddyweb.com/news/line-notify/

[14] สุวิทย์ กิระวิทยา และคณะ. “การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ในการสร้างนวัตกรรม”. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท ไทยบริดจสโตน จำกัด; 2562.

[15] ณพวุฒิ โพธิ์หอม. อุปกรณ์แจ้งเตือนอัตโนมัติผ่าน Line, SMS, และ E-Mail (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์; (2561).

[16] กิตติภูมิ เรืองฤทธิ์, ณัฐวุฒิ ชยาวนิช, เชิดชัย ประภานวรัตน์ และ เอกชัย มุจจลินท์วิมุติ. (2563). การพัฒนาระบบติดตามและป้องกันความผิดปกติขณะมอเตอร์ทำงานด้วยแพลตฟอร์มของเน็ตพาย. SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, 6(1), 1-20

[17] สิริวิช ทัดสวน และ ประสิทธิ์สุขเสริม. (2562). การพัฒนาการป้องกันฟอลต์และเฝ้าติดตามมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 9(2), 105-126

[18] เสฏฐวุฒิ เตี้ยเนตร และ วิมาน ใจดี. (2561). การพัฒนาระบบแจงเตือนการเกิดอัคคีภัยผานแอปพลิเคชันไลนดวยเทคโนโลยีอินเทอรเน็ตของสรรพสิ่ง. งานประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม “น้อมนำศาสตร์พระราชา สู่การวิจัยและพัฒนาท้องถิ่น อย่างยั่งยืน”, 310-319

[19] ชินวัจน์ งามวรรณากร, สุทัศน์ รุ่งระวิวรรณ และ อมรเทพ มณีเนียม. (2561). การพัฒนาระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อม ด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง (รายงานผลการวิจัย). ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[20] พิพัฒน์ ถาวรทอง และ นายอนุวัฒน์ สลุบพล. (2558). ระบบแจ้งเตือนสถานะอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าห้องแม่ข่าย (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม

[21] ณัฐพัชญ์ ศรีราจันทร์ และ ภีมวัจน์ วรรณทวี. (2562). การพัฒนาระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมด้วยเซนเซอร์การตรวจจับการสั่นสะเทือนบนเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. Veridian E-Journal Science and Technology, 6(4), 30-44

[22] โอฬาร เชี่ยวชาญ และ อนุกิจ เสาร์แก้ว. (2560). การบูรณาการประยุกต์ใช้ RFID (Radio Frequency Identification) และ iOT (Internet of thing) ผ่านระบบคลาวด์ (Cloud Computing). Industry Technology Lampang Rajabhat University, 10(2), 109-119

[23] อนุธิดา มากมี. (2562). การปรับปรุงกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนโดยใช้เทคนิค QFD และ FMEA (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร

[24] กนกวรรณ ชนะดัสกร. (2561). ผลของเศษฝุ่นที่นำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมต่อสมบัติของผ้าเบรก (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[25] รสสุคนธ์ ผ่องสวัสดิ์. (2552). การปรับปรุงผ้าเบรกโดยใช้สารยึดหยุ่นขนาดนาโน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

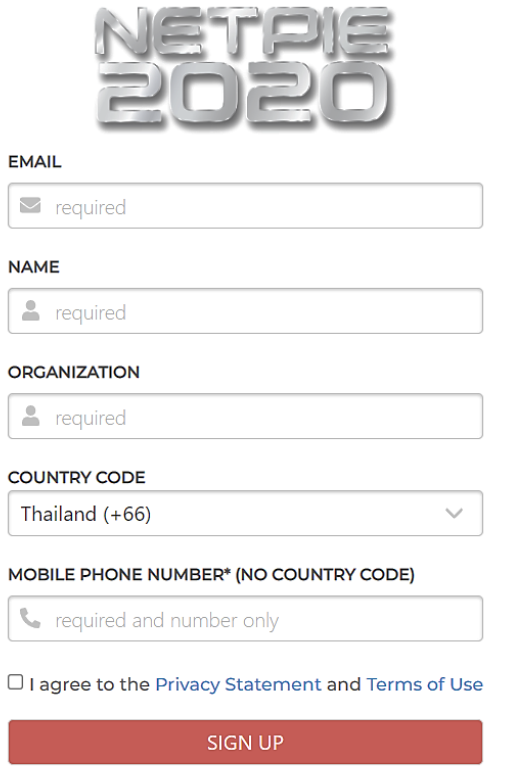
# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# การใช้บริการ NETPIE Platform เบื้องต้น

