



ระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดโซลาร์เซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

นายชัยวัฒน์ บัวงาม

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

The seal of Prince of Songkla University is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst at the top. Flanking the central umbrella are two smaller, three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The text "มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ" (Mahavithayalai Technonoi Phra Chomklao Phra Nakhon Nuea) is written in Thai script around the bottom half of the seal.

นายชัยวัฒน์ บัวงาม

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองโครงร่างการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

โดย นายชัยวัฒน์ บัวงาม

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา สดสี)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ
(ดร.ชูชาติ หฤไชยะศักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาลีรัตน์ มะลิแย้ม)

..... กรรมการ
(ดร.กาญจนา วิริยะพันธ์)

ชื่อ : นายชัยวัฒน์ บัวงาม
 ชื่อการค้นคว้าอิสระ : ระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดปกติโซล่าเซลล์ที่
 เลื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง
 สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาลีรัตน์ มะลิแย้ม
 ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นส่วนสำคัญในการสร้างอนาคตที่ยั่งยืนเนื่องจากช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีจำนวนจำกัดซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การค้นคว้าอิสระนี้ได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อช่วยติดตามการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบเรียลไทม์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ทำงานสามารถตรวจสอบและติดตามการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถแก้ไขปรับปรุงกระบวนการทำงานจากปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ต่อเนื่อง เต็มประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้ที่ปฏิบัติเข้าถึง ข้อมูลส่วนที่เกิดข้อผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว ตรงจุด อย่างไรก็ตาม ปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าที่มีไม่ต่ำกว่า 2 ล้านข้อมูลต่อวัน ทำให้เกิดปัญหาด้านการจัดเก็บข้อมูลผู้วิจัยจึงได้ทำการนำข้อมูลดังกล่าว มาผ่านกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลก่อนที่จะถูกนำไปบันทึกลงฐานข้อมูล ซึ่งสามารถลดขนาดของข้อมูลลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ข้อมูลจากฐานข้อมูลยังได้ถูกนำไปใช้เพื่อการแสดงผลในรูปแบบแผนภาพได้อีกด้วย

(มีจำนวนทั้งสิ้น 80 หน้า)

คำสำคัญ : ระบบมอนิเตอร์, พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์, อนุกรมเวลา, การเรียนรู้ของเครื่อง

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Mr. Chaiwat Buangam
 Independent Study Title : Monitoring and detecting defects in degraded solar cells system using machine learning.
 Major Field : Data Science for Innovation
 King Mongkut's University of Technology North
 Bangkok
 Independent Study Advisor : Assistant Professor Dr. Maleerat Maliyam
 Academic Year : 2024

ABSTRACT

Solar energy is essential for creating a sustainable future as it helps reduce dependence on fossil fuels, which are limited in supply and have negative environmental impacts. From this independent research, an information system has been developed to monitor solar energy production in real-time. This system allows operators to check and track the efficiency of solar power generation, enabling timely adjustments and improvements to address any issues that arise, ensuring continuous and optimal electricity production from solar energy. The system helps operators quickly and accurately identify the sources of errors. However, to prevents data flow bottlenecks into the database since the data volume exceeds 2 million records per day. It is anticipated that processing the data before storing it in the database will help reduce its size. Additionally, the data can be used for comparison as historical information and can be presented in graphical formats.

(Total 80 Pages)

Keywords: Monitoring system, Solar Cell, Time Series, Machine Learning

 Advisor

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการค้นคว้าอิสระเกี่ยวกับระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดปกติโซล่าเซลล์ ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่องให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาลีรัตน์ มะลิแย้ม ที่ช่วยสละเวลา และได้นำเสนอข้อคิดเห็นในระหว่างที่ ทำการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณหน่วยงานที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ ไม่ว่าจะเป็นด้าน เครื่องมือในการพัฒนาระบบสารสนเทศ อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารข้อมูลจากพลังงานไฟฟ้าจาก แสงอาทิตย์ ขอขอบคุณมิตรสหายที่ให้แลกเปลี่ยนข้อมูล ในระหว่างการศึกษาในมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา เพื่อนร่วมงาน ที่คอยสนับสนุนในการเรียน ให้กำลังใจ ในการเรียน และช่วยผลักดันให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมา

ชัยวัฒน์ บัวงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)	7
2.2 การเรียนรู้ของเครื่อง	10
2.3 เครื่องมือและภาษาที่ใช้ในการพัฒนา	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	24
3.2 การศึกษาดำเนินการวิจัย	25
3.3 การศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบโซลาร์เซลล์	28
3.4 การศึกษาเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาระบบ	28
3.5 การรวบรวมข้อมูลความต้องการของระบบ	30
3.6 การออกแบบและพัฒนาระบบเพื่อแสดงผลข้อมูล	30
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลการเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย	45
4.1 ผลการเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบมอเอนเตอร์	45
4.2 ผลการพัฒนาระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ	46
4.3 ผลการพัฒนาระบบสำหรับผู้ใช้งาน	50
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและ ข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	53
5.3 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก ก	58
คู่มือการใช้งานระบบสารสนเทศ	59
ภาคผนวก ข	78
แบบประเมินคุณภาพงานระบบสารสนเทศ	79
ประวัติผู้จัดทำการค้นคว้าอิสระ	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	24
3-2 รายละเอียดคุณลักษณะสำหรับผู้ดูแลระบบ	25
3-3 รายละเอียดคุณลักษณะสำหรับผู้ดูแลระบบ	33
3-4 รายละเอียดคุณลักษณะการจัดการข้อมูลโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	33
3-5 รายละเอียดคุณลักษณะวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์	34
3-6 รายละเอียดคุณลักษณะการอนุมัติข้อมูลรายการเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า	34
3-7 รายละเอียดคุณลักษณะการจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน	35
3-8 รายละเอียดคุณลักษณะการจัดการข้อมูลองค์กร	35
3-9 รายละเอียดคุณลักษณะการใช้งานระบบ	36
3-10 รายละเอียดคุณลักษณะการแสดงผลตำแหน่งแผนที่ของโครงการพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์	37
3-11 รายละเอียดคุณลักษณะการแสดงผลการมอนิเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์	37
3-12 รายละเอียดคุณลักษณะการอนุมัติข้อมูลรายการที่เสื่อมสภาพ	38
3-13 รายละเอียดคุณลักษณะการแสดงผลข้อมูลรายการที่เสื่อมสภาพ	38
3-14 คุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลอนุกรมเวลา	39
3-15 การเปรียบเทียบคุณสมบัติแบบจำลอง Isolation Forest และ Autoencoder	40

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 แบบจำลองป่าแยก	11
2-2 แบบจำลองเข้ารหัสอัตโนมัติ	13
2-3 โครงสร้าง MVC (Model-View-Controller)	15
2-4 สภาพแวดล้อมการทำงานของ NextJs	15
2-5 การทำงานของ MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)	16
2-6 ตัวอย่างการใช้งาน InfluxDB	17
2-7 การใช้งาน Tailwind CSS	18
2-8 ข้อมูลที่สามารถเรียกใช้จากบริการเว็บสถานีอากาศ	19
2-9 หน้าจอแสดงผลของระบบตรวจสอบติดตามโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	19
2-10 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลจาก พลังงาน และอุณหภูมิ	20
3-1 กรอบแนวคิดของระบบ	26
3-2 ผังพิมพ์เขียวโครงการที่ทำการวิจัย	27
3-3 ภาพผังโครงการจาก Google map	27
3-4 ภาพการส่งข้อมูลจาก MQTT	28
3-5 ผังงานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ	30
3-6 ผังงานระบบสำหรับผู้ใช้งานมอนิเตอร์การผลิตพลังงานไฟฟ้า	31
3-7 ผังงานระบบสำหรับวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์	31
3-8 แผนภาพยูสเคสของระบบการจัดการข้อมูลของผู้ดูแลระบบ	32
3-9 แผนภาพยูสเคสของระบบการมอนิเตอร์การผลิตไฟฟ้า	36
3-10 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Entity หรือกลุ่มข้อมูล	39
3-11 สภาวะท้องฟ้าไม่ปลอดโปร่งหรือมีเมฆบังโครงการ	41
3-12 สภาวะท้องฟ้ามีการแผ่รังสีคงที่เท่ากันทั้งโครงการ	41
3-13 สภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง	42
3-14 ภาพถ่ายการยืนยันข้อมูลสถานะการณ์ท้องฟ้า	42
3-15 การวิเคราะห์โดยใช้โมเดลป่าแยก (Isolation Forest)	43
3-16 การวิเคราะห์โดยใช้โมเดลเข้ารหัสอัตโนมัติ(Autoencoder)	43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-1 ตัวอย่างจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	45
4-2 ตัวอย่างค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	46
4-3 ตัวอย่างค่าความเข้มของแสงอาทิตย์	46
4-4 หน้าจอการเข้าใช้งานระบบของผู้ดูแลระบบ	46
4-5 หน้าจอการแสดงผลข้อมูลสถานที่ผลิตพลังงานแสงอาทิตย์	47
4-6 หน้าจอการสร้างข้อมูลสถานที่สำหรับผลิตพลังงานแสงอาทิตย์	47
4-7 หน้าจอการแก้ไขข้อมูลสถานที่สำหรับผลิตพลังงานแสงอาทิตย์	48
4-8 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลของอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณ	48
4-9 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้นำเข้าระบบเกี่ยวกับอุปกรณ์	49
4-10 หน้าจอการตั้งค่าตำแหน่งของอุปกรณ์	49
4-11 หน้าจอการตั้งค่าการเชื่อมต่อข้อมูลกับตัวส่งสัญญาณโปรโตคอล	50
4-12 หน้าจอการตั้งค่าการเชื่อมต่อข้อมูลกับตัวส่งสัญญาณโปรโตคอล	50
4-13 หน้าจอการแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์จากการมอนิเตอร์	51
4-14 หน้าจอการแสดงผลการรับข้อมูลจาก MQTT	51
4-15 ค่าสีสำหรับกำหนดเปอร์เซ็นต์	51
4-16 ฟังก์ชันการกำหนดเงื่อนไขแสดงผลค่าสีโดย	52
4-17 หน้าจอการแสดงผลมูลค่าความเสียหายจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานงานสะอาด (Green Energy) คือพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดมลพิษที่เป็นอันตรายเหมือนกับพลังงานประเภทอื่น ๆ หรือก่อให้เกิดมลภาวะอย่างน้อยที่สุดในทุกขั้นตอน นับตั้งแต่การผลิต การแปรรูป การใช้งาน ไปจนถึงการจัดการของเสีย รวมถึงไม่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งเป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน พลังงานสะอาดจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่นำมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานเดิมที่มีอยู่อย่างจำกัดที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญอย่างมาก (Clover Power, 2023) พลังงานสะอาดมีหลายรูปแบบ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานชีวมวล ซึ่งแต่ละประเภทมีจุดเด่นและศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่แตกต่างกันไปตามภูมิประเทศและทรัพยากรของแต่ละพื้นที่ การนำพลังงานสะอาดมาใช้อย่างแพร่หลาย ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน ลดการพึ่งพาน้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ อีกทั้งยังส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจในระดับท้องถิ่นผ่านการจ้างงานและการลงทุนในเทคโนโลยีสีเขียว ในยุคปัจจุบัน หลายประเทศทั่วโลกได้กำหนดนโยบายและเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานสะอาดในระบบพลังงานของตน เช่น การสนับสนุนการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ การให้เงินอุดหนุนแก่โครงการพลังงานหมุนเวียน และการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและจัดเก็บพลังงานสะอาดอย่างยั่งยืน

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) คือพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของแสงแดดซึ่งให้ทั้งพลังงานแสงและพลังงานความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานหมุนเวียนสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูง ไม่มีวันหมด สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย หลัก ๆ คือการผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตพลังงานความร้อน (Uac Co., 2021) พลังงานจากดวงอาทิตย์สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ผ่านการใช้ แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ซึ่งจะทำหน้าที่รับพลังงานแสงและเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการใช้ พลังงานความร้อน จากแสงอาทิตย์ เช่น การติดตั้งแผงรับแสงเพื่อให้ความร้อนกับน้ำ ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งสองวิธีนี้ล้วนช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และยังลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่สำคัญของโลกยุคใหม่ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกออกแบบมาให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ทำจากวัสดุกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (Silicon) ซึ่งเป็นวัสดุที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยเฉพาะในทรายธรรมชาติ จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีและวิศวกรรมจนได้แผ่นซิลิกอนบริสุทธิ์ที่สามารถตอบสนองต่อพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Government Complex, 2017) หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุกึ่งตัวนำ กล่าวคือ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องกระทบแผ่นเซลล์ อนุภาคของแสงที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้อิเล็กตรอนภายในแผ่นซิลิกอน ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพียงพอที่จะหลุดออกจากแรงยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสภายในอะตอม และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่อนำวงจรไฟฟ้ามาเชื่อมต่อกับเซลล์ อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current – DC) ที่สามารถนำไปใช้งาน หรือแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปได้ ในด้านของประสิทธิภาพการทำงาน เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุดในช่วงที่มีแสงแดดจัด ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลา 9.00–15.00 น. ซึ่งตรงกับช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในหลายประเทศ การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวจึงช่วยลดภาระการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น และลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานในระบบไฟฟ้ากลางวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการคิดค้นวัสดุใหม่ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เช่น เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin-Film), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายชั้น (Multi-junction), และเซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ (Organic Solar Cell) รวมถึงมีแนวทางในการผสมผสานการผลิตไฟฟ้ากับการออกแบบในชีวิตประจำวัน เช่น หลังคาโซลาร์ กระฉกหน้าต่างที่ผลิตไฟฟ้าได้ หรือแม้แต่เสื้อผ้าที่มีแผงเซลล์ขนาดเล็กฝังอยู่ ด้วยคุณสมบัติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่สร้างเสียงดัง ไม่ก่อให้เกิดฝุ่นหรือควัน และมีต้นทุนลดลงเรื่อย ๆ ตามการพัฒนาเทคโนโลยี ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์กลายเป็นอีกหนึ่งทางเลือกหลักของพลังงานสะอาดที่ทั้งภาครัฐและเอกชนให้ความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของโลกในยุคพลังงานหมุนเวียน

อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (Internet of Things หรือ IoT) คือแนวคิดและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนโลกใบนี้ให้กลายเป็นระบบที่ทุกสิ่งทุกอย่างสามารถเชื่อมโยงถึงกันได้ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไม่ใช่เพียงแค่อุปกรณ์หรือโทรศัพท์มือถือเท่านั้น แต่รวมไปถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ รอบตัวเราทั้งในบ้าน ที่ทำงาน ในโรงงาน หรือแม้แต่ในภาคการเกษตรและการแพทย์ ก็สามารถกลายเป็น อุปกรณ์อัจฉริยะ

ที่สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันได้โดยอัตโนมัติ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน เช่น การติดตั้งอุปกรณ์อัจฉริยะในบ้าน เช่น หลอดไฟที่สามารถสั่งเปิด-ปิดผ่านสมาร์ตโฟน ม่านที่สามารถเปิดปิดตามเวลา หรือความเข้มของแสงจากภายนอก เครื่องปรับอากาศที่สามารถปรับอุณหภูมิอัตโนมัติตามสภาพอากาศ หรือแม้แต่ตู้เย็นที่สามารถแจ้งเตือนเมื่อของสดในตู้ใกล้หมดอายุ สิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นได้จากการที่อุปกรณ์เหล่านั้นมีเซ็นเซอร์หรือระบบเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในตัว ทำให้สามารถรับข้อมูล วิเคราะห์ และสื่อสารกับผู้ใช้งานหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ได้ทันที (คลังความรู้ Sci Math, 2019) ในภาคเกษตรกรรม IoT ได้กลายมาเป็นตัวช่วยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน เช่น ระบบให้น้ำอัตโนมัติที่วิเคราะห์ความชื้นในดินได้อย่างแม่นยำ หรือการติดตั้งกล้องและเซ็นเซอร์ในพื้นที่เพาะปลูกเพื่อเฝ้าระวังศัตรูพืชและสภาพอากาศแบบเรียลไทม์ ช่วยให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วหัวใจของ IoT คือ การเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์จำนวนมาก ผ่านเซ็นเซอร์หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น แสง การเคลื่อนไหว หรือแม้แต่ข้อมูลเสียง เมื่อข้อมูลเหล่านี้ถูกส่งผ่านโครงข่ายเข้าสู่ระบบคลาวด์หรือเซิร์ฟเวอร์กลาง ก็สามารถนำมาประมวลผล วิเคราะห์ และแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟิกหรือแดชบอร์ดที่เข้าใจง่าย ผู้ใช้งานจึงสามารถตรวจสอบสถานะ ติดตามพฤติกรรมของอุปกรณ์ หรือแม้กระทั่งควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์จากระยะไกลได้ตลอดเวลา การมาถึงของอินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่งจึงไม่ใช่แค่เรื่องของความสะดวกสบาย แต่ยังเป็นการปฏิวัติวิถีชีวิต การทำงานของผู้คนในทุกภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นเมืองอัจฉริยะ (Smart City) การดูแลสุขภาพจากระยะไกล (Telemedicine) โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) หรือแม้แต่การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทุกอย่างล้วนขับเคลื่อนด้วยข้อมูลจาก IoT ทั้งสิ้น ในอนาคต เมื่อเทคโนโลยี 5G และ AI พัฒนาอย่างต่อเนื่อง IoT จะยิ่งแผ่ขยายขีดความสามารถออกไปอีกอย่างมหาศาล เปิดประตูสู่โลกที่ ทุกสิ่งสามารถเชื่อมต่อกันได้ อย่างแท้จริง

ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) คือแนวคิดที่สะท้อนให้เห็นถึงปริมาณของข้อมูลที่มหาศาลและมีความซับซ้อนอย่างยิ่งในโลกยุคดิจิทัล ข้อมูลเหล่านี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วจากหลากหลายแหล่ง เช่น โซเชียลมีเดีย เว็บไซต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซ็นเซอร์ และระบบต่าง ๆ ในองค์กร โดยมีทั้งรูปแบบข้อความ ภาพถ่าย เสียง วิดีโอ และข้อมูลเชิงตัวเลข ซึ่งระบบจัดการข้อมูลแบบดั้งเดิมไม่สามารถรองรับหรือประมวลผลข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกต่อไป สิ่งที่ทำให้ Big Data มีคุณค่าและความสำคัญคือ ความสามารถในการนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ เพื่อค้นหาแนวโน้มรูปแบบ หรือข้อมูลเชิงลึก ที่มีประโยชน์ในการตัดสินใจ ไม่ว่าจะเป็นภาคธุรกิจ ภาครัฐ ภาคการแพทย์ หรือแม้แต่ในภาคเกษตรกรรมและพลังงาน ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถนำไปสู่การวางแผน การคาดการณ์ และการปรับปรุงการดำเนินงานให้ดีขึ้น ส่วน Big Data มีลักษณะสำคัญที่ทำให้ต่างจากข้อมูลทั่วไปซึ่งมักอธิบายด้วยหลักการ 5V ปริมาณ (Volume) ข้อมูลขนาดใหญ่มีปริมาณมากและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลจากโซเชียลมีเดีย เซ็นเซอร์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และข้อมูลจากองค์กร

ต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านี้อาจมีขนาดตั้งแต่หลายเทระไบต์ (TB) จนถึงระดับเพตะไบต์ (PB) ซึ่งเกินกว่าที่ระบบจัดการข้อมูลแบบดั้งเดิมจะสามารถจัดการได้ ความหลากหลาย (Variety) ข้อมูลขนาดใหญ่มาจากหลายแหล่งและมีหลายรูปแบบ เช่น ข้อมูลเชิงโครงสร้าง (Structured Data) เช่น ข้อมูลในฐานข้อมูล ข้อมูลกึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Data) เช่น XML และข้อมูลไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Data) เช่น ข้อความ รูปภาพ วิดีโอ และเสียง ความหลากหลายนี้เพิ่มความซับซ้อนในการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล ความเร็ว (Velocity) ข้อมูลขนาดใหญ่ถูกสร้างขึ้นด้วยความเร็วสูงและต้องการการประมวลผลในเวลาที่รวดเร็ว เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ทันทั่วทั้งที่ เช่น ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ IoT ที่ส่งข้อมูลเข้ามาตลอดเวลา หรือข้อมูลจากแพลตฟอร์มโซเชียลมีเดียที่ถูกโพสต์และแชร์ตลอดเวลา ความถูกต้อง (Veracity) ความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของข้อมูลเป็นอีกหนึ่งความท้าทายของ Big Data ข้อมูลบางส่วนอาจมีความไม่สมบูรณ์หรือมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้น การคิดกรองและปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลจึงมีความสำคัญเพื่อให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพและได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง มูลค่า (Value) การดึงข้อมูลเชิงลึกและความรู้ที่มีประโยชน์จากข้อมูลขนาดใหญ่เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ข้อมูลนั้นเองอาจไม่มีประโยชน์หากไม่ได้รับการวิเคราะห์และแปรผลให้เป็นข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจหรือแก้ไขปัญหาได้

ในปัจจุบันการใช้พลังงานสะอาด โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีวันหมด อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การบริหารจัดการระบบผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ในโครงการขนาดใหญ่ยังคงเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะในด้านการดูแลรักษาและตรวจสอบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งมักมีจำนวนมาก การตรวจสอบแผงโซลาร์เซลล์ในพื้นที่จริงจำเป็นต้องใช้ทั้งแรงงานและเวลาเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังอาจเกิดความล่าช้าในการรับรู้ปัญหาและดำเนินการแก้ไข ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานโดยรวมลดลง เพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำ ระบบสารสนเทศ (Information System) เข้ามาเป็นเครื่องมือหลักในการบริหารจัดการและตรวจสอบการทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ เรียลไทม์ (Real-time Monitoring) โดยระบบจะรวบรวมข้อมูลจากแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชุดผ่านเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ แล้วส่งข้อมูลเข้าสู่ศูนย์กลางเพื่อแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น แผนภาพ กราฟ และการแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ซึ่งสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์หลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต การใช้ระบบสารสนเทศเช่นนี้ช่วยให้ เจ้าหน้าที่ผู้ตรวจสอบและผู้ดูแลระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลสำคัญได้ทันที ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของแผง หรือประสิทธิภาพของระบบในแต่ละช่วงเวลา ทำให้สามารถคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า และแก้ไขข้อบกพร่องได้อย่างทันทั่วทั้งที่ ซึ่งส่งผลให้การผลิตพลังงานมีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ งานวิจัยยังมีการผลานแนวคิดของ เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง

(Machine Learning) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน เข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากที่ได้จากระบบแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อค้นหารูปแบบ ความผิดปกติ และแนวโน้มต่าง ๆ ที่มนุษย์อาจมองข้ามไป ช่วยให้ระบบสามารถปรับตัว เรียนรู้ และแจ้งเตือนความผิดปกติได้อย่างชาญฉลาดยิ่งขึ้น การพัฒนาเครื่องมือที่ผสมรวมระบบสารสนเทศกับเทคโนโลยี Machine Learning นี้ จึงเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถยกระดับการบริหารจัดการพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพ ทันสมัย และรองรับการเติบโตของพลังงานสะอาดในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 พัฒนาระบบสำหรับมอนิเตอร์ข้อมูลจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบเรียลไทม์

1.2.2 พัฒนาระบบการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาระบบเพื่อให้ผู้ใช้งานระบบสามารถติดตามข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการออกแบบระบบตั้งแต่การตั้งค่าแผนที่การติดตั้งแผงผลิตพลังงานไฟฟ้า การจัดการข้อมูลการเชื่อมต่อ การจัดเก็บฐานข้อมูล การส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูล ณ เวลาขณะนั้น ๆ รวมถึงการนำการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ในการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ คณะผู้จัดทำได้กำหนดขอบเขตของโครงการดังต่อไปนี้

1.3.1 ขอบเขตโครงการด้านการพัฒนาระบบ มีดังนี้

1.3.1.1 คุณสมบัติของระบบของผู้ดูแลระบบประกอบไปด้วย หน้าจอการจัดการบัญชีผู้ใช้งาน หน้าจอการจัดการสิทธิ์การเข้าใช้งาน หน้าจอการจัดการโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ หน้าจอการจัดการองค์กร เมนูสำหรับออกจากระบบ

1.3.1.2 คุณสมบัติของผู้ใช้งานระบบประกอบไปด้วย หน้าจอแผนที่การติดตั้งโครงการ หน้าจอการมอนิเตอร์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียลไทม์ หน้าจอรายงานการวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยง เมนูสำหรับการออกจากระบบ

1.3.1.2 คุณสมบัติการวิเคราะห์ความเสียหายประกอบไปด้วย อัลกอริทึมการค้นหาสถานะท้องฟ้าปลอดโปร่ง การใช้การเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.2 ขอบเขตอุปกรณ์ (Hardware) และ เครื่องมือ (Software) ที่ใช้พัฒนาระบบ มีดังนี้

1.3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการพัฒนาระบบประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) M1 Pro หน่วยความจำหลัก (Random Access Memory : RAM) 16GB และพื้นที่จัดเก็บข้อมูล (Storage) SSD 512 GB

1.3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาประกอบไปด้วย โปรแกรมในการพัฒนาระบบ Visual Studio Code โปรแกรม Table Plus ใช้ในการเข้าถึงฐานข้อมูลโปรแกรม MQTTX ใช้เข้าถึงข้อมูล Broker Queue Message