## 1. การสมัครขอใช้บริการ NETPIE Platform

ขั้นตอนการสมัครขอใช้บริการเพื่อใช้งาน NETPIE 2020 มีรายละเอียดดังนี้

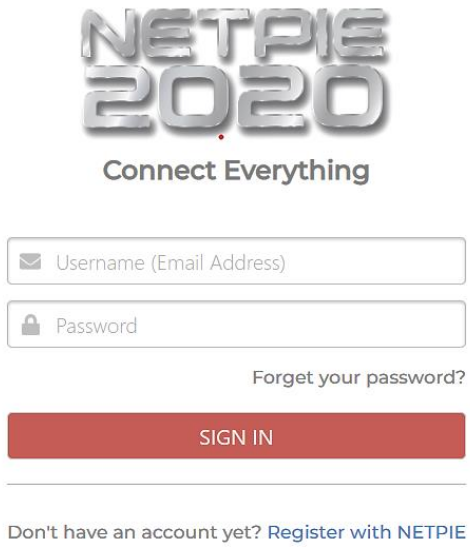
1.1 เข้าไปที่เว็บไซต์ https://netpie.io/ จะปรากฏหน้าเว็บดังภาพประกอบ ก-1 กรอกข้อมูลให้เรียบร้อยครบถ้วน จากนั้นคลิกที่ปุ่ม SIGN UP เพื่อยืนยันการลงทะเบียนสำหรับการขอใช้บริการจาก NETPIE 2020




**ภาพประกอบ ก-1** การลงทะเบียนขอใช้บริการ NETPIE 2020

1.2 เมื่อลงทะเบียนเสร็จแล้ว จากนั้นรอรับ SMS จากทาง NETPIE ซึ่งจะส่งไปยังหมายเลขโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ลงทะเบียนขอใช้บริการไว้ โดย SMS ที่ส่งมาจะเป็นการส่งรหัส (Password) เพื่อทำการเข้าใช้งานครั้งแรก

1.3 คลิกที่ปุ่ม LOG IN เพื่อเข้าสู่ระบบ โดยกรอกอีเมลที่ลงทะเบียนขอใช้บริการใส่ในช่อง Username (Email Address) และนำรหัสที่ได้รับจาก SMS กรอกใส่ในช่อง Password จากนั้นคลิกที่ปุ่ม SING IN ดังภาพประกอบ ก-2