1.3.2.2 ขอบเขตของภาษาที่ใช้ในการพัฒนาระบบได้แก่ Python, JavaScript, SQL, Nodejs, Node-Red

1.3.3 ชุดข้อมูลกลุ่มตัวอย่างในการพัฒนา

ชุดข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบไปด้วย ค่ากำลังการผลิตไฟ ค่ากระแส ค่าแรงดัน ค่าประสิทธิภาพการผลิต ค่าอุณหภูมิของแผง และค่าความเข้มแสง จำนวนข้อมูลโดยประมาณ 2 ล้านรายการต่อ 1 วันต่อ 1 โครงการ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 การติดตามประสิทธิภาพการทำงานของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบเรียลไทม์ เพื่าระวังความผิดปกติของข้อมูลจากระบบได้ทันที สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์จากข้อมูลที่ส่งมาแสดงผลบนหน้าจอ

1.4.2 สามารถตรวจสอบความผิดพลาดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องด้วยการใช้แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยระบบการสนับสนุนการมอนิเตอร์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ผู้จัดทำโครงการค้นคว้าอิสระได้ศึกษาแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นแนวทางในงานวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

2.1.1 พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสะอาดและยั่งยืน (Heydari et al., 2023) ที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ บทความนี้ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตและการกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงประสิทธิภาพและความสามารถในการใช้งาน ผลวิจัยชี้ว่าเทคโนโลยีเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการสร้างระบบพลังงานที่มั่นคงและยั่งยืนในอนาคต และควรได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุน

2.1.2 หลักการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากดวงอาทิตย์สามารถถูกแปลงเป็นพลังงานที่มนุษย์สามารถใช้งานได้หลัก ๆ สองรูปแบบ ได้แก่ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Heating): เป็นการใช้ความร้อนของแสงแดดโดยตรง เช่น ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ท่อสีดำที่ดูดซับความร้อนเพื่อทำให้น้ำร้อน ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แสงในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นภายในตู้อบ และเตาพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้หลักการรวมแสงเข้าสู่จุดโฟกัสเพื่อให้ได้อุณหภูมิสูงพอในการหุงต้มอาหาร การผลิตกระแสไฟฟ้า (Photovoltaic): เป็นการแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell หรือ Photovoltaic Cell) ซึ่งใช้หลักการที่เรียกว่า "โฟโตโวลตาอิก" โดยโฟตอนในแสงอาทิตย์กระทบกับสารกึ่งตัวนำในเซลล์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจนเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า

2.1.3 ประเภทของพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทหลักตามรูปแบบการนำไปใช้งาน ได้แก่ Solar Thermal, Photovoltaic และ ระบบแบบผสม (Hybrid System) โดย Solar Thermal คือการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ในรูปของพลังงานความร้อนโดยตรง โดยใช้หลักการดูดซับความร้อนจากแสงแดดผ่านวัสดุหรือโครงสร้างที่ออกแบบมา

เฉพาะ เช่น ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ท่อหรือแผ่นรับความร้อนในการเปลี่ยนน้ำธรรมดาให้กลายเป็นน้ำร้อน, เตาแสงอาทิตย์ที่รวมแสงไว้ที่จุดโฟกัสเพื่อใช้ในการหุงต้ม และตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการทำให้อาหารหรือวัตถุดิบแห้งลง ส่วน Photovoltaic (PV) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้แปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ หรือโซลาร์เซลล์ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับโรงไฟฟ้า และสุดท้ายคือ ระบบแบบผสม (Hybrid System) ซึ่งเป็นการนำทั้งเทคโนโลยี Solar Thermal และ Photovoltaic มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าที่ควบคู่กับการเก็บความร้อนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม หรือการทำฟาร์มพลังงานที่มีทั้งการผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในระบบเดียวกัน ซึ่งช่วยให้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีความหลากหลายและคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

2.1.4 ข้อดีและข้อจำกัดของพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์มีข้อดีหลายประการที่ทำให้ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในปัจจุบัน โดยเฉพาะคุณสมบัติที่เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ซึ่งไม่มีวันหมด และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะหรือสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด และสามารถติดตั้งใช้งานได้ในพื้นที่ห่างไกลหรือบริเวณที่ไม่มีระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้าถึง อย่างไรก็ตาม พลังงานแสงอาทิตย์ก็ยังมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา เช่น ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานขึ้นอยู่กับสภาพแสงและสภาพอากาศในแต่ละวัน หากมีเมฆมาก ฝนตก หรือเงาบัง แผงเซลล์อาจผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง นอกจากนี้ต้นทุนในการติดตั้งระบบเริ่มต้นยังค่อนข้างสูง และในกรณีที่ต้องการผลิตไฟฟ้าในปริมาณมากอาจต้องใช้พื้นที่ติดตั้งจำนวนมาก อีกทั้งประสิทธิภาพของระบบอาจลดลงหากไม่ได้รับการบำรุงรักษาที่เหมาะสม หรือมีฝุ่นละอองสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งส่งผลต่อการดูดซับแสงและประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานโดยรวม

2.1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักหลายส่วน โดยเริ่มจาก เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell หรือ PV Cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการที่โฟตอนจากแสงอาทิตย์ตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน จนทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่และเกิดกระแสไฟฟ้า (Franklin & Ed., 2018) สำหรับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายประเภท ได้แก่ Silicon-based Solar Cell ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก, Thin Film Solar Cell ซึ่งมีลักษณะบางและยืดหยุ่น เหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่จำกัดหรือไม่เรียบ, Organic Solar Cell ที่ผลิตจากวัสดุ

อินทรีย์ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงแต่ยังมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพ, และ Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) ซึ่งใช้สีย้อมไวแสงในการดูดซับแสง มีต้นทุนต่ำแต่ยังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาและไม่แพร่หลายเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ยังต้องประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นกระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปได้, แบตเตอรี่ (Battery) สำหรับเก็บพลังงานไว้ใช้ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์, เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge Controller) ที่ช่วยป้องกันการชาร์จไฟเกินหรือคายประจุเกินซึ่งอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย และสุดท้ายคือ ระบบโครงยึดแผง (Mounting System) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อรองรับและยึดแผงโซลาร์เซลล์ให้อยู่ในตำแหน่งและมุมที่เหมาะสมกับการรับแสงอาทิตย์มากที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้ได้สูงสุด

2.1.6 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากแสงอาทิตย์ โดยทั่วไป การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์จำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัยร่วมกัน ทั้งในทางเทคนิค ด้านพื้นที่ และด้านเศรษฐศาสตร์ พื้นที่ติดตั้งต้องเป็นพื้นที่ที่มี การรับแสงแดดอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีเงาจากอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ มาบดบัง โดยเฉพาะในช่วงเวลาระหว่าง 9.00–15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่พลังงานแสงอาทิตย์มีความเข้มข้นสูงสุดการติดตั้งสามารถทำได้ทั้ง แบบติดตั้งบนหลังคา (Rooftop Solar) ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบได้บ่อยในภาคครัวเรือน และ แบบติดตั้งบนพื้นดิน (Ground-mounted Solar) ซึ่งเหมาะกับโครงการขนาดใหญ่หรือพื้นที่โล่ง โดยทิศทางของแผงควรหันไปทางทิศใต้ สำหรับประเทศไทย และปรับมุมเอียงของแผงให้เหมาะสมกับละติจูดของพื้นที่ เพื่อรับแสงได้สูงสุดตลอดทั้งปี ขั้นตอนการติดตั้งระบบโดยทั่วไปจะเริ่มจาก การสำรวจหน้างานและออกแบบระบบ, เลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น ขนาดของแผง อินเวอร์เตอร์ ตามความต้องการใช้ผลิตพลังงาน จากนั้นจึงทำการติดตั้งโครงสร้างรองรับและวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งระบบสายไฟ เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ และทดสอบระบบก่อนการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่ต้องคำนึงถึง เช่น การติดตั้งสายดิน การติดตั้งระบบตัดไฟอัตโนมัติ (AC/DC Disconnect) และระบบป้องกันไฟย้อน (Anti-islanding) โดยเฉพาะในกรณีที่ระบบเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้า (On-grid) อีกทั้งยังควรมีการบำรุงรักษาระบบอย่างต่อเนื่อง เช่น การทำความสะอาดแผง การตรวจสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบให้คงที่ในระยะยาว

2.2 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ที่มุ่งเน้นการพัฒนาอัลกอริธึมและแบบจำลองที่สามารถเรียนรู้และ ปรับปรุงตัวเองจากข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ โดยไม่จำเป็นต้องได้รับการโปรแกรมอย่างชัดเจน วิธีการนี้ช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์ข้อมูล ค้นหารูปแบบ และตัดสินใจได้ด้วยตนเอง การเรียนรู้ของเครื่องมีหลักการพื้นฐานในการใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในการฝึกสอน อัลกอริธึมเพื่อการทำนายหรือตัดสินใจในอนาคต ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักได้แก่

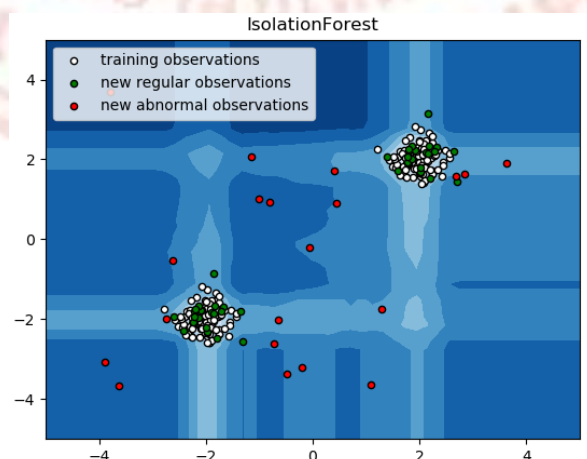
2.2.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) อัลกอริธึมจะเรียนรู้จากข้อมูลที่มีการระบุคำตอบหรือป้ายกำกับ (Label) ไว้แล้ว เช่น การทำนายราคาบ้านโดยใช้ข้อมูลลักษณะของบ้าน หรือการจำแนกภาพถ่ายว่าเป็นรูปแมวหรือสุนัข

2.2.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) ใช้สำหรับค้นหารูปแบบในข้อมูลที่ไม่มีการป้ายกำกับ เช่น การจัดกลุ่มลูกค้าตามพฤติกรรมการซื้อ หรือการค้นหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในชุดข้อมูล โดยให้เครื่องเรียนรู้และค้นพบรูปแบบด้วยข้อมูล การเรียนรู้แบบนี้มักจะถูกนำไปใช้เพื่อการแยกกลุ่ม (Clustering)

2.2.3 การเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning) อัลกอริธึมจะเรียนรู้ผ่านการทดลองและการรับรางวัลหรือการลงโทษ ซึ่งใช้ในงานที่มีการตัดสินใจต่อเนื่อง เช่น การพัฒนาหุ่นยนต์ที่เรียนรู้การเคลื่อนไหว หรือการพัฒนา AI สำหรับเล่นเกม การเรียนรู้ของเครื่องได้รับความนิยมมากในหลากหลายสาขา เช่น การแพทย์ การเงิน การตลาด และวิทยาการข้อมูล เพราะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลและการตัดสินใจมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2.4 แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) เป็นหนึ่งในเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ การออกแบบมาเฉพาะเพื่อใช้ในงานตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection) โดยมีความโดดเด่นในเรื่องของความเร็วในการประมวลผล ประสิทธิภาพในการตรวจจับ และความสามารถในการรองรับข้อมูลจำนวนมากที่มีความซับซ้อนสูง จุดเด่นของ Isolation Forest คือ ไม่จำเป็นต้องอาศัย การเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลปกติแบบลึกซึ้ง แต่ใช้วิธีการ แยกข้อมูลออกเป็นส่วนย่อย ๆ (Recursive Partitioning) และประเมินว่า ข้อมูลแต่ละจุดสามารถถูกแยกออกจากกลุ่มอื่นได้ง่ายหรือยากเพียงใด โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า ข้อมูลผิดปกติ (Outliers) มักจะมีลักษณะโดดเด่น แยกแยก หรือห่างไกล จากกลุ่มข้อมูลหลัก และด้วยเหตุนี้จึงมักถูกแยกออกจากกลุ่มได้โดยใช้จำนวนน้อยของการแบ่งแยก (Splits) หลักการทำงานของ Isolation Forest เริ่มจากการ สร้างชุดของต้นไม้สุ่ม (Isolation Trees หรือ iTrees) จำนวนหลายต้น โดยในแต่ละต้นไม้ ระบบจะทำการสุ่มเลือกคุณลักษณะ (Features)

จากข้อมูล และเลือกค่าตัดแบ่ง (Split Value) ในช่วงของค่าคุณลักษณะนั้น เพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นสองกลุ่ม (Binary Partition) ซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยไม่อิงจากเกณฑ์การตัดสินใจแบบสถิติ เช่น Gini Index หรือ Entropy เหมือน Decision Tree ทั่วไป กระบวนการแบ่งแยกนี้จะดำเนินไปจนกว่าข้อมูลแต่ละจุดจะถูกแยกออกเป็นข้อมูลเดี่ยว (Leaf Node) หรือจนกว่าจะถึงความลึกสูงสุดที่กำหนดไว้ ในกระบวนการนี้ ข้อมูลที่ผิดปกติจะมีแนวโน้มที่จะถูกแยกออกได้เร็วกว่า เนื่องจากอยู่ห่างไกลจากข้อมูลกลุ่มหลัก จึงต้องใช้จำนวนขั้นตอนน้อยลงในการแบ่งแยกออกจากกลุ่มข้อมูลอื่น ขณะที่ข้อมูลปกติซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก มักต้องใช้จำนวนการแบ่งหลายขั้นตอนก่อนจะถูกแยกเดี่ยว โดยหลังจากที่สร้างต้นไม้ครบทุกต้นแล้ว แบบจำลองจะทำการคำนวณค่า ความลึกเฉลี่ย (Average Path Length) สำหรับข้อมูลแต่ละจุดในทุกต้นไม้ ซึ่งเป็นค่าจำนวนขั้นตอนเฉลี่ยที่ใช้ในการแยกข้อมูลออกจากกลุ่ม หากข้อมูลใดมีความลึกเฉลี่ยต่ำ แสดงว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะเป็นข้อมูลผิดปกติ ผลลัพธ์จากแบบจำลองนี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของ คะแนนความผิดปกติ (Anomaly Score) ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ค่าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลนั้นมีความน่าจะเป็นสูงในการเป็น Outlier ส่วนค่าที่ใกล้ 0 หมายถึงข้อมูลปกติ โดยทั่วไปจะมีการกำหนด Threshold เพื่อใช้เป็นเกณฑ์จำแนกว่า ข้อมูลจุดใดจะถือเป็นค่าผิดปกติหรือไม่ ข้อดีที่สำคัญของ Isolation Forest คือ ความสามารถในการทำงานแบบไม่ต้องมี Label (Unsupervised Learning) และการที่ไม่ต้องทำการแปลงค่าข้อมูล หรือสร้างสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูลล่วงหน้า อีกทั้งยังสามารถปรับใช้ได้กับข้อมูลที่มีคุณลักษณะหลากหลาย (High-dimensional Data) และสามารถขยายสเกลเพื่อรองรับข้อมูลจำนวนมากได้ดี จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบอัจฉริยะต่าง ๆ เช่น การตรวจจับความผิดปกติของแผงโซลาร์เซลล์ การตรวจสอบธุรกรรมทางการเงินที่ผิดปกติ หรือระบบมอนิเตอร์ทางอุตสาหกรรมที่ต้องวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ในระดับต่ำแต่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ



ภาพที่ 2-1 แบบจำลองป่าแยก

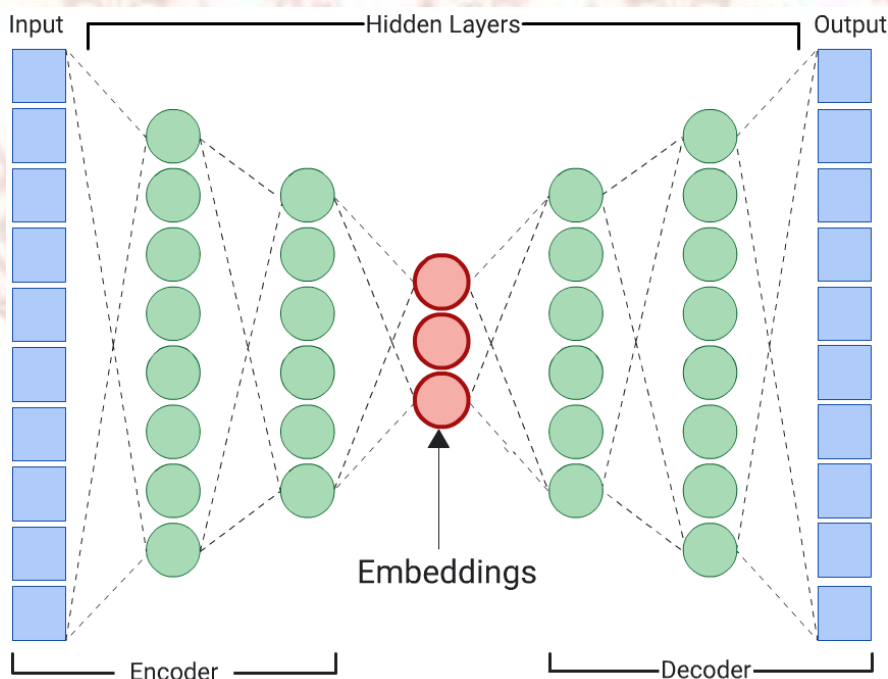
2.2.6 แบบจำลองการเข้ารหัสอัตโนมัติ (Auto Encoder) คือแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ที่ออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ในการบีบอัดและคืนค่าข้อมูล (Compress and Reconstruct) โดยไม่มีการใช้ฉลากข้อมูล (Unsupervised Learning) กล่าวอีกนัยหนึ่ง โมเดลนี้เรียนรู้จากข้อมูลที่ไม่มีการจำแนกประเภท โดยมีเป้าหมายหลักคือการ ทำให้ข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดยังสามารถกลับมาใกล้เคียงกับต้นฉบับได้มากที่สุดแนวคิดเบื้องหลัง Autoencoder คือ การพยายามเรียนรู้ ตัวแทน (Representation) หรือ โครงสร้างซ่อนเร้น (Latent Structure) ของข้อมูลในรูปแบบที่กระชับและมีความหมาย เพื่อใช้ในการลดมิติของข้อมูล ตรวจสอบความผิดปกติ หรือแม้แต่ใช้ในการสร้างข้อมูลใหม่ โครงสร้างของ Autoencoder โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่

2.2.6.1 Encoder (ส่วนเข้ารหัส) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลอินพุตที่มีมิติสูง และแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่กะทัดรัดมากขึ้นหรือที่เรียกว่า Latent Representation โดยผ่านกระบวนการลดมิติผ่านชั้นของโหนดหลายชั้น (Hidden Layers) ซึ่งมีจำนวนน้อยลงเรื่อย ๆ ในแต่ละชั้น ข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วยการคูณน้ำหนัก (Weights) และบวกไบแอส (Bias) แล้วผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) เช่น ReLU หรือ Sigmoid เพื่อดึงเอาคุณลักษณะที่สำคัญของข้อมูลต้นฉบับออกมา ในกระบวนการนี้ Encoder จะพยายามรักษา "สาระสำคัญ" ของข้อมูลไว้ ขณะเดียวกันก็ลดทอนข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกไปอย่างอัตโนมัติ ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในกระบวนการถอดรหัส (Decode) หรือวิเคราะห์ต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ Embedding หรือ Latent Vector ที่ได้จาก Encoder นั้นจะเป็นตัวแทนข้อมูลต้นฉบับในรูปแบบที่มีขนาดเล็กลงแต่ยังคงความหมายหลักไว้ครบถ้วน ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection) หรือการลดมิติข้อมูลเพื่อการประมวลผลที่รวดเร็วขึ้น

2.2.6.2 Hidden Layers หรือ Latent Space (พื้นที่ตัวแทน) เป็นส่วนกลางของโครงสร้างที่อยู่ระหว่าง Encoder และ Decoder ซึ่งทำหน้าที่เก็บรักษาข้อมูลในรูปแบบที่ถูกบีบอัดหรือย่อขนาดลงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนนี้ข้อมูลที่ผ่านมาจาก Encoder จะถูกเปลี่ยนผ่านหลายชั้นของนิวรอนที่มีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่เรียกว่า Bottleneck Layer หรือ Latent Space ซึ่งเป็นจุดที่ข้อมูลถูกย่อให้เหลือเพียงมิติที่สำคัญที่สุด กระบวนการนี้ไม่ใช่เพียงแค่การลดมิติเท่านั้น แต่ยังเป็นการบังคับให้ระบบเรียนรู้คุณลักษณะที่จำเป็นของข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถนำกลับมาสร้างใหม่ได้โดยสูญเสียข้อมูลให้น้อยที่สุด โดยข้อมูลใน Latent Space จะอยู่ในรูปของเวกเตอร์เชิงคุณลักษณะ (Feature Vectors) ที่ประกอบด้วยตัวเลขจำนวนน้อยซึ่งบรรจุความหมายที่สำคัญของข้อมูลต้นฉบับไว้ทั้งหมด การออกแบบขนาดและโครงสร้างของ Latent Space จึงมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของ แบบจำลองการเข้ารหัสอัตโนมัติ เพราะหากย่อข้อมูลมากเกินไป อาจทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลที่สำคัญ ขณะที่หากย่อเกินไป ระบบอาจไม่สามารถ

สกัดคุณลักษณะสำคัญได้ชัดเจน การเรียนรู้ในขั้นนี้จึงเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างแบบจำลองที่สามารถแยกแยะความผิดปกติหรือสรุปลักษณะของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.6.3 Decoder (ส่วนถอดรหัส) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูลจาก Latent Space หรือ Embedding ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถูกบีบอัดจากขั้นตอนของ Encoder ให้อยู่ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับข้อมูลต้นฉบับมากที่สุด โดย Decoder จะรับเวกเตอร์ขนาดเล็กจาก Bottleneck Layer และส่งผ่านเข้าไปยังชั้นของโหนด (Neurons) ที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นทีละชั้นในลักษณะตรงกันข้ามกับ Encoder เพื่อขยายข้อมูลกลับคืนสู่มิติเดิม กระบวนการนี้ประกอบด้วยการคูณเวกเตอร์กับน้ำหนัก (Weights) บวกไบแอส (Biases) และผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) เช่น ReLU หรือ Sigmoid ในแต่ละชั้น เพื่อสร้างข้อมูลที่มีรูปแบบใกล้เคียงกับข้อมูลอินพุตต้นฉบับมากที่สุด เป้าหมายของ Decoder คือการสร้าง Output ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน (Reconstruction Loss) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Input ซึ่งการเปรียบเทียบนี้มักใช้ค่าความต่าง เช่น Mean Squared Error (MSE) หรือ Binary Crossentropy เพื่อปรับปรุงน้ำหนักของโมเดล การทำงานของ Decoder จึงมีบทบาทสำคัญในการประเมินว่า Latent Representation ที่ได้จาก Encoder มีความสามารถในการรักษาข้อมูลที่จำเป็นไว้มากน้อยเพียงใด และเมื่อนำไปใช้ในงานตรวจจับความผิดปกติ การเบี่ยงเบนระหว่าง Input กับ Output ที่มากผิดปกติจะสามารถบ่งชี้ได้ว่าข้อมูลนั้นมีแนวโน้มเป็นข้อมูลผิดปกติ (Anomaly) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2-2 แบบจำลองการเข้ารหัสอัตโนมัติ

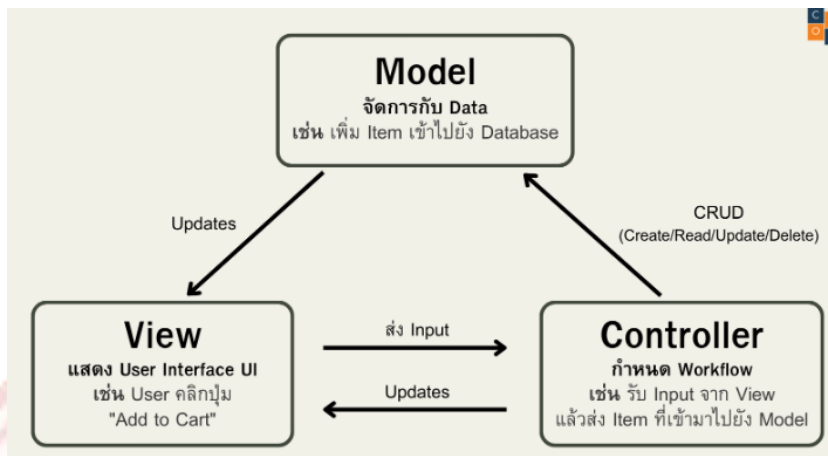
2.3 เครื่องมือและภาษาที่ใช้ในการพัฒนา

2.3.1 ภาษา Python

เป็นหนึ่งในภาษาคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Guido van Rossum ในช่วงปลายทศวรรษ 1980 และเริ่มเปิดใช้งานเวอร์ชันแรกในปี ค.ศ. 1991 อัตราการเติบโตสูงที่สุดในโลกเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และสามารถประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลาย ได้อย่างครอบคลุม ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและเชิงวิจัย โดยเฉพาะในงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลจำนวนมาก (Big Data), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning), และการพัฒนา Web Application ภาษา Python รองรับแนวคิดการเขียนโปรแกรมทั้งแบบ โครงสร้าง (Procedural) และแบบ เชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) อีกทั้งยังสนับสนุนแนวคิด ฟังก์ชันนัล โปรแกรมมิ่ง (Functional Programming) ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมที่มีโครงสร้างยืดหยุ่น รองรับการใช้งานในระบบขนาดเล็กไปจนถึงระดับองค์กรขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี อีกหนึ่งข้อได้เปรียบที่สำคัญของ Python คือ การมี ไลบรารี (Library) และโมดูลเสริม (Modules) ที่พัฒนาโดยชุมชนและองค์กรต่าง ๆ ทั่วโลกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้โดยไม่ต้องเริ่มเขียนโปรแกรมจากศูนย์นอกจากนี้ Python ยังสามารถ ทำงานร่วมกับฐานข้อมูลทุกประเภท เช่น MySQL, PostgreSQL, SQLite, MongoDB และฐานข้อมูลแบบ Realtime เช่น Firebase Realtime Database ได้อย่างสะดวก ทำให้เป็นภาษาหลักที่เหมาะสมอย่างยิ่งกับระบบที่ต้องการเชื่อมโยงข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคสนาม (Edge Device) ไปยังระบบแสดงผล หรือแดชบอร์ดแบบออนไลน์