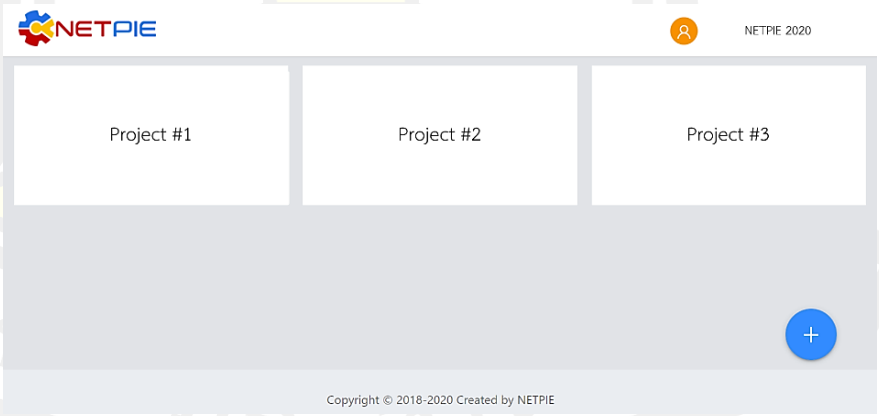



**ภาพประกอบ ก-2** การ LOG IN เข้าใช้บริการ NETPIE 2020

**2. การสร้าง Project บน NETPIE 2020**

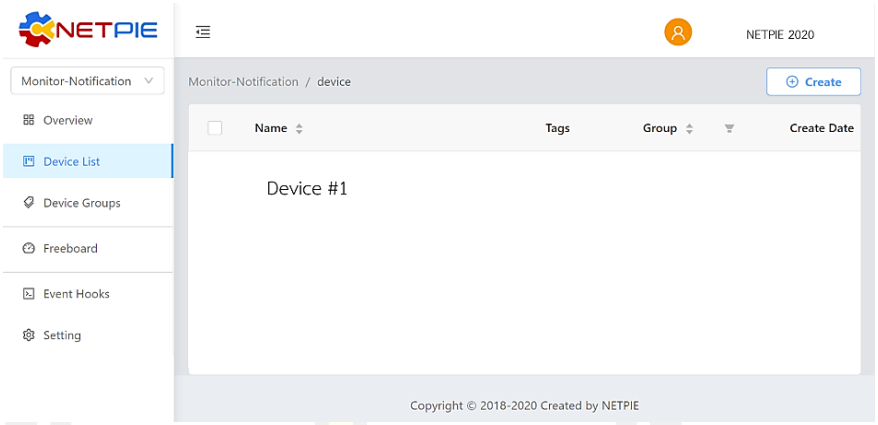
หลังจากที่ได้ทำการสมัครขอใช้บริการ NETPIE 2020 และ LOG IN เข้าใช้งานเรียบร้อย การใช้งานสามารถสร้าง Project ได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การสร้าง Project ทำได้โดยการคลิกที่ปุ่ม + ซึ่งหลังจากคลิกแล้วจะมีหน้าต่าง Pop-up ให้กำหนดชื่อ Project ในช่อง Name และเขียนคำอธิบายในช่อง Description จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Create ดังภาพประกอบ ก-3



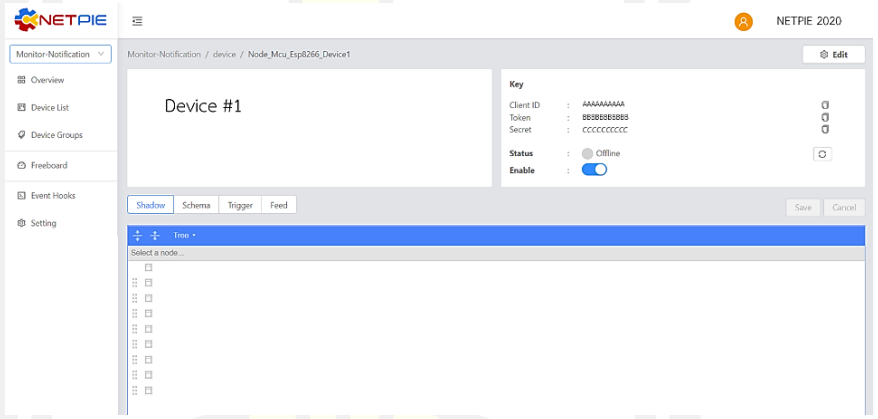

**ภาพประกอบ ก-3** การสร้าง Project บน NETPIE 2020

2.2 หลังจากสร้าง Project เรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้าง Device โดยกดเข้าไปที่ Project ที่สร้างขึ้น แล้วคลิกที่เมนู Device List เพื่อทำการสร้าง Device ที่ปุ่ม Create ดังภาพประกอบ ก-4




**ภาพประกอบ ก-4** การสร้าง Device บน NETPIE 2020

2.3 เมื่อทำการสร้าง Device เสร็จแล้ว จากนั้นคลิกเข้าไปที่ Device จะแสดงรายละเอียดข้อมูลต่างๆ ของ Device รวมถึง Key, Token และ Secret ที่จะนำไปใช้เพื่อให้ Device สามารถเชื่อมต่อเข้ามายัง Platform NETPIE 2020 ได้ ดังภาพประกอบ ก-5