2.3.2 เฟรมเวิร์ก AdonisJs

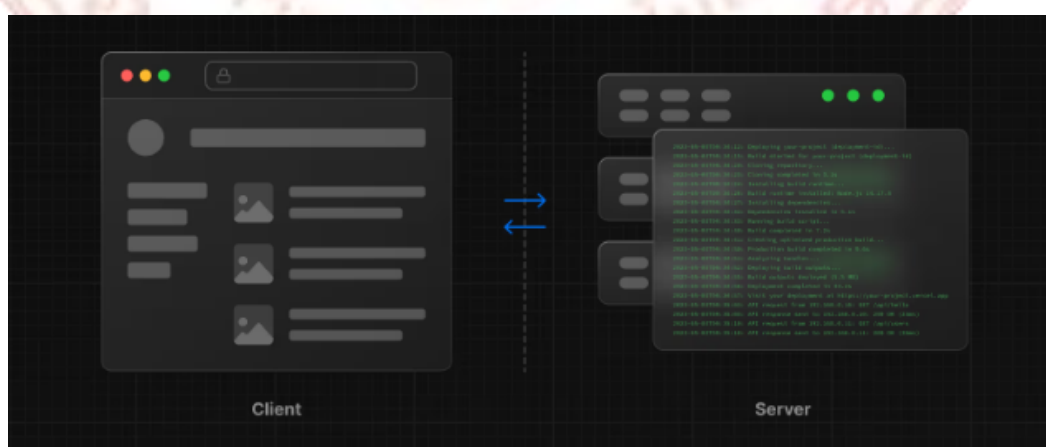
เป็นเฟรมเวิร์กฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Backend Framework) สำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา JavaScript บนแพลตฟอร์ม Node.js โดยถูกออกแบบมาเพื่อให้ ประสบการณ์การเขียนโค้ดที่เป็นระบบ มีโครงสร้างชัดเจน และใกล้เคียงกับ Laravel (PHP) ซึ่งเหมาะกับนักพัฒนาที่ต้องการพัฒนาแอปพลิเคชันแบบเต็มรูปแบบ (Full-stack) ด้วย JavaScript เพียงภาษาเดียว AdonisJS สนับสนุนแนวคิด MVC (Model-View-Controller) พร้อมทั้งมีเครื่องมือสำคัญที่มาพร้อมกับเฟรมเวิร์ก เช่น ระบบ Routing, Middleware, ระบบจัดการผู้ใช้ (Authentication), ระบบเชื่อมต่อฐานข้อมูลผ่าน Lucid ORM, การตรวจสอบข้อมูล (Validation) และเครื่องมือ CLI ที่ช่วยให้การพัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ AdonisJS จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาระบบที่ต้องการโครงสร้างชัดเจน มีความสามารถในระดับองค์กร และสามารถขยายระบบได้ในอนาคต ทั้งยังเหมาะกับการสร้าง REST API ที่ใช้ร่วมกับ Web Dashboard หรือระบบแสดงผลแบบเรียลไทม์



ภาพที่ 2-3 โครงสร้าง MVC (Model-View-Controller)

2.3.3 เฟรมเวิร์ก NextJs

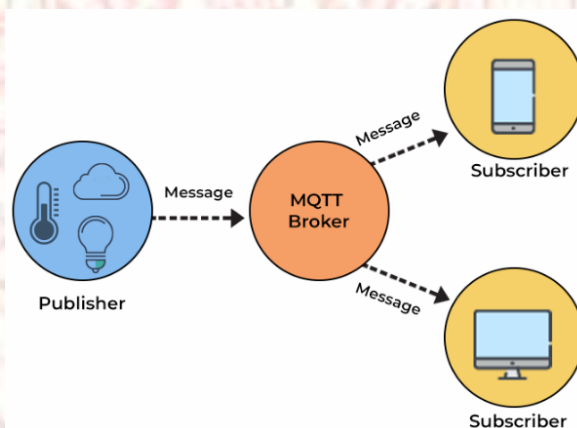
เป็นเฟรมเวิร์กสำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา JavaScript โดยใช้พื้นฐานจาก React ซึ่งมีจุดเด่นด้านความสามารถในการเรนเดอร์แบบฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-side Rendering), การสร้างหน้าเว็บล่วงหน้า (Static Generation) และการสร้าง API ภายในโปรเจกต์เดียวกัน ทำให้สามารถพัฒนาเว็บที่มีความเร็วสูง ตอบสนองได้ดี และรองรับ SEO ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับการพัฒนาเดสบอร์ดหรือเว็บแอปที่ต้องการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นได้อย่างยืดหยุ่น เช่น Tailwind CSS, REST API ทำให้ NextJs เป็นทางเลือกยอดนิยมสำหรับการสร้างเว็บแอปพลิเคชันสมัยใหม่แบบครบวงจร (Full-stack) ในระบบเดียว



ภาพที่ 2-4 สภาพแวดล้อมการทำงานของ NextJs

2.3.4 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

เป็นโปรโตคอลสื่อสารแบบเบา (lightweight protocol) ที่ออกแบบมาสำหรับการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระบบที่มีข้อจำกัดด้านพลังงานและแบนด์วิธ เช่น ระบบ IoT (Internet of Things) โดยใช้รูปแบบการสื่อสารแบบ Publish/Subscribe แทนการส่งตรงแบบ client-server โดยมี Broker เป็นตัวกลางในการรับและแจกจ่ายข้อความระหว่างผู้เผยแพร่ (Publisher) และผู้ติดตาม (Subscriber) MQTT ใช้ TCP/IP เป็นช่องทางสื่อสารหลัก และมีความสามารถในการส่งข้อมูลได้แม้ในเครือข่ายที่ไม่เสถียรหรือแบนด์วิธต่ำ จุดเด่นคือความรวดเร็ว ประหยัดพลังงาน และรองรับการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับระบบที่มีอุปกรณ์จำนวนมากต้องแลกเปลี่ยนข้อมูล เช่น การส่งค่าจากเซ็นเซอร์ไปยังระบบวิเคราะห์ หรือการแจ้งเตือนจากอุปกรณ์เข้าสู่แดชบอร์ดหรือแอปพลิเคชันแบบทันที



ภาพที่ 2-5 การทำงานของ MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

2.3.5 Influx DB

เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่มีลักษณะเป็นลำดับเวลา (Time Series Database) เช่น ข้อมูลจากเซ็นเซอร์, การวัดค่าพลังงาน, ตัวชี้วัดระบบ (Metrics) หรือข้อมูล log ต่าง ๆ โดยมีจุดเด่นคือความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมรองรับการค้นหา วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้อย่างรวดเร็ว InfluxDB ใช้ภาษา InfluxQL หรือ Flux สำหรับสืบค้นข้อมูล ซึ่งมีลักษณะคล้าย SQL ทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน อีกทั้งยังสามารถทำงานร่วมกับระบบแสดงผล เช่น Grafana ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ InfluxDB ยังรองรับการเชื่อมต่อกับ IoT, MQTT,

REST API และระบบคลาวด์ ทำให้เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับระบบที่ต้องการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่อง เช่น ระบบตรวจสอบพลังงานโซล่าเซลล์ หรือระบบติดตามข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคสนาม



ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างการใช้งาน InfluxDB

2.3.6 MySQL

เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Management System – RDBMS) ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากมีความเสถียรสูง ใช้งานง่าย และรองรับการทำงานกับข้อมูลเชิงตารางที่มีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ โดย MySQL ใช้ภาษา SQL (Structured Query Language) เป็นภาษาหลักในการจัดการฐานข้อมูล เช่น การเพิ่ม ลบ แก้ไข หรือดึงข้อมูลจากตารางต่าง ๆ รองรับการทำงานแบบ Client-Server และสามารถเชื่อมต่อกับภาษาการเขียนโปรแกรมยอดนิยม เช่น PHP, Python, Node.js ได้อย่างยืดหยุ่น อีกทั้งยังมีความสามารถในการจัดการข้อมูลจำนวนมาก รองรับการทำธุรกรรม (Transaction), ระบบความปลอดภัย (Security), การสำรองข้อมูล และการทำงานร่วมกับระบบเว็บและแอปพลิเคชันอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบขนาดเล็กจนถึงระดับองค์กร เช่น ระบบจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งาน ระบบหลังบ้านเว็บแอป หรือฐานข้อมูลสำหรับระบบตรวจสอบและวิเคราะห์พลังงาน

2.3.7 Tailwind CSS

เป็นเฟรมเวิร์กสำหรับการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) ที่พัฒนาในแนวทางของ utility-first CSS framework ซึ่งหมายถึงการเขียนโค้ดโดยใช้คลาสที่มีหน้าที่เฉพาะเจาะจง เช่น การกำหนดระยะห่าง (p-4) สี (bg-blue-500) ขนาดตัวอักษร (text-xl) แทนการเขียน CSS แบบกำหนดเองหรือสร้างคลาสที่ซับซ้อน จุดเด่นของ Tailwind คือช่วยให้การพัฒนา UI มีความรวดเร็ว ยืดหยุ่น และสามารถควบคุมสไตล์ได้โดยตรงภายใน HTML โดยไม่ต้องออกแบบไฟล์ CSS แยกต่างหากมากนัก ทั้งยังรองรับการออกแบบที่ตอบสนองทุกอุปกรณ์ (Responsive Design), โหมดมืด (Dark Mode), และสามารถปรับแต่งธีมหรือค่าสไตล์ได้ตามต้องการผ่านไฟล์ นอกจากนี้ Tailwind ยังทำงานได้ดีร่วมกับเฟรมเวิร์กยอดนิยม เช่น React, Vue, Next.js หรือ Laravel ทำให้เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมกับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ต้องการความสวยงาม เรียบง่าย และปรับแต่งได้รวดเร็วในระดับองค์ประกอบ (component level)

```
<div class="flex flex-col items-center p-7 rounded-2xl">
  <div>
    
  </div>
  <div class="flex">
    <span class="text-2xl font-medium">Class Warfare</span>
    <span class="font-medium text-sky-500">The Anti-Patterns</span>
    <span class="flex gap-2 font-medium text-gray-600 dark:text-gray-400">
      <span>No. 4</span>
      <span>.</span>
      <span>2025</span>
    </span>
  </div>
</div>
```

ภาพที่ 2-7 การใช้งาน Tailwind CSS

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบระบบตรวจสอบติดตามสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จัดทำผลงานวิจัยโดย (Choi et al., 2020) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก ปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ก็มีผล กระทบเล็กน้อยเนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงหรือโดยอ้อมต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ แม้ว่าการตรวจสอบติดตามโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จำเป็นต้องพิจารณาพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมเหล่านี้ทั้งหมด แต่โรงไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่มีเซนเซอร์วัดสภาพอากาศเนื่องจากปัญหาด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เพื่อ

แก้ปัญหาที่บทความนี้เสนอการออกแบบระบบตรวจสอบติดตามแบบเว็บ โดยเชื่อมต่อ Open API ของบริการสภาพอากาศแห่งชาติเข้ากับระบบตรวจสอบติดตามแบบเว็บ เพื่อให้ข้อมูลสภาพแวดล้อมสำหรับแต่ละโรงไฟฟ้าที่ติดตาม การตรวจสอบติดตามแบบเว็บยังช่วยให้สามารถจัดการโรงไฟฟ้าที่กระจายตัวอยู่ทั่วไปได้ด้วยระบบเดียวโดยอาศัย API การเก็บข้อมูลแบบเว็บ ในส่วนของ API บริการสภาพอากาศแห่งชาติ ให้บริการข้อมูลสภาพอากาศ 3 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลเรียลไทม์, ข้อมูลพยากรณ์ระยะสั้น และข้อมูลพยากรณ์ระยะยาว ครอบคลุมพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ฝน ฯลฯ ในส่วนของการเก็บข้อมูล รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงไฟฟ้า โดยเฉพาะอินเวอร์เตอร์และเซนเซอร์วัดสภาพอากาศ ใช้การส่งข้อมูลแบบ Push ผ่าน HTTP-REST ในส่วนติดต่อผู้ใช้แบบเว็บ แสดงข้อมูลการตรวจสอบติดตามแบบเรียลไทม์ นำเสนอสถิติประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ช่วยให้เจ้าของโรงไฟฟ้าสามารถเข้าถึงและจัดการข้อมูลได้จากระยะไกล

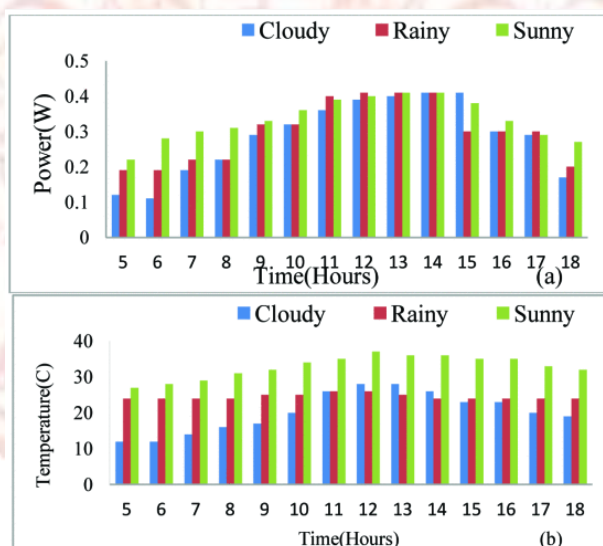
Environment Conditions	Weather Service APIs		
	Real-time	Forecast (short)	Forecast (long)
Temperature	O	O	O
Humidity	O	O	O
Wind Speed	O	O	O
Wind Direction	O	O	O
Rainfall	O	O	O
Rain Type	O	O	O
Rain Probability			O
Sky Condition		O	O
Thunder Condition		O	
Wave Height			O

ภาพที่ 2-8 ข้อมูลที่สามารถเรียกใช้จากบริการเว็บสถานีอากาศ



ภาพที่ 2-9 หน้าจอแสดงผลของระบบตรวจสอบติดตามโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การทำนายพลังงานแบบอนุกรมเวลาโดยใช้แบบจำลอง Hidden Markov สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ จัดทำผลงานวิจัยโดย (Shirbhat & Barve, 2018) พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานสะอาดที่สำคัญ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศโลก ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์จากระบบโซลาร์เซลล์ถือเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เติบโตเร็วเป็นอันดับสามรองจากพลังงานน้ำและพลังงานลม ดังนั้น การบริหารจัดการระบบโซลาร์เซลล์อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ระบบที่เสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองขั้นตอน ได้แก่ ระบบตรวจสอบระดับแผง (Panel-level Monitoring System) และ ระบบทำนายพลังงาน (Solar Power Prediction System) โดยอาศัยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ในการเก็บข้อมูลจากแผงโซลาร์เซลล์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ติดตั้ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผงและตรวจจับข้อผิดพลาดหรือสถานะผิดปกติล่วงหน้า ในขั้นตอนที่สอง ใช้แบบจำลอง Hidden Markov Model (HMM) ในการวิเคราะห์และทำนายการผลิตพลังงานในอนาคตแบบชุดข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-series) ซึ่งสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าก่อนหน้าและค่าถัดไปได้ อย่างแม่นยำ ผลลัพธ์จากระบบนี้แสดงให้เห็นว่า HMM ให้ความแม่นยำสูงกว่าโมเดลทำนายแบบเส้นตรง (Linear Regression)



ภาพที่ 2-10 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลจาก พลังงาน และอุณหภูมิ

การทบทวนการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการทำนายพลังงานแสงอาทิตย์และ การผลิตไฟฟ้าจากโฟโตโวลเทอิก จัดทำผลงานวิจัยโดย (Panda et al., 2022) พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ระบบโครงข่ายไฟฟ้าจากโฟโตโวลเทอิก (PVPG) ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นอย่างมาก จึงมีความไม่แน่นอนสูง ระบบไฟฟ้าต้องอาศัยการพยากรณ์รูปแบบ PVPG ที่แม่นยำ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการผลิต ส่ง และจ่ายไฟฟ้า ความท้าทายอีกประการในการจัดการระบบโฟโตโวลเทอิกคือการประมาณการผลิตทั้งขนาดเล็กและใหญ่ เนื้อหาหลักของบทความกล่าวถึง การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) การประยุกต์ใช้ Machine Learning ในการพยากรณ์พลังงานแสงอาทิตย์

แบบจำลองการทำนายการแผ่รังสีระยะสั้นที่ปรับปรุงแล้วโดยใช้ SSA-BiLSTM ผ่านการสกัดคุณลักษณะของภาพท้องฟ้า (SSA-BiLSTM) จัดทำโดย (Xie et al., 2023) งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอโมเดลการทำนายค่ารังสีอาทิตย์ระยะสั้นที่มีความแม่นยำสูง โดยผสมผสานระหว่างเทคนิคการแยกองค์ประกอบของข้อมูลแบบ Singular Spectrum Analysis (SSA) กับโครงข่ายประสาทเทียมแบบลำดับเวลาสองทิศทาง (BiLSTM) และเสริมด้วยอัลกอริธึมค้นหาแบบชีวภาพเชิงโกลาหล (Chaotic Sparrow Search Algorithm - LSSA) เพื่อปรับปรุงพารามิเตอร์ของโมเดลอย่างมีประสิทธิภาพ จุดเด่นของงานวิจัยคือการใช้ภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จากกล้องถ่ายภาพแบบพื้นดิน (ground-based sky images) เป็นแหล่งข้อมูลภาพซึ่งสะท้อนลักษณะการเคลื่อนที่ของเมฆจริงในเวลาจริง โดยโมเดลไม่เพียงแต่ดึงคุณลักษณะด้านสี เช่น ช่องสัญญาณ R/B และค่าสถิติพื้นฐานอย่างค่าเฉลี่ย (mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ), และเอนโทรปี (entropy) เท่านั้น แต่ยังรวมถึงคุณลักษณะด้านพื้นผิว (texture) ซึ่งได้จากเมทริกซ์การเกิดร่วมของระดับความเทา (GLCM) เช่น พลังงาน (ASM), ความเปรียบต่าง (Contrast), ความสัมพันธ์ (Correlation) และเอนโทรปีของพื้นผิว (Entropy) เพื่อเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ลักษณะเมฆในแต่ละสภาพอากาศอย่างครอบคลุมหลังจากดึงคุณลักษณะเหล่านี้แล้ว ระบบจะดำเนินการจัดชุดข้อมูลใหม่ด้วยวิธี SSA เพื่อแยกองค์ประกอบของสัญญาณที่มีแนวโน้ม (trend), ความแปรปรวน (fluctuation) และสัญญาณรบกวน (noise) ออกจากกันอย่างชัดเจน โดยไม่ต้องอาศัยสมมติฐานล่วงหน้าเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูลดั้งเดิม ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการคาดการณ์ของข้อมูลเชิงเวลา และลดความซับซ้อนของสัญญาณที่เกิดจากการผันแปรของสภาพอากาศ สำหรับการทำนาย โมเดล BiLSTM ได้รับการฝึกด้วยข้อมูลที่ถูก SSA ประมวลแล้ว โดยใช้ LSSA ในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด เช่น learning rate, ขนาดแบตช์ (batch size), และจำนวนโหนดในแต่ละเลเยอร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในจุดเหมาะสมเฉพาะจุด

(local minima) ซึ่งเป็นปัญหาทั่วไปของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก ในการทดลอง โมเดลนี้ได้รับการประเมินด้วยชุดข้อมูลจริงจากสถานีพลังงานแสงอาทิตย์ในเมืองฟอร์ซัม ประเทศสหรัฐอเมริกา ช่วงปี 2014–2016 โดยข้อมูลปี 2014–2015 ใช้ในการฝึก และปี 2016 ใช้ทดสอบความแม่นยำ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าโมเดลที่นำเสนอสามารถทำนายค่ารังสีในช่วง 5–30 นาทีข้างหน้าได้แม่นยำกว่าวิธีอื่น ๆ ที่เปรียบเทียบ เช่น XGBoost, BiRNN, CNN-LSTM และ ConvLSTM โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ค่ารังสีมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบแบบ ablation study เพื่อยืนยันว่าการใส่คุณลักษณะพื้นผิวและการใช้ SSA มีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดล โดยสรุป โมเดล LSSA-BiLSTM ที่ถูกพัฒนานี้แสดงศักยภาพสูงในการทำนายค่ารังสีอาทิตย์ระยะสั้นภายใต้สภาพอากาศหลากหลาย และมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะการลดความผันผวนของโหลดไฟฟ้าและป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของรังสีอย่างกะทันหัน นอกจากนี้ยังวางแนวทางสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่จะใช้ข้อมูลภาพฟิวชันและอินฟราเรด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของการทำนายในระบบที่ต้องการความละเอียดสูงและตอบสนองแบบเรียลไทม์

ระบบบริการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ จัดทำผลงานโดย (Lee et al., 2019) ได้พัฒนาระบบบริการเว็บสำหรับการพยากรณ์การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสนับสนุน ผู้รวบรวมพลังงานไฟฟ้า (Electricity Aggregators) ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าขนาดเล็กที่เพิ่งเปิดในประเทศเกาหลีใต้ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2019 ซึ่งเป็นระบบที่เปิดโอกาสให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย รวมถึงแหล่งพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม สามารถรวมพลังงานเข้าด้วยกันเพื่อขายพลังงานและใบรับรองพลังงานหมุนเวียน (REC) เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีความผันผวนตามสภาพอากาศ การพยากรณ์ที่แม่นยำจึงมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในด้านความเสถียรของระบบไฟฟ้าและความสามารถในการเสนอราคาซื้อขายไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ เพื่อรองรับความต้องการดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำเสนอ แบบจำลองการพยากรณ์โดยใช้อัลกอริทึม Long Short-Term Memory (LSTM) ซึ่งมีความเชี่ยวชาญในการจัดการข้อมูลเชิงลำดับเวลา (Time-Series Data) สำหรับการทำนายปริมาณการผลิตพลังงานล่วงหน้าแบบรายชั่วโมง (Day-Ahead Forecasting) ระบบที่นำเสนอถูกออกแบบให้ทำงานผ่านเว็บเซิร์ฟวิส โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ การลงทะเบียนสมาชิก, การฝึกฝนโมเดลด้วยข้อมูลพลังงานและสภาพอากาศ, การประเมินความแม่นยำของโมเดล, และการพยากรณ์ผลการผลิตในวันถัดไป โดยใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศจากหน่วยงานอุตุนิยมวิทยาแห่งเกาหลี (KMA) ประกอบด้วยข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น สถานะท้องฟ้า และความน่าจะเป็นของฝน ในส่วนของกระบวนการทำงาน โมเดลจะถูกฝึกโดยใช้ชุดข้อมูลที่แบ่งออกเป็นข้อมูลฝึก (Train) และข้อมูลทดสอบ (Test) เมื่อฝึกเสร็จ ระบบจะ

จัดเก็บโมเดลไว้ในฐานข้อมูล และสามารถนำมาใช้ทำนายการผลิตพลังงานในวันถัดไปโดยอัตโนมัติผ่านเว็บอินเทอร์เฟซ ซึ่งสามารถเลือกทรัพยากรที่ต้องการทำนาย และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบภาพและสถิติผลการดำเนินการแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการทำนายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ และสามารถใช้งานได้จริงในระดับภาคสนาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้รวบรวมพลังงานในตลาดซื้อขายพลังงานขนาดเล็ก ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูลที่แม่นยำเพื่อใช้ในการเสนอราคาซื้อขายและการวางแผนระบบในระยะสั้น

การทำนายความผิดปกติในการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้การผสมผสานเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง จัดทำผลงานโดย (El-Hadad et al., 2022) งานวิจัยนี้นำเสนอได้เสนอแนวทางการคาดการณ์การใช้พลังงานที่ผิดปกติ โดยใช้การผสมผสานระหว่างเทคนิคเชิงสถิติและอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบไม่ต้องการสอน (Unsupervised Learning) เพื่อช่วยในการตรวจจับพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ไม่สอดคล้องกับรูปแบบปกติ งานวิจัยนี้เน้นการจัดกลุ่มข้อมูลพลังงานว่า ปกติ หรือ ผิดปกติ โดยใช้สองวิธีหลัก ได้แก่ ช่วงควอไทล์ (Interquartile Range – IQR) และ Isolation Forest (IF) ซึ่งมีความสมบัติเด่นในการแยกแยะข้อมูลที่แปลกแยกจากกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างการวิจัยประกอบด้วย การติดป้ายข้อมูล (Labeling) โดยการใช้ IQR และ IF ในการจำแนกข้อมูลการใช้พลังงานว่าเป็นปกติหรือผิดปกติ ทำการแก้ปัญหาข้อมูลไม่สมดุล โดยการใช้เทคนิค SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) เพื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลกลุ่มผิดปกติให้สมดุลกับกลุ่มปกติ และการพัฒนาโมเดลพยากรณ์ ใช้ อัลกอริทึม Decision Tree (DT) และ Random Forest (RF) เพื่อสร้างโมเดลสำหรับการทำนายการใช้พลังงานผิดปกติ งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูลจาก UCI Machine Learning Repository ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรด้านสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และข้อมูลการใช้พลังงานจาก 3 โซน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ และประเมินผลลัพธ์ด้วยตัวชี้วัดทางสถิติเช่น Accuracy, Precision, Recall และ F1-score

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้ที่จัดทำการค้นคว้าอิสระได้ทำการศึกษากระบวนการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อนำมาใช้ในการแยกประเภทการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาข้อผิดพลาดของการผลิตพลังงานไฟฟ้า และได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองสำหรับการหาข้อผิดพลาดพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือแบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) ซึ่งการนำแบบจำลองนี้มาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศในส่วนของการตรวจสอบความผิดปกติโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของศึกษาทฤษฎีเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดปกติของเซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ได้มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาและเปรียบเทียบแบบจำลองตรวจจับค่าผิดปกติ (Anomaly Detection) ที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลอนุกรมเวลา ได้แก่ แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) และ แบบจำลองเข้ารหัสอัตโนมัติ (Autoencoder) โดยแต่ละแบบจำลองมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านการทำงาน การจัดการกับข้อมูล และความเหมาะสมกับลักษณะของปัญหา แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) เป็นแบบจำลองที่อิงหลักการของการแยกข้อมูลโดยใช้โครงสร้างคล้ายต้นไม้ตัดสินใจ (Tree-based Structure) ซึ่งมีข้อได้เปรียบในด้านความเร็วและความสามารถในการจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่และหลากหลายมิติ โดยไม่ต้องการการฝึกสอนด้วยข้อมูลแบบมีฉลาก ในขณะที่แบบจำลองเข้ารหัสอัตโนมัติ (Autoencoder) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่ต้องมีฉลากข้อมูลที่มีความสามารถสูงในการเรียนรู้โครงสร้างซ่อนเร้นของข้อมูลและบีบอัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม โดยค่าผิดปกติจะถูกระบุจากความคลาดเคลื่อนของการสร้างข้อมูลกลับคืน (Reconstruction Error) จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติหลักของทั้งสองแบบจำลอง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1, ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

รายการเปรียบเทียบ	Isolation Forest	Autoencoder
ลักษณะโมเดล	Tree-based (Unsupervised)	Neural Network (Unsupervised)
หลักการทำงาน	แยกข้อมูลผิดปกติด้วยการสุ่ม และแยกตัวเร็ว	บีบอัดและคืนค่าข้อมูลเพื่อวัดความ คลาดเคลื่อน

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง(ต่อ)

รายการเปรียบเทียบ	Isolation Forest	Autoencoder
ความเหมาะสมกับข้อมูล	เหมาะกับข้อมูลไม่เป็นเชิงเส้น, หลายมิติ	เหมาะกับข้อมูลมีโครงสร้างและลำดับ เช่น อนุกรมเวลา (Time series)
ความสามารถในการตีความผล	สูง (จากค่าคะแนน anomaly)	ปานกลาง (วิเคราะห์จาก reconstruction loss)
ความเร็วในการทำงาน	เร็ว (ไม่ต้องฝึกโมเดลซับซ้อน)	ช้ากว่า (ต้องใช้เวลาในการฝึกโมเดล)
ความต้องการทรัพยากร	น้อย	ปานกลางถึงสูง
ความแม่นยำ	ดีในข้อมูลทั่วไป	สูงเมื่อข้อมูลมีรูปแบบชัดเจน
การใช้งานร่วมกับอนุกรมเวลา	รองรับบางกรณี	รองรับได้ดี

จากการเปรียบเทียบทั้งสองแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) มีความเหมาะสมในด้านความเร็วและการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ในขณะที่ แบบจำลองเข้ารหัสอัตโนมัติ (Autoencoder) มีข้อได้เปรียบในด้านความสามารถในการเรียนรู้รูปแบบเชิงลึกจากข้อมูลโดยเฉพาะข้อมูลที่มีลักษณะอนุกรมเวลา (Time-series) ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้ แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) เนื่องจากสอดคล้องกับลักษณะของข้อมูลที่มีมิติมากและไม่มี ฉลาก (Label) อีกทั้งสามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร และนำไปต่อยอดในการพัฒนาเว็บบริการเพื่อแสดงผลได้อย่างรวดเร็ว

3.2 การศึกษาดำเนินการวิจัย

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบมอนิเตอร์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เป็นเรื่องที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันเนื่องจาก แนวโน้มของโลกมีความต้องการใช้พลังงานสะอาดมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปัจจัย สภาวะโลกเดือด ก๊าซเรือนกระจก ฝุ่น และ ปัจจัย อื่น ๆ จากการจัดทำโครงการนี้ ขึ้นมาช่วยให้อาจารย์ของฟาร์มพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ลดงบประมาณในส่วนของการบริหารจัดการตรวจสอบ แผงโซลาร์เซลล์ ไม่จำเป็นการลดการใช้แรงงานจากวิศวกรที่ทำการตรวจสอบแผงลดระยะเวลาในการตรวจสอบ และ สามารถติดตามผลได้จากนอกสถานที่ได้ การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องใช้ในการติดตามผลการผลิตไฟฟ้า โดยกรอบแนวคิดการวิจัยแบ่งขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 การเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ (Hardware)

3.2.2 การออกแบบการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้แสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูล

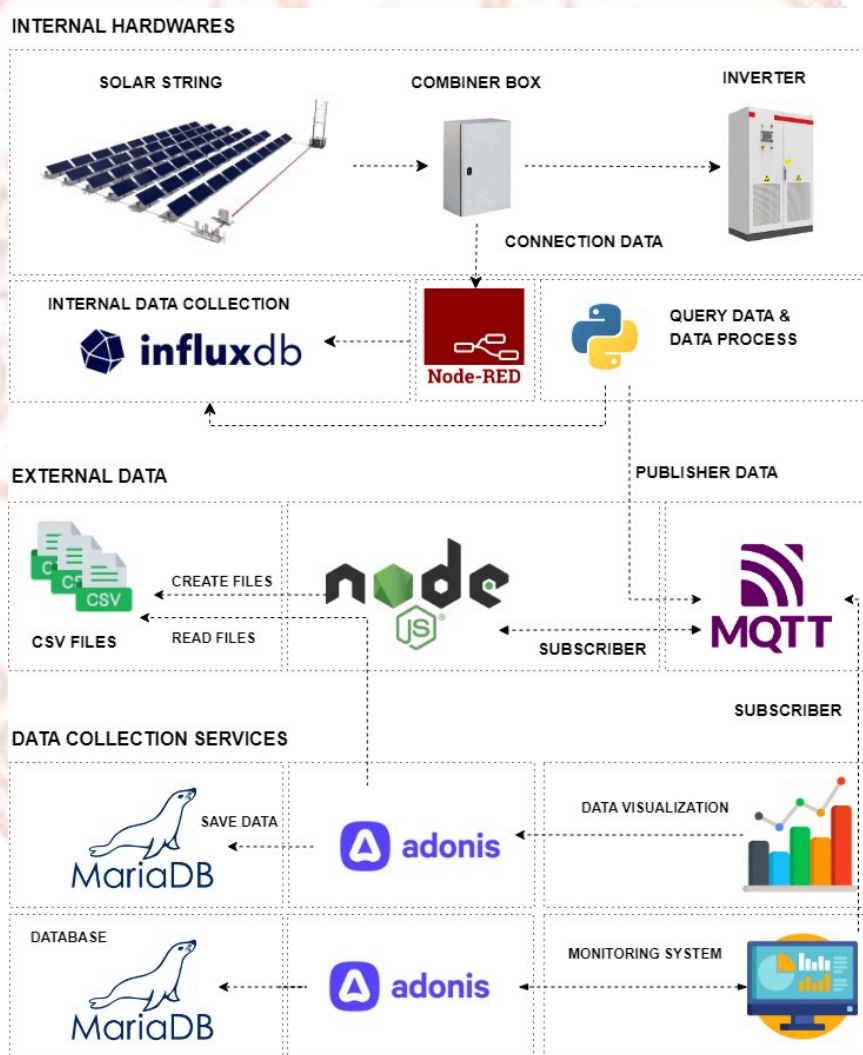
3.2.3 ออกแบบโครงสร้างของระบบ

3.2.4 ออกแบบฐานข้อมูล

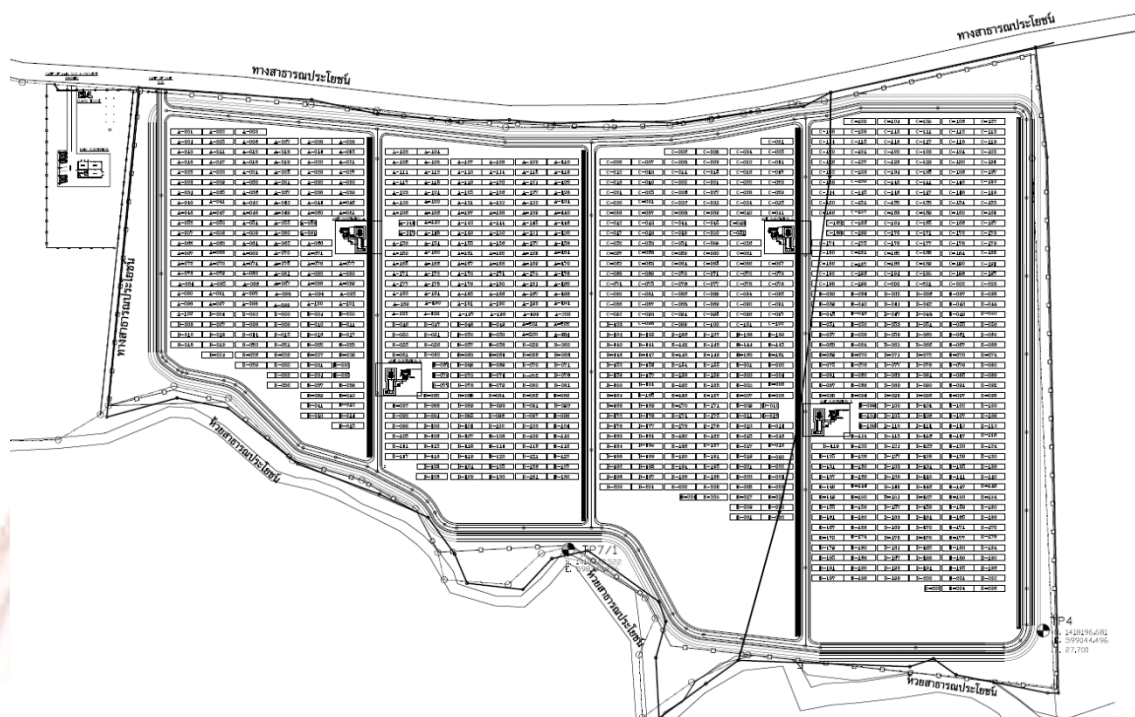
3.2.5 พัฒนาโปรแกรมเพื่อสร้างระบบในการจัดการข้อมูล

3.2.6 พัฒนาโปรแกรมเพื่อสร้างระบบในการมอไนเตอร์

ดั่งภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดของระบบ



ภาพที่ 3-2 ผังพิมพ์เขียวโครงการที่ทำการวิจัย



ภาพที่ 3-3 ผังโครงการจาก Google map

3.3 การศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบโซลาร์เซลล์

จากการศึกษาหลักการทำงานของระบบโซลาร์เซลล์ ทำงานด้วยการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง จากที่ได้ทำการศึกษา และดึงข้อมูลจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีตัวแปรที่นำมาใช้งานได้แก่ตัวแปรดังนี้

3.3.1 ค่ากระแส (I) ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนไหลในวงจรไฟฟ้าต่อหน่วยวินาทีเรียกว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าไหล

3.3.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) เป็นหน่วยวัดที่ใช้ในการวัดแรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไปตามตัวนำไฟฟ้า

3.3.3 ค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio PR) เป็นค่าที่บอกถึงคุณลักษณะการทำงานของ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3.3.4 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (Irradiance: IRR) พลังงานต่อหน่วยพื้นที่

3.3.5 ค่าอุณหภูมิของแผง (PV Temperature)

▼ ESMAEQS01

```
B6C3ST11 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
C2C5ST5 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
C5C1ST12 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
D3C5ST6 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
D6C2ST12 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
D1C4ST3 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
A2C6ST1 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
B3C6ST9 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
D6C2ST2 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
B6C3ST12 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
B1C4ST3 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
A5C1ST11 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
C5C1ST2 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
C2C5ST6 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
D6C2ST3 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
B6C3ST2 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
D1C4ST4 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
A2C6ST10 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
D3C5ST7 = {"V": 0.0, "I": 0.0, "P": 0.0, "IRR": 0.42, "PV_TEMP": 20.2, "POWER_MAX": 6.3, "PR": 0.0}
B4C1ST1 = {"P": 0.0, "I": 0.0, "V": 0.0, "IRR": 0.31, "PV_TEMP": 21.62, "POWER_MAX": 6.2, "PR": 0.0}
```

ภาพที่ 3-4 รูปแบบการส่งข้อมูลจาก MQTT

3.4 การศึกษาเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาระบบ

จากการศึกษาเทคโนโลยีเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาระบบมอนิเตอร์ผู้จัดทำโครงการได้ศึกษาข้อมูลเครื่องมือต่าง ๆ และได้้นำเครื่องมือมาออกแบบเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบดังนี้

Node-RED เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาแบบ Flow-based programming ที่ช่วยให้การเชื่อมต่อและจัดการอุปกรณ์ IoT, API และบริการต่างๆ ทำได้ง่ายผ่านการสร้าง Flow แบบภาพ

(Visual Programming) ในระบบโซลาร์เซลล์ Node-RED ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ โดยเฉพาะ Inverter ผ่านโปรโตคอล Modbus เพื่อเก็บค่าการผลิตไฟฟ้า แรงดัน กระแส และสถานะต่างๆ ทุก 5 วินาที ข้อมูลที่ได้จะถูกแปลงเป็นรูปแบบ JSON และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องก่อนส่งไปเก็บใน Influx DB การทำงานของ Node-RED ในระบบแบ่งเป็นสามส่วนหลัก คือ การรับข้อมูล (Input) การประมวลผล (Processing) และการส่งออก (Output) โดยใช้ Node ต่างๆ เชื่อมต่อกันเป็น Flow ตามลำดับการทำงาน เช่น Node สำหรับอ่านค่าจาก Inverter จะส่งข้อมูลไปยัง Node ที่ทำการคำนวณประสิทธิภาพ และส่งต่อไปยัง Node ที่บันทึกลงฐานข้อมูลและส่งการแจ้งเตือนหากพบค่าผิดปกติระบบยังมีการตั้งค่าการทำงานอัตโนมัติ เช่น การสร้างรายงานประจำวัน การคำนวณค่าเฉลี่ย และการตรวจสอบประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับการปรับแต่งและขยายระบบได้ตามความต้องการในอนาคต

Influx DB เหมาะสำหรับงานเกี่ยวกับ Time Series Database เหมาะสำหรับงาน IOT ระบบโซลาร์เซลล์เป็นฐานข้อมูลประเภท Time Series Database ที่ออกแบบมาสำหรับการจัดการข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยเฉพาะ ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้า ประสิทธิภาพ สถานะต่างๆ ของระบบโซลาร์เซลล์ โดยข้อมูลจะถูกส่งเข้ามาจาก Node-RED ทุก 5 วินาที ประกอบด้วยค่าต่างๆ เช่น กำลังการผลิตไฟฟ้า แรงดัน กระแส เป็นต้น

Python ได้ถูกนำมาเขียนเป็นตัวอ่านข้อมูลจาก Influx DB ทำการแปลงข้อมูลและ ส่งข้อมูลไปยังโปรโตคอล MQTT (Message Queue Broker) เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Server ภายนอกเนื่องจากข้อมูลจากโซลาร์เซลล์เป็นข้อมูลภายใน เพื่อเป็นการป้องกันการโจมตีจากภายนอกจำเป็นต้องสร้าง Server เป็นตัวส่งข้อมูลแยกจากระบบภายในของโครงการ

Nodejs เป็นส่วนในการรับข้อมูลจาก MQTT (Message Queue Broker) เพื่อนำข้อมูลเพื่อบันทึกสร้างไฟล์ .CSV ข้อมูลเปรียบเทียบ ก่อนนำข้อมูลบันทึกลงฐานข้อมูล เพื่อป้องกันข้อมูลมีขนาดใหญ่เขียนตรงไปยังฐานข้อมูล จากที่ได้ทำการทดสอบข้อมูล ปริมาณข้อมูลโดยเฉลี่ยต่อวันมีข้อมูลปริมาณ 2 ล้านข้อมูล จึงไม่เหมาะที่จะให้ทำการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลโดยตรง

NextJs เป็นเฟรมเวิร์กของ ReactJs ได้ถูกนำมาทำหน้าที่สร้างหน้าจอการแสดงผลต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการตั้งค่าระบบ การสร้างหน้าจอสำหรับการมอนิเตอร์ข้อมูลการแสดงผล

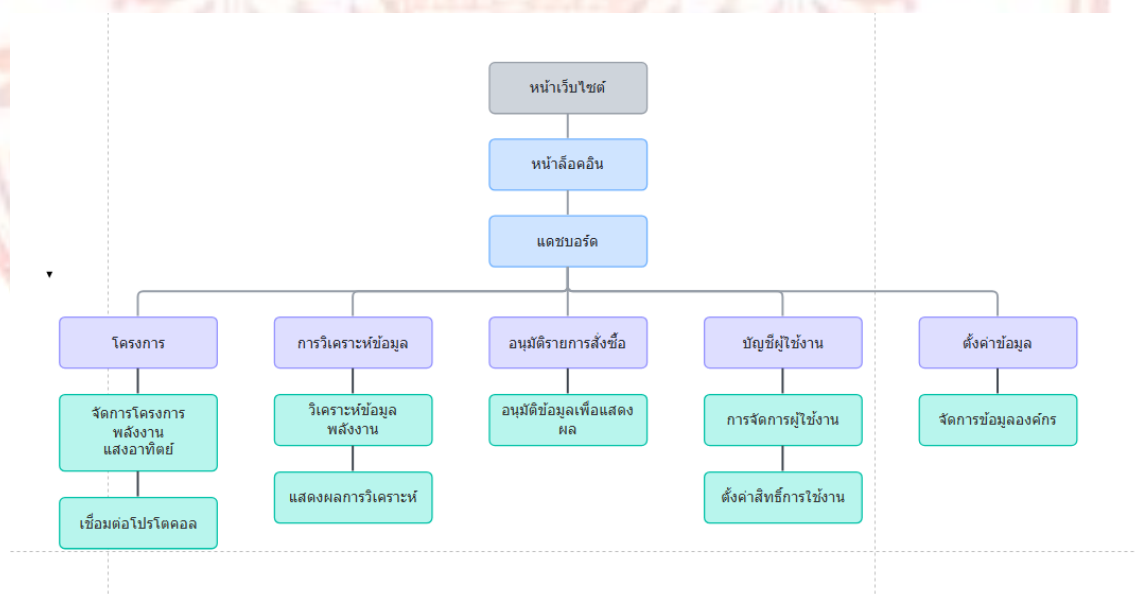
AdonisJs เป็น Framework ของ Nodejs มีการเขียนระบบในรูปแบบ MVC ส่วนที่ทำหน้าที่ของ AdonisJs ได้นำมาเขียนในรูปแบบการส่งข้อมูลแบบ RESTFUL-API เป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบ JSON เพื่อส่งข้อมูลให้กับ NextJs เรียกใช้งาน

3.5 การรวบรวมข้อมูลความต้องการของระบบ

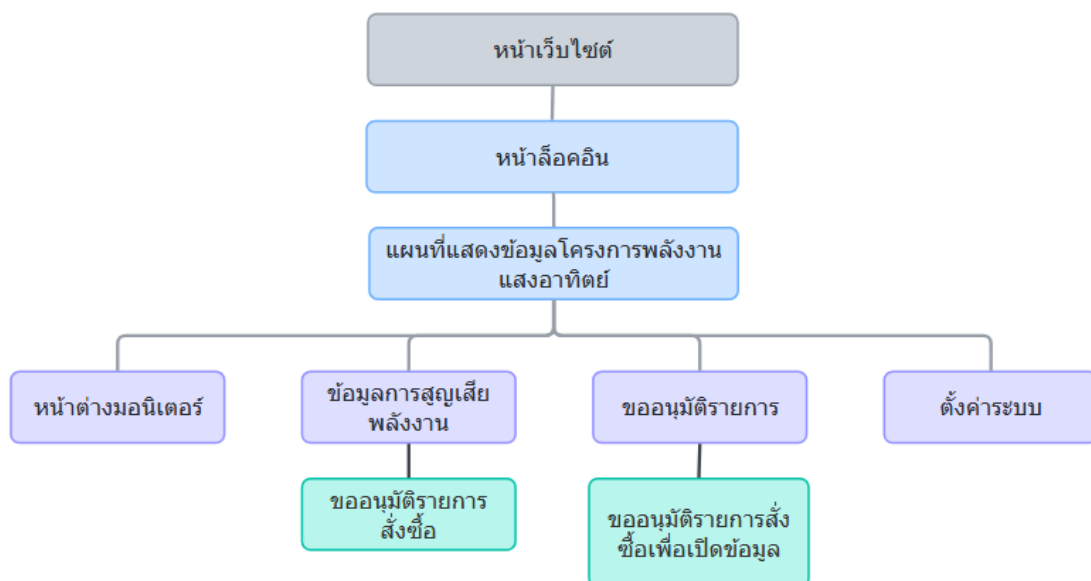
เนื่องจากการพัฒนาระบบนี้เกิดจากปัญหาจาก ผู้ดูแลหน้างานหรือ ทีมงานวิศวกรที่อยู่หน้างาน และผู้บริหาร มีความต้องการที่จะมอนิเตอร์ข้อมูล และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้จากภายนอกเนื่องจากการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่ได้คำนึงถึงการจัดงบประมาณในการ สร้างระบบ สำหรับดูแลข้อมูลของการผลิตพลังงานไว้ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอระบบมอนิเตอร์ เพื่อใช้สำหรับติดตามผลของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ยังช่วยให้การ บริหารจัดการง่ายขึ้น เพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคต

3.6 การออกแบบและพัฒนาระบบเพื่อแสดงผลข้อมูล

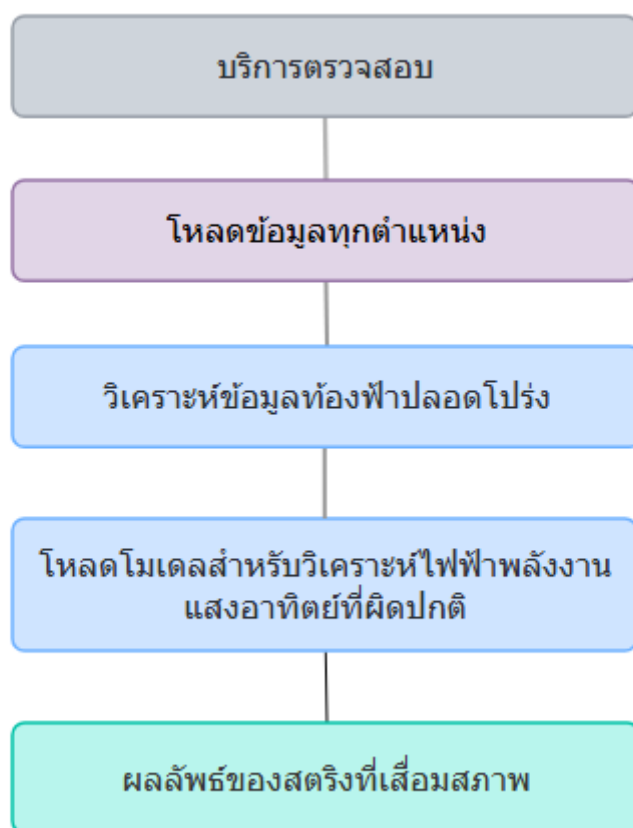
การออกแบบและพัฒนาระบบสำหรับใช้ในการ มอนิเตอร์พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ นั้น ประกอบไปด้วยการทำงานของ 3 ฟังก์ชันการทำงานหลักประกอบไปด้วย ระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ ผู้ใช้งานระบบมอนิเตอร์การผลิตพลังงานไฟฟ้า และกระบวนการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3-5 ผังงานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ