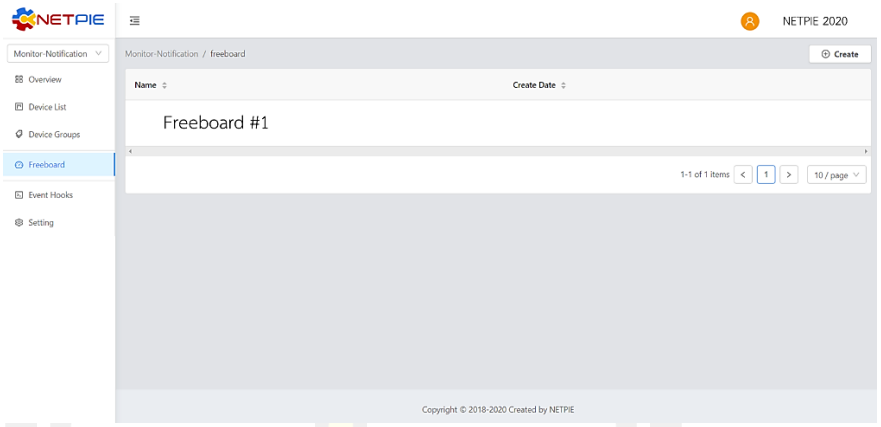



**ภาพประกอบ ก-5** รายละเอียด Device

**3. การสร้าง Freeboard บน NETPIE 2020**

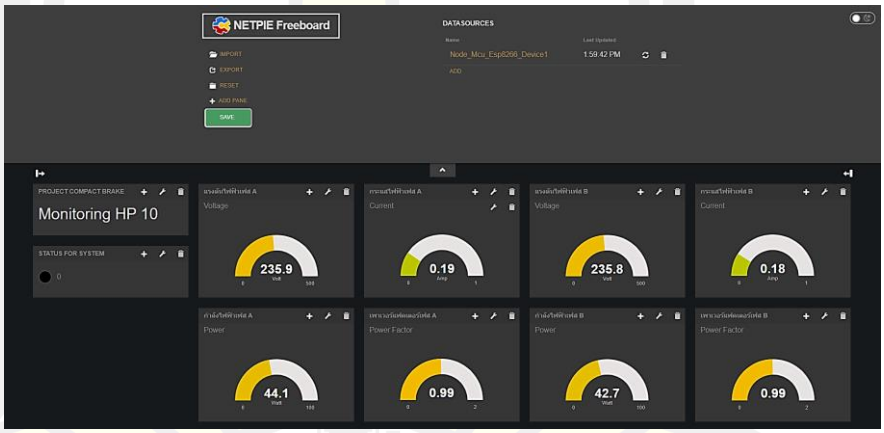
เมื่อสร้าง Project & Device ให้สามารถเชื่อมต่อกับ Platform NETPIE 2020 ได้แล้ว จากนั้นก็จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จาก Device ที่จัดเก็บไว้บน Platform NETPIE มาแสดงผล ซึ่งการสร้างหน้าจอแสดงผลข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การสร้างหน้าจอแสดงผลทำได้โดยคลิกที่เมนู Freeboard จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Create เพื่อสร้างหน้าจอแสดงผล (Freeboard) ดังภาพประกอบ ก-6




**ภาพประกอบ ก-6** การสร้างหน้าจอแสดงผล (Freeboard)

3.2 เมื่อสร้าง Freeboard เสร็จแล้ว จากนั้นคลิกเข้าไปที่ Freeboard เพื่อทำการปรับแต่งค่าใน NETPIE Freeboard สำหรับการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เช่น การแสดงผลในรูปแบบ Text, Gauge, Indicator, lndicator Light และ Feed View ดังภาพประกอบ ก-7



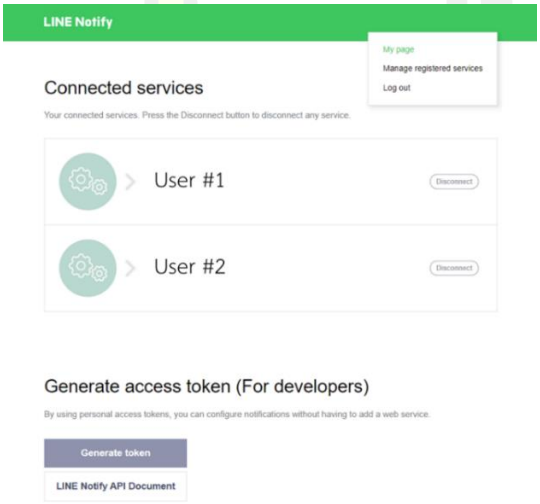

**ภาพประกอบ ก-7** การปรับแต่ง NETPIE Freeboard

# ภาคผนวก ข
# การใช้บริการ LINE Notify เบื้องต้น

## 1. การสมัครขอใช้บริการ LINE Notify

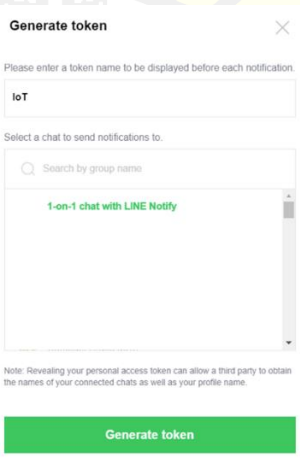
ขั้นตอนการสมัครขอใช้บริการเพื่อใช้งาน LINE Notify มีรายละเอียดดังนี้

1.1 เข้าไปที่เว็บไซต์ https://notify-bot.line.me/my/ จากนั้นทำการ Login เข้าสู่ระบบด้วยอีเมล์และรหัสผ่านเพื่อขอ Token ด้วยการคลิก Generate Token ดังภาพประกอบ ข-1



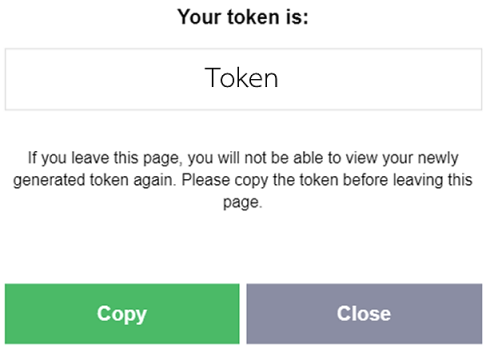

**ภาพประกอบ ข-1** การลงทะเบียนขอใช้บริการ LINE Notify & Token

1.2 เมื่อคลิก Generate Token บนหน้าเว็บไซต์หลักแล้ว จากนั้นจะมี Pop-up ให้กรอกรายละเอียดดังภาพประกอบ ข-2 เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify




**ภาพประกอบ ข-2** การ Generate Token

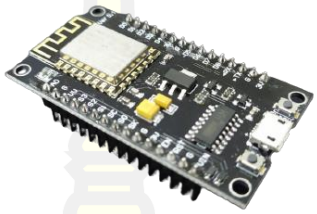
3.3 เมื่อทำการ Generate Token เสร็จแล้วจะมี Pop-up ปรากฏเพื่อแสดง Token จากนั้นทำการ Copy Token สำหรับนำไปใช้ในการเขียนคำสั่งเชื่อมต่อกับ Platform NETPIE ดังภาพประกอบ ข-3