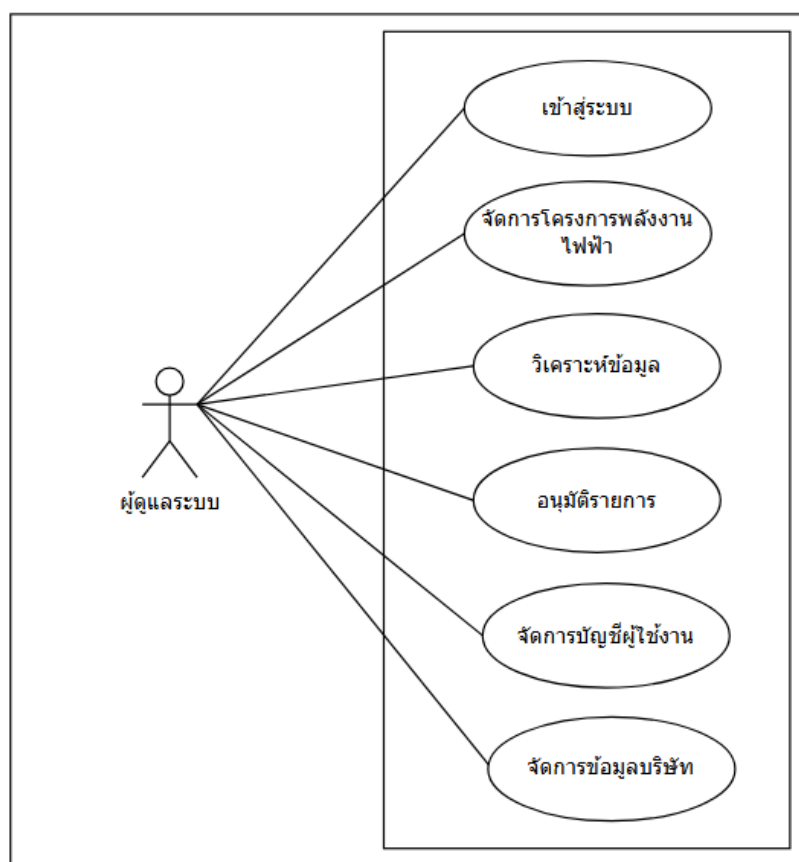
ภาพที่ 3-6 ผังงานระบบสำหรับผู้ใช้งานมอนิเตอร์การผลิตพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 3-7 ผังงานระบบสำหรับวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 3-5 ถึง ภาพที่ 3-7 แสดงถึงการทำงานฝั่งงานของการทำงานของระบบ สามารถนำข้อมูลมาออกแบบแผนภาพได้ดังนี้

3.6.1 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ของระบบผู้ดูแลระบบสามารถแสดงการทำงานของระบบโดยอยู่ในรูปสัญลักษณ์ คนและใช้สัญลักษณ์วงรีเป็นการทำงานของผู้ใช้งานระบบ



ภาพที่ 3-8 ยูสเคสของระบบการจัดการข้อมูลของผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 3-8 แผนภาพยูสเคสของระบบการจัดการข้อมูล แสดงความสัมพันธ์ว่าผู้ใช้งานกับฟังก์ชันการทำงาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดยูสเคสสำหรับผู้ดูแลระบบ

ลำดับ	ยูสเคส (Use Cases)
1	เข้าสู่ระบบ (Login System) ผู้ดูแลระบบต้องทำการเข้าสู่ระบบด้วยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านเพื่อเข้าถึงระบบ
2	จัดการโครงการพลังงานไฟฟ้า (Manage Power Projects) ผู้ดูแลระบบสามารถสร้าง แก้ไข หรือลบโครงการพลังงานไฟฟ้า
3	วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data) ระบบช่วยให้ผู้ดูแลสามารถเรียกดูข้อมูลและข้อมูลวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ได้
4	อนุมัติรายการ (Approve) ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบและอนุมัติคำขอ เพื่อเปิดข้อมูลให้ผู้ใช้งานเห็นมูลค่าความเสียหาย
5	จัดการบัญชีผู้ใช้งาน (Manage User Accounts) ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่ม แก้ไข จัดการสิทธิ์ หรือลบบัญชีของผู้ใช้งานระบบได้
6	จัดการข้อมูลบริษัท (Manage Company Information) ผู้ดูแลระบบสามารถอัปเดตข้อมูลบริษัท เช่น รายละเอียดองค์กร ที่อยู่ และข้อมูลบริษัท

ตารางที่ 3-4 รายละเอียดยูสเคสการใช้งานระบบ

User Case Name	หน้าจอการเข้าใช้งานระบบ (Login Page)
Scenario	แสดงหน้าจอการเข้าใช้งานระบบ
Actor	ผู้ดูแลระบบ
Trigger	เมื่อผู้ใช้งานต้องการเข้าใช้ระบบ
Pre-condition	เมื่อผู้ใช้งานยังไม่ได้ทำการเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 3-5 รายละเอียดยวดยสเคสการจัดการข้อมูลโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Use Case Name	หน้าจอการจัดการโครงการพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์
Scenario	แสดงหน้าจอการจัดการข้อมูลโครงการพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์
Actor	ผู้ดูแลระบบ
Trigger	เมื่อผู้ใช้งานระบบทำการ เพิ่ม แก้ไข ตั้งค่าข้อมูลตำแหน่ง
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ข้อมูลถูกเพิ่ม หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลในฐานข้อมูล

ตารางที่ 3-6 รายละเอียดยวดยสเคสวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

Use Case Name	หน้าจอวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์
Scenario	แสดงหน้าจอวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์
Actor	ผู้ดูแลระบบ
Trigger	เมื่อผู้ใช้งานเลือกดูโครงการที่ต้องการ
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ข้อมูลถูกเรียกใช้งานเพื่อแสดงผลการวิเคราะห์

ตารางที่ 3-7 รายละเอียดยสเคสการอนุมัติข้อมูลรายการเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้า

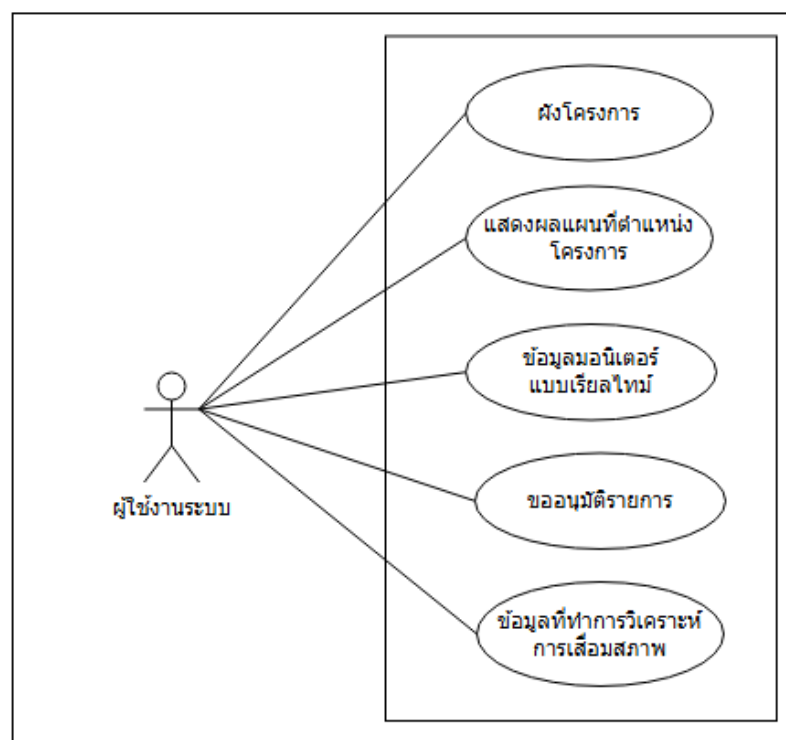
Use Case Name	หน้าจออนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพ
Scenario	แสดงรายการที่ร้องขอการอนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพของการผลิตไฟฟ้า
Actor	ผู้ดูแลระบบ
Trigger	เลือกข้อมูลตามตัวงานที่มีการร้องขอให้อนุมัติ
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ข้อมูลถูกอัปเดตไปยังข้อมูลผู้ใช้งานให้สามารถเรียกอ่านข้อมูลได้

ตารางที่ 3-8 รายละเอียดยสเคสการจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน

Use Case Name	หน้าจอการจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน
Scenario	แสดงรายการข้อมูลผู้ใช้งาน
Actor	ผู้ดูแลระบบ
Trigger	เมื่อผู้ใช้งานระบบทำการ เพิ่ม แก้ไข ลบ ตั้งค่าสิทธิ์ผู้ใช้งาน
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ข้อมูลถูกเพิ่ม หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลในฐานข้อมูล

ตารางที่ 3-9 รายละเอียดยูสเคสการจัดการข้อมูลองค์กร

Use Case Name	หน้าจอการจัดการข้อมูลองค์กร
Scenario	แสดงรายการข้อมูลองค์กร
Actor	ผู้ดูแลระบบ
Trigger	เมื่อผู้ใช้งานระบบทำการ เพิ่ม แก้ไข ลบ องค์กร
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ข้อมูลถูกเพิ่ม หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลในฐานข้อมูล



ภาพที่ 3-9 ยูสเคสของระบบการมอนิเตอร์การผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 3-10 รายละเอียดยูสเคสการเข้าใช้งานระบบ

Use Case Name	หน้าจอเข้าใช้งานระบบ
Scenario	แสดงหน้าจอการเข้าใช้งานระบบ
Actor	ผู้ใช้งานระบบ
Trigger	เมื่อผู้ใช้งานต้องการเข้าใช้ระบบ
Pre-condition	เมื่อผู้ใช้งานยังไม่ได้ทำการเข้าสู่ระบบ
Post-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 3-11 รายละเอียดยูสเคสการแสดงผลตำแหน่งแผนที่ของโครงการพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

Use Case Name	หน้าจอแสดงแผนที่โครงการ
Scenario	การแสดงผลโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตำแหน่ง
Actor	ผู้ใช้งานระบบ
Trigger	แสดงข้อมูลโครงการพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่มีการเปิดใช้งาน
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	แสดงผลข้อมูลโครงการไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3-12 รายละเอียดยูสเคสการแสดงผลการมอ니터พลังงานแสงอาทิตย์

Use Case Name	หน้าจอมอ니터พลังงานแสงอาทิตย์
Scenario	การแสดงผลข้อมูลมอ니터แบบเรียลไทม์
Actor	ผู้ใช้งานระบบ
Trigger	เลือกแต่ละโครงการพลังงานแสงอาทิตย์
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	แสดงผลข้อมูลตำแหน่งของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ ลี แสดงเปอร์เซ็นต์

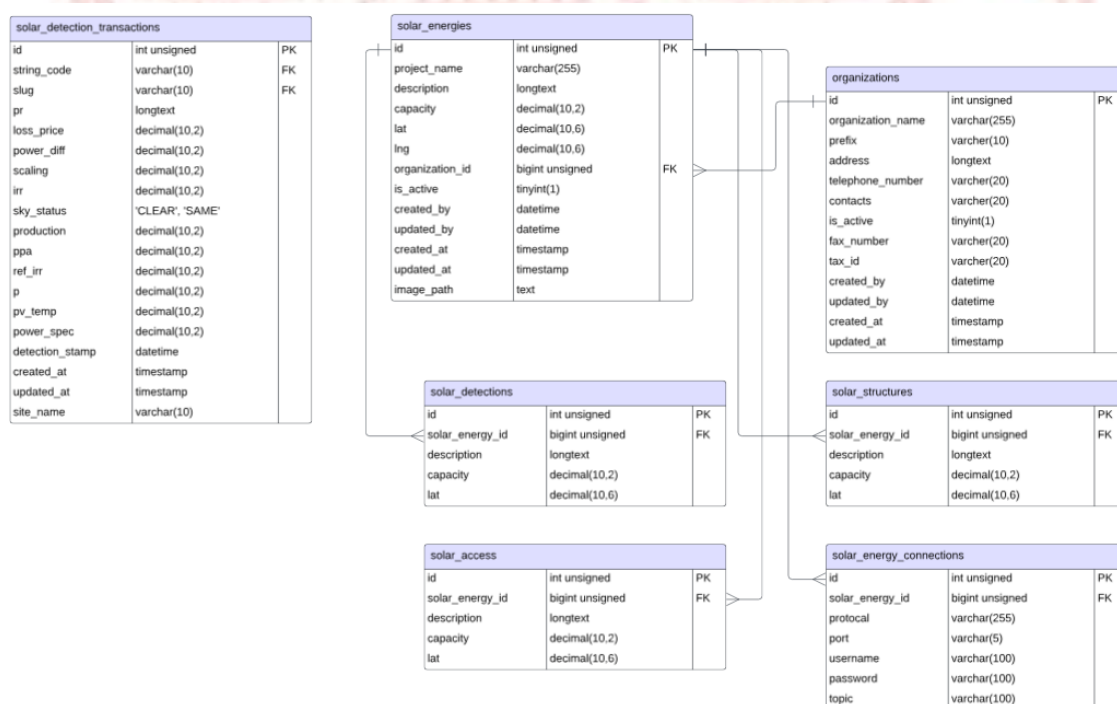
ตารางที่ 3-13 รายละเอียดยูสเคสการขออนุมัติข้อมูลรายการที่เสื่อมสภาพ

Use Case Name	หน้าจอการขออนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงาน
Scenario	การแสดงผลวิเคราะห์ข้อมูลการเสื่อมสภาพ
Actor	ผู้ใช้งานระบบ
Trigger	เลือกข้อมูลโครงการที่ต้องการขออนุมัติ
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	แสดงผลข้อมูลสถานะการขออนุมัติ

ตารางที่ 3-14 รายละเอียดคุณสมบัติการแสดงผลรายการที่เสื่อมสภาพ

Use Case Name	หน้าจอการขอผลการเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงาน
Scenario	การแสดงผลวิเคราะห์ข้อมูลการเสื่อมสภาพ
Actor	ผู้ใช้งานระบบ
Trigger	เลือกข้อมูลโครงการที่ต้องการแสดงผล
Pre-condition	ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ
Post-condition	แสดงผลผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ

3.6.2 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Entity หรือกลุ่มข้อมูล (ER Diagram) ของระบบหลัก
ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Entity หรือกลุ่มข้อมูล

3.6.3 การศึกษาได้ทำความเข้าใจข้อมูลในส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการที่ได้ทำการวิจัยนั้นประกอบไปด้วยข้อมูล 1,704 รายการ ต่อมาที่ประกอบไปด้วย การส่งข้อมูลตัวแปร กำลังการผลิต (P), กระแส (I), แรงดันไฟฟ้า(V), ความเข้มแสง(IRR), ชื่อโครงการ วันที่ เวลา และหมายเลขของตำแหน่งสตริง เพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลในรูปแบบ อนุกรมเวลา เพื่อนำมาวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3-15

ตารางที่ 3-15 คุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลอนุกรมเวลา

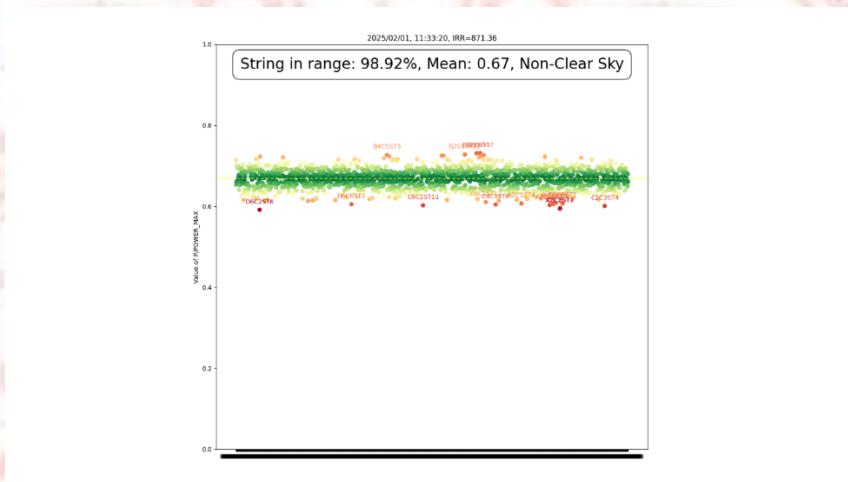
ลำดับ	คุณลักษณะ	ความหมาย
1	site_name	ชื่อโครงการเพื่อระบุโครงการที่ต้องการวิจัย
2	string_code	ชื่อตำแหน่งของข้อมูลแต่ละแผง
3	p	ค่าพลังงาน
4	i	ค่ากระแส
5	v	ค่าแรงดัน
6	irr	ค่าความเข้มแสง
7	pv_temp	ค่าของอุณหภูมิแผง
8	date_time	วันที่และเวลาในการบันทึก

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลการเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

การออกแบบและพัฒนาระบบสำหรับใช้ในการ วิเคราะห์การเสื่อมสภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ นั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

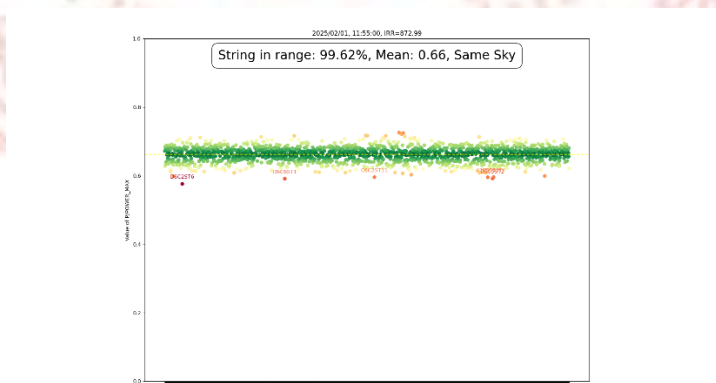
3.7.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของข้อมูลประกอบไปด้วย 3 สถานะได้แก่ สถานะท้องฟ้ามีเมฆบัง ท้องฟ้ามีค่าเข้มแสงเท่ากัน สถานะท้องฟ้าปลอดโปร่ง กระบวนการมีได้ดังนี้

3.7.1.1 สถานะท้องฟ้ามีเมฆทำให้การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพไม่คงที่เป็นปัจจัยให้เกิดการวิเคราะห์ผลผิดพลาด สถานะท้องฟ้าไม่ปลอดโปร่งมีการ ปล็อตข้อมูลได้ดังภาพที่ 3-11



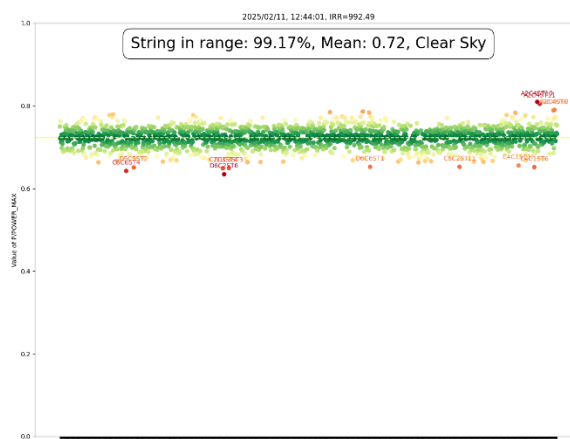
ภาพที่ 3-11 สถานะท้องฟ้าไม่ปลอดโปร่งหรือมีเมฆบังโครงการ

3.7.1.2 สถานะท้องฟ้ามีเมฆแต่การผลิตมีสถานะคงที่แต่มีการพล็อตอยู่ใน สมการ คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล มีอัตรามากกว่า 98% ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 สถานะท้องฟ้ามีการแผ่รังสีคงที่เท่ากันทั้งโครงการ

3.7.1.3 สภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งสภาวะนี้จะเกิดเมื่อไม่มีเงาเมฆมาบดบังโครงการพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เงื่อนไขอยู่ในอัตรามากกว่า 98% และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่มากกว่า 70% ดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 สภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง

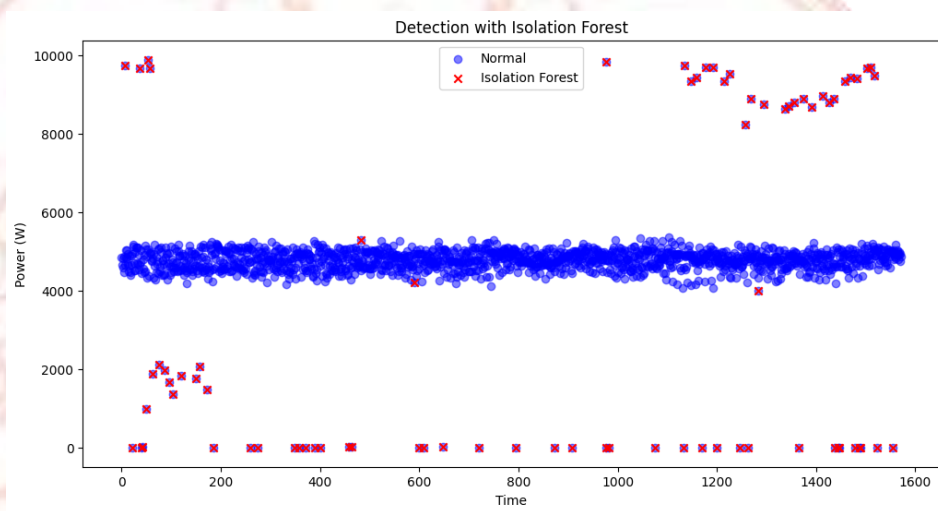
3.7.1.4 การทดสอบสมมุติฐานนี้ได้มีการเปรียบเทียบกับเวลาจริงของสถานที่โครงการ โดยการใช้การเปรียบเทียบกับพนักงานที่โครงการพลังงานแสงอาทิตย์ถ่ายรูปท้องฟ้าส่งมาเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากกราฟ ดังภาพที่ 3-14



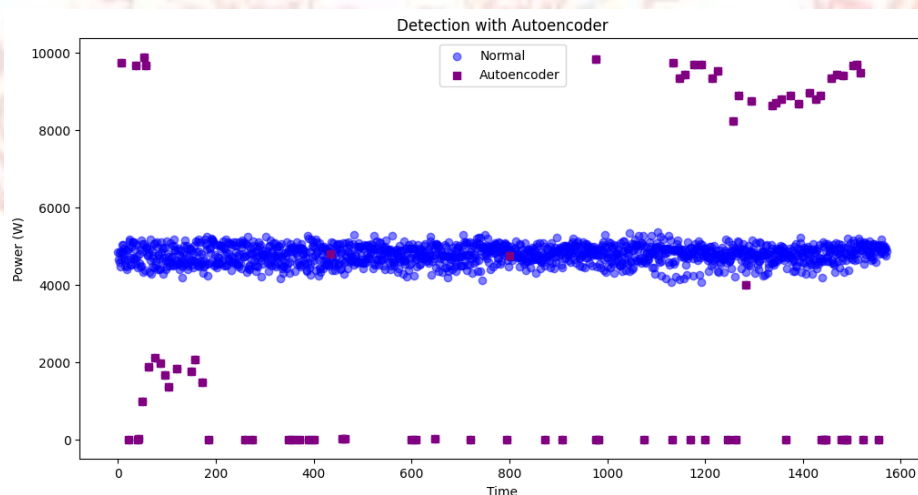
ภาพที่ 3-14 ภาพถ่ายการยืนยันข้อมูลสถานะการณ์ท้องฟ้า

3.7.2 การทดสอบโมเดลสำหรับจำแนกประเภทของการผลิตพลังงานที่ผิดปกติโดยการใช้โมเดลป่าแยก Isolation Forest สร้างต้นไม้ตัดสินใจเพื่อแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ค่าปกติ เกะกลุ่มอยู่ใกล้เคียงกันส่วนค่าผิดปกติจะถูกแยกออกจากต้นไม้ได้ง่ายอย่างเห็นได้ชัดเจนเปรียบเทียบกับการใช้โมเดล โปรแกรมเข้ารหัสอัตโนมัติ (Autoencoder) มีผลลัพธ์วิเคราะห์ที่ได้เท่ากัน ขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

3.7.2.1 หลังจากได้ข้อมูลสถานะท้องฟ้าตลอดไปรงทำการแยกข้อมูล ช่วงเวลาดังกล่าวนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้ คุณลักษณะของตัวแปร ได้แก่ p , i , v , irr , pv_temp ทำการเข้าโมเดล แล้วทำการวาดกราฟข้อมูล ดังภาพที่ 3-15 และ ภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-15 การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest)



ภาพที่ 3-16 การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองเข้ารหัสอัตโนมัติ (Autoencoder)

3.7.2.2 ผลลัพธ์สำหรับสองโมเดลข้างต้นมีผลลัพธ์เท่ากันมีรูปแบบการสร้างกราฟคล้ายคลึงกันการเปรียบเทียบระหว่างสองโมเดล ซึ่งแบบจำลองทั้ง 2 มีความแตกต่างกัน ดังนี้

3.7.2.2.1 หลังจากผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองแล้วนั้น วิธีการประเมินประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการนำไปพัฒนางานวิจัยนี้เลือกใช้ได้แก่ แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) เนื่องจากระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บบริการจึงต้องเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับความเร็วและตอบสนองกับผู้ใช้อย่างรวดเร็ว ผลการประเมินในการเลือกใช้ดัง ตารางที่ 3-16

ตารางที่ 3-16 การเปรียบเทียบคุณสมบัติแบบจำลอง Isolation Forest และ Autoencoder

เกณฑ์การพิจารณา	Isolation Forest	Autoencoder	หมายเหตุ
ความเร็วในการประมวลผล	✓	X	Isolation Forest ใช้โครงสร้างต้นไม้ที่เบา ไม่ต้องฝึกโมเดลเชิงลึก
ความเร็วในการนำไปใช้รูปแบบเว็บบริการ	✓	X	ตอบสนองเร็ว เหมาะกับเว็บที่ต้องมีการตรวจสอบแบบ real-time
ความแม่นยำ	✓	✓	Autoencoder เหมาะกับข้อมูล Time-series ที่มีรูปแบบชัดเจน
ความง่ายในการตีความผลลัพธ์	✓	X	Isolation Forest ให้คะแนน anomaly เข้าใจง่ายกว่า
ความยืดหยุ่นในข้อมูลหลายมิติ	✓	✓	ทั้งสองสามารถทำงานกับข้อมูลหลายตัวแปรได้ดี
ความซับซ้อนของการฝึกโมเดล	✓	X	Autoencoder ต้องใช้เวลาฝึกและจูนพารามิเตอร์มาก