**ภาพประกอบ ข-3** Token

# ภาคผนวก ค
# การใช้งานบอร์ด Node MCU ESP8622 เบื้องต้น

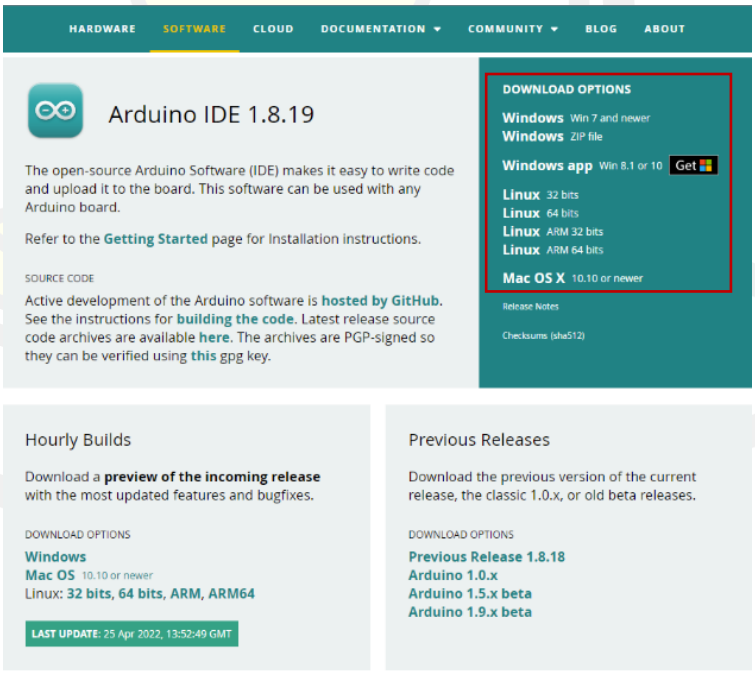
งานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ด Node MCU ESP8266 V3 ดังภาพประกอบ ค-1 เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของโมดูลวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า (Pzem-004T) ส่งข้อมูลและเชื่อมต่อสื่อสารด้วยเครือข่ายแบบวายฟาย (Wi-Fi) เพื่อส่งข้อมูลไปที่ Platform NETPIE 2020 โดยบอร์ดดังกล่าวจะถูกนำมาใช้งานร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งขั้นตอนการใช้งานมีรายละเอียดดังนี้



**ภาพประกอบ ค-1** Node MCU ESP8266 V3

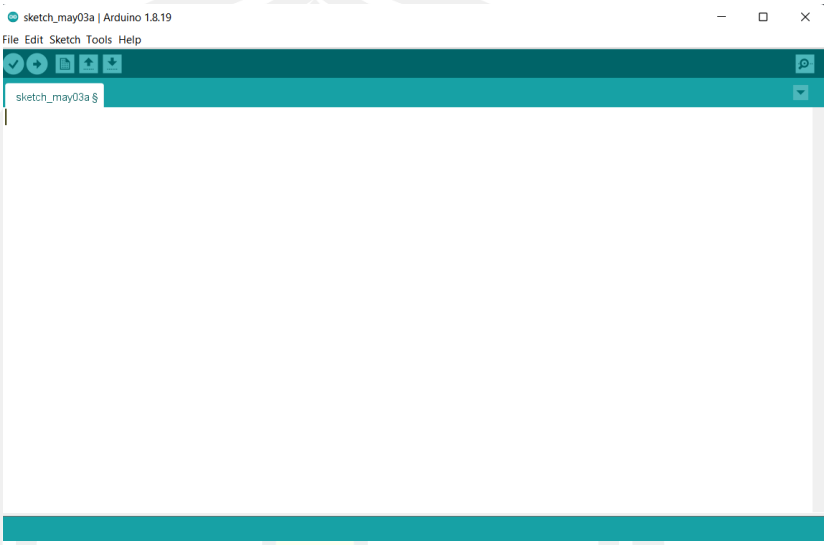
## 1. การดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE

1.1 ดาวน์โหลดโปรแกรมArduino IDE จาก https://www.arduino.cc/en/softwarefy’ ดังภาพประกอบ ค-2 โดยทำการเลือกตามระบบปฏิบัติการที่ใช้งานบนคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Download Options) และทำการติดตั้ง




**ภาพประกอบ ค-2** การดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE

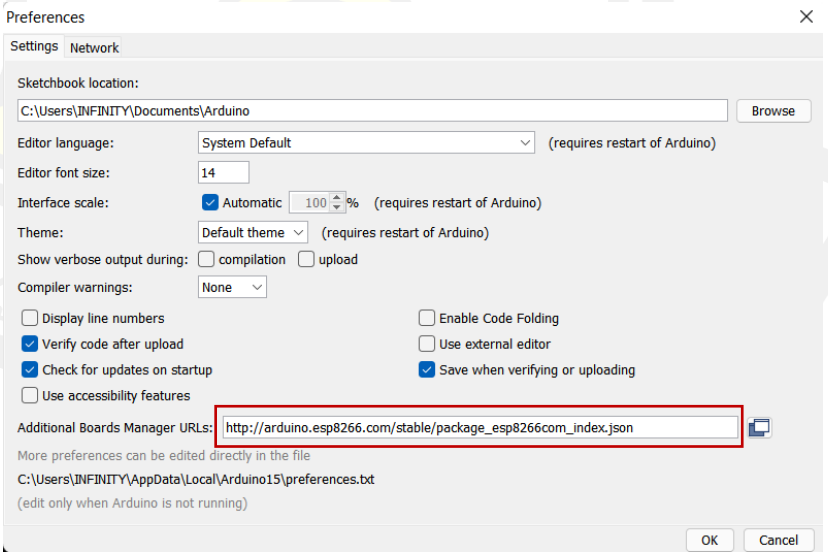
1.2 เมื่อทำการดาวน์โหลดและติดตั้งสำเร็จ จากนั้นทำการเปิดโปรแกรม Arduino IDE จะปรากฏหน้าจอที่แสดงฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ ดังภาพประกอบ ค-3 เป็นอันติดตั้งเสร็จสมบูรณ์และสามารถเริ่มต้นใช้งานได้




**ภาพประกอบ ค-3** โปรแกรม Arduino IDE

**2. การใช้งานโปรแกรม Arduino IDE ร่วมกับ Node MCU ESP8266 V3**

2.1 ทำการเปิดโปรแกรม Arduino IDE คลิกที่ที่เมนู File -> Preferences เพื่อติดตั้งบอร์ด Node MCU ESP8266 ในรูปแบบออนไลน์ด้วยการเพิ่ม URL ลงในช่อง Additional Boards Manager URLs ดังภาพประกอบ ค-4

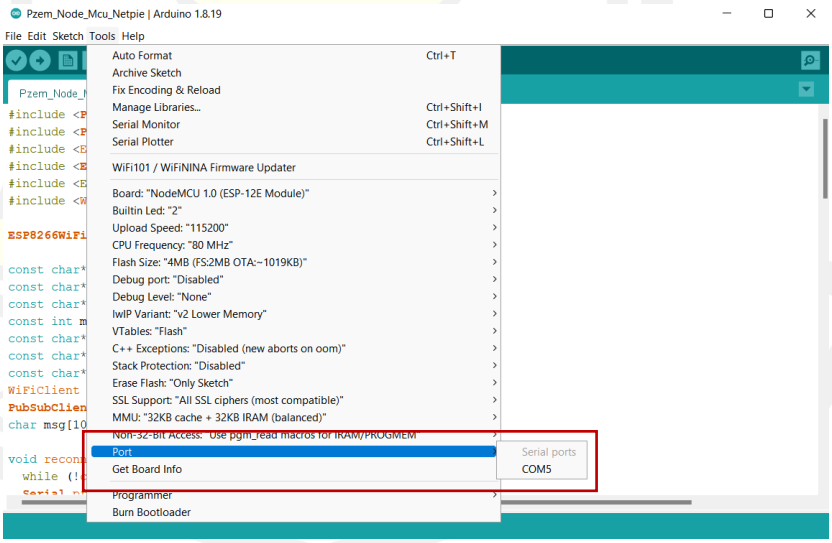



**ภาพประกอบ ค-4** การเพิ่ม URL สำหรับติดตั้งบอร์ด Node MCU ESP8266

2.2 คลิกที่ที่เมนู Tool -> Board -> Board Manager เพื่อทำการค้นหาและติดตั้งบอร์ด Node MCU ESP8266 สำหรับใช้งานบอร์ดเพื่อเขียนโค๊ตหรือคำสั่งบนโปรแกรม Arduino IDE ดังภาพประกอบ ค-5

**ภาพประกอบ ค-5** การค้นหาและติดตั้งบอร์ด Node MCU ESP8266 แบบออนไลน์

2.3 คลิกที่เมนู Tools -> Port เพื่อเลือกพอร์ตให้ตรงกันสำหรับการเชื่อมต่อบอร์ด Node MCU ESP8266 กับ USB Port ของคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊คให้สามารถอัพโหลดโค๊ตโปรแกรมต่างๆ ดังภาพประกอบ ค-6