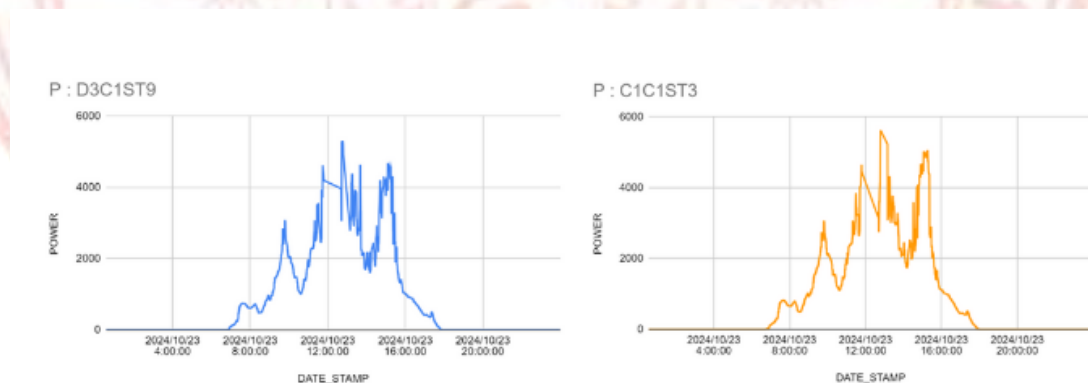
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

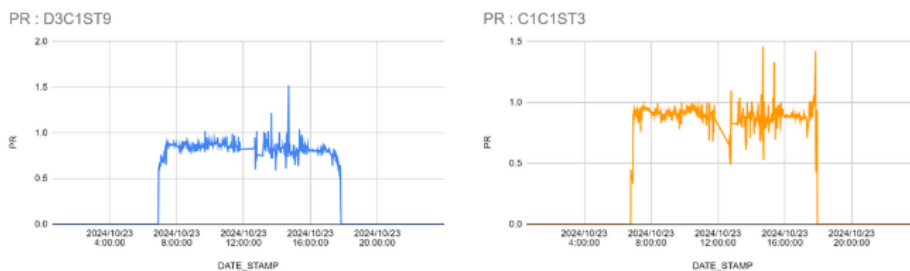
ผลการดำเนินงานวิจัย หัวข้อเรื่องระบบสนับสนุนการมอนิเตอร์เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของโซลาร์เซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ผู้จัดทำการค้นคว้าอิสระได้ทำการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

4.1 ผลการเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบมอนิเตอร์

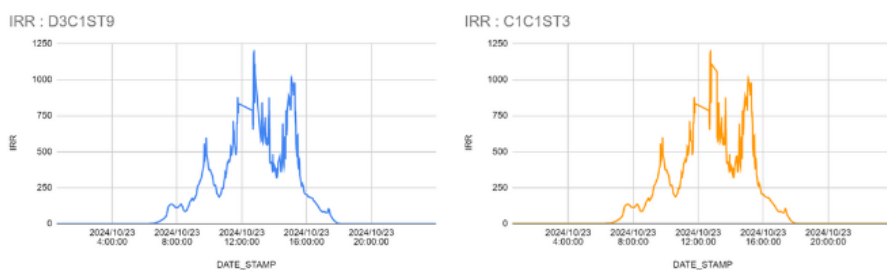
จากข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้จาก การทดสอบการเก็บข้อมูลดิบจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อนำไปพัฒนาระบบ ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นในแต่ละช่วง ฤดูกาลนั้นการผลิตไฟฟ้าจะมีผลกระทบต่อการผลิตไฟเช่นเดียวกัน เนื่องจากสภาวะอากาศแต่ละฤดูกาลจะเกิดเมฆบดบังท้องฟ้า อุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถคาดการณ์สภาวะได้แม่นยำว่าในแต่ละวัน จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่าไร ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของการผลิตไฟ จึงได้ทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบ อนุกรมเวลาเพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมข้อมูล ได้สุ่มตัวอย่างมา 2 รายการ ดังภาพที่ 4-1 - ภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 4-3

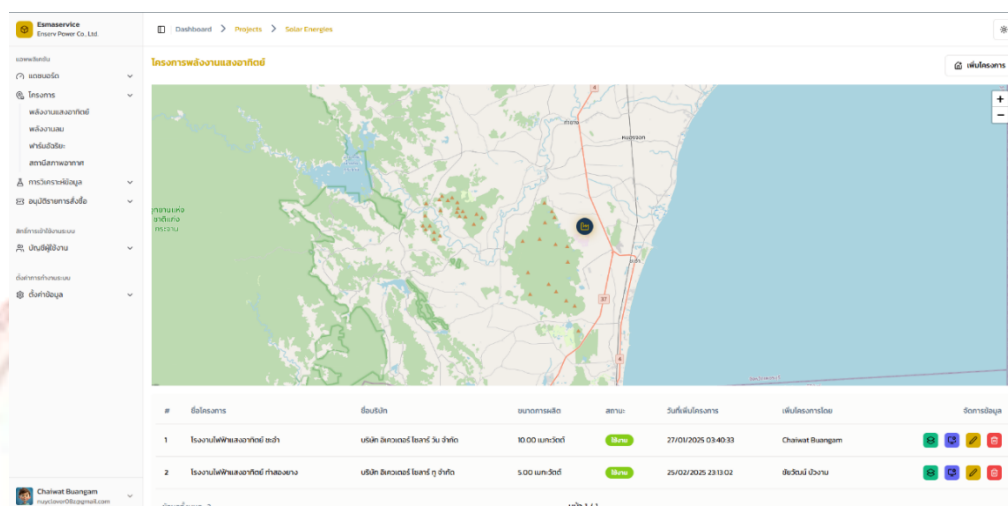
ตัวอย่างค่าความเข้มของแสงอาทิตย์

4.2 ผลการพัฒนาระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ

จากการพัฒนาระบบสำหรับผู้ดูแลระบบผู้ใช้งานระบบสามารถตั้งค่าเกี่ยวกับข้อมูลการผลิตแสงอาทิตย์ ในแต่ละสถานที่ต่าง ๆ ได้ อย่างอิสระ

ภาพที่ 4-4 หน้าจอการเข้าใช้งานระบบของผู้ดูแลระบบ

ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานได้จาก OAuth ของ Google หรือกรอกข้อมูลผู้ใช้งานได้อย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อเข้าใช้ระบบ หากมีการเปิดสิทธิ์ให้เข้าใช้งานแล้ว ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-5 หน้าจอการแสดงผลข้อมูลสถานที่ผลิตพลังงานแสงอาทิตย์

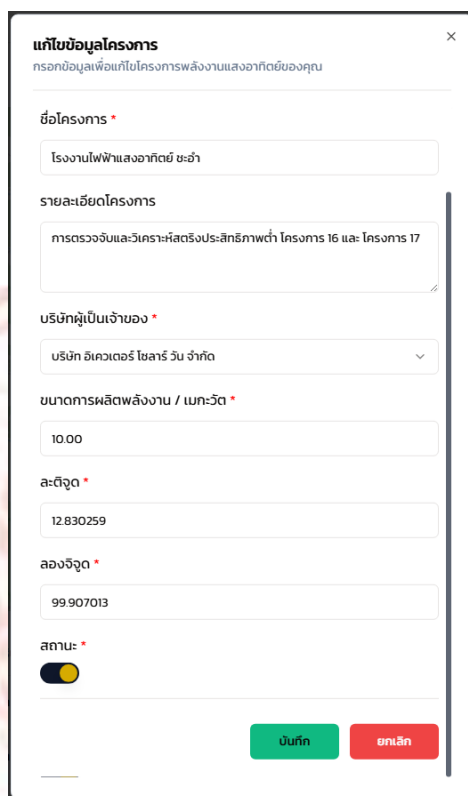
ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานหน้าจอการแสดงผล ในส่วนของสถานที่ต่าง ๆ ของฟาร์มโซลาร์เซลล์ได้ ดังภาพที่ 4-5

The screenshot shows a form titled 'สร้างข้อมูลโครงการ' (Create Project Information). The form includes the following fields:

- รูปโครงการ** (Project Image): A file upload button labeled 'Choose File' with the text 'No file chosen'.
- ชื่อโครงการ *** (Project Name): A text input field.
- รายละเอียดโครงการ** (Project Details): A text area for project description.
- บริษัทผู้เป็นเจ้าของ *** (Owner Company): A dropdown menu with 'เลือกข้อมูลบริษัท' (Select company information).
- ขนาดการผลิตพลังงาน / เมกะวัตต์ *** (Production Capacity / Megawatt): A text input field with the placeholder 'หน่วยพลังงานเป็น เมกะวัตต์' (Energy unit is in Megawatt).
- ละติจูด *** (Latitude): A text input field with the placeholder 'ระบุตำแหน่งละติจูด' (Specify latitude).
- ลองจิจูด *** (Longitude): A text input field with the placeholder 'ระบุตำแหน่งลองจิจูด' (Specify longitude).
- สถานะ *** (Status): A dropdown menu with a sun icon.

ภาพที่ 4-6 หน้าจอการสร้างข้อมูลสถานที่สำหรับผลิตพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้ใช้งานระบบสามารถเพิ่มข้อมูลสถานที่ได้ดังภาพที่ 4-6



แก้ไขข้อมูลโครงการ

กรอกข้อมูลเพื่อแก้ไขโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ของคุณ

ชื่อโครงการ *

โรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ชะอำ

รายละเอียดโครงการ

การตรวจจับและวิเคราะห์สัณฐานภาพต่ำ โครงการ 16 และ โครงการ 17

บริษัทผู้เป็นเจ้าของ *

บริษัท อีเคเตอร์ โซลาร์ วัน จำกัด

ขนาดการผลิตพลังงาน / เมกะวัตต์ *

10.00

ละติจูด *

12.830259

ลองจิจูด *

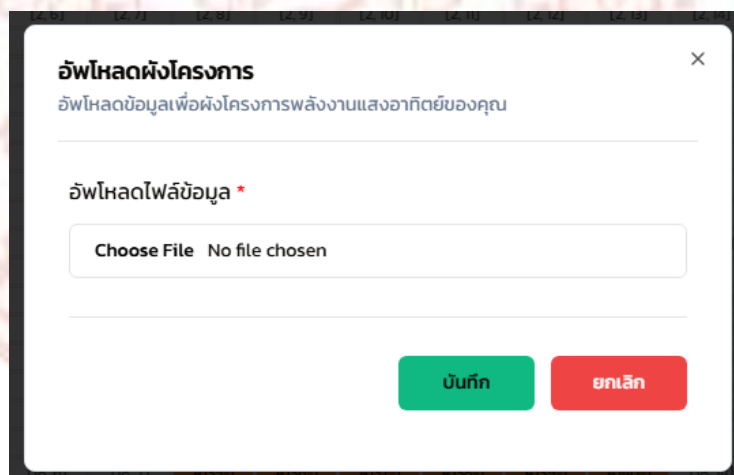
99.907013

สถานะ *

☒ ☐

บันทึก ยกเลิก

ภาพที่ 4-7 หน้าจอการแก้ไขข้อมูลสถานที่สำหรับผลิตพลังงานแสงอาทิตย์
ผู้ใช้งานระบบสามารถแก้ไขข้อมูลสถานที่ได้ดังภาพที่ 4-7



อัปโหลดผังโครงการ

อัปโหลดข้อมูลเพื่อผังโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ของคุณ

อัปโหลดไฟล์ข้อมูล *

Choose File No file chosen

บันทึก ยกเลิก

ภาพที่ 4-8 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลของอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณ

A	B	C	D	E
STR_CODE	STR_NAME	MAP_STR_CODE	PV	PV_STR
A1-CNB12-03	A001-1	A1C12ST03	310	20
A1-CNB12-03	A001-2	A1C12ST03	310	20
A1-CNB12-02	A002-1	A1C12ST02	310	20
A1-CNB12-02	A002-2	A1C12ST02	310	20
A1-CNB12-01	A003-1	A1C12ST01	310	20
A1-CNB12-01	A003-2	A1C12ST01	310	20
A1-CNB11-01	A004-1	A1C11ST01	310	20
A1-CNB11-01	A004-2	A1C11ST01	310	20
A1-CNB11-02	A005-1	A1C11ST02	310	20
A1-CNB11-02	A005-2	A1C11ST02	310	20
A1-CNB11-03	A006-1	A1C11ST03	310	20
A1-CNB11-03	A006-2	A1C11ST03	310	20
A2-CNB03-01	A007-1	A2C03ST01	310	20
A2-CNB03-02	A007-2	A2C03ST02	310	20
A2-CNB06-01	A008-1	A2C06ST01	310	20
A2-CNB06-02	A008-2	A2C06ST02	310	20
A2-CNB06-03	A009-1	A2C06ST03	310	20

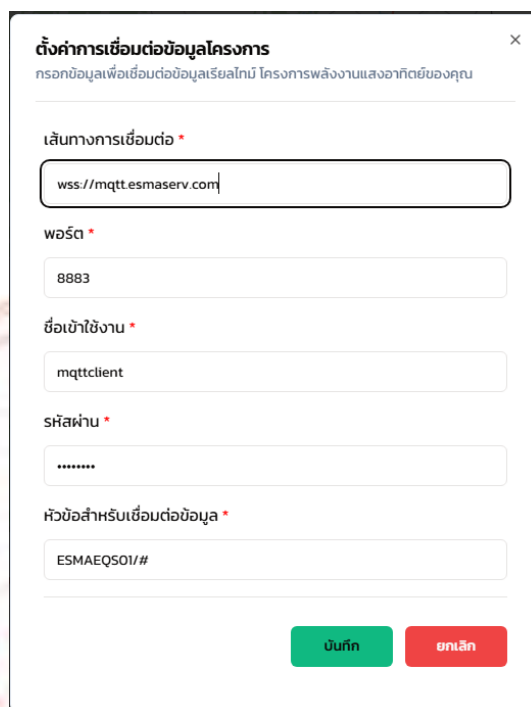
ภาพที่ 4-9 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้นำเข้าระบบเกี่ยวกับอุปกรณ์

การนำเข้าข้อมูลจำเป็นต่อการเชื่อมข้อมูลเพื่อแสดงผลยังหน้าจอผู้ใช้งานข้อมูลต้องมีการตรวจสอบอย่างถูกต้องเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างสมบูรณ์

The screenshot shows the 'Solar Service' software interface. The main window displays a data table with columns: STR_CODE, STR_NAME, MAP_STR_CODE, PV, and PV_STR. The table contains multiple rows of data, likely representing different PV system components or modules. The interface also includes a sidebar with navigation options and a top bar with project information.

ภาพที่ 4-10 หน้าจอการตั้งค่าตำแหน่งของอุปกรณ์

หน้าจอการตั้งค่าตำแหน่งของอุปกรณ์จะเป็นการตั้งค่าเพื่อระบุพิกัด (X, Y) สำหรับใช้ในการแสดงผลข้อมูล และเชื่อมต่อกับโปรโตคอลเพื่อแสดงผลในรูปแบบเรียลไทม์ ภาพที่ 4-10



ตั้งค่าการเชื่อมต่อข้อมูลโครงการ

กรอกข้อมูลเพื่อเชื่อมต่อข้อมูลเรียลไทม์ โครงการพลังงานแสงอาทิตย์ของคุณ

เส้นทางเชื่อมต่อ *

wss://mqtt.esmaserv.com

พอร์ต *

8883

ชื่อใช้งาน *

mqttclient

รหัสผ่าน *

หัวข้อสำหรับเชื่อมต่อข้อมูล *

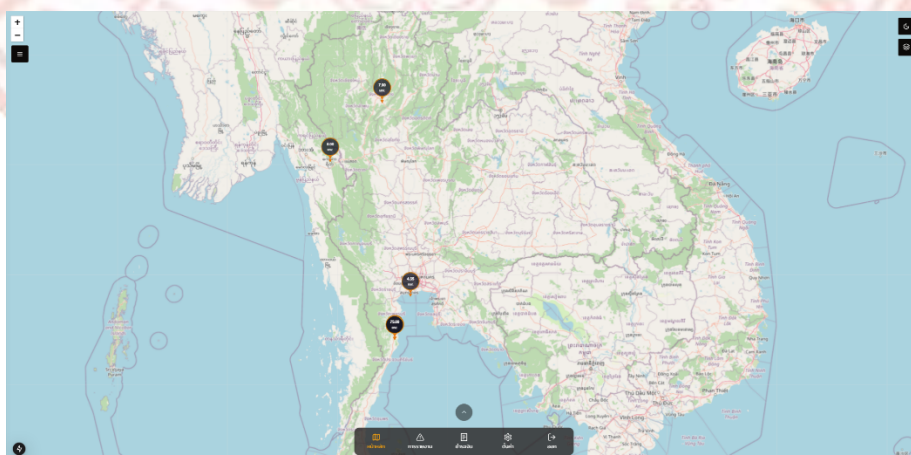
ESMAEQS01/#

บันทึก ยกเลิก

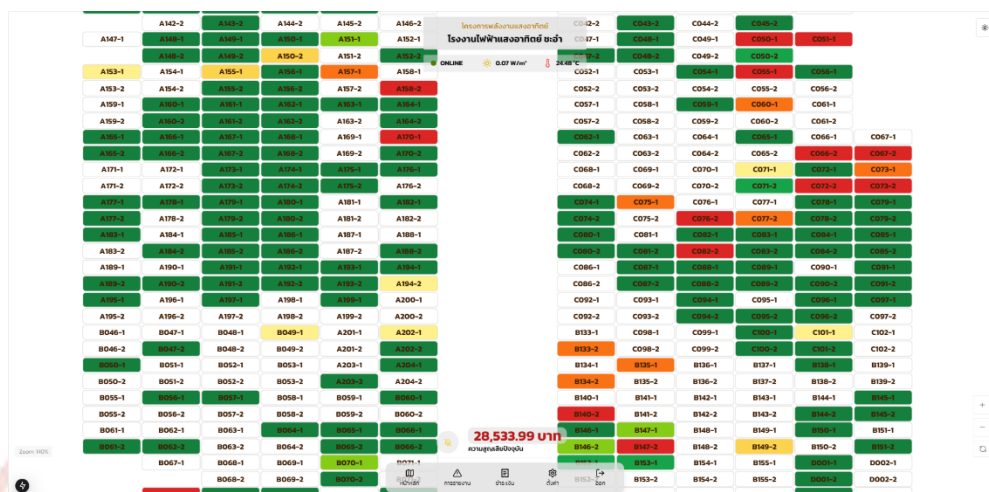
ภาพที่ 4-11 หน้าจอการตั้งค่าการเชื่อมต่อข้อมูลกับตัวส่งสัญญาณโปรโตคอล

4.3 ผลการพัฒนาระบบสำหรับผู้ใช้งาน

ในส่วนของระบบสำหรับผู้ใช้งานผู้ใช้งานสามารถติดตามผลมอนิเตอร์ ในข้อมูลรูปแบบเรียลไทม์ ได้จากการระบบผู้ใช้งาน สถานะของโซลาร์ฟาร์ม เมื่อข้อมูลถูกตั้งค่าสมบรูณ์ระบบจะถูกประมวลผล ดังภาพที่ 4-12 - 4.15



ภาพที่ 4-12 หน้าจอการแสดงผลตำแหน่งโรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4-13 หน้าจอการแสดงผลตำแหน่งของอุปกรณ์จากการมอนิเตอร์



ภาพที่ 4-14 หน้าจอการแสดงผลการรับข้อมูลจาก MQTT

ในส่วนของการแสดงผลการรับข้อมูลจะมีการอัปเดตสถานะตำแหน่งแต่ละจุดด้วยการคำนวณค่าประสิทธิภาพการผลิตของแผงโซลาร์เซลล์ (Performance Ratio) จะถูกแสดงผลด้วยเงื่อนไขของการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์เป็นตัวกำหนดค่าสี ดังภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-15 ค่าสีสำหรับกำหนดเปอร์เซ็นต์

ส่วนของการแสดงผลตำแหน่งจะถูกเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าข้อมูลของแต่ละตำแหน่ง มีการเปลี่ยนแปลงโดยจะถูกประมวลผลภาพใหม่ ในรูปแบบการคำนวณเป็น % เพื่อทำการเปลี่ยนแปลง ข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลจากการเขียนเงื่อนไขให้เป็นไปตามในรูปแบบสี โดยกำหนดเงื่อนไขดัง ภาพที่ 4-17

```
const getColorForValue = (value: any) => {
  if (value <= 0) return "bg-transparent";
  if (value <= 0.29) return "bg-red-600";
  if (value <= 0.39) return "bg-red-500";
  if (value <= 0.49) return "bg-orange-500";
  if (value <= 0.59) return "bg-amber-300";
  if (value <= 0.69) return "bg-yellow-200";
  if (value <= 0.79) return "bg-lime-500";
  if (value <= 0.89) return "bg-green-600";
  return "bg-green-700";
};
```

ภาพที่ 4-16 ฟังก์ชันการกำหนดเงื่อนไขแสดงผลค่าสีโดย

The screenshot shows a dashboard for a solar farm. At the top, there are four summary cards: 'ข้อมูลการผลิตไฟฟ้ารวม' (Total electricity production), 'ข้อมูลการเชื่อมต่อ' (Connection information), 'ข้อมูลการเชื่อมต่อ' (Connection information), and 'ข้อมูลการเชื่อมต่อ' (Connection information). Below these is a table titled 'ข้อมูลการผลิตไฟฟ้ารวม' (Total electricity production) with columns for 'ลำดับ' (Sequence), 'ชื่อแผง' (Panel name), 'อัตราการผลิตไฟฟ้า' (Electricity production rate), 'กำลังการผลิต' (Production capacity), 'กำลังการผลิตรวม' (Total production capacity), 'อุณหภูมิ' (Temperature), 'มูลค่าการผลิตไฟฟ้า' (Electricity production value), 'วันที่ตรวจพบ' (Detection date), and 'จัดการ' (Manage). The table contains 7 rows of data.

ลำดับ	ชื่อแผง	อัตราการผลิตไฟฟ้า	กำลังการผลิต	กำลังการผลิตรวม	อุณหภูมิ	มูลค่าการผลิตไฟฟ้า	วันที่ตรวจพบ	จัดการ
1	A084-1	77 %	660 W	964.3100	53.0700	1,362.81 บาท	03/03/2025 13:25	จัดการแผง
2	A043-2	75 %	610 W	914.6500	51.6500	1,210.87 บาท	03/03/2025 12:46	จัดการแผง
3	A038-3	77 %	630 W	914.6500	51.9100	1,179.36 บาท	03/03/2025 13:07	จัดการแผง
4	B095-2	50 %	390 W	815.5500	52.4800	5,953.14 บาท	03/03/2025 11:26	จัดการแผง
5	B095-1	52 %	400 W	875.5500	52.4300	3,267.86 บาท	03/03/2025 11:26	จัดการแผง
6	B083-1	43 %	330 W	875.5500	52.4300	3,069.07 บาท	03/03/2025 11:26	จัดการแผง
7	B083-2	41 %	330 W	875.5500	52.4300	3,054.99 บาท	03/03/2025 11:26	จัดการแผง

ภาพที่ 4-17 หน้าจอการแสดงผลมูลค่าความเสียหายจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ส่วนของการแสดงผลของตำแหน่งของโซลาร์เซลล์ที่เกิดข้อผิดพลาดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยการใส่แบบจำลองแบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) เมื่อเกิดเหตุการณ์สถานะท้องฟ้าปลอดโปร่งจะทำการเข้าแบบจำลอง และบันทึกค่าลงฐานข้อมูลในส่วนของการตรวจพบความผิดพลาด

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบมอนิเตอร์ที่สามารถติดตามและตรวจสอบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียลไทม์ โดยนำแนวคิดของระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องเข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าถึงข้อมูลและวิเคราะห์ความผิดปกติของแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องลงพื้นที่จริงในการตรวจสอบแผงทุกแผง ซึ่งช่วยลดเวลาและแรงงานในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสามารถรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในแต่ละจุด เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า ความเข้มแสง อุณหภูมิ และประสิทธิภาพการผลิต แล้วนำเสนอผลในรูปแบบแผนผังโครงการ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะของแผงในแต่ละจุดได้อย่างชัดเจน หากพบความผิดปกติ ระบบจะแสดงตำแหน่งของแผงที่มีแนวโน้มเสื่อมสภาพเพื่อให้ผู้ดูแลสามารถวางแผนเข้าแก้ไขได้อย่างทันท่วงที การเลือกใช้แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) ในการตรวจจับค่าความผิดปกติของข้อมูลพลังงาน เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับลักษณะของระบบที่ต้องการความเร็วในการวิเคราะห์ และไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีฉลาก (Label) ล่วงหน้า โมเดลนี้สามารถแยกข้อมูลผิดปกติออกจากข้อมูลปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้ทรัพยากรระบบต่ำ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในระบบเว็บที่มีการรับส่งข้อมูลต่อเนื่อง ทั้งนี้ปัญหาที่พบระหว่างการพัฒนาระบบ คือ ปริมาณข้อมูลจำนวนมากจากเซ็นเซอร์ ทำให้ระบบใช้ทรัพยากรเครื่องสูงในบางจังหวะ ผู้วิจัยได้แก้ไขโดยใช้เทคนิคการเก็บข้อมูลในตัวแปรสถานะ (State) และตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงก่อนการอัปเดตค่าต่าง ๆ ซึ่งช่วยลดการประมวลผลที่ไม่จำเป็นและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

จากผลการดำเนินการพัฒนาระบบ พบว่า การนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศ ช่วยเพิ่มศักยภาพในการตรวจสอบ และติดตามการผลิตพลังงานได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) ซึ่งมีข้อได้เปรียบด้านความเร็ว ความง่ายในการนำไปใช้ และสามารถปรับใช้กับข้อมูลที่ไม่มีการติดฉลาก (Unlabeled Data) ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองเข้ารหัสอัตโนมัติ (Autoencoder) ซึ่งแม้จะมีความแม่นยำในการเรียนรู้เชิงลึกและเหมาะกับข้อมูลที่มีลักษณะเชิงเวลา แต่ในบริบทของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ต้องรองรับการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากแบบเรียลไทม์ แบบจำลองป่าแยก (Isolation Forest) ตอบสนองได้รวดเร็วกว่า และมีความเหมาะสมในการใช้งานเชิงปฏิบัติจริงมากกว่า นอกจากนี้ ระบบ

ยังสามารถลดความสูญเสียจากการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ และช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนที่กำลังได้รับความนิยมในระดับนโยบายและอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

5.2.1 เพิ่มตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศเพื่อนำข้อมูลมาส่งเสริมในการวิเคราะห์ปัจจัยได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสภาพอากาศมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

5.2.2.1 พัฒนาโมเดลรวม เช่น LSTM + Isolation Forest เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทั้งแนวโน้มล่วงหน้าและการตรวจจับความผิดปกติ

5.2.2.2 ศึกษาการประยุกต์ใช้โมเดล Attention หรือ Transformer สำหรับพยากรณ์พลังงานที่แม่นยำขึ้น

5.2.2.3 วิจัยเปรียบเทียบแบบจำลองอื่น ๆ เช่น LOF, One-Class SVM หรือ GAN เพื่อหาวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับกรณีข้อมูลไม่สมดุล

5.2.2.4 พัฒนาการเชื่อมต่อข้อมูลกับบริการภายนอก เช่น ข้อมูลสภาพอากาศจากหน่วยงานพยากรณ์อากาศ เพื่อเพิ่มปัจจัยในการวิเคราะห์ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Chanthakit, S., & Rattanapoka, C. (2020). A Campus IoT Cloud Platform for Stream Processing. *InCIT 2020 - 5th International Conference on Information Technology*.
<https://doi.org/10.1109/InCIT50588.2020.9310965>
- Choi, J., Choi, M., Shin, Y., & Lee, I. W. (2020). Design of Web-based Monitoring System for Solar Photovoltaic Power Plants. *International Conference on Information Networking, 2020-January*. <https://doi.org/10.1109/ICOIN48656.2020.9016482>
- El-Hadad, R., Tan, Y. F., & Tan, W. N. (2022). Anomaly Prediction in Electricity Consumption Using a Combination of Machine Learning Techniques. *International Journal of Technology, 13*(6).
<https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i6.5931>
- Franklin, & Ed. (2018). Solar Photovoltaic (PV) System Components. *University of Arizona - Cooperative Extension, May*.
- Heydari, M., Heydari, A., & Amini, M. (2023). Solar Power Generation and Sustainable Energy: A Review. *International Journal of Technology and Scientific Research, 12*(03).
- Lee, J. I., Shin, Y. M., Energy, I. W. L., & Kim, S. H. (2019). Solar Power Generation Forecasting Service. *ICTC 2019 - 10th International Conference on ICT Convergence: ICT Convergence Leading the Autonomous Future*.
<https://doi.org/10.1109/ICTC46691.2019.8939757>
- Panda, S., Dhaka, R. K., Panda, B., Pradhan, A., Jena, C., & Nanda, L. (2022). A review on application of Machine Learning in Solar Energy

Photovoltaic Generation Prediction. *Proceedings of the International Conference on Electronics and Renewable Systems, ICEARS 2022*. <https://doi.org/10.1109/ICEARS53579.2022.9752404>

Shirbhate, I. M., & Barve, S. S. (2018). Time-Series Energy Prediction using Hidden Markov Model for Smart Solar System. *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2018*. <https://doi.org/10.1109/CESYS.2018.8724074>

Xie, Q., Ma, L., Liu, Y., Fu, Q., Shen, Z., & Wang, X. (2023). An improved SSA-BiLSTM-based short-term irradiance prediction model via sky images feature extraction. *Renewable Energy*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119507>

Xu, H., Pang, G., Wang, Y., & Wang, Y. (2023). Deep Isolation Forest for Anomaly Detection. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 35(12). <https://doi.org/10.1109/TKDE.2023.3270293>

Zhang, C., Geng, Y., Han, Z., Liu, Y., Fu, H., & Hu, Q. (2024). Autoencoder in Autoencoder Networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 35(2). <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2022.3189239>

Zhang, M., & Yin, L. (2022). Solar Cell Surface Defect Detection Based on Improved YOLO v5. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195901>

Clover Power. (2567). *พลังงานสะอาด (Clean Energy)* [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2567, จาก <https://www.cloverpower.co.th/th/updates/blog/223/พลังงานสะอาด-clean-energy>

คลังความรู้ Sci Math. (2562). อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2562, จาก <https://www.scimath.org/article-technology/item/9089-2018-10-18-07-59-07>

Government Complex. (2560). เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <https://www.governmentcomplex.com/handicap/news-detail.php?p=ldHX4jc=>

UAC Co., Ltd. (2564). พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) คืออะไร? [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2564, จาก <https://www.uac.co.th/th/knowledge-sharing/341/solar-energy>

Chang & Rattanaoka, 2020

Chang et al., 2024

Chen, 2023

(M. J. Lee & Y. H. Kim, 2022)

(H. J. Kim, 2023)





ภาคผนวก ก

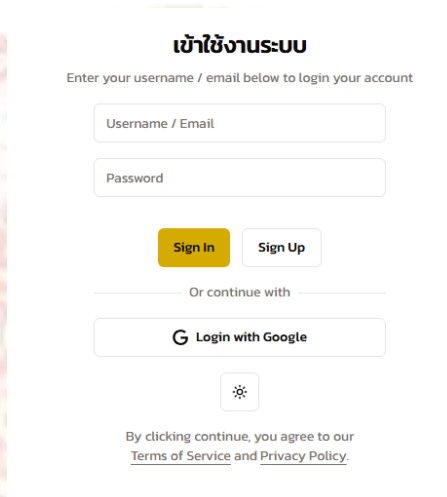
คู่มือการใช้งานระบบสารสนเทศ

คู่มือการใช้งาน

ระบบสนับสนุนการมอนิเตอร์เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพ

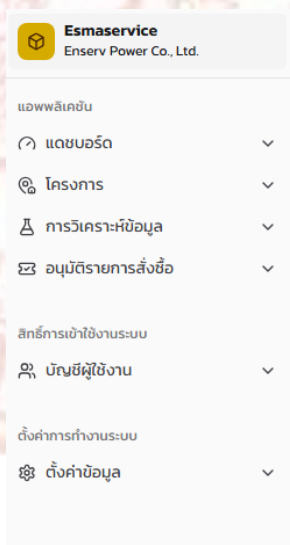
การเข้าใช้งานระบบสำหรับผู้ดูแลระบบ

เข้าสู่ระบบโดยการระบุ “ชื่อผู้ใช้งาน” และ “รหัสผ่าน” ดังภาพที่ ก-1



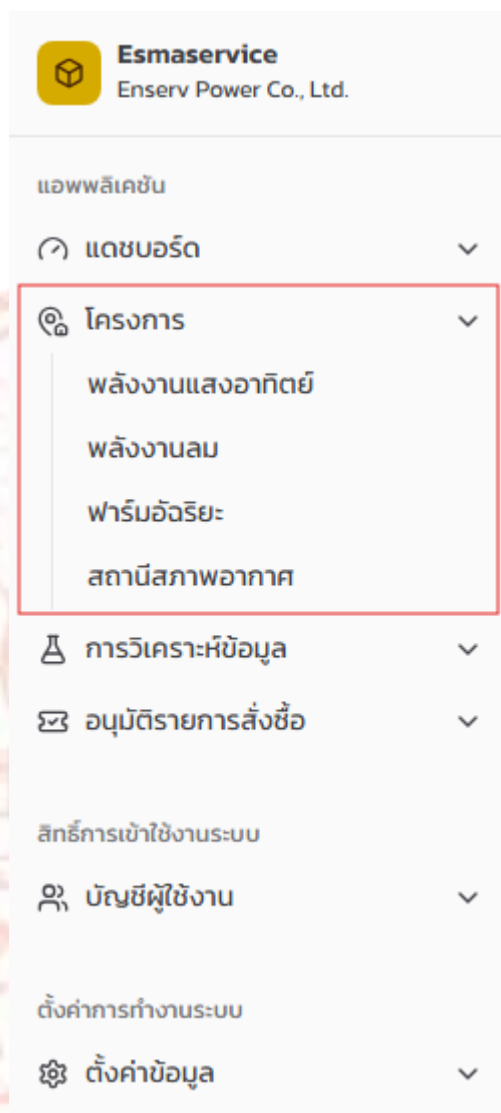
ภาพที่ ก-1 หน้าจอการเข้าสู่ระบบสารสนเทศ

เมื่อทำการเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้วจะแสดงหน้าจอสำหรับเข้าแต่ละเมนูทางด้านขวามือดังภาพที่ ก-2



ภาพที่ ก-2 เมนูสำหรับการใช้งาน

เมื่อทำการเลือกโครงการ ภาพที่ ก-3 จะแสดงรายการเมนูย่อยภายใต้โครงการ



ภาพที่ ก-3 เลือกเมนูโครงการ

เมื่อทำการเลือกโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ ภาพที่ ก-4 จะแสดงรายการโครงการ

The screenshot shows the Esaservice Solar Energies dashboard. On the left is a sidebar with navigation options. The main area features a map of Thailand with red dots indicating solar project locations. Below the map is a table with the following data:

#	ชื่อโครงการ	ชื่อบริษัท	ขนาดการผลิต	สถานะ	วันที่เริ่มโครงการ	ผู้เริ่มโครงการโดย	จัดการข้อมูล
1	โครงการไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ๑๕๙	บริษัท สหพัฒน โซลาร์ จำกัด	10.00 เมกะวัตต์	ใหม่	27/01/2025 03:40:33	Chaiwat Buangam	[Icons]
2	โครงการไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กาสองนาง	บริษัท สหพัฒน โซลาร์ จำกัด	5.00 เมกะวัตต์	ใหม่	25/02/2025 23:13:02	อัครวัฒน์ ธิงาม	[Icons]

ภาพที่ ก-4 แสดงรายการโครงการ

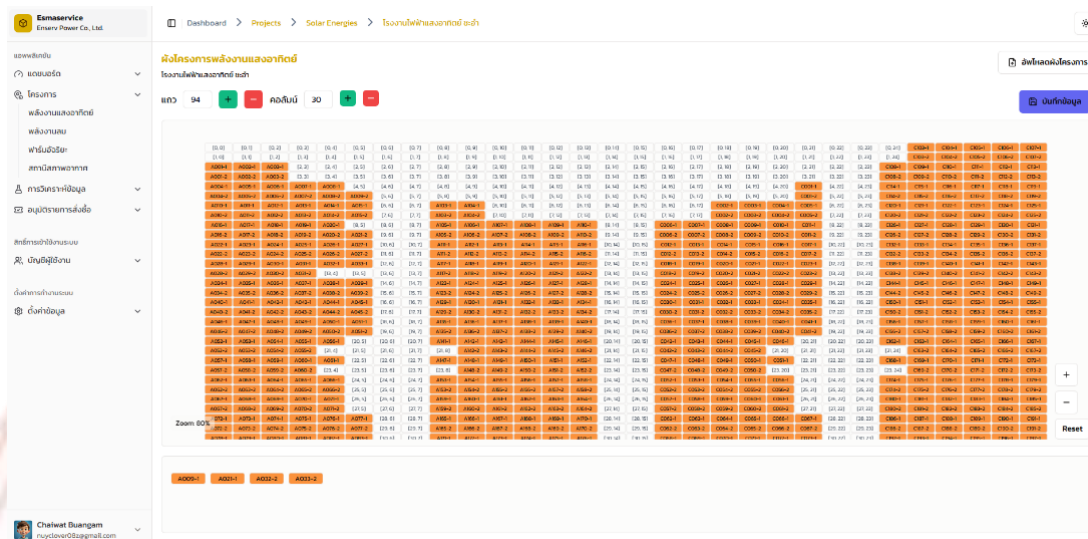
เมื่อทำการเลือกเพิ่มโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ ภาพที่ ก-5 จะแสดงฟอร์มสำหรับการสร้างโครงการ

The screenshot shows the 'สร้างข้อมูลโครงการ' (Create Project Information) form. The form includes the following fields:

- รูปโครงการ**: Choose File (No file chosen)
- ชื่อโครงการ ***: ชื่อโครงการ
- รายละเอียดโครงการ**: (Empty text area)
- บริษัทผู้เป็นเจ้าของ ***: เลือกข้อมูลบริษัท
- ขนาดการผลิตพลังงาน / เมกะวัตต์ ***: หน่วยพลังงานเป็น เมกะวัตต์
- ละติจูด ***: ระบุตำแหน่งละติจูด
- ลองจิจูด ***: ระบุตำแหน่งลองจิจูด
- สถานะ ***: (Radio buttons for On/Off)

ภาพที่ ก-5 แสดงแบบฟอร์มการสร้างโครงการ

เมื่อทำการป้อนสีเขียว ภาพที่ ก-6 จะแสดงหน้าจอการตั้งค่าตำแหน่งแผงผลิตแผงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ ก-6 แสดงแบบฟอร์มการตั้งค่าตำแหน่งแผงผลิตพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อทำการป้อนสีเขียว ภาพที่ ก-7 จะแสดงหน้าจอการอัปโหลดข้อมูลตำแหน่งแผงเพื่อนำไปตั้งค่าตำแหน่งแผงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

The screenshot shows a web form titled 'อัปโหลดผังโครงการ' (Upload Project Layout). The form is designed for uploading data for a solar project layout. It includes a section for 'อัปโหลดไฟล์ข้อมูล' (Upload data file) with a 'Choose File' button and a 'No file chosen' message. Below this, there are two buttons: 'บันทึก' (Save) and 'ยกเลิก' (Cancel). The form also has a close button (X) in the top right corner.

ภาพที่ ก-7 หน้าจอการอัปโหลดข้อมูลตำแหน่งแผง

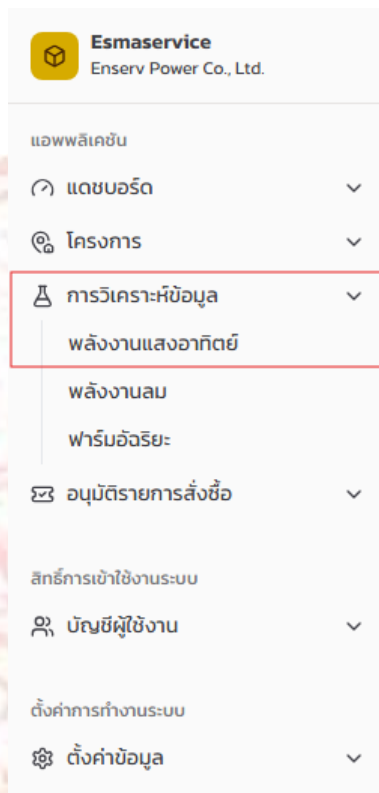
เมื่อทำการป้อนข้อมูล ภาพที่ ก-8 จะแสดงหน้าจอการตั้งค่าการเชื่อมต่อโปรโตคอลเพื่อทำการ
มอนิเตอร์ตำแหน่งแผงการผลิตไฟฟ้าแบบเรียลไทม์

ภาพที่ ก-8 หน้าจอการตั้งค่าโปรโตคอลเพื่อนำค่าไปแสดงผลรูปแบบเรียลไทม์

เมื่อทำการป้อนข้อมูล ภาพที่ ก-9 จะแสดงหน้าจอการแก้ไขโครงการพลังงานแสงอาทิตย์จาก
พลังงานแสงอาทิตย์

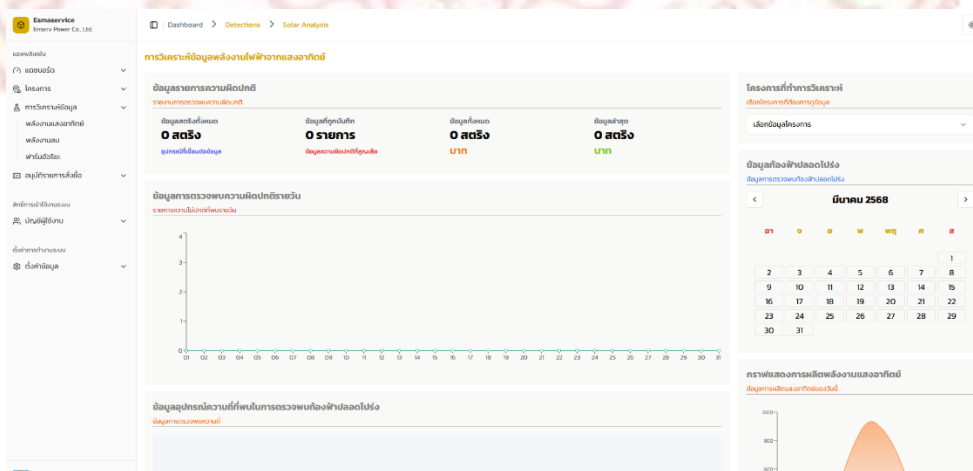
ภาพที่ ก-9 หน้าจอการแก้ไขข้อมูลโครงการ

เมื่อทำการเลือกเมนู ภาพที่ ก-10 จะแสดงหน้าจอการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดการเสื่อมสภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



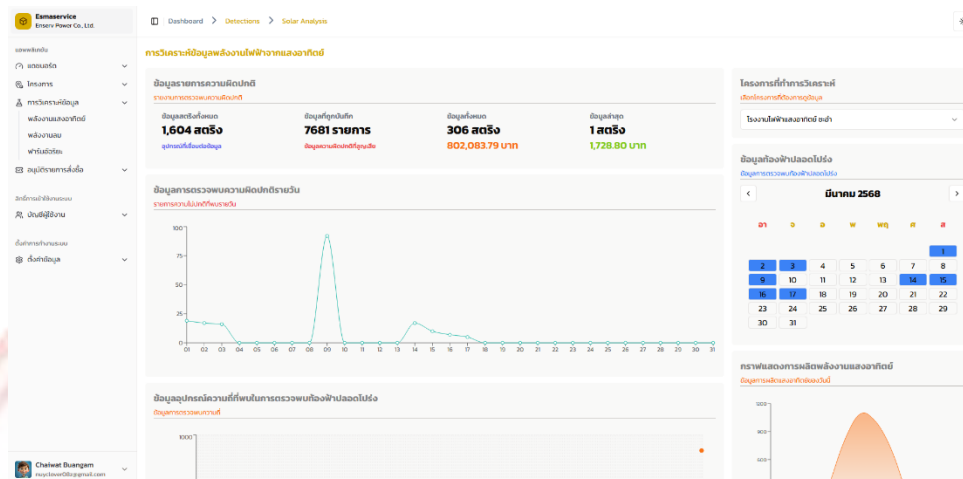
ภาพที่ ก-10 หน้าจอการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อทำการเลือกเมนู ภาพที่ ก-11 จะแสดงหน้าจอการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดการเสื่อมสภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



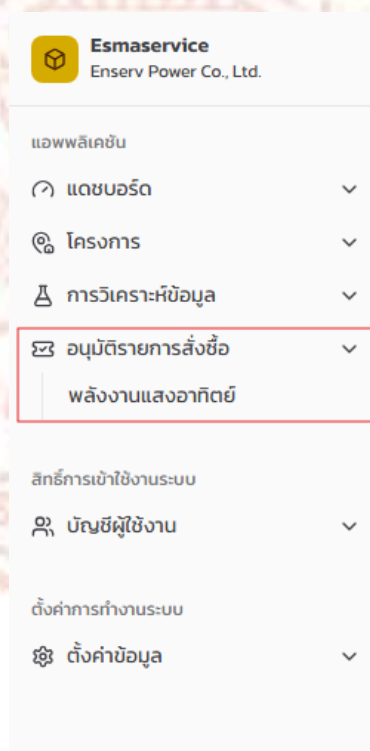
ภาพที่ ก-11 จะแสดงหน้าจอการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดการเสื่อมสภาพ

เมื่อทำการเลือกโครงการ ภาพที่ ก-12 จะแสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดการเสื่อมสภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโครงการนั้น ๆ



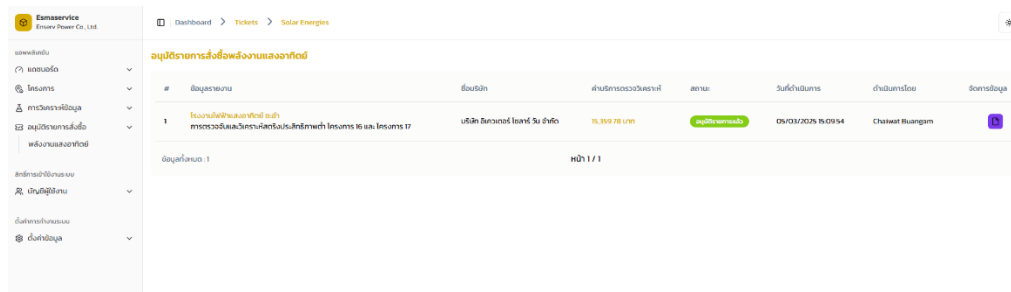
ภาพที่ ก-12 จะแสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกิดการเสื่อมสภาพของแต่ละโครงการ

เมื่อทำการเมนูการอนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพ ภาพที่ ก-13 จะแสดงผลการดำเนินงานสำหรับการอนุมัติ



ภาพที่ ก-13 เมนูในการเข้าถึงการอนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพ

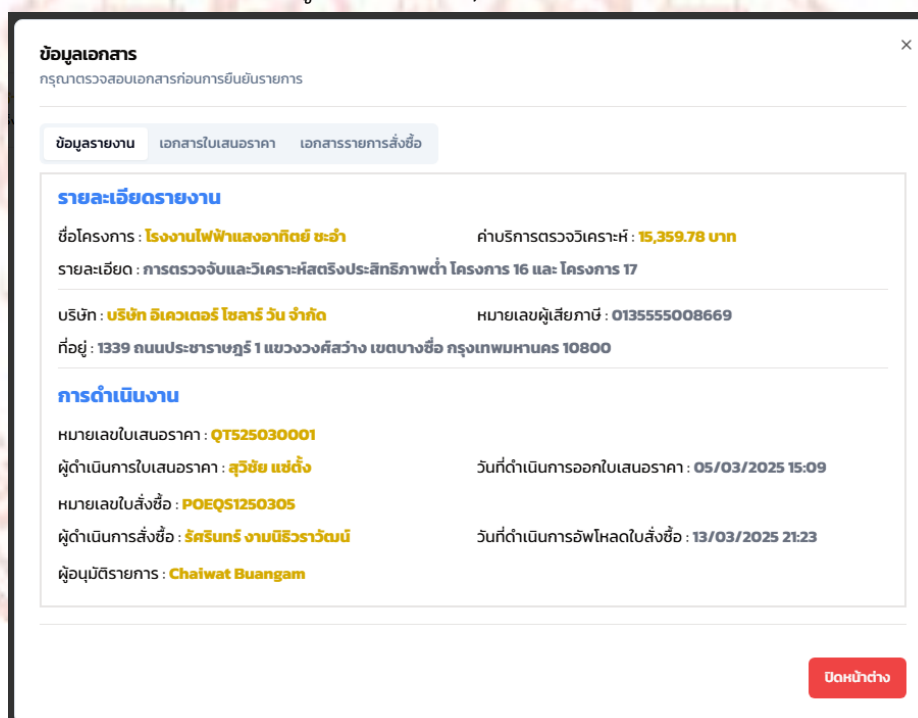
หน้าตาการอนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ ภาพที่ ก-14 จะแสดงผลการ์ดงานสำหรับการอนุมัติ



Emservice Enserve Power Co., Ltd.							
Dashboard > Tickets > Solar Energies							
อนุมัติรายการเสื่อมสภาพพลังงานแสงอาทิตย์							
#	ข้อมูลรายงาน	ชื่อบริษัท	สถานะการตรวจวิเคราะห์	สถานะ	วันที่ดำเนินการ	ดำเนินการโดย	จัดการโดย
1	โรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โซล่า การตรวจประเมินวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพ โซลาร์ 16 และ โซลาร์ 17	บริษัท อีคิวเตอร์ โซลาร์ จำกัด	15,359.78 บาท	อนุมัติแล้ว	05/03/2025 15:09:54	Chaiwat Buangam	16
ข้อมูลใบงาน: 1		หน้า 1 / 1					

ภาพที่ ก-14 หน้าจอการอนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพของพลังงานแสงอาทิตย์

หน้าจอการอนุมัติข้อมูลการเสื่อมสภาพของพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ภาพที่ ก-15 จะมีการแสดงผล 3 รายการเกี่ยวข้องกับข้อมูลรายการนั้น ๆ



ข้อมูลเอกสาร

กรุณาตรวจสอบเอกสารก่อนการยืนยันรายการ

ข้อมูลรายงาน เอกสารใบเสนอราคา เอกสารรายการสั่งซื้อ

รายละเอียดรายงาน

ชื่อโครงการ: **โรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ชะอำ** ค่าบริการตรวจวิเคราะห์: **15,359.78 บาท**

รายละเอียด: การตรวจประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ โซลาร์ 16 และ โครงการ 17

บริษัท: **บริษัท อีคิวเตอร์ โซลาร์ จำกัด** หมายเลขผู้เสียภาษี: **0135555008669**

ที่อยู่: **1339 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800**

การดำเนินงาน

หมายเลขใบเสนอราคา: **QT525030001**

ผู้ดำเนินการใบเสนอราคา: **สุวิชัย แซ่ตั้ง** วันที่ดำเนินการออกใบเสนอราคา: **05/03/2025 15:09**

หมายเลขใบสั่งซื้อ: **POEQS1250305**

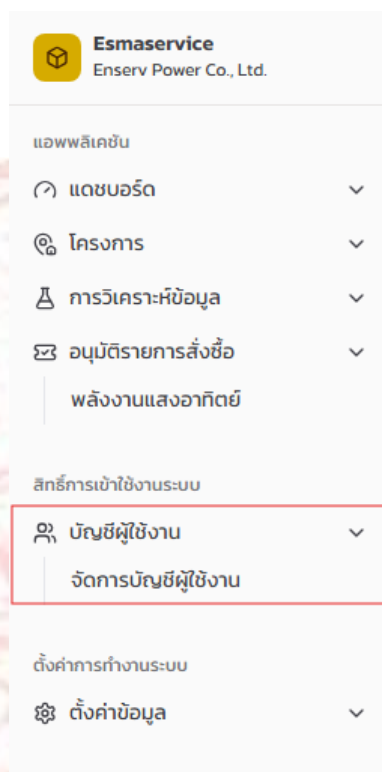
ผู้ดำเนินการสั่งซื้อ: **รัศรินทร์ งามนิธิวรวัฒน์** วันที่ดำเนินการอัปเดตใบสั่งซื้อ: **13/03/2025 21:23**

ผู้อนุมัติรายการ: **Chaiwat Buangam**

ปิดหน้าต่าง

ภาพที่ ก-15 หน้าจอการแสดงผลเอกสารต่าง ๆ หลังจากการอนุมัติเรียบร้อยแล้ว

หน้าจอการแสดงผลเมนูสำหรับการจัดการบัญชีผู้ใช้งาน ภาพที่ ก-16 จะทำการแสดงผลหน้าจอข้อมูลผู้ใช้งาน



ภาพที่ ก-16 เมนูสำหรับการจัดการบัญชีผู้ใช้งาน

หน้าจอการแสดงผลสำหรับการจัดการบัญชีผู้ใช้งาน ภาพที่ ก-17 จะแสดงผลข้อมูลบัญชีที่มีทั้งหมด

Accounts								
จัดการบัญชีผู้ใช้งาน								
#	Username	ชื่อผู้ใช้งาน	อีเมล	หมายเลขบัตรประจำตัว	ชื่อเล่น/นามสกุล	ประเภทบัญชีผู้ใช้งาน	สถานะ	จัดการข้อมูล
1	cheatst.b	เชิดชัย ธีรพานิช	cheatst@enservpower.co.th	0963640894	EQ62	SALE	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
2	kompap.p	กมลปภา ธีรพานิช	kompap@enservpower.co.th	0953326246	EQ51	SALE	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
3	natthaph.p	นภาพร พงษ์พานิช	natthaph@enservpower.co.th	0825659568	EQ51	SALE	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
4	punyamat.p	ปัญญวัฒน์ ธีรพานิช	punyamat@enservpower.co.th	0991455461	EQ51	SALE	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
5	rusarich.k	รุสริช ธีรพานิช	rusarich@enservpower.co.th	0995496244	EQ51	SALE	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
6	amachai.t	อมาชา ธีรพานิช	amachai@enservpower.co.th	0863078283	EQ51	SALE	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
7	suwichai.s	สุวิชัย ธีรพานิช	suwichai@enservpower.co.th	0956262429	EQ51	AGENT	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ
8	vitawan.m	วิวัฒน์ ธีรพานิช	vitawan@enservpower.co.th	0963545451	EQ51	AGENT	ใช้งาน	ดู แก้ไข ลบ

ภาพที่ ก-17 หน้าจอแสดงผลสำหรับการจัดการบัญชีผู้ใช้งาน

หน้าจอการสร้างบัญชีผู้ใช้งาน ภาพที่ ก-18 จะแสดงฟอร์มสำหรับการสร้างบัญชีผู้ใช้งาน

สร้างบัญชีผู้ใช้งาน

กรอกข้อมูลเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้งานระบบ

Username *

Username

Password *

Password

Password Confirm *

Password

ชื่อ - นามสกุล *

ชื่อ - นามสกุล

อีเมล *

Email

หมายเลขโทรศัพท์ *

ระบุหมายเลขโทรศัพท์

สิทธิ์ผู้ใช้งาน *

เลือกสิทธิ์ผู้ใช้งาน

สถานะ *

☒ ☐

ภาพที่ ก-18 ฟอร์มสำหรับการสร้างบัญชีผู้ใช้งาน

หน้าจอการแก้ไขบัญชีผู้ใช้งาน ภาพที่ ก-19 จะแสดงฟอร์มสำหรับการแก้ไขบัญชีผู้ใช้งาน

แก้ไขบัญชีผู้ใช้งาน

กรอกข้อมูลเพื่อแก้ไขข้อมูลบัญชีผู้ใช้งานระบบ

Username

chaiwatb

ชื่อ - นามสกุล *

ชัยวัฒน์ บัวงาม

อีเมล *

chaiwat@enservpower.co.th

หมายเลขโทรศัพท์ *

0959540894

สถานะ *

☒ ☐

บันทึก **ยกเลิก**

ภาพที่ ก-19 ฟอร์มสำหรับการแก้ไขบัญชีผู้ใช้งาน

หน้าจอตั้งค่าสิทธิ์บัญชีผู้ใช้งาน ภาพที่ ก-20 จะแสดงฟอร์มสำหรับการตั้งค่าสิทธิ์บัญชีผู้ใช้งาน

ภาพที่ ก-20 ฟอร์มสำหรับการตั้งค่าสิทธิ์การเข้าใช้งาน

หน้าจอเมนูสำหรับตั้งค่าองค์กร ภาพที่ ก-21 จะแสดงหน้าจอรายการองค์กรที่ถูกสร้างไว้แล้ว

ภาพที่ ก-21 หน้าจอแสดงรายการองค์กร

หน้าจอการแก้ไของค์กร ภาพที่ ก-24 จะแสดงแบบฟอร์มสำหรับแก้ไของค์กร

แก้ไขข้อมูลองค์กร
กรอกข้อมูลเพื่อสร้างองค์กรของคุณ

ชื่อบริษัทแบบเต็ม *

บริษัท อีคิวเตอร์ โซลาร์ วัน จำกัด

ชื่อย่อบริษัท *

EQS1

ที่อยู่ *

1339 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

หมายเลขโทรศัพท์ *

021115731

หมายเลขแฟกซ์ *

021115732

เบอร์ติดต่อ *

021115731

หมายเลขผู้เสียภาษี *

0135555008669

สถานะ *

☒

ภาพที่ ก-24 แบบฟอร์มสำหรับแก้ไของค์กร

หน้าจอสำหรับการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้งาน ภาพที่ ก-25 จะแสดงแบบฟอร์มสำหรับการใช้งานระบบมอนิเตอร์



MONITORING SOLAR CELL
ระบุข้อมูลก่อนดำเนินการใช้งาน

Username

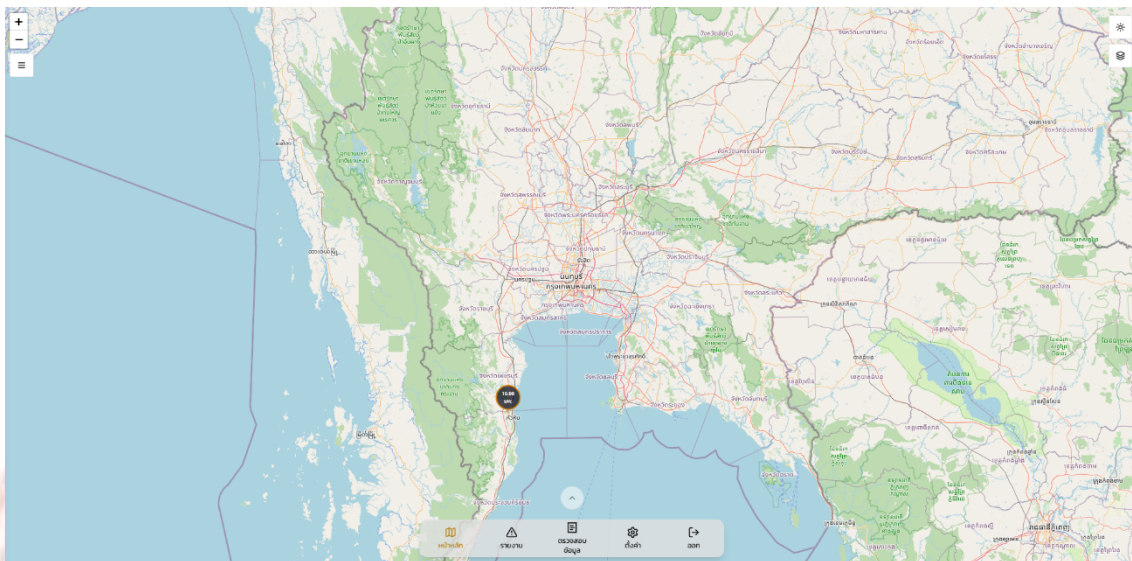
Password

Sign In

By clicking continue, you agree to our Terms of Service and Privacy Policy

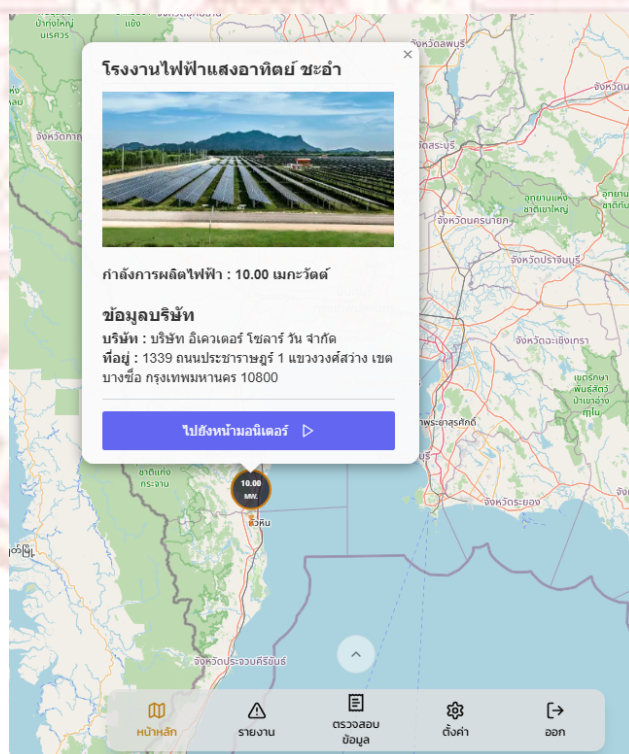
ภาพที่ ก-25 หน้าจอเข้าใช้งานระบบมอนิเตอร์

หน้าจอสำหรับการแสดงโครงการ ภาพที่ ก-26 จะแสดงแผนที่สำหรับตำแหน่งโครงการ



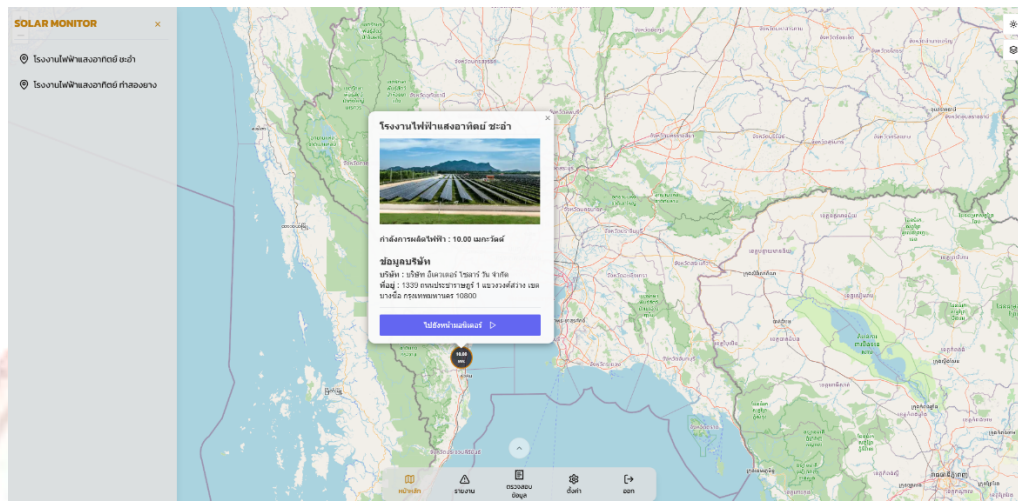
ภาพที่ ก-26 จะแสดงแผนที่สำหรับตำแหน่งโครงการ

หน้าจอสำหรับการแสดงรายละเอียดของโครงการ ภาพที่ ก-27 เมื่อทำการคลิกเลือกที่โครงการ



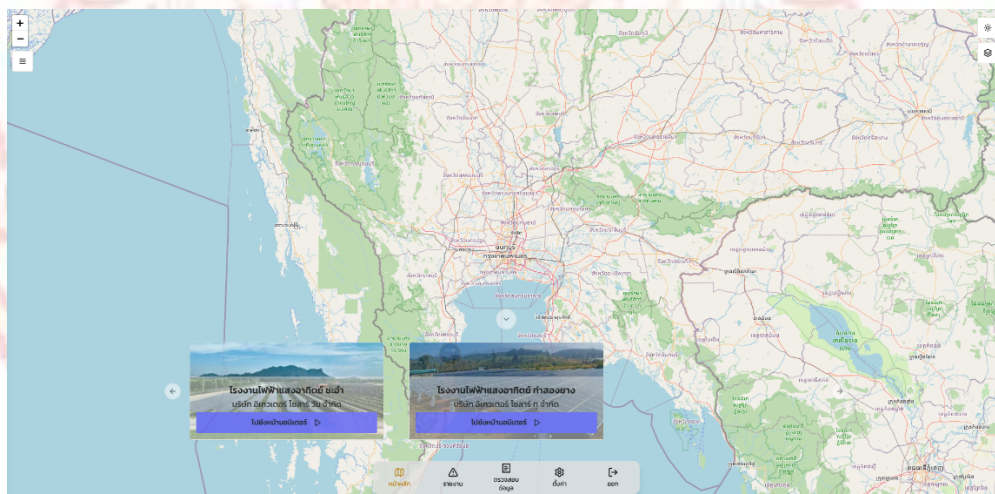
ภาพที่ ก-27 เมื่อทำการคลิกเลือกที่โครงการ

หน้าจอสำหรับรายการโครงการ ภาพที่ ก-28 สามารถนำพาไปยังตำแหน่งของโครงการ



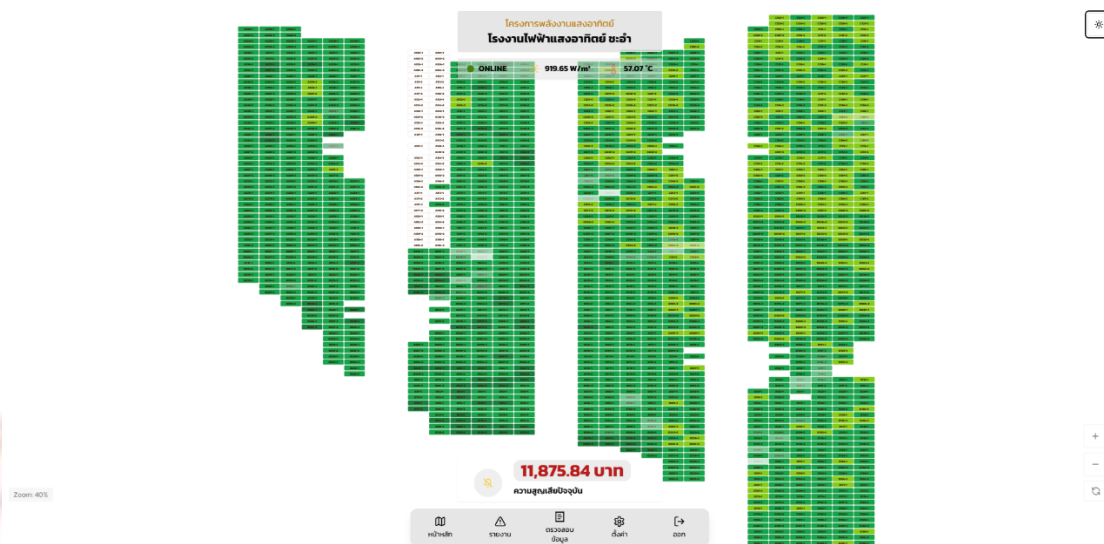
ภาพที่ ก-28 การนำทางไปยังรายการของโครงการ

หน้าจอสำหรับแสดงการกระจายโครงการ ภาพที่ ก-29 สามารถนำพาไปยังข้อมูลมอนิเตอร์ของแต่ละโครงการ



ภาพที่ ก-29 หน้าจอสำหรับแสดงการกระจายโครงการ

หน้าจอสำหรับแสดงการมอนิเตอร์โครงการ ภาพที่ ก-30 การมอนิเตอร์จะแสดงผลในรูปแบบสีเมื่อมีการออนไลน์



ภาพที่ ก-30 การมอนิเตอร์แต่ละโครงการ

หน้าจอสำหรับแสดงข้อมูลความผิดปกติของการผลิตไฟฟ้า ภาพที่ ก-31 การแสดงผลตำแหน่งของแผงการผลิตไฟฟ้า

เลือกโครงการ : โรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ชะอำ

ข้อมูลโครงการโรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์



โรงงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ชะอำ

ข้อมูลอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องข้อมูล

ข้อมูลสายเคเบิลทั้งหมด
1604 สดตรง
จุดตรวจวัดประสิทธิภาพข้อมูล

ข้อมูลสายเคเบิลทั้งหมด
149 กล้อง
จุดตรวจวัดประสิทธิภาพข้อมูล

ข้อมูลสายเคเบิลทั้งหมด
24 เครื่อง
จุดตรวจวัดประสิทธิภาพข้อมูล

ข้อมูลสายเคเบิลทั้งหมด
4 อาคาร
จุดตรวจวัดประสิทธิภาพข้อมูล

ข้อมูลอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสภาพ

การตรวจวัดความเสียหายของอุปกรณ์

ลำดับ	ชื่อสายเคเบิล	อัตราส่วนประสิทธิภาพ	กำลังใช้งาน	ค่าความผิดพลาด	อุณหภูมิ	มูลค่าอุปกรณ์เฉลี่ย	วันที่ตรวจพบ	จัดการ
1	A084-1	77 %	650 W	954.3100	53.0700	1,262.11 บาท	03/03/2025 13:25	การบำรุงรักษา
2	A043-2	75 %	610 W	914.6500	51.8500	1,210.87 บาท	03/03/2025 12:46	การบำรุงรักษา
3	A031-2	77 %	630 W	914.6500	51.9100	1,179.36 บาท	03/03/2025 13:07	การบำรุงรักษา
4	B095-2	50 %	390 W	875.5500	52.4300	3,353.14 บาท	03/03/2025 11:26	การบำรุงรักษา
5	B096-1	52 %	400 W	875.5500	52.4300	3,267.88 บาท	03/03/2025 11:26	การบำรุงรักษา
6	B083-1	43 %	330 W	875.5500	52.4300	3,869.01 บาท	03/03/2025 11:26	การบำรุงรักษา
7	B068-1	41 %	330 W	875.5500	52.4300	3,954.99 บาท	03/03/2025 11:26	การบำรุงรักษา

ภาพที่ ก-31 การแสดงผลตำแหน่งของแผงการผลิตไฟฟ้า

The seal of the Ministry of Education, Culture and Sport of Thailand is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst at the top. Flanking the central umbrella are two smaller three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The text "กระทรวงศึกษาธิการ" (Ministry of Education, Culture and Sport) is written in Thai script along the bottom arc of the seal.

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการ
เรียนรู้ของเครื่อง

แบบประเมินคุณภาพระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วย การเรียนรู้ของเครื่อง

แบบประเมินฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านพลังงานทดแทน โดยเฉพาะระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell System) และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินคุณภาพของระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดของแผงโซล่าเซลล์ที่เสื่อมสภาพด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งเป็นระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นการประเมินนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์คุณภาพของระบบในด้านต่าง ๆ ซึ่งจำแนกออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านความสามารถหลักของระบบ (Function Core Competency) ด้านความง่ายในการใช้งาน (Usability and Interface Design) ด้านประสิทธิภาพและผลกระทบในการใช้งานจริง (Practical Effectiveness)

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับ คุณภาพของระบบด้านความสามารถหลัก (Function Core Competency)

คำแนะนำ กรุณาให้คะแนนความเห็นของท่านในแต่ละข้อ ตามระดับความพึงพอใจดังนี้

ระดับคะแนน	ความหมาย
5	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4	เห็นด้วย
3	ปานกลาง
2	ไม่เห็นด้วย
1	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ: ☐ ชาย ☐ หญิง

อายุ: _____ ปี

ตำแหน่ง: _____

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบโซล่าเซลล์: _____ ปี

สาขาความเชี่ยวชาญ: _____

ตอนที่ 2 ด้านความสามารถหลักของระบบ (Function Core Competency)

ข้อที่	รายการประเมิน	1	2	3	4	5
2.1	ระบบสามารถตรวจจับความผิดปกติของแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ	☐	☐	☐	☐	☐
2.2	ระบบสามารถแสดงผลตำแหน่งแผงโซลาร์เซลล์ที่ผิดปกติได้อย่างชัดเจน	☐	☐	☐	☐	☐
2.3	ระบบสามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์หรือใกล้เคียงเรียลไทม์	☐	☐	☐	☐	☐
2.4	ระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลย้อนหลังเพื่อนำไปวิเคราะห์ได้	☐	☐	☐	☐	☐
2.5	แบบจำลอง Machine Learning ที่เลือกใช้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหา	☐	☐	☐	☐	☐
2.6	ระบบมีความเสถียรในการทำงานต่อเนื่อง	☐	☐	☐	☐	☐
2.7	ระบบสามารถทำงานได้แม้มีข้อมูลปริมาณมากหรือข้อมูลมีความหลากหลาย	☐	☐	☐	☐	☐
2.8	ระบบสามารถช่วยลดเวลาและทรัพยากรในการตรวจสอบและซ่อมบำรุงได้จริง	☐	☐	☐	☐	☐
2.9	ระบบตอบสนองการใช้งานได้รวดเร็วตามที่ผู้ใช้งานคาดหวัง	☐	☐	☐	☐	☐
2.10	ระบบสามารถแสดงผลผ่านเว็บหรือแพลตฟอร์มที่ใช้งานง่ายและเข้าถึงสะดวก	☐	☐	☐	☐	☐

ตอนที่ 3 ด้านความง่ายในการใช้งาน (Usability and Interface Design)

ข้อที่	รายการประเมิน	1	2	3	4	5
3.1	รูปแบบอินเทอร์เฟซของระบบใช้งานง่าย และเป็นมิตรต่อผู้ใช้	☐	☐	☐	☐	☐
3.2	ระบบสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์ทั่วไป เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ	☐	☐	☐	☐	☐
3.3	การแสดงผลข้อมูลมีความชัดเจน เข้าใจง่าย	☐	☐	☐	☐	☐
3.4	การแจ้งเตือนหรือแสดงสถานะมีความเข้าใจง่าย และสื่อความหมายตรงประเด็น	☐	☐	☐	☐	☐
3.5	การติดตั้งและเริ่มต้นใช้งานระบบไม่ซับซ้อน	☐	☐	☐	☐	☐

ตอนที่ 4: ด้านประสิทธิภาพและผลกระทบในการใช้งานจริง (Practical Effectiveness)

ข้อที่	รายการประเมิน	1	2	3	4	5
4.1	ระบบสามารถช่วยลดเวลาในการตรวจสอบและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับแผงโซลาร์เซลล์	☐	☐	☐	☐	☐
4.2	ระบบสามารถลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ในภาคสนามได้จริง	☐	☐	☐	☐	☐
4.3	ระบบมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จริง	☐	☐	☐	☐	☐
4.4	ระบบสามารถส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพลังงานโดยรวม	☐	☐	☐	☐	☐
4.5	ระบบสามารถนำไปต่อยอดหรือพัฒนาเพิ่มเติมได้ในอนาคต	☐	☐	☐	☐	☐

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ

นายชัยวัฒน์ บัวงาม

ชื่อการค้นคว้าอิสระ

ระบบการติดตามและตรวจสอบความผิดพลาดโซลาร์เซลล์ที่
เสื่อมสภาพด้วยการ เรียนรู้ของเครื่อง

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ

ประวัติ

Click here to enter text

เกิดเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ.2533 ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 27/200 ซ่างอากาศอุทิศ ซอย
ซ่างอากาศอุทิศ13 แขวงดอนเมือง เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 อีเมล
s6507011858061@email.kmutnb.ac.th

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาดิจิทัลมีเดียและระบบเกมส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ปีการศึกษา 2555

ประสบการณ์ทำงาน

ปัจจุบันทำงานตำแหน่ง Senior Full Stack Developer ที่บริษัท เอนเซฟพาวเวอร์ จำกัด ที่
อยู่. 1339 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800