**ภาพประกอบ ค-6** การเชื่อมต่อบอร์ด Node MCU ESP8266 กับ USB Port

# ภาคผนวก ง
# การใช้งานโมดูล Pzem-004T เบื้องต้น

งานวิจัยนี้เลือกใช้โมดูล Pzem-004T ดังภาพประกอบ ง-1 เพื่อใช้สำหรับวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ (Heater Hot Press) ของเครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์ร้อน เพื่อนำไปประมวลผลผ่าน Node MCU ESP8266 V3 และส่งข้อมูลไปที่คลาวด์เน็ตพาย (NETPIE Platform)

**ภาพประกอบ ง-1** โมดูลสำหรับวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า Pzem-004T

## 1. คุณสมบัติทางเทคนิคของโมดูล Pzem-004T

1.1 สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 80 - 260VAC

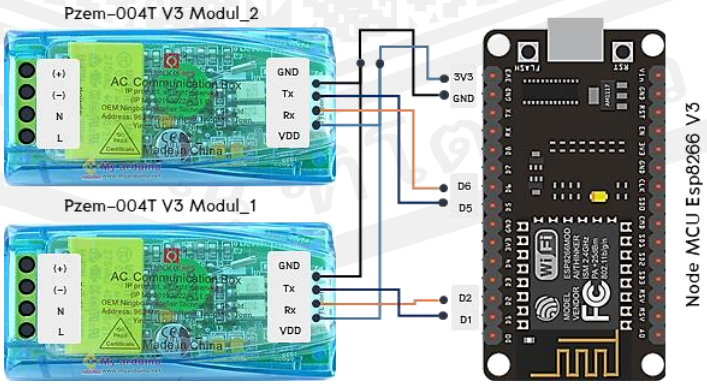
1.2 สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 - 100A และวัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วย CT (Current Transformer)

1.3 สามารถทำงานได้ที่ความถี่ 45 - 65Hz

1.4 สามารถสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย UART หรือ (Serial)

## 2. การเชื่อมต่อโมดูล Pzem-004T กับ Node MCU ESP8266 V3

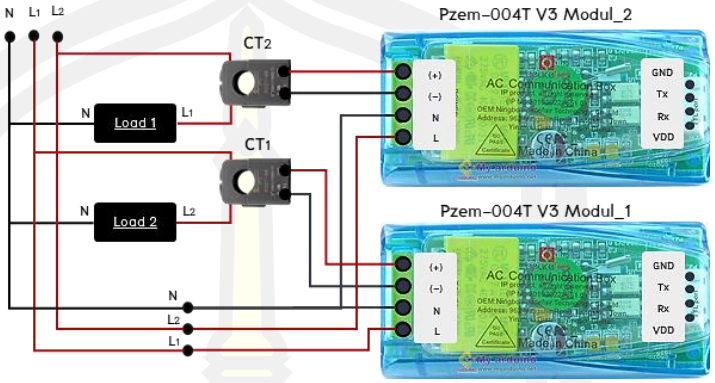
ภาพประกอบ ง-2 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบและลักษณะการเชื่อมต่อวงจรระหว่างโมดูล Pzem-004T กับ Node MCU ESP8266 V3 เพื่อให้อุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วนสามารถรับ-ส่งและแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้




**ภาพประกอบ ง-2** การเชื่อมต่อโมดูล Pzem-004T กับ Node MCU ESP8266 V3

**2. การเชื่อมต่อโมดูล Pzem-004T สำหรับตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า**

ภาพประกอบ ง-3 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบและลักษณะการเชื่อมต่อวงจรเพื่อตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าด้วยโมดูล Pzem-004T




**ภาพประกอบ ง-3** การเชื่อมต่อโมดูล Pzem-004T เพื่อตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ** | นายวิยศพล กวนคอนสาร |
| **วันเกิด** | วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2540 |
| **สถานที่เกิด** | อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม |
| **สถานที่อยู่ปัจจุบัน** | บ้านเลขที่ 115 หมู่ที่ 2 ตำบลบัวค้อ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000 |
| **ประวัติการศึกษา** | พ.ศ. 2558 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนผดุงนารี จังหวัดมหาสารคาม |
| | พ.ศ. 2563 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| | พ.ศ. 2565 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |