ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

โดย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา

_____คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ จันทร์วิพัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

_____กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล)

_____กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข)

_____กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.พัลลภ พิริยะสุรวงศ์)

_____กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิตา วรรณพิรุณ)

_____กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ พิมดี)

ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง
สู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

นายธณพิชญ์ เป็กเยียน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ	:	นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
ชื่อวิทยานิพนธ์	:	ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
สาขาวิชา	:	เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	:	รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	:	ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข
ปีการศึกษา	:	2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบสภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา 2. พัฒนาแบบจำลองระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ 3. ออกแบบระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ 4. พัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ 5. เพื่อศึกษาผลการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ เสนอระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ เกิดจากการศึกษาการจัดการพลังงานเพื่อใช้ร่วมกับมหาวิทยาลัย และมีการสังเคราะห์แบบจำลองระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดโดยทำการผนวกเทคโนโลยีด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งเข้าไปในรูปแบบดังกล่าว พบว่าระบบระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ดังต่อไปนี้ (1) ปัจจัยนำเข้า (2) กระบวนการ (3) การประเมินผล (4) การป้อนกลับข้อมูล โดยความอัจฉริยะของเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งที่สามารถจัดการพลังงานให้เกิดการประหยัดพลังงานในมหาวิทยาลัย ซึ่งผลการวิจัยสามารถประยุกต์ใช้กับมหาวิทยาลัย เพื่อจัดการพลังงานให้สามารถใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ โดยผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะในแต่ละรายการมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุดคือ การประเมินความคุ้มค่า การลดค่าใช้จ่ายพลังงานในระยะยาว โดยค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.86 S.D. = 0.46) รองลงมาคือด้านการวิเคราะห์และความต้องการ โดยความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายพลังงานค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.82 S.D. = 0.31) และด้านสถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี การเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ IoT ซึ่งเท่ากับ ด้านข้อมูลและการจัดการข้อมูล ในส่วนข้อมูลเรียลไทม์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.81 S.D. = 0.33) ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของผลประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะคือ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.57 S.D. = 0.48)

(วิทยานิพนธ์มีทั้งสิ้น 200 หน้า)

คำสำคัญ : การจัดการพลังงานคู่แฝด เทคโนโลยีทางปัญญา อินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงสรรพสิ่ง วิทยาเขตอัจฉริยะ

_____อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Mr.Tanapeak Pexyean
Thesis Title : Digital Twin Energy Management System with Cognitive Technology Internet of Things to Smart Campus
Major Field : Information and Communication Technology for Education
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Associate Professor Dr.Kobkiat Saraubon
Co-Advisor : Professor Dr.Prachyanun Nilsook
Academic Year : 2024

Abstract

This research aims to 1. To study the components of energy management in higher education institutions 2. To develop an energy management system model with intellectual linking all things to an environmentally friendly university 3. to design an energy management system with intellectual linking all things to an environmentally friendly university 4. To develop an energy management system with intellectual technology that Connects all things to an environmentally friendly university. 5. To study the results of energy management through intellectual technologies linking all things to an environmentally friendly university. This research proposes an energy management system with intellectual technology that Connects everything to an environmentally friendly university. Which arises from studying energy management for use in Conjunction with universities And energy management system models are synthesized by Combining technology with intellectual technology to Connect everything into such a model. It was found that the energy management system with intellectual technology links everything to an environmentally friendly university, Comprising of the following four key Components: (1) inputs (2) processes (3) evaluation. (4) data feedback By the intelligence of intellectual technology, it Connects everything that can manage energy to achieve energy savings in universities. Which the research results can be applied to the university To manage energy to be used most effectively Sample for research 3 experts in the development of energy management models and 2 persons in the development of systems, a total of 5 people. Results of the assessment of energy management system models with intellectual technology linking everything to a friendly university To the environment It was found that the input factor Each item is the most appropriate level is the evaluation of value. Long-term reduction in energy Costs The average value is the most ($\bar{X}$ =4.86, S.D. = 0.46), followed by analytics and demand, with the need to reduce average energy Costs ($\bar{X}$ = 4.82, S.D. = 0.31) and architecture and technology. In the real-time data section.

They have an average value ($\bar{x}$ = 4.81, S.D. = 0.33), respectively. The overall average of the evaluation results of the twin energy management system with intelligent technology to Connect all things to a smart campus is the most appropriate ($\bar{x}$ = 4.57, S.D. = 0.48).

(Total 200 pages)

Keyword : Digital Twin Energy Management, Cognitive Technology, Internet of Things, Smart Cumpus.

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้ข้อคิดต่าง ๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์อย่างมาก

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ที่ให้คำชี้แนะ ประธานกรรมการสอบ ศาสตราจารย์ ดร.ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข กรรมการสอบ ศาสตราจารย์ ดร.พัลลภ พิริยะสุรวงศ์ กรรมการสอบ ศาสตราจารย์ ดร.ปณิตา วรรณพิรุณ กรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ พิมดี และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินเครื่องมือการวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ รุ่นพี่ เพื่อน ๆ DICT 9 และครอบครัว DICT ทุกรุ่นของสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา และสาขาวิชาอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาเป็นกำลังใจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.วิศิษฐ์ แสงหิรัญ อธิการบดีมหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิ ผู้อุปถัมภ์ค่าใช้จ่ายในการศึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ สุวรรณธารา ในการข่วยเหลือและคอยให้คำปรึกษาในการศึกษาร่วมกับการทำงานตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่คอยให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้ตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ด้วยคุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณงามความดีให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ ช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนลุล่วงด้วยดี

ธณพิชญ์ เป็กเยียน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 สมมุติฐาน	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การจัดการพลังงานอัจฉริยะ (Intelligent Energy Management)	7
2.2 เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)	13
2.3 เทคโนโลยีปัญญา (Cognitive Technology)	25
2.4 คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)	28
2.5 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Artificial Intelligence Internet of Things : AI IoT)	40
2.6 การจัดการพลังงานอัจฉริยะ (Intelligent Energy Management Systems-IEMS)	44
2.7 เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง หรือ Cognitive Internet of Things	53
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	64
2.9 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	68
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	69
3.1 การวิเคราะห์ปัจจัยการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา	72
3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	75
3.3 การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	76
3.4 การประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง สู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	81
4.1 องค์ประกอบของการจัดการพลังงาน	81
4.2 สถาปัตยกรรมระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	82
4.3 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	91
4.4 ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	94
บทที่ 5 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	99
5.1 บทนำ	99
5.2 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	100
5.3 การนำระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะไปใช้	111
บทที่ 6 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	113
6.1 สรุปผล	113
6.2 อภิปรายผล	114
6.3 ข้อเสนอแนะ	118
บรรณานุกรม	121
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ	135
ภาคผนวก ข เครื่องที่ใช้ในการวิจัย	147
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานระบบ	159
ภาคผนวก ง บทความที่เผยแพร่	175
ประวัติผู้วิจัย	199

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การสังเคราะห์องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน	9
2-2	การสังเคราะห์ลักษณะพื้นที่การจัดการพลังงานในมหาวิทยาลัย	10
2-3	การสังเคราะห์องค์ประกอบของการจัดการพื้นที่ในวิทยาเขตอัจฉริยะ	11
2-4	องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม	43
3-1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	71
3-2	การสังเคราะห์องประกอบปัจจัยในการจัดการพลังงาน	73
3-3	การสังเคราะห์องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน	74
4-1	ผลการประเมินความเป็นไปได้ของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	90
4-2	ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	94

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	กรอบแนวคิดการวิจัย	6
2-1	เทคโนโลยีปัญญากับการประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ	27
2-2	หลักการ ของ Neural Networks	42
2-3	สถาปัตยกรรมของ Cognitive Internet of Things (CIoT)	63
3-1	การดำเนินงานวิจัยตามรายการวัตถุประสงค์	70
3-2	กรอบแนวคิดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	75
3-3	ขั้นตอนการประเมินเพื่อรับรองระบบการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยง	78
4-1	องค์ประกอบของการจัดการพลังงาน	82
4-2	การจัดการสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยีเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อการควบคุมและประหยัดพลังงาน	87
4-3	สถาปัยกรรมระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง	88
4-4	สถาปัยกรรมระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	89
4-5	แดรชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝดภาพรวม	91
4-6	แดรชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝด ในชั้นที่ 3 ของอาคาร	92
4-7	แดชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝดของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	93
5-1	สถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	100
5-2	หน้าเข้าสู่ระบบ	102
5-3	แดชบอร์ดหน้าหลักของระบบ	102
5-4	การแสดงข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของแต่ละห้องบนชั้น 3	103
5-5	การแสดงข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของแต่ละห้องบนชั้น 1	104
5-6	ชั้น 2 ของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด	105
5-7	แสดงผลการรายงานภายนอกอาคาร	106

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทั้งทางตรงและทางอ้อมเนื่องจากทุกวันนี้มีการใช้พลังงานกันอย่างมากมายซึ่งส่งผลให้องค์กรต่าง ๆ มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับด้านพลังงานมากขึ้น ถึงแม้เทคโนโลยีด้านพลังงานร่วมกับส่งแวดล้อมมีส่วนช่วยอำนวยความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้นมาก แต่ในช่วงที่ผ่านมาวิกฤติพลังงานเป็นประเด็นที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเนื่องจากต้นทุนพลังงานปัจจุบันปรับตัวสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่พลังงานจะหมดลง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดที่มีประสิทธิภาพ แนวโน้มด้านพลังงานโลกหลังการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 นั้นทำให้ความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลงอย่างมาก แต่ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้ากลับมีปริมาณที่สูงขึ้นถึง 20% จากการใช้เดิม ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก ทั้งในแง่พลังงานไม่เพียงพอกับการใช้ ราคาพลังงานพุ่งสูงขึ้นอย่างกะทันหัน หรือการที่ไม่สามารถผลิตพลังงานได้เองจนทำให้เกิดวิกฤต และในประเทศไทยก็มีการใช้พลังงานไฟฟ้าก็สูงขึ้นตามลำดับ โดยในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 20-21 เป็นยุคที่มีการพัฒนาพลังงานสะอาดและพลังงานสีเขียว โดยมีการพัฒนาเทคโนโลยีสระบบดิจิทัล (Digital Period) เต็มรูปแบบ จึงได้มีการบูรณาการระบบจักรกลไฟฟ้า (Electrical Machinery) และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Communication Technology) เข้าด้วยกันเป็นระบบไฟฟ้าอัตโนมัติ ทำให้โลกเชื่อมต่อกันมากขึ้นและเร็วขึ้น เทคโนโลยียุคนี้จะใช้พลังงานในการขับเคลื่อนมากขึ้น จึงเป็นยุคของการใช้พลังงานไฟฟ้าเต็มรูปแบบ ยุคนี้จึงมีการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อรองรับการบริโภคพลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ที่เกี่ยวข้องกับมิติด้านพลังงานใน 3 ยุทธศาสตร์ ได้แก่ ยุทธศาสตร์ที่ 1 ด้านความมั่นคงทางพลังงานเน้นพัฒนาระบบ การเตรียมพร้อมรักษาความมั่นคงฐานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การปกป้องรักษาผลประโยชน์ชาติ ยุทธศาสตร์ที่ 2 การสร้างความสามารถในการแข่งขัน พัฒนาเมือง เป็นศูนย์กลางความเจริญ มีประสิทธิภาพ โดยใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างประหยัดในราคาที่เหมาะสม และกระจายประเภทเชื้อเพลิงส่งเสริมพลังงานทดแทนตามศักยภาพของพื้นที่ และยุทธศาสตร์ที่ 3 การสร้างความเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อให้ควบคุมการใช้พลังงานในองค์กรเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่แล้วองค์กรจะให้ความสำคัญกับการจัดการต้นทุนด้านอื่นมากกว่า เช่น วัตถุดิบ ยอดขาย แต่เมื่อราคาพลังงานสูงขึ้นทำให้องค์กรต่าง ๆ หันมาพัฒนาควบคุมการใช้พลังงานในองค์กรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากปัจจัยดังกล่าวทำให้องค์กรระหว่างประเทศหลาย ๆ องค์กรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและพลังงานต่างพยายามหามาตรการมากำหนดขึ้นเพื่อรองรับกับภาวะโลกที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเห็นได้จากองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization : ISO) ตระหนักถึงปัญหาที่กล่าวมาและได้จัดทำมาตรฐานระบบการจัดการด้านพลังงาน (Energy

management systems – Requirements with guidance for use) ขึ้น[2] เพื่อใช้เป็นกรอบในการบริหารจัดการพลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ธุรกิจการค้าและองค์กรต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายในการลดการใช้พลังงานของโลกลงให้ได้ประมาณร้อยละ60 และเพื่อช่วยควบคุมและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน รองรับกับวิกฤติด้านพลังงานและลดการส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

การดำเนินงานทางด้านมหาวิทยาลัยนั้นก็มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นจำนวนมาก ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณค่าใช้จ่ายและยังขาดการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ แต่ยังมีโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียวที่เป็นส่วนหนึ่งของมหาวิทยาลัยยั่งยืนซึ่งหมายถึงมหาวิทยาลัยที่มีการบูรณาการการอนุรักษ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเข้าไปในการเรียนการสอน การวิจัยการบริการวิชาการและในทุกกิจกรรมของมหาวิทยาลัย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการทำงานในบรรยากาศที่มีความปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงาน อันก่อให้เกิดผลต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน กลไกหนึ่งที่หนุนเสริมให้มหาวิทยาลัยรักษาสภาพแวดล้อมและสร้าง มหาวิทยาลัยสีเขียวที่เป็นที่รู้จักและถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในมหาวิทยาลัยทั่วโลกคือการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว [4] โดยมีแนวคิดว่ามหาวิทยาลัยชั้นนำที่จะผลิตผู้นำรุ่นใหม่ในอนาคตจะต้องมี ความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยคาดหวังว่าผลการจัดอันดับจะมีส่วนช่วยให้สังคม ตระหนักถึงการพัฒนาด้านต่าง ๆ ควบคู่กับการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน และช่วยเปลี่ยนการดำเนินชีวิตของผู้คนให้มีส่วนร่วมในการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่า มหาวิทยาลัยสีเขียวแบบยั่งยืน โดยถึงแม้มหาวิทยาลัยที่มีการบูรณาการ การจัดการเรียนการสอน หลักสูตร การวิจัย การจัดสภาพแวดล้อมทางกายภาพและการเข้าถึงชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยแล้วก็ตาม แต่ยังขาดเทคโนโลยีในการจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการพลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมถึงใช้พลังงานให้คุ้มค่าและเพิ่มคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเสริมสร้างบรรยากาศการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง บนแนวคิดของความมั่นคงทางเศรษฐกิจที่คุ้มค่า พอเพียง และสามารถเป็นต้นแบบเพื่อความยั่งยืน ซึ่งมีความหมายที่ใกล้เคียงกับการดำเนินงานมหาวิทยาลัยสีเขียว เพราะปัจจุบันโลกเกิดวิกฤตความไม่ยั่งยืนทางด้านพลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาอย่างต่อเนื่องยั่งยืนถือเป็นปัญหาที่สำคัญในมหาวิทยาลัยหลาย ๆ แห่ง

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้วิจัยเรื่องระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานรวมถึงการช่วยตัดสินใจด้านการบริหารจัดการที่หลากหลายโดยมุ่งเป้าไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการใช้พลังงาน สามารถจัดทำรายงานเชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ มีการนำระบบใหม่ของการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลมาใช้ในระบบซึ่งช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำยิ่งขึ้นของรายงานการวิเคราะห์ทำให้มองเห็นภาพรวมการใช้พลังงงานโดยเกิดจากการใช้เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งในการบริหารจัดการพลังงาน และรายงานข้อมูลที่สนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการพลังงานในองค์กร ทำให้สามารถควบคุมและจัดการการใช้พลังงานของมหาวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะช่วยลดในเรื่องค่าใช้จ่ายขององค์กรแล้วในระยะยาวยังส่งผลถึงความยั่งยืนของทรัพยากรพลังงานโลกได้อีกด้วย รวมทั้งองค์กรนั้น ๆ ยังนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างความเข้าใจและเชื่อมั่น

แก่สังคมด้านพลังงาน ช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับนโยบายต่าง ๆ ให้สอดคล้องกันเพื่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลด้านการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบสภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา

1.2.2 เพื่อออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

1.2.4 เพื่อประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

1.3 สมมุติฐาน

ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการจัดการพลังงานในรูปแบบเดิม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ประชากรและตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1.4.1.1 ประชากร

ประชากรคือ มหาวิทยาลัยเอกชน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล จำนวน 15 แห่ง (ระบบสารสนเทศสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, 2566)

1.4.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยใช้วิธีการคัดเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ มหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิ ในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากมหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรเป้าหมายที่มีลักษณะเฉพาะตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย กล่าวคือ มหาวิทยาลัยดังกล่าวมีการใช้ระบบสารสนเทศหรือระบบจัดการภายในที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยที่ต้องการศึกษา มีลักษณะโครงสร้างและระบบการบริหารที่ตรงกับความต้องการในการทดลองและการเก็บข้อมูล อีกทั้งมหาวิทยาลัยนี้ยังตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งสอดคล้องกับขอบเขตการศึกษาของการวิจัย

1.4.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.4.2.1 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้านกำลังไฟฟ้า

1.4.2.2 เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง

1.4.2.3 วิทยาเขตอัจฉริยะ

1.4.3 ขอบเขตด้านการพัฒนาระบบ

1.4.3.1 มหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิ

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะแสดงถึงแนวคิดทฤษฎีของการวิจัย โดยจุดเริ่มต้นอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วน ส่วนแรก ประกอบไปด้วย การจัดการพลังงาน เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์เพื่อพัฒนาการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ จากนั้นนำระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดไปรวมกับเทคโนโลยีปัญญาทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์การพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ในรูปแบบแอพพลิเคชั่นสำหรับการใช้เป็นเครื่องมือในด้านการให้ การติดตามตรวจสอบ และการประเมินผลจากปัจจัยที่ใช้ในการใช้พลังงาน และทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายซึ่งก็คือ ผลการประเมินการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เป็นการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสู่วิทยาเขตอัจฉริยะที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ สถาบันการศึกษาสามารถนำไปใช้เพื่อการประหยัดพลังงานในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6.2 ระบบช่วยเพิ่มศักยภาพในการจัดอันดับวิทยาเขตอัจฉริยะ

1.6.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้การจัดการการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะร่วมกับเทคโนโลยีอัจฉริยะอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยได้เช่น เทคโนโลยีปัญญาเสริม (Augmented Intelligence) เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things : CIoT)

1.6.4 สามารถนำไปใช้ประยุกต์เพื่อใช้ในการประหยัดพลังงานร่วมกับการจัดการพลังงานของภาครัฐเช่น Smart Gride เป็นต้น

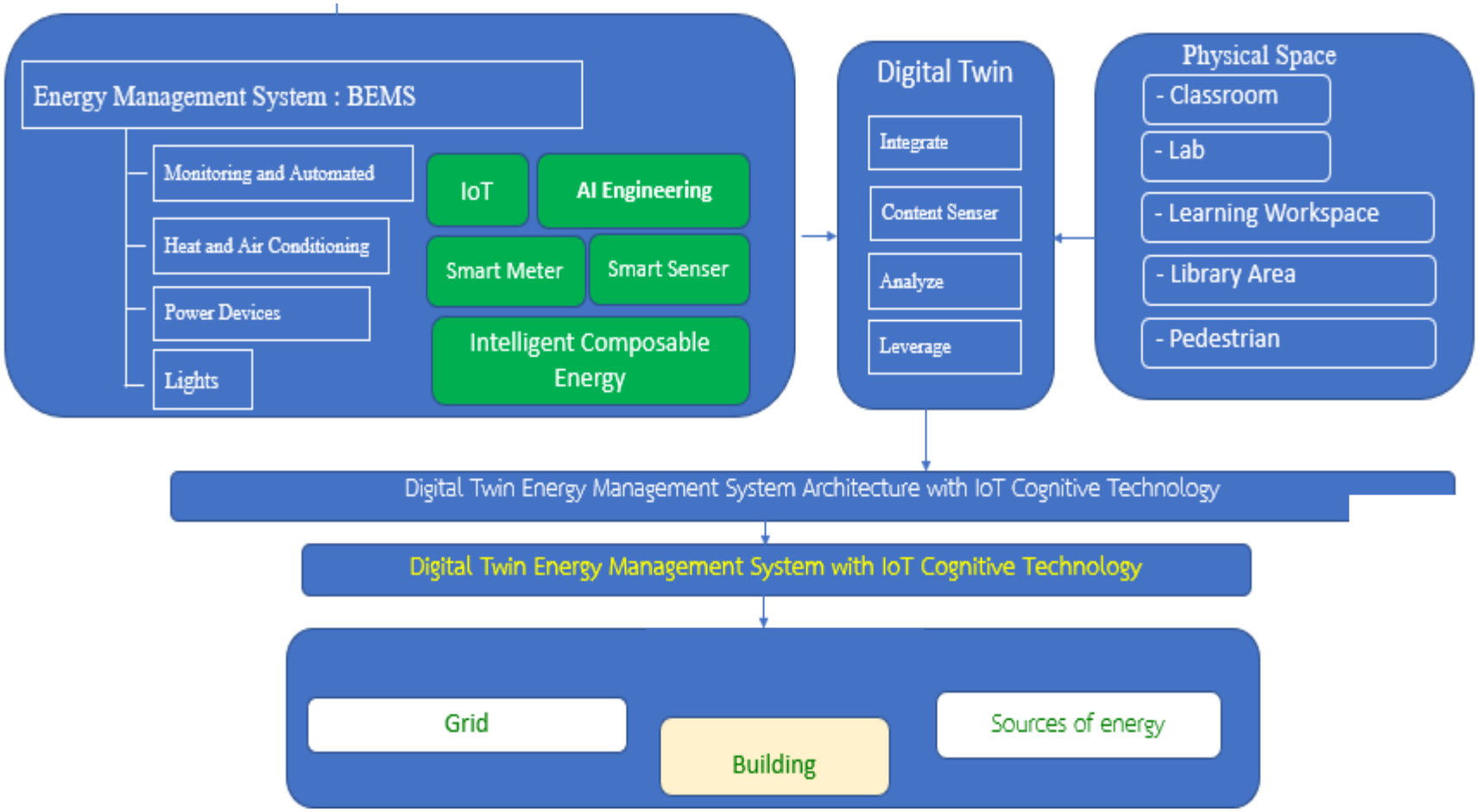
1.6.5 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบจัดการพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานด้านธุรกิจ ด้านสังคมและอื่น ๆ ที่มีความต้องการใช้ลดพลังงาน

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) คือ ระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการตรวจวัด ควบคุม และวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายในการช่วยลดการใช้พลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงาน สร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย และสนับสนุนความยั่งยืนของพลังงาน ระบบนี้สามารถใช้งานได้ทั้งในระดับอาคารและระดับมหาวิทยาลัย โดยอุปกรณ์ IoT และเซ็นเซอร์จะช่วยตรวจวัดข้อมูลต่าง ๆ เช่น การใช้ไฟฟ้า อุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มสำหรับการประมวลผลและการวิเคราะห์ในแบบเรียลไทม์ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและการจัดการการใช้พลังงาน EMS ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระยะยาวและเพิ่มความยั่งยืนของทรัพยากรนอกจากนี้ยังช่วยในการสนับสนุนการเรียนรู้และนวัตกรรมในการพัฒนาสถานศึกษา

1.7.2 เทคโนโลยีทางปัญญาอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things - CIoT) คือ การบูรณาการระหว่างปัญญาประดิษฐ์ (AI) และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลและการตัดสินใจอย่างชาญฉลาดให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบ CIoT ไม่เพียงแค่รวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในสิ่งแวดล้อม แต่ยังสามารถประมวลผลข้อมูลเหล่านี้ผ่าน AI เพื่อสร้างความหมายและความรู้ ทำให้ระบบสามารถเรียนรู้จากข้อมูลและปรับตัวตามสถานการณ์ได้แบบเรียลไทม์ โดยไม่ต้องพึ่งพาการควบคุมจากมนุษย์ จุดเด่นของ CIoT คือความสามารถในการตัดสินใจอัตโนมัติโดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้อุปกรณ์และระบบสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว

1.7.3 วิทยาเขตอัจฉริยะ (Smart Campus) คือ สภาพแวดล้อมทางการศึกษาที่มีการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับระบบบริหารจัดการต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้และการทำงานร่วมกัน โดยใช้เทคโนโลยี เช่น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และเทคโนโลยีทางปัญญา เพื่อการตรวจวัด วิเคราะห์ และควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าและทรัพยากรอื่น ๆ ในวิทยาเขตอย่างอัตโนมัติ ระบบนี้ช่วยในการประหยัดพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน สร้างความปลอดภัย และส่งเสริมความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม มีส่วนสำคัญในการสนับสนุนการเรียนรู้และการศึกษา



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ในงานวิจัย เรื่อง “ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ” ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษา วิเคราะห์ และสังเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

2.1 การจัดการพลังงานอัจฉริยะ (Intelligent Energy Management)
2.2 เทคโนโลยีทางปัญญา (Cognitive Technology)
2.3 คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)
2.4 วิทยาเขตอัจฉริยะ (Smart Campus)
2.5 เทคโนโลยีทางปัญญาอินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things : CIoT)
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.7 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการพลังงานอัจฉริยะ (Intelligent Energy Management)

การจัดการพลังงานอัจฉริยะ เป็นการการจัดการพลังงานที่มีกระบวนการและมีการผสมผสานเทคโนโลยีปัญญา โดยระบบที่มีความชาญฉลาดเพียงพอที่จะสามารถจัดการพลังงานให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งต้องสอดคล้องกับเกณฑ์ โดยมีการทำงานประสานกันอย่างมีระเบียบและแบบแผนเพื่อปฏิบัติงานที่กำหนดไว้หรือเพื่อให้บรรลุหรือรักษาเป้าหมายที่กำหนดไว้

โดยการจัดการพลังงานอัจฉริยะนั้นจะต้องประกอบด้วยเทคโนโลยีที่ทำงานผสมผสานระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) กับเครือข่ายเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (IoT) ที่จะช่วยประมวลผลบนกลุ่มก้อนเมฆ (Cloud) และช่วยส่งเสริมการตัดสินใจในการบริหารจัดการพลังงานเป็น Internet-of-Things ที่แพลตฟอร์มสำหรับการพัฒนาระบบตรวจจับและส่งสัญญาณที่ขับเคลื่อนด้วยการสั่นสะเทือนหรือการเคลื่อนไหว มันใช้ประโยชน์จากไฟล์การใช้ประโยชน์และการใช้พลังงานจากการปริมาณที่ใช้ผ่านตัวแปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ และความสัมพันธ์ของโมดูลที่จำเป็น 6 โมดูล ได้แก่ หน่วยผลิตพลังงาน (EGU) พลังงานหน่วยส่งสัญญาณ (ETU) หน่วยเพิ่มพลังงาน (EEU) พลังงานหน่วยการจัดการ (EMU) หน่วยผู้ใช้พลังงาน (EUU) และขอบหน่วยสาธิต (EDU)

ในส่วนของพลังระบบแสงสว่างเป็นหนึ่งในการสิ้นเปลืองพลังงานสูงสุดโดยเฉพาะในอาคาร ด้วยการออกแบบระบบประหยัดพลังงานจะช่วยให้อาคารประหยัดพลังงานได้มาก ดังนั้นเป็นเรื่องสำคัญมากที่จะต้องค้นหาว่ามีวิธีการและระบบใดบ้างที่ได้รับการเสนอเพื่อประหยัดพลังงานในอาคารในแง่ของแสง ด้วยการค้นหาว่าระบบใดที่นำเสนอสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ นักออกแบบและนักวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรอาคารจะพบความเป็นไปได้และการบังคับใช้ดังกล่าวระบบแสงสว่างสำหรับอาคารบางประเภทเพื่อให้ประหยัดพลังงานได้สูงกว่าระบบอื่น ๆ เมื่อนำไปใช้กับอาคาร

ประเภทเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างระบบไฟที่ผ่านการตรวจสอบกับประเภทต่าง ๆ ของอาคาร จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัยจำนวนมากจากสาขาต่าง ๆ มีปัจจัยมากมายที่มีบทบาทสำคัญในการบรรลุอัตราการประหยัดพลังงานที่สูงขึ้นซึ่งระบบแสงสว่างพลังงานที่มีประสิทธิภาพต้องพึ่งพาการออกแบบระบบแสงสว่างหลายประเภทที่ใช้กับอาคารประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของระบบไฟส่องสว่างอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบไฟส่องสว่างเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานของอาคารที่สูงขึ้น ใช้ข้อมูลและเทคโนโลยีการสื่อสาร (ICT) จากมุมมองของสารสนเทศด้านพลังงานสำหรับระบบแสงสว่างอัจฉริยะได้รับการพิจารณาว่าบรรลุการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

พื้นที่ที่ต้องบริหารจัดการในวิทยาเขตอัจฉริยะมีความสำคัญมากเมื่อพูดถึงการติดตั้งอุปกรณ์สมาร์ทเซ็นเซอร์เพื่อการบริหารจัดการพลังงาน โดยสามารถแบ่งเป็นประเด็นคือ การบริหารจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ โดยสมาร์ทเซ็นเซอร์ช่วยในการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารต่าง ๆ เช่น การใช้ไฟฟ้า การใช้พลังงานสำหรับการทำความร้อนและระบายความร้อน ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ในการปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ลดการสิ้นเปลือง และประหยัดต้นทุน ในการควบคุมและตรวจสอบการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ซึ่งสมาร์ทเซ็นเซอร์สามารถติดตามและรายงานการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถระบุปัญหาได้ทันทีและดำเนินการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น และมีการวิเคราะห์และการคาดการณ์โดยการรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ทเซ็นเซอร์ช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงาน และคาดการณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตได้ การคาดการณ์ที่แม่นยำนี้ช่วยในการวางแผนการใช้พลังงานและการขยายโครงสร้างพื้นฐานในวิทยาเขตอย่างเหมาะสม มีการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยข้อมูลจากเซ็นเซอร์สามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงระบบควบคุมการใช้พลังงาน เช่น ระบบ HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) ระบบแสงสว่าง และระบบน้ำร้อนในอาคาร ทำให้ระบบเหล่านี้ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและลดการใช้พลังงานลง ซึ่งการสนับสนุนการจัดการอย่างยั่งยืนนั้นการใช้สมาร์ทเซ็นเซอร์ในการบริหารจัดการพลังงานช่วยส่งเสริมการจัดการอย่างยั่งยืนในวิทยาเขตอัจฉริยะ เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างมีความรับผิดชอบ และการสร้างสิ่งแวดล้อมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จะช่วยเพิ่มประสบการณ์การใช้ชีวิตของผู้เรียนและผู้สอนโดยสมาร์ทเซ็นเซอร์ช่วยปรับปรุงความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัยในวิทยาเขต โดยสามารถปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น การปรับแสงสว่าง การควบคุมอุณหภูมิ และการจัดการการเข้าถึงอาคาร พื้นที่ที่ควรติดตั้งสมาร์ทเซ็นเซอร์ในวิทยาเขตผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน ดังตาราง

ตารางที่ 2-1 การสังเคราะห์องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน

องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน	Agbajor, F.D., Mewomo, M.C., Makanjuola, S.A. (2023)	Li, D., Zuo, X., Zhang, X., (2023)	k Ilber Sirmatel (2023)	Mussawar, O., Mayyas, A., Azar (2022)	Hoda Ahmadinejad (2023)	FranCo, A., Miserocchi, L., Testi, D. (2023)	Ghaleb, B., Abbasi, S.A., Asif, M. (2020)	SCott, C., Ahsan, M., Albarbar, A. (2024)	Khan, N., Khan, S.U., Baik, S.W. (2023)
ไฟฟ้า				✓	✓	✓	✓	✓	✓
ประปา	✓		✓	✓	✓	✓			✓
คาร์บอนไดออกไซด์	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
อุณหภูมิ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ความชื้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
เสียง	✓	✓	✓				✓	✓	
มลภาวะ PM2.5	✓	✓	✓						
ความสั่นไหว	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ควัน		✓	✓	✓	✓				
แสง	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
ตำแหน่ง		✓	✓	✓		✓	✓	✓	

พื้นที่ที่ต้องบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในวิทยาเขตอัจฉริยะสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและความต้องการพลังงานไฟฟ้า ดังนี้ อาคารเรียนและห้องบรรยาย เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่าง การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศและระบบระบายอากาศ รวมถึงอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และสื่อการเรียนการสอน โดยห้องปฏิบัติการและห้องวิจัยจะมีอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ รวมถึงระบบทำความเย็นสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการสภาพแวดล้อมเฉพาะ ในส่วนของนอกอาคารเรียน ยังมีในส่วนของหอพักนักศึกษาและอพาร์ทเมนต์ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่างเครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน เช่น ตู้เย็น ไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ และสำนักงานและพื้นที่บริหาร อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ ระบบไฟส่องสว่างและระบบทำความเย็น ส่วนของห้องสมุดและพื้นที่สาธารณะ ต้องมีระบบไฟส่องสว่าง อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสาร ระบบระบายอากาศและปรับอากาศ และพื้นที่ทางเดินและพื้นที่กลางแจ้ง ไฟถนนและไฟส่องสว่างกลางแจ้ง ระบบชลประทานและบำบัดน้ำเสียที่ใช้ไฟฟ้า โรงอาหารและพื้นที่บริการอื่น ๆ ซึ่งมีอุปกรณ์ทำอาหารและระบบทำความเย็น ระบบไฟส่องสว่างและระบบระบายอากาศ การบริหารจัดการพลังงานในพื้นที่ต่าง ๆ เหล่านี้ต้องใช้เทคโนโลยี IoT และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปัญญาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้พลังงาน โดยมีพื้นที่ที่ใช้ในการบริหารจัดการด้านพลังงานในวิทยาเขต ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ดังตาราง

ตารางที่ 2-2 การสังเคราะห์ลักษณะพื้นที่การจัดการพลังงานในมหาวิทยาลัย

พื้นที่การจัดการพลังงานในมหาวิทยาลัย	FAISAL ZAMAN (2023)	A. JOHANSEN (2022)	K ILBER SIRMATEL (2023)	ANTONELLA FERRARA (2022)	HODA AHMADINEJAD (2023)	FRANCO, A., MISEROCCHI, L., TESTI, D. (2023)	GHALEB, B., ABBASI, S.A., ASIF, M. (2020)	BANIK, R., BISWAS, A. (2024)	CHIU, M.-C., HSU, H.-W., CHEN, K.-S., WEN, C.-Y. (2024) [34]
CLASSROOM	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LAB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LEARNING WORKSPACE	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
LIBRARY AREA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PEDESTRIAN			✓	✓	✓		✓	✓	

เมื่อนำองค์ประกอบในการบริหารจัดการพลังงานมาทำงานประสานกับพื้นที่ที่ได้ต้องบริหารจัดการด้านพลังงาน ทำให้เกิดตารางเมตตริกระหว่างพื้นที่และองค์ประกอบดังตารางนี้

ตารางที่ 2-3 การสังเคราะห์องค์ประกอบของการจัดการพื้นที่ในวิทยาเขตอัจฉริยะ

ENERGY MANAGEMENT AREA IN THE SMART CAMPUS	ELECTRICITY	WATER	TEMPERATURE	HUMIDITY	SOUND	PM2.5 POLLUTION	VIBRATION	SMOKE	LIGHT	PRESENCE
CLASSROOM	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LABORATORY	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LEARNING WORKSPACE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LIBRARY AREA	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MEETING ROOM	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
COUNSELING CENTER	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PEDESTRIAN	✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓
OFFICE	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RESEARCH CENTER	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
MEETING ROOM	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SPORTS STADIUM	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
CANTEEN	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
TOILET	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓

2.1.1 การบริหารจัดการพลังงานฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management: DSM) เป็นการจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยเน้นการปรับปรุงการใช้พลังงานของผู้ใช้ให้เกิดความสมดุลกับการผลิตพลังงาน ให้ความสำคัญที่การปรับเปลี่ยนลักษณะของความต้องการใช้พลังงาน โดยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องในระยะยาวการบริหารจัดการพลังงานฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าหรือการดำเนินการทางด้านความต้องการการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management: DSM) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 มิติ คือ การใช้

พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency: EE) และการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR)

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (EE) จะเป็นการปรับปรุงกระบวนการใช้พลังงานของอุปกรณ์และระบบ ให้ใช้พลังงานน้อยลงโดยยังได้ผลลัพธ์ที่เหมือนเดิม เช่น การเปลี่ยนหลอดไฟจากหลอดไส้เป็นหลอด LED ที่ยังคงได้ความสว่างเหมือนเดิม แต่ใช้พลังงานน้อยลง การส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง เช่น การเลือกซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากเบอร์ 5 การเลือกใช้เทคโนโลยีปรับความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า ปั๊มน้ำ การใช้เทคโนโลยีเชื่อมโยงสรรพสิ่งในการควบคุมการทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

การดำเนินการตอบสนองด้านโหลด (DR) จะเน้นการกระตุ้นให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือปรับลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อจุดประสงค์หลักในการได้รับผลประโยชน์บางประการจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมนั้น เช่น ผู้เข้าร่วมโครงการได้รับเงินสนับสนุนพิเศษ (Incentive Payment) จากการลดใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต้นทุนของระบบมีค่าสูง หรือในช่วงที่มีความเสี่ยงด้านความมั่นคงของระบบไฟฟ้า Demand Side Management เป็นการจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร โดยเน้นการปรับปรุงการใช้พลังงานของผู้ใช้ให้เกิดความสมดุลกับการผลิตพลังงาน กระบวนการนี้ประกอบด้วยหลายขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์และประเมินความต้องการพลังงาน (Energy Demand Analysis and Assessment) การวิเคราะห์การใช้พลังงาน ตรวจสอบและวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานในอาคารเพื่อระบุเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดและการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร มีการประเมินศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน โดยวิเคราะห์ศักยภาพในการลดการใช้พลังงานโดยการปรับปรุงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบต่าง ๆ ในอาคาร

2. การพัฒนามาตรการลดการใช้พลังงาน (Development of Energy Reduction Measures) การปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบ เปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำด้วยอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น การใช้หลอดไฟ LED แทนหลอดไฟแบบเก่า การปรับปรุงระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เป็นต้น การใช้เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน: ติดตั้งระบบควบคุมและตรวจสอบการใช้พลังงาน เช่น ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (BEMS) ที่สามารถตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงานในเวลาจริง หรือการใช้เทคโนโลยีเพื่อสรรพสิ่งในการบริหารจัดการให้เป็นอัตโนมัติ

3. การส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้ใช้ (Promotion of User Behavior Change) การให้ความรู้และการฝึกอบรม ให้ความรู้และฝึกอบรมผู้ใช้เกี่ยวกับวิธีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอาคาร การจูงใจและการให้รางวัลสร้างแรงจูงใจในการลดการใช้พลังงาน เช่น การให้รางวัลสำหรับผู้ใช้ที่สามารถลดการใช้พลังงานได้ตามเป้าหมาย

4. การปรับปรุงการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่เหมาะสม (Load Shifting and Demand Response) การย้ายโหลดโดยย้ายการใช้พลังงานจากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุดไปยังช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานต่ำ เช่น การเลื่อนการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินพลังงานมากไปใช้ในช่วงเวลากลางคืนการตอบสนองต่อสัญญาณจากผู้ให้บริการพลังงาน เช่น การลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานสูงเพื่อช่วยลดภาระของระบบไฟฟ้า

5. การติดตามและประเมินผล (Monitoring and Evaluation) การติดตามการใช้พลังงานใช้เทคโนโลยีการตรวจสอบการใช้พลังงานในเวลาจริง เพื่อให้สามารถติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างต่อเนื่อง และการประเมินผลโดยประเมินผลลัพธ์ของมาตรการ DSM ที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงและพัฒนามาตรการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.1.2 การจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) เป็นระบบที่ใช้ในการจัดการและควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและเซ็นเซอร์เพื่อให้สามารถตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ของอาคารได้แบบเรียลไทม์ กระบวนการทำงานของ BEMS ประกอบด้วยหลายขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การเก็บข้อมูล (Data Collection) การใช้เซ็นเซอร์ติดตั้งเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน และการรวมรวมข้อมูลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ จะถูกรวบรวมและส่งไปยังระบบกลางเพื่อการวิเคราะห์

2. การตรวจสอบและวิเคราะห์ (Monitoring and Analysis) การตรวจสอบแบบเรียลไทม์ ระบบ BEMS สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารได้แบบเรียลไทม์ โดยแสดงข้อมูลบนหน้าจอแสดงผลหรือแดชบอร์ด โดยการวิเคราะห์ข้อมูลใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุรูปแบบการใช้พลังงานและจุดที่มีการใช้พลังงานมากเกินไป

3. การควบคุมและปรับปรุง (Control and Optimization) การควบคุมการใช้พลังงานระบบ BEMS สามารถควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในอาคาร เช่น การปรับลดระดับแสงสว่างหรือปรับอุณหภูมิของระบบปรับอากาศตามสภาพแวดล้อมและการใช้งาน มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น การตั้งเวลาการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับการใช้งาน

4. การบำรุงรักษาและการแจ้งเตือน (Maintenance and Alerts) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ระบบ BEMS สามารถแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์หรือระบบใด ๆ ในอาคารมีการทำงานที่ไม่ปกติ เพื่อให้สามารถทำการบำรุงรักษาได้ทันท่วงที มีการแจ้งเตือนระบบสามารถส่งการแจ้งเตือนเกี่ยวกับการใช้พลังงานที่สูงเกินไปหรือการเกิดปัญหาในระบบผ่านทางอีเมลหรือข้อความ

5. การรายงานและการแสดงผล (Reporting and Visualization) มีการรายงานโดยระบบ BEMS สามารถสร้างรายงานการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ และสามารถเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ และแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานจะแสดงในรูปแบบกราฟและแดชบอร์ดที่เข้าใจง่าย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสะดวก

2.2 เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เป็นแนวคิดที่โดดเด่นในยุคอุตสาหกรรม 4.0 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่สะท้อนถึงสภาพและพฤติกรรมของวัตถุทางกายภาพ โดยใช้ข้อมูลจากการเชื่อมต่อทั้งสองทิศทางระหว่างวัตถุจริงกับแบบจำลองดิจิทัลเพื่อติดตาม ประเมิน และคาดการณ์การทำงานของระบบได้อย่างแม่นยำ (Boschert & Rosen, 2016; Lu et al., 2020) ลักษณะสำคัญของคู่แฝดดิจิทัลประกอบด้วยการเชื่อมโยงทางข้อมูลแบบเรียลไทม์ การจำลองแบบเสมือน (Virtualization) และความสามารถในการทำนาย (Predictability) ซึ่งใช้ในหลาย

อุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) และการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Schleich et al., 2017; Zhang et al., 2020) คู่แฝดดิจิทัลยังมีความยืดหยุ่นสูงต่อการประยุกต์ใช้ในการบริหารวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product lifecycle management) และการปรับปรุงกระบวนการผลิตในเชิงกลยุทธ์ (Tao et al., 2017; Qi et al., 2018)

การพัฒนาและการนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้มีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน เนื่องจากคู่แฝดดิจิทัลไม่เพียงแต่จำลองพฤติกรรมของระบบเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยในการตัดสินใจและแก้ปัญหาได้แบบอัตโนมัติ (Zhou et al., 2020) นอกจากนี้การศึกษายังเน้นย้ำถึงความท้าทายในการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ เช่น การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ และการบูรณาการระบบในอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน (Aheleroff et al., 2021) คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีรากฐานมาจากการผสานระบบทางกายภาพเข้ากับข้อมูลดิจิทัลแบบเรียลไทม์เพื่อสร้างภาพจำลองเสมือนจริงที่สามารถสะท้อนสภาพแวดล้อม การทำงาน และการโต้ตอบของวัตถุหรือระบบได้อย่างแม่นยำ แนวคิดนี้เริ่มต้นขึ้นจากวงการอวกาศ แต่ได้ขยายตัวไปสู่อุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิต การออกแบบ และการบริหารจัดการระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Boschert & Rosen, 2016) ลักษณะเด่นของคู่แฝดดิจิทัลคือความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากวัตถุจริงแบบเรียลไทม์และใช้ข้อมูลนั้นในการจำลองพฤติกรรมและคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้า โดยแนวคิดนี้อาศัยเทคโนโลยีด้านการจำลองแบบ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (big data) และการประมวลผลแบบคลาวด์ (Qi et al., 2018; Zhang et al., 2020)

การประยุกต์ใช้คู่แฝดดิจิทัลมีการขยายตัวในอุตสาหกรรมหลายภาคส่วน เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลดิจิทัล (Digital Twin-driven Product Design) และการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) ซึ่งช่วยในการปรับปรุงการผลิตและลดความเสี่ยงในการทำงาน (Lu et al., 2020) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังมีบทบาทสำคัญในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product Lifecycle Management) ซึ่งช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และปรับปรุงการผลิตผ่านการตรวจสอบและคาดการณ์ที่ทำได้ในแบบเรียลไทม์ (Tao et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การนำคู่แฝดดิจิทัลไปใช้อย่างแพร่หลายยังมีความท้าทาย โดยเฉพาะการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ การบูรณาการระบบหลาย ๆ ส่วน และการเชื่อมต่อข้อมูลจากหลายแหล่งให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ (Aheleroff et al., 2021) ในอนาคต คาดว่าคู่แฝดดิจิทัลจะมีบทบาทที่กว้างขึ้นในทุกอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในด้านการวิเคราะห์และการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร (Zhou et al., 2020)

คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twins) ได้กล่าวถึงการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ในหลายสาขาต่าง ๆ อย่างละเอียด โดย Ji และคณะ (2023) ได้ทำการทบทวนแนวคิดคู่แฝดดิจิทัลจากสี่มุมมองหลัก คือ ข้อมูล โมเดล เครือข่าย และการประยุกต์ใช้ โดยเน้นความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของข้อมูลและความสามารถในการขยายตัวของระบบ (Ji et al., 2023) ขณะที่ Allam & Jones (2021) ได้อธิบายถึงบทบาทของคู่แฝดดิจิทัลในเมืองอัจฉริยะ โดยใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์และการเรียนรู้ของเครื่องในการจัดการการจราจร การใช้พลังงาน และความปลอดภัยสาธารณะ (Allam & Jones, 2021) นอกจากนี้ FranCo และคณะ (2023) ได้เสนอกรอบแนวคิดสำหรับการผสานคู่แฝดดิจิทัลเข้ากับเมตาเวิร์ส โดยเฉพาะในการจัดการพลังงาน เพื่อปรับปรุงระบบพลังงานอัจฉริยะ (FranCo et al.,

2023) ในการศึกษาของ Jamil และคณะ (2022) ได้เน้นถึงบทบาทของคู่แฝดดิจิทัลในอุตสาหกรรม IoT โดยเน้นการประยุกต์ใช้ในเมืองอัจฉริยะและเครือข่ายการคมนาคม การวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงผ่าน AI (Jamil et al., 2022) ขณะเดียวกัน Lu และคณะ (2021) ได้เน้นการตรวจจับความผิดปกติในระบบอัตโนมัติผ่านคู่แฝดดิจิทัล โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบขอบ (Edge Intelligence) เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Lu et al., 2021) ส่วน Bilberg & Malik (2019) ได้สำรวจการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ในสายการผลิต โดยใช้คู่แฝดดิจิทัลในการจำลองและปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ (Bilberg & Malik, 2019) Greis และคณะ (2022) ได้เสนอกรอบงานสำหรับคู่แฝดดิจิทัลที่ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงเสริม (AR) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดตารางการผลิต (Greis et al., 2022)

2.2.1 ลักษณะของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เป็นระบบที่จำลองแบบวัตถุหรือกระบวนการทางกายภาพในรูปแบบเสมือนจริง โดยใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อสะท้อนพฤติกรรมและสภาวะของวัตถุหรือกระบวนการนั้น ๆ อย่างแม่นยำ คุณสมบัติสำคัญของคู่แฝดดิจิทัลประกอบด้วยการเชื่อมโยงทางข้อมูลแบบสองทาง การจำลองเสมือนที่มีความละเอียดสูง และการคาดการณ์ล่วงหน้าผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Boschert & Rosen, 2016) คู่แฝดดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดความเสี่ยง (Zhang et al., 2020) รวมถึงในอุตสาหกรรมการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ใช้คู่แฝดดิจิทัลในการทดสอบและวิเคราะห์กระบวนการต่าง ๆ โดยไม่ต้องใช้ทรัพยากรจริง (Schleich et al., 2017) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังมีประสิทธิภาพในการจัดการวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product Lifecycle Management) โดยสามารถคาดการณ์และปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ตามข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบในแบบเรียลไทม์ (Tao et al., 2017) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้ยังต้องเผชิญกับความท้าทายในด้านการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการเชื่อมต่อระบบจากหลายแหล่ง (Aheleroff et al., 2021)

เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีลักษณะที่โดดเด่นหลายประการ โดยเฉพาะในด้านการสร้างแบบจำลองที่สามารถสะท้อนข้อมูลและสภาพของวัตถุหรือระบบทางกายภาพได้อย่างแม่นยำผ่านการเชื่อมโยงข้อมูลแบบสองทิศทางในเวลาจริง การจำลองเสมือนนี้ไม่เพียงแต่แสดงภาพหรือสถานะปัจจุบัน แต่ยังสามารถคาดการณ์และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในอนาคตได้ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Qi et al., 2018) ลักษณะเด่นของคู่แฝดดิจิทัลนั้นรวมถึงความสามารถในการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ การปรับปรุงกระบวนการทำงาน และการคาดการณ์ปัญหาก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง ซึ่งทั้งหมดนี้มีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะและการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานในเมืองอัจฉริยะ (Boschert & Rosen, 2016; Zhang et al., 2020; Tao et al., 2017) ยิ่งไปกว่านั้น การนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้ในวงการแพทย์ยังช่วยพัฒนาเทคโนโลยีการดูแลสุขภาพที่แม่นยำขึ้น เช่น การจำลองระบบร่างกายมนุษย์เพื่อทดสอบการรักษาก่อนนำไปใช้กับผู้ป่วยจริง (Fuller et al., 2020) แม้ว่าเทคโนโลยีนี้จะมีประโยชน์อย่างมาก แต่การพัฒนาและบูรณาการเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังคงเผชิญกับความท้าทาย เช่น การจัดการกับข้อมูลจำนวนมหาศาลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ และการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบที่ซับซ้อน (Aheleroff et al., 2021; Lu et al., 2021)

เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ยังมีลักษณะอื่น ๆ ที่สำคัญอีกหลายประการที่เสริมสร้างความสามารถในการจำลองและการวิเคราะห์ของระบบ นอกจากการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตและเมืองอัจฉริยะแล้ว เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การบินและอวกาศ การก่อสร้าง และการขนส่ง ซึ่งสามารถใช้ในการจำลองสถานการณ์และทดสอบกระบวนการก่อนที่จะดำเนินการจริง (Kritzinger et al., 2018) การประยุกต์ใช้นี้ช่วยลดความเสี่ยงและต้นทุนในการดำเนินงานโดยที่ยังสามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมหรือข้อกำหนดที่แตกต่างกันได้ (Qi et al., 2018) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการตรวจจับและป้องกันความผิดปกติในกระบวนการทำงาน เช่น การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยลดการหยุดชะงักของการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพ (Lu et al., 2020) อย่างไรก็ตาม ความท้าทายที่สำคัญคือการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ที่เกิดจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ในระบบ และการบูรณาการข้อมูลเพื่อให้เกิดการทำงานที่ราบรื่นในทุกขั้นตอน (Aheleroff et al., 2021)

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสังคมมีการขยายตัวอย่างมากในหลากหลายบริบท เช่น เมืองอัจฉริยะ การดูแลสุขภาพ และการจัดการทรัพยากร เทคโนโลยีนี้มีบทบาทสำคัญในการจัดการทรัพยากรและโครงสร้างพื้นฐานในเมือง เช่น การจัดการการจราจรและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น คุณภาพอากาศและน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชน (Allam & Jones, 2021; Bouzguenda et al., 2019) นอกจากนี้ เทคโนโลยียังถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการสาธารณูปโภค เช่น ระบบขนส่งพลังงาน และโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่จำเป็นในเมือง โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์แบบเรียลไทม์เพื่อปรับปรุงการทำงานและการตัดสินใจ (Yu et al., 2021) ในด้านการดูแลสุขภาพ คู่แฝดดิจิทัลมีการนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองทางกายภาพของผู้ป่วย ซึ่งช่วยให้แพทย์สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สุขภาพของผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ รวมถึงการจำลองการรักษาเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจและลดความเสี่ยงจากการรักษาแบบเดิม (Fuller et al., 2020) เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ในการคาดการณ์และป้องกันโรคล่วงหน้า ทำให้สามารถปรับแผนการรักษาได้อย่างเหมาะสม (Aheleroff et al., 2021; Lu et al., 2020) อีกหนึ่งประเด็นสำคัญของการนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้ในสังคมคือ การจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรที่มีจำกัด เช่น การจัดการระบบพลังงานในระดับที่ซับซ้อน เช่น การบริหารจัดการพลังงานในเมือง หรือการจัดสรรพลังงานในพื้นที่ที่มีความต้องการสูง โดยใช้คู่แฝดดิจิทัลในการจำลองและปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (FranCo et al., 2023) จากการประยุกต์ใช้นี้ คู่แฝดดิจิทัลจึงมีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชนผ่านการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสิ้นเปลืองทรัพยากร และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในสังคมอย่างรวดเร็วและแม่นยำ

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสังคมขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ไม่เพียงแต่ในอุตสาหกรรมและการผลิตเท่านั้น แต่ยังในบริบทอื่น ๆ เช่น การจัดการสภาพแวดล้อมและการดูแลสุขภาพ ในด้านการจัดการทรัพยากร เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลถูกใช้เพื่อช่วยในการบริหารจัดการระบบพลังงาน การวางแผนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในเมืองอัจฉริยะ โดยคู่แฝดดิจิทัลจะใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อประเมินการใช้พลังงานและเสนอแนะวิธีปรับปรุงการใช้

พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด ซึ่งช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มความยั่งยืนในระยะยาว (Yu et al., 2021; FranCo et al., 2023) อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการจัดการการจราจรและสิ่งแวดล้อมในเมือง เช่น การควบคุมและปรับปรุงการไหลของการจราจร โดยใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ในการปรับแผนที่และเส้นทางการเดินทาง ซึ่งช่วยลดการจราจรติดขัดและการปล่อยมลพิษ (Allam & Jones, 2021) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น การตรวจวัดคุณภาพน้ำและอากาศ เพื่อช่วยให้รัฐบาลหรือหน่วยงานสามารถตอบสนองต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (Bouzguenda et al., 2019)

ในด้านการดูแลสุขภาพ เทคโนโลยีนี้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบ "คู่แฝดดิจิทัลมนุษย์" (Human Digital Twin) ซึ่งสามารถจำลองสภาพร่างกายของผู้ป่วย โดยให้แพทย์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของร่างกายได้อย่างแม่นยำ และใช้ในการทดสอบแนวทางการรักษาก่อนการรักษาจริง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้ป่วย (Fuller et al., 2020; Aheleroff et al., 2021) นอกจากนั้น เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำไปใช้ในภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะในพื้นที่การเกษตรที่ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพดิน สภาพอากาศ และความชื้น ทำให้สามารถจัดการทรัพยากรและเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตได้ดียิ่งขึ้น (Lu et al., 2020) ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นถึงการนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้ในการพัฒนาสังคมในหลายมิติ ไม่ว่าจะเป็นการจัดการทรัพยากร การจราจร สิ่งแวดล้อม การดูแลสุขภาพ หรือภาคเกษตรกรรม ซึ่งช่วยสร้างความยั่งยืนและเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้คนในสังคมอย่างมีประสิทธิภาพ

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสถานศึกษาและมหาวิทยาลัยเป็นแนวคิดที่กำลังเติบโตและมีศักยภาพสูงในด้านการพัฒนาการเรียนรู้และการบริหารจัดการภายในสถาบันการศึกษา คู่แฝดดิจิทัลสามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของอาคารและโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย เช่น การจัดการพลังงาน การบำรุงรักษาอุปกรณ์ และการจัดการการใช้งานพื้นที่ ซึ่งช่วยให้สถาบันสามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในการลดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Alsaleh et al., 2022) นอกจากนี้ ในด้านการเรียนการสอน คู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ที่ซับซ้อนในห้องเรียนหรือห้องทดลองเสมือนจริง (Virtual Lab) โดยสามารถจำลองการทดลองทางวิทยาศาสตร์หรือการทดสอบทางวิศวกรรมได้แบบเสมือนจริง ซึ่งช่วยให้นักเรียนและนักศึกษาสามารถทดลองหรือฝึกปฏิบัติโดยไม่ต้องพึ่งพาทรัพยากรจริง ลดความเสี่ยงในการทำการทดลองผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ผ่านการปฏิสัมพันธ์กับระบบที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง (Greis et al., 2022) ในด้านการพัฒนาสถาบัน เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการเรียนรู้ของนักศึกษาในรูปแบบคู่แฝดดิจิทัล ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาวิธีการสอน ปรับปรุงหลักสูตรให้เหมาะสมกับการเรียนรู้เฉพาะบุคคล และคาดการณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาได้อย่างแม่นยำ (Tlili et al., 2022) ด้วยศักยภาพในการสร้างแบบจำลองข้อมูลที่แม่นยำและการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลจึงเป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาภายในมหาวิทยาลัย ไม่เพียงแต่ในด้านการเรียนการสอน แต่ยังรวมถึงการจัดการทรัพยากรและการบริหารงานภายในสถานศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสถานศึกษาและมหาวิทยาลัยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยนอกจากการใช้เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและโครงสร้างพื้นฐานแล้ว เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้เพื่อการพัฒนากระบวนการเรียนการสอนและการวิจัยในหลากหลายสาขาวิชา ในด้านการศึกษา คู่แฝดดิจิทัลถูกนำมาใช้ในการสร้างห้องปฏิบัติการเสมือนจริง (Virtual Labs) ซึ่งนักศึกษาสามารถทำการทดลองและเรียนรู้ผ่านการจำลองที่เสมือนจริง ทำให้สามารถลดต้นทุนและความเสี่ยงในการใช้อุปกรณ์จริง รวมถึงสามารถเข้าถึงการเรียนรู้ได้จากระยะไกล (Greis et al., 2022) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำมาใช้ในมหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาระบบการเรียนรู้ส่วนบุคคล โดยข้อมูลของนักศึกษาถูกเก็บรวบรวมและวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ทำให้ผู้สอนสามารถปรับปรุงวิธีการสอนและหลักสูตรให้ตรงกับความต้องการของนักศึกษาได้มากยิ่งขึ้น (Tlili et al., 2022) ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา ช่วยให้มหาวิทยาลัยสามารถระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและดำเนินการแก้ไขได้ล่วงหน้า เช่น การช่วยเหลือนักศึกษาที่มีผลการเรียนต่ำกว่ามาตรฐาน (Jaung, 2022) การบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานของมหาวิทยาลัยก็ได้รับประโยชน์จากคู่แฝดดิจิทัล โดยสามารถสร้างแบบจำลองสำหรับการตรวจสอบสภาพการทำงานของอาคาร ระบบไฟฟ้า และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ ทำให้การซ่อมบำรุงและการจัดการทรัพยากรภายในมหาวิทยาลัยสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และลดการสิ้นเปลืองทรัพยากรลง (Alsaleh et al., 2022) ด้วยการผสมผสานการใช้คู่แฝดดิจิทัลในด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการจัดการทรัพยากร มหาวิทยาลัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานและสร้างสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะของนักศึกษาได้อย่างเต็มที่

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัยเป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มความยั่งยืนและลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น คู่แฝดดิจิทัลสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของระบบพลังงานที่ใช้อยู่ในอาคารและพื้นที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยอาศัยข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อให้มองเห็นและติดตามการใช้พลังงานในทุกมิติ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ (Alsaleh et al., 2022) ด้วยเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล มหาวิทยาลัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียด เพื่อตรวจสอบว่าในส่วนใดของอาคารหรือพื้นที่มีการใช้พลังงานเกินความจำเป็น และสามารถปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนวิธีการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังสามารถคาดการณ์และจัดทำแผนการใช้พลังงานที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมและความต้องการในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ทำให้การจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดต้นทุนด้านพลังงานได้อย่างมาก (FranCo et al., 2023) นอกจากนี้ เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังช่วยในการบริหารจัดการระบบพลังงานหมุนเวียนภายในมหาวิทยาลัย เช่น การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ โดยคู่แฝดดิจิทัลจะตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบพลังงานเหล่านี้ เพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น และเพิ่มความยั่งยืนในการใช้พลังงาน (Lu et al., 2020) ทั้งหมดนี้ทำให้มหาวิทยาลัยสามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดค่าใช้จ่าย และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนเพื่อให้เข้ากับแนวทางด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัยเป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มความยั่งยืนและลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น คู่แฝดดิจิทัลสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของระบบพลังงานที่ใช้อยู่ในอาคารและพื้นที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยอาศัยข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อให้มองเห็นและติดตามการใช้พลังงานในทุกมิติ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ (Alsaleh et al., 2022) ด้วยเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล มหาวิทยาลัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียด เพื่อตรวจสอบว่าในส่วนใดของอาคารหรือพื้นที่มีการใช้พลังงานเกินความจำเป็น และสามารถปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนวิธีการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังสามารถคาดการณ์และจัดทำแผนการใช้พลังงานที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมและความต้องการในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ทำให้การจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดต้นทุนด้านพลังงานได้อย่างมาก (FranCo et al., 2023) นอกจากนี้ เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังช่วยในการบริหารจัดการระบบพลังงานหมุนเวียนภายในมหาวิทยาลัย เช่น การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ โดยคู่แฝดดิจิทัลจะตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบพลังงานเหล่านี้ เพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น และเพิ่มความยั่งยืนในการใช้พลังงาน (Lu et al., 2020) ทำให้มหาวิทยาลัยสามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดค่าใช้จ่าย และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนเพื่อให้เข้ากับแนวทางด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน

โดยการนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัยยังมีประโยชน์เพิ่มเติมในด้านการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยในการทำนายการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของอุปกรณ์พลังงานต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้า หรือระบบทำความร้อน ทำให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ล่วงหน้า ลดการหยุดชะงักของการใช้งานพลังงาน และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ (Lu et al., 2021) คู่แฝดดิจิทัลยังสามารถใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานที่คำนึงถึงสภาวะแวดล้อม เช่น การปรับระดับการใช้พลังงานตามสภาพอากาศหรือฤดูกาล เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงที่ไม่จำเป็น นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลที่เก็บจากการใช้งานเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้พลังงานที่เหมาะสมในระยะยาว เช่น การตั้งค่าเครื่องปรับอากาศหรือระบบทำความร้อนระบายอากาศให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานในแต่ละช่วงเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสิ้นเปลืองพลังงาน (FranCo et al., 2023; Alsaleh et al., 2022)เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังสามารถใช้ในการเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น ระบบโซลาร์เซลล์ โดยจะคอยติดตามและตรวจสอบการผลิตพลังงานและการใช้งานแบบเรียลไทม์ ช่วยให้มหาวิทยาลัยสามารถปรับสมดุลการใช้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งที่ไม่หมุนเวียน และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น (Lu et al., 2020)

2.2.2 องค์ประกอบของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

องค์ประกอบสำคัญของคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) นั้นนอกจากจะประกอบด้วยวัตถุหรือกระบวนการทางกายภาพจริง คู่แฝดดิจิทัลที่เป็นแบบจำลองเสมือน ระบบการเชื่อมต่อและการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์แล้ว ยังรวมถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big

Data) ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงการทำงานของคู่แฝดดิจิทัลให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากระบบเซนเซอร์ที่ติดตั้งกับวัตถุจริงจะถูกส่งไปยังคู่แฝดดิจิทัลเพื่อทำการอัปเดตสถานะและสภาพของวัตถุอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงและพฤติกรรมของวัตถุหรือระบบนั้นได้อย่างละเอียดและถูกต้อง (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2017) องค์ประกอบสำคัญอีกประการคือการเชื่อมต่อผ่าน IoT (Internet of Things) ที่เป็นตัวกลางระหว่างวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัล ซึ่งช่วยให้สามารถรับข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้ตลอดเวลา ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อปรับปรุงกระบวนการและทำนายเหตุการณ์ล่วงหน้า เช่น การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง (Qi et al., 2018) เทคโนโลยี AI และ Machine Learning ยังถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้รับจากระบบคู่แฝดดิจิทัล ทำให้สามารถประมวลผลและเรียนรู้จากข้อมูลในอดีต เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานและการตัดสินใจให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบต่าง ๆ ในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เกิดขึ้นผ่านการผสานกันระหว่างระบบที่ซับซ้อนหลายชั้น เพื่อให้สามารถจำลองพฤติกรรมและสถานะของวัตถุหรือระบบทางกายภาพในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างแม่นยำ องค์ประกอบหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วัตถุทางกายภาพจริงแบบจำลองดิจิทัล การเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) การประมวลผลข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) โดยองค์ประกอบเหล่านี้ทำงานร่วมกันดังนี้

1. วัตถุทางกายภาพ (Physical Entity) ในบริบทของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) หมายถึงวัตถุ ระบบ หรือกระบวนการที่เป็นจริงซึ่งคู่แฝดดิจิทัลถูกสร้างขึ้นมาเพื่อจำลอง เช่น เครื่องจักรในสายการผลิต อาคาร ยานพาหนะ หรือแม้กระทั่งระบบทางชีวภาพ วัตถุเหล่านี้จะติดตั้งเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว หรือสถานะการทำงาน โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งต่อไปยังแบบจำลองดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2017) โดยวัตถุทางกายภาพนั้นเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองที่แม่นยำของคู่แฝดดิจิทัล ข้อมูลที่ถูกเก็บได้จากเซนเซอร์จะนำมาใช้ในการอัปเดตแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับสถานะที่แท้จริงของวัตถุในเวลานั้น ๆ และทำให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถคาดการณ์พฤติกรรมของวัตถุหรือระบบในอนาคตได้ เช่น การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร หรือการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน (Qi et al., 2018) ซึ่งวัตถุจริงหรือระบบที่ต้องการจำลอง ซึ่งจะถูกติดตั้งด้วยเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อติดตามข้อมูลต่าง ๆ เช่น สภาพการทำงาน การสึกหรอ การสั่นไหว และอุณหภูมิ (Boschert & Rosen, 2016) ข้อมูลที่ได้รับจากวัตถุทางกายภาพนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถแสดงสถานะในปัจจุบันได้ แต่ยังสามารถนำมาใช้เพื่อคาดการณ์พฤติกรรมในอนาคตได้ด้วย เช่น การคาดการณ์การเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของอุปกรณ์ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ยังช่วยให้การประมวลผลข้อมูลเหล่านี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำนายปัญหาล่วงหน้าได้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของวัตถุทางกายภาพได้อย่างเหมาะสม (Qi et al., 2018; Lu et al., 2021)

2. แบบจำลองดิจิทัล (Digital Model) คู่แฝดดิจิทัลจะถูกสร้างขึ้นโดยอิงตามข้อมูลที่ได้รับจากวัตถุจริง ข้อมูลนี้จะถูกส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถสะท้อนสภาพของวัตถุจริงได้อย่างถูกต้องและทันเวลา ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงทางข้อมูลแบบสองทางระหว่างวัตถุจริงและคู่แฝดดิจิทัล (Tao et al., 2017)แบบจำลองดิจิทัล (Digital Model) คือส่วนสำคัญของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลที่ทำหน้าที่เป็นภาพจำลองเสมือนจริงของวัตถุหรือระบบทางกายภาพ โดยแบบจำลองนี้ได้รับการอัปเดตและควบคุมโดยข้อมูลที่เก็บจากวัตถุจริงผ่านเซนเซอร์และเครือข่าย IoT แบบจำลองดิจิทัลจะสะท้อนพฤติกรรมและสถานะของวัตถุจริงในเวลาจริง (real-time) ทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการทำงานของระบบและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำ (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2017)

แบบจำลองดิจิทัลนี้ยังสามารถใช้ในการทำนายปัญหาหรือเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การคาดการณ์การสึกหรอของอุปกรณ์ การเสื่อมสภาพของระบบ หรือความจำเป็นในการซ่อมบำรุง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนและจัดการกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ช่วยให้แบบจำลองดิจิทัลสามารถปรับปรุงและเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รับมา เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำลองและการทำนาย ซึ่งแบบจำลองดิจิทัลยังสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบการจำลองภาพสามมิติ (3D Visualization) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจสถานะของระบบหรือวัตถุได้ง่ายขึ้น การทำงานร่วมกับ AI ช่วยให้แบบจำลองนี้สามารถสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ใช้ในการทดลองหรือทดสอบก่อนการนำไปใช้กับวัตถุจริง ซึ่งช่วยลดต้นทุนและความเสี่ยงในการทำงานจริง (Tao et al., 2018; Lu et al., 2020) แบบจำลองดิจิทัล (Digital Model) ไม่ได้เป็นเพียงการสร้างภาพจำลองของวัตถุหรือระบบทางกายภาพเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือที่สามารถโต้ตอบและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่องตามข้อมูลที่ได้รับจากโลกจริง โดยแบบจำลองนี้สามารถทำหน้าที่สะท้อนการทำงานของระบบได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งหมายความว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในวัตถุทางกายภาพ แบบจำลองดิจิทัลก็จะอัปเดตตามไปด้วย ทำให้สามารถเฝ้าติดตามสถานะและตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบได้อย่างละเอียด (Qi et al., 2018; Tao et al., 2017)

นอกจากนี้ แบบจำลองดิจิทัลยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์และคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้า การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่และซับซ้อน ทำให้สามารถทำนายพฤติกรรมของระบบในอนาคต เช่น การคาดการณ์ปัญหาการสึกหรอ การซ่อมบำรุง หรือการเสื่อมสภาพของระบบต่าง ๆ โดยที่สามารถทำให้การตัดสินใจหรือการวางแผนการทำงานมีความแม่นยำมากขึ้น (Tao et al., 2018; Lu et al., 2020) แบบจำลองดิจิทัลยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบและทดสอบผลิตภัณฑ์หรือระบบใหม่ โดยสามารถใช้แบบจำลองดิจิทัลในการจำลองสภาวะการทำงานต่าง ๆ ที่วัตถุจริงอาจเผชิญก่อนการนำไปใช้งานจริง ทำให้สามารถระบุจุดบกพร่องหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและต้นทุนในการผลิต (Schleich et al., 2017; Tao et al., 2017)

3. การเชื่อมต่อผ่าน IoT (Internet of Things) IoT ทำหน้าที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัล ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์จะถูกส่งไปยัง

ระบบคู่แฝดดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการอัปเดตคู่แฝดดิจิทัล เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะและพฤติกรรมที่แท้จริงของวัตถุ Internet of Things (IoT) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัล IoT ประกอบด้วยเครือข่ายของเซนเซอร์และอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนวัตถุจริงเพื่อรวบรวมข้อมูลในเวลาจริง (real-time) ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องจักร การเคลื่อนไหว อุณหภูมิ ความดัน หรือปัจจัยอื่น ๆ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังแบบจำลองดิจิทัลเพื่อทำการอัปเดตและแสดงผลสถานะปัจจุบันของวัตถุ (Qi et al., 2018; Boschert & Rosen, 2016)

การทำงานของ IoT ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของระบบได้แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ IoT ยังมีบทบาทสำคัญในการเก็บข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ซึ่งช่วยในการคาดการณ์ปัญหาหรือเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หรือการซ่อมบำรุงที่จำเป็น (Tao et al., 2018) ด้วยเครือข่าย IoT ที่เชื่อมต่อระหว่างวัตถุจริงและคู่แฝดดิจิทัล ข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไม่เพียงแต่ช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบในปัจจุบัน แต่ยังสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจได้อย่างแม่นยำมากขึ้นในการวางแผนหรือปรับปรุงกระบวนการในอนาคต (Lu et al., 2021) การทำงานของ Internet of Things (IoT) ในระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ไม่ได้จำกัดเฉพาะการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัลเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงอุปกรณ์หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกันเพื่อสร้างระบบข้อมูลที่ครอบคลุมและเป็นระบบ IoT ช่วยให้ข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งบนวัตถุ เช่น การวัดอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน หรือการตรวจจับแรงดัน สามารถถ่ายโอนไปยังเครือข่ายดิจิทัลได้แบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่ได้จากการเชื่อมต่อนี้ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันที และทำให้สามารถทำนายหรือคาดการณ์ความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หรือความล้มเหลวของระบบ ซึ่งนำไปสู่การจัดการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Predictive Maintenance) อย่างมีประสิทธิภาพ (Boschert & Rosen, 2016; Qi et al., 2018) นอกจากนี้ IoT ยังสามารถทำให้ระบบคู่แฝดดิจิทัลมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวได้ดีขึ้น เพราะข้อมูลที่เก็บได้จากวัตถุจริงในสถานการณ์ต่าง ๆ สามารถถูกนำมาปรับใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ หรือใช้ในการปรับปรุงการดำเนินงานของอุปกรณ์ได้แบบเรียลไทม์ ซึ่ง ระบบ IoT นี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์และระบบอื่น ๆ ได้อย่างง่ายดาย ทำให้สามารถเพิ่มการทำงานร่วมกันระหว่างหลาย ๆ ระบบ เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิต การจัดการเมืองอัจฉริยะ หรือการควบคุมพลังงานภายในองค์กร ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพสูงสุด

4. การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and Analytics) เมื่อได้รับข้อมูลจากวัตถุจริง ข้อมูลนั้นจะถูกประมวลผลและวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยี AI และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ AI จะช่วยประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก และสามารถตรวจจับแนวโน้มที่ไม่ปกติ หรือวิเคราะห์รูปแบบการทำงานในอดีตเพื่อทำนายสถานการณ์ในอนาคต เช่น การคาดการณ์การสึกหรอของเครื่องจักร (Tao et al., 2018) การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and

Analytics) เป็นส่วนสำคัญในระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ที่ทำหน้าที่รวบรวมและจัดการข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ที่ติดตั้งบนวัตถุทางกายภาพ ข้อมูลเหล่านี้ถูกประมวลผลอย่างรวดเร็วเพื่อให้สามารถสะท้อนสภาพการทำงานของวัตถุในแบบเรียลไทม์ การประมวลผลนี้เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่มีความซับซ้อน และการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกเพื่อตรวจจับแนวโน้มหรือความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น (Tao et al., 2018; Qi et al., 2018) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการนี้ ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การสึกหรอของอุปกรณ์หรือการเสื่อมสภาพของระบบ ซึ่งช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Boschert & Rosen, 2016)

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลยังช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ทำให้กระบวนการต่าง ๆ ในการผลิต การจัดการเมืองอัจฉริยะ หรือการควบคุมระบบพลังงานสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง (Lu et al., 2021) การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and Analytics) ในระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีความซับซ้อนและมีบทบาทสำคัญในการทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ถูกนำมาผ่านการประมวลผลอย่างละเอียด เพื่อแปลงข้อมูลดิบให้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ โดยกระบวนการนี้มักต้องอาศัยเทคโนโลยีการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากจากหลายแหล่งพร้อมกันได้ (Tao et al., 2018) นอกจากนี้ ยังมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ โดยระบบ AI สามารถตรวจจับแนวโน้ม หรือความผิดปกติในข้อมูล ทำให้สามารถคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การคาดการณ์การสึกหรอของอุปกรณ์หรือการเสื่อมสภาพของระบบ โดยกระบวนการนี้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถปรับปรุงการทำงานของระบบได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังช่วยให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการซ่อมบำรุง หรือการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสม (Boschert & Rosen, 2016; Lu et al., 2021) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถลดความเสี่ยงและต้นทุน โดยการเตรียมพร้อมสำหรับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า เช่น การวางแผนการซ่อมแซมระบบก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง ซึ่งเป็นการเสริมสร้างความยืดหยุ่นและความน่าเชื่อถือในการทำงานของระบบคู่แฝดดิจิทัลในระยะยาว

5. การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) คู่แฝดดิจิทัลใช้ข้อมูลที่ประมวลผลร่วมกับ AI และการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อสร้างการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ ซึ่งสามารถระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า เช่น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Qi et al., 2018; Lu et al., 2020) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) เป็นองค์ประกอบสำคัญในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) โดยทำหน้าที่ช่วยคาดการณ์เหตุการณ์หรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ด้วยการประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT แบบเรียลไทม์ การวิเคราะห์นี้อาศัยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก เพื่อค้นหาแนวโน้มและ

รูปแบบที่อาจชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่กำลังจะเกิดขึ้น เช่น การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ การสึกหรอของเครื่องจักร หรือความผิดปกติที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ (Qi et al., 2018; Boschert & Rosen, 2016) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์นี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถดำเนินการซ่อมแซมหรือปรับปรุงระบบก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง ทำให้ลดการหยุดชะงักในการทำงาน และเพิ่มความยั่งยืนของอุปกรณ์ การวิเคราะห์นี้ยังช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษา เนื่องจากสามารถป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นแบบไม่คาดคิด ทำให้การจัดการทรัพยากรเป็นไปอย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น (Lu et al., 2021)

การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องจากสามารถคาดการณ์ปัญหาหรือการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้โดยอิงจากข้อมูลจริงที่ได้รับจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก กระบวนการนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถระบุแนวโน้มที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวหรือปัญหาในอนาคต เช่น การสึกหรอของอุปกรณ์ หรือปัญหาด้านประสิทธิภาพในการทำงาน (Qi et al., 2018; Boschert & Rosen, 2016) นอกจากการช่วยลดความเสี่ยงและความล้มเหลวของระบบแล้ว การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังมีความสำคัญในการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งช่วยให้สามารถดำเนินการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาได้ในเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ต้องรอจนเกิดความเสียหาย นอกจากนี้ยังช่วยลดการหยุดชะงักในการดำเนินงานและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดการระบบที่ซับซ้อนและสำคัญ เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิต การบิน และระบบสาธารณูปโภค (Tao et al., 2018; Qi et al., 2018)การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการทำงานหรือการเปลี่ยนแปลงความต้องการในการใช้งาน (Lu et al., 2021) ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้นี้ยังสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงการทำงานของระบบและเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจในระดับเชิงกลยุทธ์ ซึ่งช่วยเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันขององค์กรได้อย่างยั่งยืน (Boschert & Rosen, 2016)

สรุปได้ว่า เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่สะท้อนพฤติกรรมและสถานะของวัตถุหรือระบบทางกายภาพ โดยอาศัยข้อมูลเรียลไทม์จากเซนเซอร์และการเชื่อมต่อผ่านระบบ Internet of Things (IoT) เพื่อให้สามารถจำลองและคาดการณ์การทำงานของระบบได้อย่างแม่นยำ เทคโนโลยีนี้ถูกนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะ เมืองอัจฉริยะ การจัดการพลังงาน และการดูแลสุขภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดความเสี่ยง และเพิ่มความสามารถในการคาดการณ์ปัญหาล่วงหน้า เทคโนโลยีนี้อาศัยการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อช่วยในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และปรับปรุงการทำงานของระบบ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังคงมีความท้าทายในการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการบูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่งให้มีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบเหล่านี้ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถทำงานแบบเรียลไทม์ ตรวจสอบการทำงานของระบบ และทำการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ เช่น การปรับปรุงกระบวนการ การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน และการ

ปรับเปลี่ยนการทำงานให้เหมาะสมกับสถานการณ์ โดยการใช้ AI และการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหัวใจสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำในการทำนายและการตอบสนองต่อสถานการณ์ในอนาคต โดยจุดประสงค์หลักในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของวัตถุหรือระบบทางกายภาพ โดยใช้ข้อมูลจากการเชื่อมต่อแบบสองทางระหว่างวัตถุจริงกับแบบจำลองดิจิทัล ข้อมูลนี้ถูกนำมาใช้ในการติดตาม ประเมิน และคาดการณ์การทำงานของระบบอย่างแม่นยำ การเชื่อมต่อผ่านระบบ IoT ทำให้ข้อมูลเรียลไทม์ถูกส่งไปยังคู่แฝดดิจิทัล ซึ่งสามารถจำลองและวิเคราะห์พฤติกรรมของวัตถุได้ ลักษณะสำคัญของเทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยการจำลองเสมือน การประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อทำนายปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Boschert & Rosen, 2016; Qi et al., 2018) เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะ การจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะ และการดูแลสุขภาพ โดยการทำนายการเสื่อมสภาพและปรับปรุงกระบวนการให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม ทำให้คู่แฝดดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงและต้นทุน อย่างไรก็ตาม ความท้าทายในการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังคงอยู่ที่การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการบูรณาการระบบจากหลายแหล่ง

2.3 เทคโนโลยีปัญญา (Cognitive Technology)

เทคโนโลยีปัญญา(Cognitive Technology) เป็นเทคโนโลยีเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจที่ลอกเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ผ่านวิธีการต่าง ๆ รวมถึง การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การทำเหมืองข้อมูลและการจดจำรูปแบบที่มีฟังก์ชันทีมีความสามารถในการทำความเข้าใจ เรียนรู้องค์ความรู้ต่าง ๆ อาทิเช่น การรับรู้ การเรียนรู้ การให้เหตุผล และการแก้ปัญหาต่าง ๆ

หลักการของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) เป็นหัวข้อที่ครอบคลุมหลากหลายสาขาวิชา รวมถึงวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณิตศาสตร์ สถิติ จิตวิทยา ภาษาศาสตร์ ปรัชญาและอื่น ๆ การอธิบายหลักการของ AI จึงจำเป็นต้องครอบคลุมหลายมิติของการศึกษาและวิจัยในสาขานี้ ในการนิยามและประเภทของ AI คือสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการพัฒนาเครื่องจักรที่สามารถทำงานหรือคิดเหมือนมนุษย์ได้ นั่นรวมถึงการประมวลผลภาษา การแก้ปัญหา การเรียนรู้และการรับรู้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทของ คือ

1. Narrow AI (หรือ Weak AI) เป็น AI ที่ออกแบบมาเพื่อทำงานเฉพาะอย่าง เช่น ระบบแนะนำหนังใน Netflix หรือ Siri

1.1 General AI (หรือ Strong AI) เป็น AI ที่มีความสามารถเทียบเท่ากับมนุษย์ในทุกด้าน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีตัวอย่างของ General AI

1.2 Superintelligent AI เป็น AI ที่มีความสามารถเหนือกว่ามนุษย์ในทุกด้าน ถือเป็นแนวคิดในอนาคตที่ยังไม่มีการพัฒนาในปัจจุบัน

หลักการสำคัญของ AI

1.3 Machine Learning (ML) เป็นสาขาหนึ่งของ AI ที่เน้นการพัฒนาอัลกอริทึมและเทคนิคที่ช่วยให้เครื่องจักรสามารถเรียนรู้จากข้อมูลได้ โดยไม่ต้องถูกโปรแกรมมาโดยเฉพาะ

1.4 Supervised Learning การเรียนรู้แบบมีผู้ควบคุม ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการฝึกจะมีป้ายกำกับ (Label) เช่น การจำแนกภาพ

1.5 Unsupervised Learning การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ควบคุม ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการฝึกจะไม่มีป้ายกำกับ เช่น การจับกลุ่มข้อมูล (Clustering)

1.6 Reinforcement Learning การเรียนรู้ที่เครื่องจักรจะได้รับรางวัลหรือโทษตามการกระทำในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่ดีที่สุด

2. Neural Networks (NN) เป็นระบบที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neurons) ที่เชื่อมโยงกันเป็นชั้น ๆ โดยมีการ Deep Learning เป็นสาขาย่อยของ ML ที่ใช้ Neural Networks ที่มีหลายชั้น (Deep Networks) เพื่อทำการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีความซับซ้อนสูง

3. Natural Language Processing (NLP) เป็นสาขาของ AI ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอมพิวเตอร์และมนุษย์โดยใช้ภาษาธรรมชาติ ซึ่งรวมถึงการวิเคราะห์ข้อความ การสร้างภาษา และการแปลภาษา

4. Computer Vision เป็นสาขาของ AI ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและประมวลผลภาพและวีดีโอจากโลกภายนอกได้ เช่น การรู้จำใบหน้า การตรวจจับวัตถุ

2.3.1 อัลกอริทึมและเทคนิคสำคัญ

2.3.1.1 Decision Trees อัลกอริทึมที่ใช้ในการตัดสินใจโดยการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจเป็นต้นไม้

2.3.1.2 Support Vector Machines (SVM) เทคนิคที่ใช้สำหรับการจำแนกข้อมูลโดยการหาพื้นที่ที่แบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ Support Vector Machines (SVM) เป็นอัลกอริทึมในการเรียนรู้ของเครื่องที่ถูกใช้สำหรับการจำแนกข้อมูลและการถดถอย (Regression) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการจำแนกข้อมูลที่มีลักษณะหลายมิติ (high-dimensional) หลักการทำงานของ SVM เน้นที่การหาขอบเขต (Hyperplane) ที่แบ่งกลุ่มข้อมูลออกจากกันได้อย่างดีที่สุด

หลักการและวิธีการทำงานของ SVM

1. หลักการพื้นฐาน โดย SVM มุ่งเน้นที่การหาขอบเขตที่แบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นสองกลุ่ม โดยขอบเขตที่ดีที่สุดจะเป็นขอบเขตที่ทำให้ระยะห่างระหว่างขอบเขตกับจุดข้อมูลใกล้ที่สุดในแต่ละกลุ่ม (เรียกว่า Support Vectors) มากที่สุด

2. การหา Hyperplane คือขอบเขตที่แบ่งพื้นที่ข้อมูลในมิติหลายมิติให้เป็นสองส่วน สำหรับข้อมูลที่สามารถแยกออกเป็นสองกลุ่มได้อย่างชัดเจน (Linearly Separable Data) จะมีหลาย Hyperplane ที่สามารถแยกข้อมูลได้ แต่ SVM จะเลือก Hyperplane ที่มี Margin สูงสุด (Margin คือระยะห่างระหว่าง Hyperplane กับ Support Vectors)

การทำงานของ SVM

ขั้นตอนที่ 1 การเลือก Hyperplane

การเลือก hyperplane ที่เหมาะสมที่สุดจะทำโดยการแก้ปัญหาการเพิ่มขอบเขต margin ซึ่งสามารถเขียนเป็นปัญหาการหาค่าสุด (Optimization Problem) ดังนี้

$$maximize \frac{2}{|| w ||}$$

โดยที่ w คือเวคเตอร์ของน้ำหนักที่กำหนดทิศทางของ hyperplane และ ||w|| คือขนาดของเวคเตอร์น้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 2 การแก้ปัญหา Quadratic Programming ปัญหาการหา Hyperplane ที่มี margin สูงสุดสามารถแปลงเป็นปัญหาการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic Programming Problem) โดยเพิ่มข้อจำกัด (Constraints) ให้กับจุดข้อมูลทั้งหมด ดังนี้

$$Yi\ (w \cdot xi + b) \geq 1 \forall i$$

โดยที่ yi คือป้ายกำกับของข้อมูล (Label), xi คือเวคเตอร์ของข้อมูลและ b คือ bias term

3. K-Nearest Neighbors (KNN) เทคนิคที่ใช้ในการจัดกลุ่มหรือจำแนกข้อมูล โดยการหา k ตัวอย่างที่ใกล้เคียงที่สุด

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า จุดเด่นของเทคโนโลยีปัญญา เทคโนโลยีเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจเป็นสาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ผ่านวิธีการต่าง ๆ รวมถึง การประมวลผลภาษาธรรมชาติการทำเหมืองข้อมูลและการจดจำรูปแบบ คาดว่าจะมีผลอย่างมากต่อวิธีการที่มนุษย์โต้ตอบกับเทคโนโลยีโดยเฉพาะในด้านของระบบอัตโนมัติการเรียนรู้ของเครื่องและเทคโนโลยีสารสนเทศ

ภาพที่ 2-1 เทคโนโลยีปัญญากับการประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ

Cognitive Computing ถือเป็นแนวทางในการประมวลผลข้อมูล ที่การนำส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มีความสามารถใหม่ ๆ ที่เพิ่มเข้ามาโดยใช้การวิเคราะห์ภาพ การแยกแยะใบหน้า การวิเคราะห์ภาษาและคำพูด แปลงเสียงเป็นข้อความ ตลอดจนถึงการวิเคราะห์น้ำเสียงหรือลักษณะอารมณ์ทางภาษา (Tone Analyzer) การวิเคราะห์อารมณ์ความรู้สึก

(Emotion Analysis) การประเมินความเสี่ยง ระบบช่วยตัดสินใจ ฯลฯ แต่ยังรวมไปถึงองค์ประกอบทั้งหมด 5 อย่าง ได้แก่

1. การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data & Analytics)
2. ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)
3. ระบบที่เข้าใจภาษาธรรมชาติ ภาพ เสียง แบบเดียวกับมนุษย์ (Cognitive Experience)
4. การจัดการความรู้ที่มีบริบทเกี่ยวข้อง (Cognitive Knowledge)
5. โครงสร้างพื้นฐานในการประมวลผล (Computing Infrastructure)

เป็นระบบประมวลผลข้อมูลแนวทางใหม่ที่มีพื้นฐานต่อยอดจากแนวทางแบบปัญญาประดิษฐ์ เพราะระบบนั้น ครอบคลุมไปถึงการที่ตัวระบบสามารถเรียนรู้ ผสานข้อมูล และสามารถทำให้ข้อมูลที่อยู่ในระบบนั้น มีคุณค่า (Making sense of data) เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจถึงข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากได้ ในเวลาเดียวกันก็นำเสนอบริการที่ดีขึ้นให้กับผู้ใช้บริการได้ในเวลาเดียวกัน และยังช่วยวิเคราะห์และพัฒนางานในองค์กร

2.4 คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

2.4.1 รากฐานแนวคิดของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เป็นแนวคิดที่โดดเด่นในยุคอุตสาหกรรม 4.0 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่สะท้อนถึงสภาพและพฤติกรรมของวัตถุทางกายภาพ โดยใช้ข้อมูลจากการเชื่อมต่อทั้งสองทิศทางระหว่างวัตถุจริงกับแบบจำลองดิจิทัลเพื่อติดตาม ประเมิน และคาดการณ์การทำงานของระบบได้อย่างแม่นยำ (Boschert & Rosen, 2016; Lu et al., 2020) ลักษณะสำคัญของคู่แฝดดิจิทัลประกอบด้วยการเชื่อมโยงทางข้อมูลแบบเรียลไทม์ การจำลองแบบเสมือน (virtualization) และความสามารถในการทำนาย (Predictability) ซึ่งใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) และการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Schleich et al., 2017; Zhang et al., 2020) คู่แฝดดิจิทัลยังมีความยืดหยุ่นสูงต่อการประยุกต์ใช้ในการบริหารวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (product lifecycle management) และการปรับปรุงกระบวนการผลิตในเชิงกลยุทธ์ (Tao et al., 2017; Qi et al., 2018)

การพัฒนาและการนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้มีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน เนื่องจากคู่แฝดดิจิทัลไม่เพียงแต่จำลองพฤติกรรมของระบบเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยในการตัดสินใจและแก้ปัญหาได้แบบอัตโนมัติ (Zhou et al., 2020) นอกจากนี้ การศึกษายังเน้นย้ำถึงความท้าทายในการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ เช่น การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ และการบูรณาการระบบในอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน (Aheleroff et al., 2021) คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีรากฐานมาจากการผสานระบบทางกายภาพเข้ากับข้อมูลดิจิทัลแบบเรียลไทม์เพื่อสร้างภาพจำลองเสมือนจริงที่สามารถสะท้อนสภาพแวดล้อม การทำงาน และการโต้ตอบของวัตถุหรือระบบได้อย่างแม่นยำ แนวคิดนี้เริ่มต้นขึ้นจากวงการอวกาศ แต่ได้ขยายตัวไปสู่อุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิต การออกแบบ และการบริหารจัดการระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Boschert & Rosen, 2016) ลักษณะเด่นของคู่แฝดดิจิทัลคือความสามารถในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากวัตถุจริงแบบเรียลไทม์และใช้ข้อมูลนั้นในการจำลองพฤติกรรมและคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้า โดยแนวคิดนี้อาศัยเทคโนโลยีด้านการจำลองแบบ การ

วิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (big data) และการประมวลผลแบบคลาวด์ (Qi et al., 2018; Zhang et al., 2020)

การประยุกต์ใช้คู่แฝดดิจิทัลมีการขยายตัวในอุตสาหกรรมหลายภาคส่วน เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลดิจิทัล (Digital Twin-driven Product Design) และการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) ซึ่งช่วยในการปรับปรุงการผลิตและลดความเสี่ยงในการทำงาน (Lu et al., 2020) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังมีบทบาทสำคัญในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product Lifecycle Management) ซึ่งช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และปรับปรุงการผลิตผ่านการตรวจสอบและคาดการณ์ที่ทำได้ในแบบเรียลไทม์ (Tao et al., 2017) อย่างไรก็ตาม การนำคู่แฝดดิจิทัลไปใช้อย่างแพร่หลายยังมีความท้าทาย โดยเฉพาะการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ การบูรณาการระบบหลาย ๆ ส่วน และการเชื่อมต่อข้อมูลจากหลายแหล่งให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ (Aheleroff et al., 2021) ในอนาคต คาดว่าคู่แฝดดิจิทัลจะมีบทบาทที่กว้างขึ้นในทุกอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในด้านการวิเคราะห์และการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร (Zhou et al., 2020)

คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twins) ได้กล่าวถึงการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ในหลายสาขาต่าง ๆ อย่างละเอียด โดย Ji และคณะ (2023) ได้ทำการทบทวนแนวคิดคู่แฝดดิจิทัลจากสี่มุมมองหลัก คือ ข้อมูล โมเดล เครือข่าย และการประยุกต์ใช้ โดยเน้นความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของข้อมูลและความสามารถในการขยายตัวของระบบ (Ji et al., 2023) ขณะที่ Allam & Jones (2021) ได้อธิบายถึงบทบาทของคู่แฝดดิจิทัลในเมืองอัจฉริยะ โดยใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์และการเรียนรู้ของเครื่องในการจัดการการจราจร การใช้พลังงาน และความปลอดภัยสาธารณะ (Allam & Jones, 2021) นอกจากนี้ FranCo และคณะ (2023) ได้เสนอกรอบแนวคิดสำหรับการผสานคู่แฝดดิจิทัลเข้ากับเมตาเวิร์ส โดยเฉพาะในการจัดการพลังงาน เพื่อปรับปรุงระบบพลังงานอัจฉริยะ (FranCo et al., 2023) ในการศึกษาของ Jamil และคณะ (2022) ได้เน้นถึงบทบาทของคู่แฝดดิจิทัลในอุตสาหกรรม IoT โดยเน้นการประยุกต์ใช้ในเมืองอัจฉริยะและเครือข่ายการคมนาคม การวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงผ่าน AI (Jamil et al., 2022) ขณะเดียวกัน Lu และคณะ (2021) ได้เน้นการตรวจจับความผิดปกติในระบบอัตโนมัติผ่านคู่แฝดดิจิทัล โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบขอบ (edge intelligence) เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Lu et al., 2021) ส่วน Bilberg & Malik (2019) ได้สำรวจการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ในสายการผลิต โดยใช้คู่แฝดดิจิทัลในการจำลองและปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ (Bilberg & Malik, 2019) Greis และคณะ (2022) ได้เสนอกรอบงานสำหรับคู่แฝดดิจิทัลที่ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงเสริม (AR) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดตารางการผลิต (Greis et al., 2022)

2.4.2 ลักษณะของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เป็นระบบที่จำลองแบบวัตถุหรือกระบวนการทางกายภาพในรูปแบบเสมือนจริง โดยใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อสะท้อนพฤติกรรมและสภาวะของวัตถุหรือกระบวนการนั้น ๆ อย่างแม่นยำ คุณสมบัติสำคัญของคู่แฝดดิจิทัลประกอบด้วยการเชื่อมโยงทางข้อมูลแบบสองทาง การจำลองเสมือนที่มีความละเอียดสูง และการคาดการณ์ล่วงหน้าผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Boschert & Rosen, 2016) คู่แฝดดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในหลากหลาย

อุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดความเสี่ยง (Zhang et al., 2020) รวมถึงในอุตสาหกรรมการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ใช้คู่แฝดดิจิทัลในการทดสอบและวิเคราะห์กระบวนการต่าง ๆ โดยไม่ต้องใช้ทรัพยากรจริง (Schleich et al., 2017) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังมีประสิทธิภาพในการจัดการวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product Lifecycle Management) โดยสามารถคาดการณ์และปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ตามข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบในแบบเรียลไทม์ (Tao et al., 2017) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีนี้ยังต้องเผชิญกับความท้าทายในด้านการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการเชื่อมต่อระบบจากหลายแหล่ง (Aheleroff et al., 2021)

เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีลักษณะที่โดดเด่นหลายประการ โดยเฉพาะในด้านการสร้างแบบจำลองที่สามารถสะท้อนข้อมูลและสภาพของวัตถุหรือระบบทางกายภาพได้อย่างแม่นยำผ่านการเชื่อมโยงข้อมูลแบบสองทิศทางในเวลาจริง การจำลองเสมือนนี้ไม่เพียงแต่แสดงภาพหรือสถานะปัจจุบัน แต่ยังสามารถคาดการณ์และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในอนาคตได้ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Qi et al., 2018) ลักษณะเด่นของคู่แฝดดิจิทัลนั้นรวมถึงความสามารถในการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ การปรับปรุงกระบวนการทำงาน และการคาดการณ์ปัญหาก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง ซึ่งทั้งหมดนี้มีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะและการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานในเมืองอัจฉริยะ (Boschert & Rosen, 2016; Zhang et al., 2020; Tao et al., 2017) ยิ่งไปกว่านั้น การนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้ในวงการแพทย์ยังช่วยพัฒนาเทคโนโลยีการดูแลสุขภาพที่แม่นยำขึ้น เช่น การจำลองระบบร่างกายมนุษย์เพื่อทดสอบการรักษาก่อนนำไปใช้กับผู้ป่วยจริง (Fuller et al., 2020) แม้ว่าเทคโนโลยีนี้จะมีประโยชน์อย่างมาก แต่การพัฒนาและบูรณาการเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังคงเผชิญกับความท้าทาย เช่น การจัดการกับข้อมูลจำนวนมหาศาลที่ได้จากเซนเซอร์ต่าง ๆ และการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบที่ซับซ้อน (Aheleroff et al., 2021; Lu et al., 2021)

เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ยังมีลักษณะอื่น ๆ ที่สำคัญอีกหลายประการที่เสริมสร้างความสามารถในการจำลองและการวิเคราะห์ของระบบ นอกจากการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตและเมืองอัจฉริยะแล้ว เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การบินและอวกาศ การก่อสร้าง และการขนส่ง ซึ่งสามารถใช้ในการจำลองสถานการณ์และทดสอบกระบวนการก่อนที่จะดำเนินการจริง (Kritzinger et al., 2018) การประยุกต์ใช้นี้ช่วยลดความเสี่ยงและต้นทุนในการดำเนินงานโดยที่ยังสามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมหรือข้อกำหนดที่แตกต่างกันได้ (Qi et al., 2018) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการตรวจจับและป้องกันความผิดปกติในกระบวนการทำงาน เช่น การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรอุตสาหกรรมแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยลดการหยุดชะงักของการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพ (Lu et al., 2020) อย่างไรก็ตาม ความท้าทายที่สำคัญคือการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ที่เกิดจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ในระบบ และการบูรณาการข้อมูลเพื่อให้เกิดการทำงานที่ราบรื่นในทุกขั้นตอน (Aheleroff et al., 2021)

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสังคมมีการขยายตัวอย่างมากในหลากหลายบริบท เช่น เมืองอัจฉริยะ การดูแลสุขภาพ และการจัดการทรัพยากร เทคโนโลยีนี้มีบทบาทสำคัญในการจัดการทรัพยากรและโครงสร้างพื้นฐานในเมือง เช่น การจัดการการจราจรและ

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น คุณภาพอากาศและน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชน (Allam & Jones, 2021; Bouzguenda et al., 2019) นอกจากนี้ เทคโนโลยียังถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการสาธารณูปโภค เช่น ระบบขนส่งพลังงาน และโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่จำเป็นในเมือง โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์แบบเรียลไทม์เพื่อปรับปรุงการทำงานและการตัดสินใจ (Yu et al., 2021) ในด้านการดูแลสุขภาพ คู่แฝดดิจิทัลมีการนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองทางกายภาพของผู้ป่วย ซึ่งช่วยให้แพทย์สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สุขภาพของผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ รวมถึงการจำลองการรักษาเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจและลดความเสี่ยงจากการรักษาแบบเดิม (Fuller et al., 2020) เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ในการคาดการณ์และป้องกันโรคล่วงหน้า ทำให้สามารถปรับแผนการรักษาได้อย่างเหมาะสม (Aheleroff et al., 2021; Lu et al., 2020) อีกหนึ่งประเด็นสำคัญของการนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้ในสังคมคือ การจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรที่มีจำกัด เช่น การจัดการระบบพลังงานในระดับที่ซับซ้อน เช่น การบริหารจัดการพลังงานในเมือง หรือการจัดสรรพลังงานในพื้นที่ที่มีความต้องการสูง โดยใช้คู่แฝดดิจิทัลในการจำลองและปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (FranCo et al., 2023) จากการประยุกต์ใช้นี้ คู่แฝดดิจิทัลจึงมีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชนผ่านการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสิ้นเปลืองทรัพยากร และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในสังคมอย่างรวดเร็วและแม่นยำ

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสังคมขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ไม่เพียงแต่ในอุตสาหกรรมและการผลิตเท่านั้น แต่ยังในบริบทอื่น ๆ เช่น การจัดการสภาพแวดล้อมและการดูแลสุขภาพ ในด้านการจัดการทรัพยากร เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลถูกใช้เพื่อช่วยในการบริหารจัดการระบบพลังงาน การวางแผนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในเมืองอัจฉริยะ โดยคู่แฝดดิจิทัลจะใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อประเมินการใช้พลังงานและเสนอแนะวิธีปรับปรุงการใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด ซึ่งช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มความยั่งยืนในระยะยาว (Yu et al., 2021; FranCo et al., 2023) อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการจัดการการจราจรและสิ่งแวดล้อมในเมือง เช่น การควบคุมและปรับปรุงการไหลของการจราจร โดยใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ในการปรับแผนที่และเส้นทางการเดินทาง ซึ่งช่วยลดการจราจรติดขัดและการปล่อยมลพิษ (Allam & Jones, 2021) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น การตรวจวัดคุณภาพน้ำและอากาศ เพื่อช่วยให้รัฐบาลหรือหน่วยงานสามารถตอบสนองต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ (Bouzguenda et al., 2019)

ในด้านการดูแลสุขภาพ เทคโนโลยีนี้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบ "คู่แฝดดิจิทัลมนุษย์" (Human Digital Twin) ซึ่งสามารถจำลองสภาพร่างกายของผู้ป่วย โดยให้แพทย์สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของร่างกายได้อย่างแม่นยำ และใช้ในการทดสอบแนวทางการรักษาก่อนการรักษาจริง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้ป่วย (Fuller et al., 2020; Aheleroff et al., 2021) นอกจากนั้น เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำไปใช้ในภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะในพื้นที่การเกษตรที่ใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพดิน สภาพอากาศ และความชื้น ทำให้สามารถจัดการทรัพยากรและเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตได้ดียิ่งขึ้น (Lu et al., 2020) ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นถึงการนำคู่แฝดดิจิทัลมาใช้ในการพัฒนาสังคมในหลายมิติ ไม่ว่าจะเป็นการจัดการ

ทรัพยากร การจราจร สิ่งแวดล้อม การดูแลสุขภาพ หรือภาคเกษตรกรรม ซึ่งช่วยสร้างความยั่งยืนและเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้คนในสังคมอย่างมีประสิทธิภาพ

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสถานศึกษาและมหาวิทยาลัยเป็นแนวคิดที่กำลังเติบโตและมีศักยภาพสูงในด้านการพัฒนาการเรียนรู้และการบริหารจัดการภายในสถาบันการศึกษา คู่แฝดดิจิทัลสามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของอาคารและโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย เช่น การจัดการพลังงาน การบำรุงรักษาอุปกรณ์ และการจัดการการใช้งานพื้นที่ ซึ่งช่วยให้สถาบันสามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในการลดการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Alsaleh et al., 2022) นอกจากนี้ ในด้านการเรียนการสอน คู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ที่ซับซ้อนในห้องเรียนหรือห้องทดลองเสมือนจริง (Virtual Lab) โดยสามารถจำลองการทดลองทางวิทยาศาสตร์หรือการทดสอบทางวิศวกรรมได้แบบเสมือนจริง ซึ่งช่วยให้นักเรียนและนักศึกษาสามารถทดลองหรือฝึกปฏิบัติโดยไม่ต้องพึ่งพาทรัพยากรจริง ลดความเสี่ยงในการทำการทดลองผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ผ่านการปฏิสัมพันธ์กับระบบที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง (Greis et al., 2022) ในด้านการพัฒนาสถาบัน เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการเรียนรู้ของนักศึกษาในรูปแบบคู่แฝดดิจิทัล ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาวิธีการสอน ปรับปรุงหลักสูตรให้เหมาะสมกับการเรียนรู้เฉพาะบุคคล และคาดการณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาได้อย่างแม่นยำ (Tlili et al., 2022) ด้วยศักยภาพในการสร้างแบบจำลองข้อมูลที่แม่นยำและการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลจึงเป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาภายในมหาวิทยาลัย ไม่เพียงแต่ในด้านการเรียนการสอน แต่ยังรวมถึงการจัดการทรัพยากรและการบริหารงานภายในสถานศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในสถานศึกษาและมหาวิทยาลัยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยนอกจากการใช้เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและโครงสร้างพื้นฐานแล้ว เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้เพื่อการพัฒนากระบวนการเรียนการสอนและการวิจัยในหลากหลายสาขาวิชา ในด้านการศึกษา คู่แฝดดิจิทัลถูกนำมาใช้ในการสร้างห้องปฏิบัติการเสมือนจริง (Virtual Labs) ซึ่งนักศึกษาสามารถทำการทดลองและเรียนรู้ผ่านการจำลองที่เสมือนจริง ทำให้สามารถลดต้นทุนและความเสี่ยงในการใช้อุปกรณ์จริง รวมถึงสามารถเข้าถึงการเรียนรู้ได้จากระยะไกล (Greis et al., 2022) นอกจากนี้ คู่แฝดดิจิทัลยังถูกนำมาใช้ในมหาวิทยาลัยเพื่อพัฒนาระบบการเรียนรู้ส่วนบุคคล โดยข้อมูลของนักศึกษาถูกเก็บรวบรวมและวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ทำให้ผู้สอนสามารถปรับปรุงวิธีการสอนและหลักสูตรให้ตรงกับความต้องการของนักศึกษาได้มากยิ่งขึ้น (Tlili et al., 2022) ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาการทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา ช่วยให้มหาวิทยาลัยสามารถระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและดำเนินการแก้ไขได้ล่วงหน้า เช่น การช่วยเหลือนักศึกษาที่มีผลการเรียนต่ำกว่ามาตรฐาน (Jaung, 2022) การบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานของมหาวิทยาลัยก็ได้รับประโยชน์จากคู่แฝดดิจิทัล โดยสามารถสร้างแบบจำลองสำหรับการตรวจสอบสภาพการทำงานของอาคาร ระบบไฟฟ้า และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ ทำให้การซ่อมบำรุงและการจัดการทรัพยากรภายในมหาวิทยาลัยสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และลดการสิ้นเปลืองทรัพยากรลง (Alsaleh et al., 2022) ด้วยการ

ผสมผสานการใช้คู่แฝดดิจิทัลในด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการจัดการทรัพยากร มหาวิทยาลัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานและสร้างสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะของนักศึกษาได้อย่างเต็มที่

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัยเป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มความยั่งยืนและลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น คู่แฝดดิจิทัลสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของระบบพลังงานที่ใช้อยู่ในอาคารและพื้นที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยอาศัยข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อให้มองเห็นและติดตามการใช้พลังงานในทุกมิติ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ (Alsaleh et al., 2022) ด้วยเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล มหาวิทยาลัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียด เพื่อตรวจสอบว่าในส่วนใดของอาคารหรือพื้นที่มีการใช้พลังงานเกินความจำเป็น และสามารถปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนวิธีการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังสามารถคาดการณ์และจัดทำแผนการใช้พลังงานที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมและความต้องการในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ทำให้การจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดต้นทุนด้านพลังงานได้อย่างมาก (FranCo et al., 2023) นอกจากนี้ เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังช่วยในการบริหารจัดการระบบพลังงานหมุนเวียนภายในมหาวิทยาลัย เช่น การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ โดยคู่แฝดดิจิทัลจะตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบพลังงานเหล่านี้ เพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น และเพิ่มความยั่งยืนในการใช้พลังงาน (Lu et al., 2020) ทั้งหมดนี้ทำให้มหาวิทยาลัยสามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดค่าใช้จ่าย และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนเพื่อให้เข้ากับแนวทางด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน

การนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัยเป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มความยั่งยืนและลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น คู่แฝดดิจิทัลสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของระบบพลังงานที่ใช้อยู่ในอาคารและพื้นที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยอาศัยข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อให้มองเห็นและติดตามการใช้พลังงานในทุกมิติ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ (Alsaleh et al., 2022) ด้วยเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล มหาวิทยาลัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียด เพื่อตรวจสอบว่าในส่วนใดของอาคารหรือพื้นที่มีการใช้พลังงานเกินความจำเป็น และสามารถปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนวิธีการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังสามารถคาดการณ์และจัดทำแผนการใช้พลังงานที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมและความต้องการในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ทำให้การจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดต้นทุนด้านพลังงานได้อย่างมาก (FranCo et al., 2023) นอกจากนี้ เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังช่วยในการบริหารจัดการระบบพลังงานหมุนเวียนภายในมหาวิทยาลัย เช่น การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ โดยคู่แฝดดิจิทัลจะตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบพลังงานเหล่านี้ เพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น และเพิ่มความยั่งยืนในการใช้พลังงาน (Lu et al., 2020) ทำให้มหาวิทยาลัยสามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ลดค่าใช้จ่าย และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนเพื่อให้เข้ากับแนวทางด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน

โดยการนำเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในมหาวิทยาลัยยังมีประโยชน์เพิ่มเติมในด้านการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีนี้สามารถช่วยในการทำนายการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของอุปกรณ์พลังงานต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้า หรือระบบทำความร้อน ทำให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ล่วงหน้า ลดการหยุดชะงักของการใช้งานพลังงาน และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ (Lu et al., 2021) คู่แฝดดิจิทัลยังสามารถใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานที่คำนึงถึงสภาวะแวดล้อม เช่น การปรับระดับการใช้พลังงานตามสภาพอากาศหรือฤดูกาล เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงที่ไม่จำเป็น นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลที่เก็บจากการใช้งานเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้พลังงานที่เหมาะสมในระยะยาว เช่น การตั้งค่าเครื่องปรับอากาศหรือระบบทำความร้อนระบายอากาศให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานในแต่ละช่วงเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสิ้นเปลืองพลังงาน (FranCo et al., 2023; Alsaleh et al., 2022)เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลยังสามารถใช้ในการเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น ระบบโซลาร์เซลล์ โดยจะคอยติดตามและตรวจสอบการผลิตพลังงานและการใช้งานแบบเรียลไทม์ ช่วยให้มหาวิทยาลัยสามารถปรับสมดุลการใช้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งที่ไม่หมุนเวียน และส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น (Lu et al., 2020)

2.4.3 องค์ประกอบของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

องค์ประกอบสำคัญของคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) นั้นนอกจากจะประกอบด้วยวัตถุหรือกระบวนการทางกายภาพจริง คู่แฝดดิจิทัลที่เป็นแบบจำลองเสมือน ระบบการเชื่อมต่อและการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์แล้ว ยังรวมถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงการทำงานของคู่แฝดดิจิทัลให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากระบบเซนเซอร์ที่ติดตั้งกับวัตถุจริงจะถูกส่งไปยังคู่แฝดดิจิทัลเพื่อทำการอัปเดตสถานะและสภาพของวัตถุอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงและพฤติกรรมของวัตถุหรือระบบนั้นได้อย่างละเอียดและถูกต้อง (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2017)องค์ประกอบสำคัญอีกประการคือการเชื่อมต่อผ่าน IoT (Internet of Things) ที่เป็นตัวกลางระหว่างวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัล ซึ่งช่วยให้สามารถรับข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้ตลอดเวลา ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อปรับปรุงกระบวนการและทำนายเหตุการณ์ล่วงหน้า เช่น การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง (Qi et al., 2018) เทคโนโลยี AI และ Machine Learning ยังถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้รับจากระบบคู่แฝดดิจิทัล ทำให้สามารถประมวลผลและเรียนรู้จากข้อมูลในอดีต เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานและการตัดสินใจให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบต่าง ๆ ในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เกิดขึ้นผ่านการผสานกันระหว่างระบบที่ซับซ้อนหลายชั้น เพื่อให้สามารถจำลองพฤติกรรมและสถานะของวัตถุหรือระบบทางกายภาพในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างแม่นยำ องค์ประกอบหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

วัตถุทางกายภาพจริงแบบจำลองดิจิทัล การเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) การประมวลผลข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) โดยองค์ประกอบเหล่านี้ทำงานร่วมกันดังนี้

1. วัตถุทางกายภาพ (Physical Entity) ในบริบทของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) หมายถึงวัตถุ ระบบ หรือกระบวนการที่เป็นจริงซึ่งคู่แฝดดิจิทัลถูกสร้างขึ้นมาเพื่อจำลอง เช่น เครื่องจักรในสายการผลิต อาคาร ยานพาหนะ หรือแม้กระทั่งระบบทางชีวภาพ วัตถุเหล่านี้จะติดตั้งเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว หรือสถานะการทำงาน โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งต่อไปยังแบบจำลองดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2017) โดยวัตถุทางกายภาพนั้นเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองที่แม่นยำของคู่แฝดดิจิทัล ข้อมูลที่ถูกเก็บได้จากเซนเซอร์จะนำมาใช้ในการอัปเดตแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับสถานะที่แท้จริงของวัตถุในเวลานั้น ๆ และทำให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถคาดการณ์พฤติกรรมของวัตถุหรือระบบในอนาคตได้ เช่น การคาดการณ์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร หรือการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน (Qi et al., 2018) ซึ่งวัตถุจริงหรือระบบที่ต้องการจำลอง ซึ่งจะถูกติดตั้งด้วยเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT เพื่อติดตามข้อมูลต่าง ๆ เช่น สภาพการทำงาน การสึกหรอ การสั่นไหว และอุณหภูมิ (Boschert & Rosen, 2016) ข้อมูลที่ได้รับจากวัตถุทางกายภาพนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถแสดงสถานะในปัจจุบันได้ แต่ยังสามารถนำมาใช้เพื่อคาดการณ์พฤติกรรมในอนาคตได้ด้วย เช่น การคาดการณ์การเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของอุปกรณ์ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ยังช่วยให้การประมวลผลข้อมูลเหล่านี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถทำนายปัญหาล่วงหน้าได้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของวัตถุทางกายภาพได้อย่างเหมาะสม (Qi et al., 2018; Lu et al., 2021)

2. แบบจำลองดิจิทัล (Digital Model) คู่แฝดดิจิทัลจะถูกสร้างขึ้นโดยอิงตามข้อมูลที่ได้รับจากวัตถุจริง ข้อมูลนี้จะถูกส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถสะท้อนสภาพของวัตถุจริงได้อย่างถูกต้องและทันเวลา ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงทางข้อมูลแบบสองทางระหว่างวัตถุจริงและคู่แฝดดิจิทัล (Tao et al., 2017)แบบจำลองดิจิทัล (Digital Model) คือส่วนสำคัญของเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลที่ทำหน้าที่เป็นภาพจำลองเสมือนจริงของวัตถุหรือระบบทางกายภาพ โดยแบบจำลองนี้ได้รับการอัปเดตและควบคุมโดยข้อมูลที่เก็บจากวัตถุจริงผ่านเซนเซอร์และเครือข่าย IoT แบบจำลองดิจิทัลจะสะท้อนพฤติกรรมและสถานะของวัตถุจริงในเวลาจริง (Real-Time) ทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการทำงานของระบบและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำ (Boschert & Rosen, 2016; Tao et al., 2017)

แบบจำลองดิจิทัลนี้ยังสามารถใช้ในการทำนายปัญหาหรือเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การคาดการณ์การสึกหรอของอุปกรณ์ การเสื่อมสภาพของระบบ หรือความจำเป็นในการซ่อมบำรุง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนและจัดการกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ช่วยให้แบบจำลองดิจิทัลสามารถปรับปรุงและเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รับมา เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำลองและการทำนาย ซึ่งแบบจำลองดิจิทัลยังสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบการจำลองภาพสามมิติ (3D Visualization)

ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจสถานะของระบบหรือวัตถุได้ง่ายขึ้น การทำงานร่วมกับ AI ช่วยให้แบบจำลองนี้สามารถสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ใช้ในการทดลองหรือทดสอบก่อนการนำไปใช้กับวัตถุจริง ซึ่งช่วยลดต้นทุนและความเสี่ยงในการทำงานจริง (Tao et al., 2018; Lu et al., 2020) แบบจำลองดิจิทัล (Digital Model) ไม่ได้เป็นเพียงการสร้างภาพจำลองของวัตถุหรือระบบทางกายภาพเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือที่สามารถโต้ตอบและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่องตามข้อมูลที่ได้รับจากโลกจริง โดยแบบจำลองนี้สามารถทำหน้าที่สะท้อนการทำงานของระบบได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งหมายความว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในวัตถุทางกายภาพ แบบจำลองดิจิทัลก็จะอัปเดตตามไปด้วย ทำให้สามารถเฝ้าติดตามสถานะและตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบได้อย่างละเอียด (Qi et al., 2018; Tao et al., 2017)

นอกจากนี้ แบบจำลองดิจิทัลยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์และคาดการณ์เหตุการณ์ล่วงหน้า การใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่และซับซ้อน ทำให้สามารถทำนายพฤติกรรมของระบบในอนาคต เช่น การคาดการณ์ปัญหาการสึกหรอ การซ่อมบำรุง หรือการเสื่อมสภาพของระบบต่าง ๆ โดยที่สามารถทำให้การตัดสินใจหรือการวางแผนการทำงานมีความแม่นยำมากขึ้น (Tao et al., 2018; Lu et al., 2020) แบบจำลองดิจิทัลยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบและทดสอบผลิตภัณฑ์หรือระบบใหม่ โดยสามารถใช้แบบจำลองดิจิทัลในการจำลองสภาวะการทำงานต่าง ๆ ที่วัตถุจริงอาจเผชิญก่อนการนำไปใช้งานจริง ทำให้สามารถระบุจุดบกพร่องหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและต้นทุนในการผลิต (Schleich et al., 2017; Tao et al., 2017)

3. การเชื่อมต่อผ่าน IoT (Internet of Things) IoT ทำหน้าที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ติดตั้งบนวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัล ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์จะถูกส่งไปยังระบบคู่แฝดดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการอัปเดตคู่แฝดดิจิทัล เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะและพฤติกรรมที่แท้จริงของวัตถุ Internet of Things (IoT) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัล IoT ประกอบด้วยเครือข่ายของเซนเซอร์และอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนวัตถุจริงเพื่อรวบรวมข้อมูลในเวลาจริง (real-time) ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องจักร การเคลื่อนไหว อุณหภูมิ ความดัน หรือปัจจัยอื่น ๆ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังแบบจำลองดิจิทัลเพื่อทำการอัปเดตและแสดงผลสถานะปัจจุบันของวัตถุ (Qi et al., 2018; Boschert & Rosen, 2016)

การทำงานของ IoT ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของระบบได้แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ IoT ยังมีบทบาทสำคัญในการเก็บข้อมูลเชิงลึกที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ซึ่งช่วยในการคาดการณ์ปัญหาหรือเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หรือการซ่อมบำรุงที่จำเป็น (Tao et al., 2018) ด้วยเครือข่าย IoT ที่เชื่อมต่อระหว่างวัตถุจริงและคู่แฝดดิจิทัล ข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ไม่เพียงแต่ช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบในปัจจุบัน แต่ยังสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจได้อย่างแม่นยำมากขึ้นในการวางแผนหรือปรับปรุงกระบวนการในอนาคต (Lu et al., 2021) การ

ทำงานของ Internet of Things (IoT) ในระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ไม่ได้จำกัดเฉพาะการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างวัตถุทางกายภาพกับแบบจำลองดิจิทัลเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงอุปกรณ์หลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกันเพื่อสร้างระบบข้อมูลที่ครอบคลุมและเป็นระบบ IoT ช่วยให้ข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งบนวัตถุ เช่น การวัดอุณหภูมิ การสั่นสะเทือน หรือการตรวจจับแรงดัน สามารถถ่ายโอนไปยังเครือข่ายดิจิทัลได้แบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่ได้จากการเชื่อมต่อนี้ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันที และทำให้สามารถทำนายหรือคาดการณ์ความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หรือความล้มเหลวของระบบ ซึ่งนำไปสู่การจัดการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Predictive Maintenance) อย่างมีประสิทธิภาพ (Boschert & Rosen, 2016; Qi et al., 2018) นอกจากนี้ IoT ยังสามารถทำให้ระบบคู่แฝดดิจิทัลมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวได้ดีขึ้น เพราะข้อมูลที่เก็บได้จากวัตถุจริงในสถานการณ์ต่าง ๆ สามารถถูกนำมาปรับใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ หรือใช้ในการปรับปรุงการดำเนินงานของอุปกรณ์ได้แบบเรียลไทม์ ซึ่ง ระบบ IoT นี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์และระบบอื่นๆ ได้อย่างง่ายดาย ทำให้สามารถเพิ่มการทำงานร่วมกันระหว่างหลาย ๆ ระบบ เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิต การจัดการเมืองอัจฉริยะ หรือการควบคุมพลังงานภายในองค์กร ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพสูงสุด

4. การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and Analytics) เมื่อได้รับข้อมูลจากวัตถุจริง ข้อมูลนั้นจะถูกประมวลผลและวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยี AI และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ AI จะช่วยประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก และสามารถตรวจจับแนวโน้มที่ไม่ปกติ หรือวิเคราะห์รูปแบบการทำงานในอดีตเพื่อทำนายสถานการณ์ในอนาคต เช่น การคาดการณ์การสึกหรอของเครื่องจักร (Tao et al., 2018) การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and Analytics) เป็นส่วนสำคัญในระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ที่ทำหน้าที่รวบรวมและจัดการข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ที่ติดตั้งบนวัตถุทางกายภาพ ข้อมูลเหล่านี้ถูกประมวลผลอย่างรวดเร็วเพื่อให้สามารถสะท้อนสภาพการทำงานของวัตถุในแบบเรียลไทม์ การประมวลผลนี้เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่มีความซับซ้อน และการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกเพื่อตรวจจับแนวโน้มหรือความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น (Tao et al., 2018; Qi et al., 2018) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการนี้ ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การสึกหรอของอุปกรณ์หรือการเสื่อมสภาพของระบบ ซึ่งช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Boschert & Rosen, 2016)

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลยังช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ทำให้กระบวนการต่าง ๆ ในการผลิต การจัดการเมืองอัจฉริยะ หรือการควบคุมระบบพลังงานสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง (Lu et al., 2021) การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and Analytics) ในระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีความซับซ้อนและมีบทบาทสำคัญในการทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ถูกนำมาผ่านการประมวลผลอย่างละเอียด เพื่อแปลงข้อมูลดิบให้เป็น

ข้อมูลที่มีประโยชน์ โดยกระบวนการนี้มักต้องอาศัยเทคโนโลยีการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากจากหลายแหล่งพร้อมกันได้ (Tao et al., 2018) นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ โดยระบบ AI สามารถตรวจจับแนวโน้ม หรือความผิดปกติในข้อมูล ทำให้สามารถคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การคาดการณ์การสึกหรอของอุปกรณ์หรือการเสื่อมสภาพของระบบ โดยกระบวนการนี้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถปรับปรุงการทำงานของระบบได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังช่วยให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการซ่อมบำรุง หรือการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสม (Boschert & Rosen, 2016; Lu et al., 2021) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถลดความเสี่ยงและต้นทุน โดยการเตรียมพร้อมสำหรับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า เช่น การวางแผนการซ่อมแซมระบบก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง ซึ่งเป็นการเสริมสร้างความยืดหยุ่นและความน่าเชื่อถือในการทำงานของระบบคู่แฝดดิจิทัลในระยะยาว

5. การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) คู่แฝดดิจิทัลใช้ข้อมูลที่ประมวลผลร่วมกับ AI และการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อสร้างการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ ซึ่งสามารถระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้า เช่น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Qi et al., 2018; Lu et al., 2020) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) เป็นองค์ประกอบสำคัญในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) โดยทำหน้าที่ช่วยคาดการณ์เหตุการณ์หรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ด้วยการประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT แบบเรียลไทม์ การวิเคราะห์นี้อาศัยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก เพื่อค้นหาแนวโน้มและรูปแบบที่อาจชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่กำลังจะเกิดขึ้น เช่น การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ การสึกหรอของเครื่องจักร หรือความผิดปกติที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ (Qi et al., 2018; Boschert & Rosen, 2016) การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์นี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถดำเนินการซ่อมแซมหรือปรับปรุงระบบก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง ทำให้ลดการหยุดชะงักในการทำงาน และเพิ่มความยั่งยืนของอุปกรณ์ การวิเคราะห์นี้ยังช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษา เนื่องจากสามารถป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นแบบไม่คาดคิด ทำให้การจัดการทรัพยากรเป็นไปอย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น (Lu et al., 2021)

การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ในเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องจากสามารถคาดการณ์ปัญหาหรือการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้โดยอิงจากข้อมูลจริงที่ได้รับจากเซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก กระบวนการนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถระบุแนวโน้มที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลวหรือปัญหาในอนาคต เช่น การสึกหรอของอุปกรณ์ หรือปัญหาด้านประสิทธิภาพในการทำงาน (Qi et al., 2018; Boschert & Rosen, 2016) นอกจากการช่วยลดความเสี่ยงและความล้มเหลวของระบบแล้ว การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังมีความสำคัญในการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งช่วยให้สามารถดำเนินการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาได้ในเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ต้องรอจนเกิดความเสียหาย นอกจากนี้ยังช่วยลดการหยุดชะงักในการ

ดำเนินงานและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดการระบบที่ซับซ้อนและสำคัญ เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิต การบิน และระบบสาธารณูปโภค (Tao et al., 2018; Qi et al., 2018)การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการทำงานหรือการเปลี่ยนแปลงความต้องการในการใช้งาน (Lu et al., 2021) ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้นี้ยังสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงการทำงานของระบบและเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจในระดับเชิงกลยุทธ์ ซึ่งช่วยเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันขององค์กรได้อย่างยั่งยืน (Boschert & Rosen, 2016)

สรุปได้ว่า เทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงที่สะท้อนพฤติกรรมและสถานะของวัตถุหรือระบบทางกายภาพ โดยอาศัยข้อมูลเรียลไทม์จากเซนเซอร์และการเชื่อมต่อผ่านระบบ Internet of Things (IoT) เพื่อให้สามารถจำลองและคาดการณ์การทำงานของระบบได้อย่างแม่นยำ เทคโนโลยีนี้ถูกนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะ เมืองอัจฉริยะ การจัดการพลังงาน และการดูแลสุขภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดความเสี่ยง และเพิ่มความสามารถในการคาดการณ์ปัญหาล่วงหน้า เทคโนโลยีนี้อาศัยการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อช่วยในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และปรับปรุงการทำงานของระบบ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังคงมีความท้าทายในการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการบูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่งให้มีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบเหล่านี้ช่วยให้คู่แฝดดิจิทัลสามารถทำงานแบบเรียลไทม์ ตรวจสอบการทำงานของระบบ และทำการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ เช่น การปรับปรุงกระบวนการ การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน และการปรับเปลี่ยนการทำงานให้เหมาะสมกับสถานการณ์ โดยการใช้ AI และการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหัวใจสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำในการทำนายและการตอบสนองต่อสถานการณ์ในอนาคต โดยจุดประสงค์หลักในการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของวัตถุหรือระบบทางกายภาพ โดยใช้ข้อมูลจากการเชื่อมต่อแบบสองทางระหว่างวัตถุจริงกับแบบจำลองดิจิทัล ข้อมูลนี้ถูกนำมาใช้ในการติดตาม ประเมิน และคาดการณ์การทำงานของระบบอย่างแม่นยำ การเชื่อมต่อผ่านระบบ IoT ทำให้ข้อมูลเรียลไทม์ถูกส่งไปยังคู่แฝดดิจิทัล ซึ่งสามารถจำลองและวิเคราะห์พฤติกรรมของวัตถุได้ ลักษณะสำคัญของเทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยการจำลองเสมือน การประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อทำนายปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ (Boschert & Rosen, 2016; Qi et al., 2018) เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การผลิตอัจฉริยะ การจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะ และการดูแลสุขภาพ โดยการทำนายการเสื่อมสภาพและปรับปรุงกระบวนการให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม ทำให้คู่แฝดดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงและต้นทุน อย่างไรก็ตาม ความท้าทายในการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังคงอยู่ที่การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และการบูรณาการระบบจากหลายแหล่ง

สรุปได้ว่า คู่แฝดดิจิทัล เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองดิจิทัลของระบบทางกายภาพที่มีอยู่จริง โดยจะมีการประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรมเช่น การผลิต การแพทย์

และการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน โดยมีกรอบการทำงานของ Digital Twin มีการสร้างแบบจำลองดิจิทัลของระบบทางกายภาพมีการรวบรวมข้อมูลจากใช้เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoT ในการรวบรวมข้อมูลจากระบบจริงที่ทำการส่งข้อมูลส่งไปยังแพลตฟอร์มการประมวลผล โดยข้อมูลจะถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองดิจิทัลที่สามารถแสดงถึงพฤติกรรมของระบบจริงได้ โดยเทคโนโลยีสำคัญการประมวลผลที่ขอบที่ใช้ในการลดเวลาแฝงและเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูล มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อวิเคราะห์และพยากรณ์พฤติกรรมของระบบ ซึ่งองค์ประกอบเชิงเทคนิคของ Digital Twinประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoT (Sensors and IoT Devices) ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลจากระบบจริง เช่น อุณหภูมิ แรงดัน ความชื้น และข้อมูลการเคลื่อนไหว ข้อมูลที่รวบรวมจะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มการประมวลผลแบบเรียลไทม์ โดยแพลตฟอร์มการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล (Processing and Analytics Platforms) มีการประมวลผลข้อมูลด้วยอัลกอริทึม AI และ Machine Learning เพื่อวิเคราะห์และพยากรณ์พฤติกรรมของระบบ แพลตฟอร์มการประมวลผลที่ใช้ Edge Computing เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาแฝง ซึ่งจะส่งต่อไปยังระบบการแสดงผล (Visualization Systems) การใช้เทคโนโลยีการแสดงผลแบบ 3D และ AR/VR เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเห็นภาพของแบบจำลองดิจิทัลและการทำงานของระบบการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น กราฟ และ Dashboard โดยอาศัยการสื่อสารและการเชื่อมต่อ (Communication and Connectivity) การใช้เครือข่าย 5G และโปรโตคอลการสื่อสารที่มีความปลอดภัยสูงในการส่งข้อมูล มีการใช้มาตรฐานและโปรโตคอลที่ช่วยให้การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปอย่างราบรื่น โดยการประยุกต์ใช้ทางการผลิต Digital Twin ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการจำลองและทดสอบกระบวนการผลิตก่อนที่จะนำไปใช้จริงในทางการแพทย์การสร้างแบบจำลองดิจิทัลของอวัยวะหรือระบบทางการแพทย์ช่วยให้แพทย์สามารถวินิจฉัยและวางแผนการรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน Digital Twin ใช้ในการจัดการและบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานเช่น อาคาร สะพาน และเครือข่ายไฟฟ้า ซึ่งกล่าวได้ว่า Digital Twin เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ อุตสาหกรรม การแก้ไขปัญหาความท้าทายต่าง ๆ เช่น ความซับซ้อนของระบบ ความปลอดภัย และการเชื่อมต่อ จะช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จาก Digital Twin ได้อย่างเต็มที่

2.5 แนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์อินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Artificial Intelligence Internet of Things : AI IoT)

เทคโนโลยีปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (AIoT) เป็นการผสานรวมของปัญญาประดิษฐ์ (AI) และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) โดยกรอบการทำงาน AIoT จะเกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมชั้นที่อุปกรณ์ IoT รวบรวมข้อมูล ซึ่งต่อมาจะถูกประมวลผลและวิเคราะห์โดยอัลกอริทึม AI เพื่อสร้างข้อมูลเชิงลึกที่สามารถดำเนินการได้ การผสานรวมนี้ประกอบด้วยหลายส่วนประกอบการรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoT รวบรวมข้อมูลจำนวนมากจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพและทำการนำส่งข้อมูล โดยข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มการประมวลผลแบบรวมศูนย์หรือที่ขอบการประมวลผลข้อมูลที่มีอัลกอริทึม AI รวมถึงเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึกประมวลผลข้อมูลเพื่อระบุรูปแบบและทำการพยากรณ์ โดยอาศัยเทคโนโลยีสำคัญการประมวลผลที่

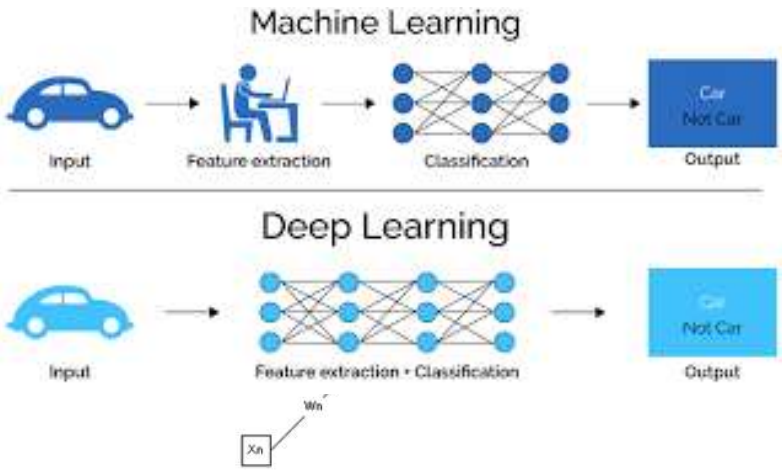
ขอบ (Edge Computing) เพื่อลดเวลาแฝงและการใช้แบนด์วิดท์ การประมวลผลข้อมูลถูกย้ายจากเซิร์ฟเวอร์คลาวด์แบบรวมศูนย์ไปยังอุปกรณ์ขอบที่ใกล้กับแหล่งข้อมูลมากขึ้น และเครือข่าย 5G ในการเชื่อมต่อความเร็วสูงที่เครือข่าย 5G มอบให้สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน AIoT โดยความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลคือหนึ่งในความท้าทายหลักของ AIoT คือการรับรองความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูล การรวมอุปกรณ์จำนวนมากเพิ่มพื้นที่ในการโจมตี ทำให้จำเป็นต้องดำเนินมาตรการรักษาความปลอดภัยที่แข็งแกร่ง รวมถึงการเข้ารหัสและโปรโตคอลการสื่อสารที่ปลอดภัย โดยมีความสามารถในการทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์และแพลตฟอร์มที่หลากหลายที่เกี่ยวข้อง การรับรองความสามารถในการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ IoT และระบบ AI ต่าง ๆ มีความสามารถในการปรับขนาดเมื่อจำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเพิ่มขึ้น โครงสร้างพื้นฐานต้องปรับขนาดตามความเหมาะสม ซึ่งต้องใช้ความสามารถในการจัดการและประมวลผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อจัดการกับปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เข้ากับเมืองอัจฉริยะAIoT มีความสำคัญในการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ ที่ช่วยให้การจัดการโครงสร้างพื้นฐานในเมืองมีประสิทธิภาพ การประยุกต์ใช้รวมถึงการจัดการจราจร การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน และระบบการจัดการขยะอัจฉริยะ รวมถึงการการดูแลสุขภาพ โดยในด้านการดูแลสุขภาพ AIoT ช่วยให้การตรวจสอบผู้ป่วยระยะไกล การวินิจฉัยเชิงพยากรณ์ และแผนการรักษาส่วนบุคคล อุปกรณ์ IoT เช่น เซ็นเซอร์แบบสวมใส่ได้รวบรวมข้อมูลสุขภาพ ซึ่งอัลกอริทึม AI จะวิเคราะห์เพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสถานะสุขภาพของผู้ป่วย และในการทำงานอัตโนมัติของภาคอุตสาหกรรม AIoT เพิ่มประสิทธิภาพการอัตโนมัติในอุตสาหกรรมโดยการช่วยให้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ การเพิ่มประสิทธิภาพห่วงโซ่อุปทาน และการปรับปรุงประสิทธิภาพในการดำเนินงาน เซ็นเซอร์ที่ฝังอยู่ในเครื่องจักรรวบรวมข้อมูลประสิทธิภาพ ซึ่งแบบจำลอง AI วิเคราะห์เพื่อทำนายความล้มเหลวและเพิ่มประสิทธิภาพตารางการบำรุงรักษา กล่าวได้ว่า การผสานรวมของ AI และ IoT เป็น AIoT นำเสนอโอกาสมากมายสำหรับนวัตกรรมในหลายภาคส่วน อย่างไรก็ตาม การแก้ไขปัญหาความท้าทายต่าง ๆ เช่น ความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ความสามารถในการทำงานร่วมกัน และความสามารถในการปรับขนาด เป็นสิ่งจำเป็นในการใช้ประโยชน์สูงสุดจาก AIoT ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เป็นระบบที่ใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในระดับสูงขึ้นโดยมีระบบสมองกลที่ชาญฉลาด สามารถรับรู้ถึงเหตุผลและเข้าใจได้เยี่ยงมนุษย์ โดยไม่จำเป็นต้องให้มนุษย์เป็นผู้โปรแกรมคำสั่งโดยตรง ปัญญาประดิษฐ์แบ่งเป็น 5 ประเภท ได้แก่ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) ระบบภาพหรือระบบการมองเห็น (Vision Systems) ระบบเครือข่ายเส้นประสาท (Neural Networks) หุ่นยนต์ (Robotic) ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) อัลกอริทึมที่ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถพยากรณ์เชิงสาเหตุได้แบบมนุษย์ ได้แก่ Linear Regression Analysis, Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic, Neuro-Fuzzy System, Genetic Algorithm เป็นต้น

2.5.1 ในงานวิจัยนี้เน้นศึกษาและประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ประเภทการประมวลผลภาษาธรรมชาติ และระบบเครือข่ายเส้นประสาท โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ในการเรียนรู้และจดจำด้วย การทำงานแบบเชื่อมต่อ

(Connectionist) โดยการนำข้อมูลต่าง ๆ มาประมวลผล วิเคราะห์ ตีความ และผลลัพธ์ที่ได้เรียกว่า ความรู้ (Knowledge) อันเกิดจากกระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) แนวคิดเกี่ยวกับการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อเลียนแบบการทำงานของสมอง โดยเมื่อมีข้อมูลนำเข้า (Input) ส่งเข้ามาก็จะคูณกับค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแทนความสำคัญที่ให้กับข้อมูลนำเข้าแต่ละตัว ผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักที่เกิดจากผลคูณของข้อมูลนำเข้าและค่าน้ำหนักจะถูก นำไปวิเคราะห์ ตีความโดยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) เกิดเป็นผลลัพธ์ (Output)

หลักการ ของ Neural Networks คือการจำลองรูปแบบการทำงานของเซลสมองที่เรียกว่า “neurons” สมองมนุษย์ประกอบด้วย neurons นับล้าน ๆ เชื่อมกันเป็นเครือข่าย เป็นการจำลอง neuron มาลงในคอมพิวเตอร์ สมองก็คือเครือข่ายของแต่ละเซลประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรท์” (Dendrite) เป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอคซอน” (Axon) เป็น output ของเซล เซลเหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอก หรือกระตุ้นด้วยเซลด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียส ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้อง กระตุ้นเซลอื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลอื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอคซอนของมัน นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าผลการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เหมือนหรือมีลักษณะพิเศษบางอย่างเหมือนกันจะให้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นค่าที่ค่อนข้างแน่นอน เราจึงสามารถรู้จำ และแยกแยะสิ่งต่าง ๆ ได้ ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-2 หลักการ ของ Neural Networks

สำหรับในคอมพิวเตอร์ Neurons ประกอบด้วย Input และ Output เหมือนกัน โดยจำลองให้ Input แต่ละอันมี Weight เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของ Input โดย Neuron แต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของ Input ต้องมากขนาดไหนถึงจะส่ง Output ไปยัง neurons ตัวอื่น เมื่อนำ neuron แต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ในทางตรรกะเหมือนกับ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลข การทำงานของ Neural Networks เริ่มต้นเมื่อมี Input เข้ามายัง Network เอา Input มาคูณกับ Weight ของแต่ละขา ผลที่ได้จาก Input ทุก ๆ ขาของ Neuron จะเอามารวมกันแล้วส่งต่อไปยังฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer

function: f) และจำแนกค่าเอาต์พุตออกมา เมื่อนำมาเทียบกับ threshold ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ neuron จะส่ง output (output: a) ออกไป ซึ่งจะถูกส่งไปยัง input ของ neuron อื่น ๆ ที่เชื่อมกันใน network ถ้าค่าน้อยกว่า threshold ก็จะไม่เกิด output ภาษาทางโปรแกรมมิ่ง if (sum(input * weight) > threshold) then output สิ่งสำคัญคือค่า weight และ threshold สำหรับสิ่งที่เราต้องการให้คอมพิวเตอร์รู้จำ สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้ระบบรู้จักแบบแผน (pattern) ของสิ่งที่เราต้องการให้ระบบรู้จำ เรียกว่า “back propagation” ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จำ โดยการกำหนด ค่า output ที่ถูกต้องให้กับ pattern ของสิ่งที่เราต้องการให้ระบบรู้จำหลาย ๆ แบบ แล้วคำนวณหา error ของ output ที่ได้จากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เทียบกับ output ที่ถูกต้อง แล้วนำค่า error ไปปรับ weight / threshold การสอนต้องทำซ้ำ ๆ หลายครั้ง และจำเป็นต้องสอนให้คอมพิวเตอร์รู้จัก pattern หลาย ๆ แบบของสิ่ง ๆ เดียว ยิ่งสอนมากเท่าไหร่ weight และ threshold ก็จะมีความถูกต้องมากขึ้น

สูตรการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมแบบง่าย ที่ไม่มีค่าเอนเอียง (bias) มีดังนี้

$$n = x1w1 + x2w2 + x3w3 + \ldots + xRwR$$

$$a = f(n) \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

สูตรการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายที่มีค่าเอนเอียง (bias) มีดังนี้

$$n = x1w1 + x2w2 + x3w3 + \ldots + xRwR + b$$

$$a = f(n) \qquad \text{สมการที่ 2.2}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนมีหลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบจำกัดแข็ง (hard-limit) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบจำกัดแข็งสมมาตร (Symmetric hard-limit) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไฮเปอร์บอลิกแทนเจนต์ซิกมอยด์ หรือแทนซิกมอยด์ (Hyperbolic tangent sigmoid) เป็นต้น

การสังเคราะห์องค์ประกอบของการทำนาย (Predictive) ของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ได้รับการศึกษาโดยนักวิจัยหลายท่าน ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-4 องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม

องค์ประกอบ	Faisal Zaman (2019)	A. Johansen (2019)	k Ilber Sirmatel (2018)	Antonella Ferrara (2019)	Hoda Ahmadinejad (2017)	Antonello Rosato (2019)	Sangpil Lee (2020)	Ricardo Santos (2019)
ข้อมูลนำเข้า (Input)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ค่าน้ำหนัก (Weight)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ผลลัพธ์ (Output)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
คำแนะนำ (instructions)							✓	✓
สภาพแวดล้อม (Environment)								✓

ตารางแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม มี 4 ขั้นตอน คือ ข้อมูลนำเข้า (Input) ค่าน้ำหนัก (Weight) ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) และ ผลลัพธ์ (Output)

G. Pankaj Jain (2014) ได้ให้ความหมายของ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) แนวคิดการพัฒนาระบบการประเมิน ประกอบด้วย ระบบการประเมินความรู้อัจฉริยะ ระบบประเมินผลส่วนบุคคล และระบบประเมินความรู้ (G. Pankaj Jain, 2014)

2.5.2 แนวคิดการพัฒนาระบบการประเมิน ประกอบด้วย

2.5.2.1 ระบบการประเมินความรู้อัจฉริยะ (Intelligent Knowledge System Assessment) ระบบใช้วิธีการที่มีโครงสร้างที่กำหนดไว้อย่างชัดเจนในการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและดำเนินการวิเคราะห์ที่จำเป็น

2.5.2.2 ระบบประเมินผลส่วนบุคคล (Personalized Assessment System) ระบบการประเมินผลส่วนบุคคลที่สนับสนุนการปรับตัวและการเรียนรู้

2.5.2.3 ระบบประเมินความรู้ (Knowledge Assessment System) ใช้แผนที่แนวคิดที่ได้รับการพัฒนาโดยผู้เชี่ยวชาญ

สรุปได้ว่าการสรุปและวิเคราะห์เกี่ยวกับประเภทต่าง ๆ ของปัญญาประดิษฐ์ที่มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะการประมวลผลภาษาธรรมชาติและระบบเครือข่ายเส้นประสาท ซึ่งเป็นหัวข้อที่มีความสำคัญในงานวิจัยนี้ การศึกษาเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ในการเรียนรู้และจดจำข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้หลักการของการเชื่อมต่อและการปรับน้ำหนัก (Weight) ที่เหมาะสมตามกระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ การเลือกฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ที่เหมาะสมก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโมเดลในการเรียนรู้และการพยากรณ์ โดยเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลมีความซับซ้อนสูง

2.6 การจัดการพลังงานอัจฉริยะ (Intelligent Energy Management Systems - IEMS)

การจัดการพลังงานถือเป็นหัวใจสำคัญในการลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็นและส่งเสริมความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม การจัดการพลังงานที่ดีสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน ตั้งแต่ระดับครัวเรือนจนถึงอุตสาหกรรม ทั้งนี้ การใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น ระบบอัจฉริยะในการจัดการพลังงาน (Intelligent Energy Management Systems - IEMS) มีความสำคัญในการควบคุมและตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้พลังงานพร้อมทั้งรักษาความสมดุลของระบบพลังงาน (Himeur et al., 2021) นอกจากนี้ การปรับปรุงด้านการจัดเก็บพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ก็ช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ (Kaya et al., 2021) อีกทั้งการใช้กลยุทธ์การจัดการพลังงานเชิงรุก เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานผ่านการบริหารจัดการด้านอุปสงค์ ช่วยลดภาระของระบบพลังงานในช่วงที่มีการใช้งานสูงสุด (Leitao et al., 2020) โดยการจัดการพลังงานไม่เพียงแต่ช่วยให้บรรลุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความยั่งยืนให้กับสังคมและเศรษฐกิจในระยะ

ยาว (Khatib et al., 2023) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงาน แต่ยังช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Brilhante & Klaas, 2018)

ในด้านของการจัดการพลังงาน ยังมีการพัฒนาเครื่องมือและนโยบายที่เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ โดยมีการประเมินและตรวจสอบพลังงาน (Energy Auditing) เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) (Christensen et al., 2022) ทั้งนี้ การสร้างความตระหนักรู้และการปรับปรุงนโยบายเพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนและการจัดการพลังงานยังคงเป็นความท้าทายที่สำคัญสำหรับหลายประเทศทั่วโลก (Cullen, 2017) การจัดการพลังงานไฟฟ้าในสังคมมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการบริโภคพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในทุกภาคส่วน ทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน และภาครัฐ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรพลังงานและสิ่งแวดล้อมในระดับโลก การจัดการพลังงานไฟฟ้าช่วยให้สามารถควบคุมและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน และลดต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Shareef et al., 2018) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมต่าง ๆ เข้ามาใช้ เช่น ระบบควบคุมการใช้พลังงานอัจฉริยะ (IEMS) และการใช้พลังงานหมุนเวียนสามารถช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Himeur et al., 2020)

นอกจากนี้ การใช้มาตรการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ดี เช่น การนำระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) มาใช้ ทำให้สามารถจัดการและบริหารการผลิตและการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งจะช่วยให้การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีเสถียรภาพและลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้พลังงานสูง (Leitao et al., 2020) การส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนและการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในทุกภาคส่วนของสังคมยังคงเป็นเป้าหมายหลักของการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต (Börjesson et al., 2015)

การจัดการพลังงานไฟฟ้าในสถานศึกษามีบทบาทสำคัญไม่เพียงแต่ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน แต่ยังเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในหมู่นักเรียนและบุคลากร การนำมาตรการจัดการพลังงานไฟฟ้าเข้ามาใช้ในสถานศึกษา เช่น การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV) บนหลังคาอาคารเรียนหรือการใช้หลอดไฟ LED ที่ประหยัดพลังงาน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ (Boodi et al., 2018) นอกจากนี้ การใช้ระบบควบคุมแสงสว่างอัตโนมัติและการตั้งค่าเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ปิดอัตโนมัติเมื่อไม่ใช้งานก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าได้ (Leitao et al., 2020) การให้ความรู้และสร้างจิตสำนึกในเรื่องของการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งสำคัญในสถานศึกษา เพื่อให้นักเรียนได้ตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Christensen et al., 2022). การจัดทำโครงการที่ส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น การใช้พลังงานจากลมและแสงอาทิตย์ภายในสถานศึกษายังเป็นแนวทางที่ช่วยให้โรงเรียนสามารถลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานดั้งเดิม และยังเป็นการสร้างพื้นที่ทดลองให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานหมุนเวียนโดยตรง (Himeur et al., 2020)

การจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากการใช้พลังงานในอาคารคิดเป็นส่วนใหญ่ของการบริโภคพลังงานทั่วโลก (Boodi et al., 2018) การจัดการพลังงานในอาคารไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการใช้พลังงาน แต่ยังช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมด้วย โดยวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการติดตั้งระบบควบคุมพลังงานอัจฉริยะ เช่น ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management Systems: BEMS) ซึ่งสามารถตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงานภายในอาคารได้แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถระบุจุดที่มีการใช้พลังงานสูงเกินไปและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Shareef et al., 2018) การใช้โครงสร้างพื้นฐานที่เน้นการประหยัดพลังงาน เช่น หน้าต่างกระจกสองชั้น ระบบฉนวนความร้อน, และระบบระบายอากาศอัตโนมัติสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำความเย็นและความร้อนในอาคารได้อย่างมาก (Leitao et al., 2020) การเปลี่ยนไปใช้หลอดไฟ LED และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องปรับอากาศและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่มีการจัดอันดับการประหยัดพลังงานที่สูง ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Himeur et al., 2020)

การนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการควบคุมการใช้พลังงาน แต่ยังสร้างสภาพแวดล้อมที่ยั่งยืนในระยะยาว ตัวอย่างของเทคโนโลยีเหล่านี้ได้แก่

1. ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid)

ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเข้ามาใช้เพื่อควบคุมและตรวจสอบการผลิต, การส่ง, และการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ช่วยให้การจ่ายพลังงานมีเสถียรภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียพลังงาน และสามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของความต้องการพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการใช้ Smart Grid เพื่อควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในเมืองต่าง ๆ ทำให้สามารถลดปัญหาการใช้พลังงานที่ไม่เสถียรในช่วงเวลาที่ความต้องการพลังงานสูง (Shareef et al., 2018)

2. ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) การนำปัญญาประดิษฐ์และการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เข้ามาช่วยในการจัดการพลังงานไฟฟ้า ช่วยให้ระบบสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้งานและคาดการณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตได้อย่างแม่นยำ AI สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการใช้พลังงานและลดความสูญเสีย ตัวอย่างเช่น ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (BEMS) ที่ใช้ AI สามารถเรียนรู้การใช้พลังงานของอาคารและปรับการควบคุมการใช้พลังงานให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (Himeur et al., 2020)

3. อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) IoT ช่วยให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้านหรืออาคารสามารถเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และสามารถควบคุมการใช้พลังงานได้จากระยะไกล เช่น การตั้งค่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศหรือระบบไฟฟ้าภายในบ้านให้เปิดหรือปิดอัตโนมัติตามการใช้งานที่จำเป็น ซึ่งเทคโนโลยี IoT นี้สามารถช่วยลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวม (Leitao et al., 2020) ตัวอย่างที่ชัดเจนคือ

อุปกรณ์สมาร์ทโฮม เช่น Nest Thermostat ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในบ้านให้เหมาะสมตามพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้อยู่อาศัย

4. เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain Technology) บล็อกเชนสามารถนำมาใช้ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความโปร่งใสในการจัดการและการซื้อขายพลังงาน โดยสามารถใช้ในการติดตามการผลิตและการใช้พลังงานที่มาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม รวมถึงการซื้อขายพลังงานในตลาดแบบ Peer-to-Peer (P2P) ซึ่งจะช่วยให้การจัดการพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้น (Christensen et al., 2022)

5. ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage Systems) ระบบกักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการจัดการพลังงานหมุนเวียน ทำให้สามารถเก็บพลังงานส่วนเกินที่ผลิตขึ้นมาและนำมาใช้ในช่วงที่ไม่มีการผลิตพลังงาน เช่น ในเวลากลางคืนหรือช่วงที่แหล่งพลังงานหมุนเวียนไม่สามารถผลิตได้ ระบบกักเก็บพลังงานช่วยเพิ่มเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือในการจ่ายพลังงาน (Börjesson et al., 2015)

การผสมผสานเทคโนโลยีเหล่านี้เข้าด้วยกันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และยังสร้างระบบพลังงานที่ยั่งยืนมากขึ้นสำหรับอนาคตนอกจากนี้ การติดตั้งแหล่งพลังงานหมุนเวียนในอาคาร เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานจากลมก็เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานดั้งเดิมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมาก (Christensen et al., 2022)

การใช้กลยุทธ์ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การใช้พลังงานเกิดความคุ้มค่าที่สุด โดยการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีและการบริหารจัดการที่เหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปกลยุทธ์หลัก ๆ ได้ดังนี้

1. การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency Improvement) การปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเป็นพื้นฐานของการจัดการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่มีการรับรองว่าประหยัดพลังงาน เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 การเปลี่ยนหลอดไฟจากหลอดไส้หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์มาเป็นหลอด LED ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น นอกจากนี้ การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นประจำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น (Boodi et al., 2018)

2. การทำระบบตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงาน (Energy Monitoring and Control Systems) ระบบตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงาน เช่น ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (BEMS) สามารถช่วยให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นผ่านการตรวจวัดและควบคุมการใช้พลังงานในแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ช่วยให้ผู้จัดการอาคารสามารถตรวจพบจุดที่มีการใช้พลังงานสูงเกินไปและทำการปรับปรุงได้ทันที ตัวอย่างเช่น การปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศในอาคารอัตโนมัติตามสภาพอากาศภายนอกและจำนวนคนในอาคาร (Himeur et al., 2020)

3. การใช้พลังงานหมุนเวียนและระบบกักเก็บพลังงาน (Renewable Energy and Energy Storage Systems) การติดตั้งระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV) หรือพลังงานลม เพื่อใช้ร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ยังช่วยเก็บ

พลังงานส่วนเกินที่ผลิตขึ้นในช่วงเวลาที่แหล่งพลังงานหมุนเวียนทำงานได้ดี (เช่น กลางวัน) และนำมาใช้ในช่วงที่การผลิตพลังงานต่ำ (เช่น กลางคืน) ทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูงสุด (Leitao et al., 2020)

4. การปรับพฤติกรรมการใช้พลังงาน (Behavioral Changes) การสร้างจิตสำนึกให้กับผู้ใช้งานเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นเป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ที่สำคัญ เช่น การปิดไฟและเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน การตั้งค่าอุปกรณ์ให้ทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน รวมถึงการสร้างแรงจูงใจหรือรางวัลให้กับพนักงานหรือผู้พักอาศัยในอาคารที่มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า (Christensen et al., 2022)

5. การทำแผนจัดการพลังงานระยะยาว (Long-term Energy Management Planning)

การทำแผนจัดการพลังงานระยะยาวที่รวมถึงการคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต, การวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงาน, และการวางแผนการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน ซึ่งรวมถึงการประเมินและวางแผนการใช้พลังงานหมุนเวียนและการพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานเพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในระยะยาว (Cullen, 2017)

ด้วยการนำกลยุทธ์เหล่านี้มาผสมผสานในการจัดการพลังงานไฟฟ้า จะช่วยให้การใช้พลังงานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลดการสูญเสีย และช่วยส่งเสริมความยั่งยืนในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม การจัดทำแผนการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอย่างเป็นรูปธรรมและเกิดประโยชน์สูงสุดจำเป็นต้องมีการวางแผนอย่างเป็นขั้นตอนเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ชัดเจนและวัดผลได้ โดยแผนการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนสำคัญได้ดังนี้

1. การประเมินสถานะการใช้พลังงานในปัจจุบัน (Energy Audit and Assessment)

ขั้นตอนแรกของแผนคือการทำการตรวจสอบพลังงาน (Energy Audit) เพื่อตรวจวัดการใช้พลังงานในอาคารหรือสถานประกอบการ การตรวจสอบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละส่วนและช่วยระบุจุดที่มีการใช้พลังงานสูงเกินไป เช่น การใช้พลังงานในระบบทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศ จากนั้นจึงสามารถวิเคราะห์และเสนอแนวทางในการปรับปรุง เช่น การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง หรือการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า (Shareef et al., 2018) การประเมินสถานะการใช้พลังงานในปัจจุบัน หรือที่เรียกว่า Energy Audit เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ โดยการตรวจสอบนี้มีเป้าหมายเพื่อตรวจวัดและประเมินการใช้พลังงานในอาคารหรือสถานประกอบการ เพื่อตรวจสอบว่ามีการใช้พลังงานในส่วนใดมากเกินไปและทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น การตรวจสอบนี้สามารถแบ่งออกเป็นหลายระดับ ขึ้นอยู่กับความต้องการและความซับซ้อนของสถานที่ เช่น การตรวจสอบพลังงานทั่วไป (Walk-through Audit) ไปจนถึงการตรวจสอบเชิงลึก (Detailed Energy Audit) ซึ่งมีการวิเคราะห์ทางเทคนิคและการเงินอย่างละเอียด (Shareef et al., 2018).

1. การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ในขั้นแรก การตรวจสอบพลังงานจะเริ่มด้วยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคาร เช่น ข้อมูลค่าไฟฟ้าหรือพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลาต่างๆ การศึกษาข้อมูลเหล่านี้ทำให้เข้าใจแนวโน้มและรูปแบบการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการระบุปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้พลังงานที่ไม่คุ้มค่า เช่น ช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงกว่าปกติหรือการใช้พลังงานเกินความจำเป็นในบางส่วนของอาคาร (Boodi et al., 2018) มีการตรวจสอบหน้างาน

หลังจากได้ข้อมูลพื้นฐานแล้ว จะมีการตรวจสอบหน้างานเพื่อตรวจวัดการใช้พลังงานในแต่ละส่วนของอาคาร เช่น การใช้พลังงานในระบบทำความเย็น ระบบไฟฟ้าหรือเครื่องปรับอากาศ โดยการตรวจสอบนี้จะใช้เครื่องมือในการวัดพลังงานเพื่อตรวจสอบว่าระบบใดมีการใช้พลังงานสูงกว่าที่ควรหรือมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ (Himeur et al., 2020) ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์และเสนอแนวทางในการปรับปรุงจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ จะทำการวิเคราะห์ว่าจุดใดในอาคารที่มีการใช้พลังงานมากเกินไปและอาจสามารถปรับปรุงได้ เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำ เช่น เครื่องปรับอากาศหรือหลอดไฟที่กินไฟมาก มาเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงานเบอร์ 5 หรือการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน เป็นต้น (Leitao et al., 2020) นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีการควบคุมอัจฉริยะ เช่น Building Energy Management System (BEMS) เข้ามาช่วยในการจัดการการใช้พลังงานในอาคารสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างมาก มีการวัดผลและติดตามผลขั้นตอนสุดท้ายคือการติดตามผลหลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงการใช้พลังงานแล้ว โดยการวัดผลจะช่วยให้สามารถประเมินว่ามาตรการที่นำมาใช้มีประสิทธิภาพเพียงใด การติดตามผลในระยะยาวจะช่วยให้การใช้พลังงานในอาคารยังคงมีประสิทธิภาพและสามารถปรับปรุงได้ต่อเนื่อง (Christensen et al., 2022) การทำ Energy Audit จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการระบุจุดอ่อนของการใช้พลังงานและเสนอโอกาสในการปรับปรุงเพื่อประหยัดพลังงานและลดต้นทุนได้อย่างเป็นรูปธรรม

2. การติดตั้งระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid Implementation) หลังจากการประเมินสถานะการใช้พลังงานแล้ว การติดตั้งระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะจะช่วยให้สามารถจัดการการใช้พลังงานในพื้นที่ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้จะเชื่อมโยงกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ตรวจจับการใช้พลังงาน ทำให้สามารถปรับระดับการจ่ายพลังงานได้ตามความต้องการที่แท้จริง ตัวอย่างเช่น การลดการจ่ายพลังงานในช่วงที่ความต้องการพลังงานต่ำและเพิ่มในช่วงที่ความต้องการสูง (Himeur et al., 2020) การติดตั้งระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid Implementation) เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมาก หลังจากที่มีการประเมินสถานะการใช้พลังงานในอาคารหรือสถานประกอบการแล้ว การติดตั้ง Smart Grid จะช่วยให้สามารถควบคุมและจัดการการใช้พลังงานในพื้นที่ต่างๆ ได้ตามความต้องการที่แท้จริงผ่านการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบจัดการข้อมูล ซึ่งทำให้การจ่ายพลังงานสามารถถูกปรับเปลี่ยนได้อย่างยืดหยุ่นและสอดคล้องกับการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา (Himeur et al., 2020)

การทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) มีการใช้เซ็นเซอร์และตัวตรวจวัดต่าง ๆ เพื่อตรวจจับการใช้พลังงานในแต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าและสามารถส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังศูนย์ควบคุมกลาง ข้อมูลนี้ช่วยให้ผู้จัดการสามารถวิเคราะห์และคาดการณ์ความต้องการพลังงานในอนาคต ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับระดับการจ่ายพลังงานได้ตามความต้องการที่แท้จริง ยกตัวอย่าง เช่น ในช่วงที่ความต้องการพลังงานต่ำ (เช่น ตอนกลางคืน) ระบบจะลดการจ่ายพลังงานเพื่อประหยัดทรัพยากร และเมื่อความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น (เช่น ช่วงกลางวัน) ระบบจะสามารถเพิ่มการจ่ายพลังงานโดยอัตโนมัติ (Leitao et al., 2020) โดยมีความยืดหยุ่นในการจัดการพลังงาน เนื่องจากระบบ Smart Grid ไม่เพียงแต่ช่วยให้การจ่ายพลังงานเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ยังเพิ่ม

ความยืดหยุ่นในการปรับตัวตามสภาพการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลง เช่น ในวันที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบสามารถสั่งการให้เพิ่มการจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนหรือระบบกักเก็บพลังงานได้ ซึ่งจะช่วยลดภาระของโครงข่ายไฟฟ้าแบบดั้งเดิมและลดความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดับ นอกจากนี้ ระบบยังช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างผู้ใช้งานได้ เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์สามารถถูกแบ่งปันหรือนำไปขายในตลาดพลังงานแบบ Peer-to-Peer (P2P) ได้ (Christensen et al., 2022) ซึ่งมีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนเนื่องจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะยังมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน โดยการเชื่อมต่อแหล่งพลังงานหมุนเวียนเข้ากับระบบไฟฟ้าแบบอัจฉริยะทำให้สามารถนำพลังงานที่ผลิตจากแหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงาน (Börjesson et al., 2015) ตัวอย่างของการใช้งานระบบ Smart Grid ที่ชัดเจนของการใช้ระบบ Smart Grid คือโครงการในเมืองต่าง ๆ ของสหรัฐอเมริกา เช่น เมือง Austin ในรัฐเท็กซัส ซึ่งได้มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการจัดการพลังงานทั่วทั้งเมือง โดยสามารถปรับการจ่ายพลังงานตามการใช้งานจริงและลดการสูญเสียพลังงานในโครงข่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกตัวอย่างหนึ่งคือในประเทศเยอรมนี ที่มีการนำ Smart Grid มาใช้ในการควบคุมและจัดการพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น โซลาร์ฟาร์มและฟาร์มกังหันลม ซึ่งทำให้การผลิตและการใช้พลังงานเป็นไปอย่างสมดุลมากขึ้น (Himeur et al., 2020)

สรุปได้ว่า ระบบ Smart Grid ไม่เพียงช่วยให้การจ่ายพลังงานเป็นไปอย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อความยั่งยืนในอนาคต

3. การนำระบบจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) ระบบ BEMS สามารถควบคุมและจัดการการใช้พลังงานในอาคารโดยรวม เช่น การควบคุมอุณหภูมิ แสงสว่าง และระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลเรียลไทม์จากเซ็นเซอร์ การนำระบบนี้มาใช้จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็นและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ตัวอย่างเช่น อาคารพาณิชย์ใหญ่ ๆ ในประเทศสิงคโปร์ใช้ BEMS เพื่อจัดการพลังงานในอาคารสูง ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานได้ (Leitao et al., 2020) การนำระบบจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) เป็นขั้นตอนสำคัญในการบริหารและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ BEMS เป็นระบบที่ผสานการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถตรวจวัด วิเคราะห์ และควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคารแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในจุดต่าง ๆ ของอาคารจะถูกส่งไปยังระบบส่วนกลางเพื่อวิเคราะห์และตัดสินใจการจัดการพลังงาน (Leitao et al., 2020) การทำงานของระบบ BEMS จะรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในอาคาร เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดระดับแสง และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อประเมินสภาพแวดล้อมในเวลาจริง (real-time) ระบบนี้สามารถปรับการใช้พลังงานได้ตามความต้องการในแต่ละช่วงเวลา ตัวอย่างเช่น การปรับอุณหภูมิในห้องให้เหมาะสมกับจำนวนคนที่อยู่ในห้อง หรือการปิดแสงสว่างเมื่อไม่มีคนอยู่ นอกจากนี้ ระบบยังสามารถควบคุมการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้เป็นไปตามตารางเวลาหรือโปรแกรมที่

กำหนดไว้ ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น (Shareef et al., 2018) เป็นการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานโดยการควบคุมอัตโนมัติซึ่งช่วยป้องกันการใช้พลังงานเกินความจำเป็น ตัวอย่างเช่น การปรับลดอุณหภูมิของระบบปรับอากาศในช่วงที่ไม่มีผู้ใช้บริการ หรือการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในช่วงเวลาที่ไม่ใช้งาน เช่น การตั้งระบบให้ปิดไฟฟ้าหลังเลิกงานอัตโนมัติ ทำให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบยังช่วยให้ผู้จัดการอาคารสามารถติดตามการใช้พลังงานผ่านแดชบอร์ดออนไลน์และตรวจพบปัญหาในการใช้พลังงานที่อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็ว ซึ่งทำให้การบำรุงรักษาทำได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพ (Himeur et al., 2020)

ตัวอย่างหนึ่งที่แสดงถึงความสำเร็จในการใช้ BEMS คืออาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ในประเทศสิงคโปร์ ที่ใช้ระบบนี้ในการจัดการพลังงานในอาคารสูง ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ระบบ BEMS ที่ใช้สามารถปรับการทำงานของระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ ในอาคารโดยอัตโนมัติตามความต้องการพลังงานในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงอย่างมาก และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อาคารมีการดำเนินงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Leitao et al., 2020) ซึ่งประโยชน์ในระยะยาวการนำ BEMS มาใช้ในอาคารไม่เพียงช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระยะสั้น แต่ยังช่วยเพิ่มความยั่งยืนในระยะยาว โดยเฉพาะในเรื่องของการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพช่วยลดปริมาณพลังงานที่ใช้ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้การดำเนินงานของอาคารเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Christensen et al., 2022)

ในสรุป การนำระบบ BEMS มาใช้ในการจัดการพลังงานภายในอาคารไม่เพียงช่วยให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสีย แต่ยังช่วยสนับสนุนการพัฒนาที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

4. การใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการซื้อขายพลังงานแบบ Peer-to-Peer (P2P Energy Trading) บล็อกเชนสามารถนำมาใช้ในการจัดการพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตขึ้นภายในชุมชนหรืออาคาร และทำให้ผู้ใช้งานสามารถซื้อขายพลังงานส่วนเกินผ่านระบบ P2P ได้ เช่น การขายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ส่วนเกินให้กับเพื่อนบ้าน การใช้เทคโนโลยีนี้จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการพลังงานและส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนได้มากขึ้น (Christensen et al., 2022) การใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในการซื้อขายพลังงานแบบ Peer-to-Peer (P2P Energy Trading) เป็นวิธีการใหม่ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถซื้อขายพลังงานหมุนเวียนที่ผลิตขึ้นในระบบท้องถิ่น เช่น จากแผงโซลาร์เซลล์ หรือกังหันลม ผ่านระบบแบบกระจายศูนย์ (decentralized) โดยไม่ต้องผ่านตัวกลางหรือหน่วยงานกลาง ซึ่งทำให้การจัดการและแลกเปลี่ยนพลังงานเป็นไปได้อย่างยืดหยุ่นและโปร่งใสมากขึ้น (Christensen et al., 2022)

การทำงานของบล็อกเชนใน P2P Energy Trading บล็อกเชนเป็นเทคโนโลยีที่บันทึกข้อมูลการทำธุรกรรมในรูปแบบของบันทึกที่ไม่สามารถแก้ไขได้และมีความปลอดภัยสูง การนำบล็อกเชนมาใช้ในการซื้อขายพลังงานช่วยให้ผู้ผลิตพลังงานหมุนเวียน เช่น ครัวเรือนที่มีแผงโซลาร์เซลล์ สามารถขายพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานของตนให้กับผู้ใช้งานอื่นภายในเครือข่ายท้องถิ่นได้โดยตรง

(Börjesson et al., 2015) ทุกธุรกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายจะถูกบันทึกในเครือข่ายบล็อกเชน ซึ่งมีความโปร่งใสและสามารถตรวจสอบได้โดยทุกฝ่าย ทำให้มั่นใจได้ว่าการทำธุรกรรมจะเกิดขึ้นอย่างยุติธรรมและไม่สามารถแก้ไขข้อมูลได้ โดยข้อดีของ P2P Energy Trading ที่ใช้บล็อกเชนคือการซื้อขายพลังงานแบบ P2P ที่ใช้บล็อกเชนช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากสามารถกระจายพลังงานที่ผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพระหว่างผู้ใช้งานในชุมชน ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังช่วยลดความต้องการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานฟอสซิลและส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนได้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ระบบนี้ยังเปิดโอกาสให้กับผู้ผลิตพลังงานรายเล็กหรือครัวเรือนทั่วไปที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์สามารถสร้างรายได้จากพลังงานส่วนเกินที่พวกเขาผลิตได้ (Himeur et al., 2020)

การใช้งาน P2P Energy Trading มีโครงการหลายแห่งทั่วโลกที่ได้เริ่มนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ในการซื้อขายพลังงานแบบ P2P ตัวอย่างเช่น โครงการ Power Ledger ในออสเตรเลีย ซึ่งใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถซื้อขายพลังงานที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์กันเองได้ นอกจากนี้ยังมีโครงการในยุโรปที่เริ่มใช้เทคโนโลยีนี้ในการเชื่อมต่อผู้ผลิตพลังงานรายเล็กในชุมชนเดียวกันให้สามารถแลกเปลี่ยนพลังงานโดยไม่ต้องผ่านบริษัทไฟฟ้ากลาง (Leitao et al., 2020) โดยผลกระทบต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนนั้น การใช้บล็อกเชนในการซื้อขายพลังงานแบบ P2P ยังช่วยส่งเสริมเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะในด้านการเพิ่มสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียน การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการสร้างโอกาสให้กับชุมชนท้องถิ่นในการมีส่วนร่วมในการผลิตพลังงานอย่างยั่งยืน (Christensen et al., 2022)

สรุป การใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนในระบบซื้อขายพลังงาน P2P จึงเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน, ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิล, และเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการพลังงานภายในชุมชน โดยไม่ต้องพึ่งพาตัวกลาง

5. การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage Systems) ระบบกักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ขนาดใหญ่ ช่วยให้สามารถเก็บพลังงานส่วนเกินที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนไว้ใช้ในช่วงที่ไม่มีการผลิต เช่น ในเวลากลางคืน การใช้ระบบนี้ร่วมกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนจะช่วยเพิ่มความเสถียรในการจ่ายพลังงานและลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานที่ไม่ยั่งยืน (Börjesson et al., 2015) การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage Systems) เป็นเทคโนโลยีสำคัญในการสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนให้มีความเสถียรและยั่งยืนยิ่งขึ้น ระบบกักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ขนาดใหญ่ มีความสามารถในการเก็บพลังงานที่ผลิตขึ้นเกินจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น โซลาร์เซลล์หรือกังหันลม ซึ่งพลังงานเหล่านี้มักจะถูกผลิตในช่วงเวลาที่มีแสงแดดหรือมีลมมาก เช่น กลางวัน ในขณะที่ความต้องการใช้พลังงานอาจเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิตพลังงาน เช่น ในเวลากลางคืนหรือในช่วงที่ไม่มีลม การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานจึงช่วยให้พลังงานที่ผลิตขึ้นสามารถถูกเก็บไว้และนำมาใช้ในช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิตได้ (Börjesson et al., 2015) หนึ่งในระบบกักเก็บพลังงานที่นิยมใช้คือ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ซึ่งมีความหนาแน่นของพลังงานสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน นอกจากนี้ยังมีระบบกักเก็บพลังงานประเภทอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ชนิดโซเดียมซัลเฟอร์และระบบกักเก็บพลังงานด้วยการอัดอากาศ (Compressed air energy storage) ซึ่งระบบเหล่านี้มีจุดเด่นในเรื่องของความสามารถในการกักเก็บพลังงานในปริมาณมากและความเสถียรในการจ่าย

พลังงานต่อเนื่องในระยะยาว (Leitao et al., 2020) ระบบกักเก็บพลังงานเหล่านี้ทำงานโดยรับพลังงานจากแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียน แล้วเก็บพลังงานในรูปของไฟฟ้า เมื่อมีความต้องการใช้พลังงาน ระบบจะปล่อยพลังงานออกมาเพื่อจ่ายให้กับผู้ใช้งาน ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้

การใช้ระบบกักเก็บพลังงานมีประโยชน์หลายประการ รวมถึงการเพิ่มความเสถียรในการจ่ายพลังงานและลดการเสี่ยงต่อการเกิดไฟดับในช่วงที่มีการใช้งานสูง นอกจากนี้ยังช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่ไม่ยั่งยืน โดยเฉพาะการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนช่วยให้พลังงานสามารถนำมาใช้ได้อย่างต่อเนื่อง แม้ในช่วงเวลาที่แหล่งพลังงานหมุนเวียนไม่สามารถผลิตได้ เช่น ในเวลากลางคืน (Christensen et al., 2022) ตัวอย่างของการใช้ระบบกักเก็บพลังงานที่ประสบความสำเร็จสามารถเห็นได้ในหลายประเทศ เช่น ในประเทศออสเตรเลียที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ที่รู้จักกันในชื่อ "Tesla Big Battery" ซึ่งช่วยจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนในท้องถิ่นและนำมาใช้ในช่วงที่ความต้องการใช้พลังงานสูง ทำให้ลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่ไม่ยั่งยืน และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับชุมชนท้องถิ่นอีกด้วย (Himeur et al., 2020) ระบบกักเก็บพลังงานมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืน เพราะช่วยให้การใช้พลังงานหมุนเวียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่ก่อให้เกิดมลภาวะ และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การพัฒนาและการใช้ระบบกักเก็บพลังงานจึงเป็นส่วนสำคัญของการก้าวไปสู่สังคมที่มีการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญทั้งในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหมุนเวียน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการพึ่งพาพลังงานที่ไม่ยั่งยืน

นอกจากการใช้เทคโนโลยีแล้ว การส่งเสริมการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้งาน (User Behavioral Change Programs) โดยส่งเสริมให้ผู้ใช้งานมีความรู้และตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็มีความสำคัญ การอบรมและการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการลดการใช้พลังงานในชีวิตประจำวัน เช่น การปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน, การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในโหมดประหยัดพลังงาน หรือการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จะช่วยลดการใช้พลังงานในระยะยาว (Cullen, 2017) การใช้แผนการเหล่านี้ร่วมกันจะทำให้การจัดการพลังงานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และช่วยสร้างระบบพลังงานที่ยั่งยืนให้กับองค์กรและสังคมในระยะยาว

2.7 เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things : CIoT)

2.7.1 ความหมายและลักษณะของเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง

เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง หรือ Cognitive Internet of Things (CIoT) เป็นการผสมผสานเทคโนโลยี IoT และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งช่วยให้ระบบต่าง ๆ สามารถทำการตัดสินใจและปรับตัวได้อย่างอัตโนมัติและชาญฉลาด ลักษณะเด่นของเทคโนโลยีนี้คือการเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายประเภทเข้าด้วยกันผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่สามารถ

นำข้อมูลไปประมวลผลผ่าน AI เพื่อให้เกิดการตัดสินใจที่อัตโนมัติ การใช้ AI ยังช่วยให้ระบบสามารถเรียนรู้และพัฒนาตัวเองได้จากข้อมูลที่ได้รับในระยะยาว ซึ่งทำให้เกิดการปรับตัวที่เหมาะสมกับสถานการณ์และความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการประมวลผลพลังงานผ่านระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองของระบบจริงเพื่อทดสอบและวิเคราะห์ก่อนนำไปใช้งานจริง ช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจ (Ghogho et al., 2014; Lu et al., 2018)

เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things : CIoT) มีลักษณะเด่นคือการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ที่สามารถรวบรวมข้อมูลจากสิ่งแวดล้อม และข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังระบบคลาวด์หรืออุปกรณ์กลางเพื่อให้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ทำการประมวลผล ปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เทคโนโลยี CIoT มีประสิทธิภาพมากขึ้นคือความสามารถในการทำงานอัตโนมัติ โดยระบบจะสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมและทำการตัดสินใจหรือปรับตัวตามข้อมูลที่ได้รับ ซึ่งช่วยให้กระบวนการต่าง ๆ ดำเนินไปอย่างแม่นยำและเหมาะสมกับสถานการณ์ในเวลานั้น ๆ (Zaidi et al., 2014)

นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้ยังมีความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์ ทำให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงหรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมอย่างทันท่วงที ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความเสถียรของระบบ ตัวอย่างหนึ่งของการใช้งานที่สำคัญคือการจัดการพลังงานในระบบอุตสาหกรรมหรือการผลิต ที่ใช้ระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ในการสร้างแบบจำลองเสมือนของระบบจริงเพื่อวิเคราะห์และทดสอบกระบวนการต่าง ๆ ก่อนที่จะนำไปใช้จริง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจ (Ghogho et al., 2014; Lu et al., 2018)

รากฐานแนวคิดของ CIoT คือการบูรณาการของเทคโนโลยีที่หลากหลาย เช่น การสื่อสารไร้สาย การประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ และการใช้ AI เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลและการควบคุม โดยเฉพาะในระบบอุตสาหกรรมและระบบการจัดการพลังงาน CIoT ไม่เพียงแต่ช่วยในการตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ แต่ยังมีความสามารถในการทำงานอัตโนมัติและตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแบบเรียลไทม์ (Ghogho et al., 2014; J. Sens. Actuator Netw, 2020)

เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive IoT) มีลักษณะเด่นเพิ่มเติมที่ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นและครอบคลุมมากขึ้น โดยหนึ่งในปัจจัยสำคัญคือการใช้เทคโนโลยีประมวลผลแบบขอบ (Edge Computing) ซึ่งช่วยให้การประมวลผลข้อมูลเกิดขึ้นใกล้กับแหล่งกำเนิดข้อมูลแทนที่จะต้องส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังคลาวด์ สิ่งนี้ช่วยลดความล่าช้าและเพิ่มความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ นอกจากนี้ การใช้งานเซ็นเซอร์อัจฉริยะและการสื่อสารไร้สายผ่านเทคโนโลยี 5G ยังเพิ่มความสามารถในการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลในปริมาณมากได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ สิ่งเหล่านี้ช่วยให้ระบบสามารถตรวจจับความผิดปกติหรือเปลี่ยนแปลงได้ทันที (Zhang et al., 2020)

รากฐานแนวคิดที่สำคัญของเทคโนโลยีนี้คือการรวมเอาความสามารถทางปัญญาประดิษฐ์เข้ากับ IoT เพื่อให้ระบบสามารถเรียนรู้จากข้อมูลในอดีตและปรับตัวตามข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงได้

อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Cognitive Computing ที่พัฒนาเพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายและสามารถปรับแต่งตามความต้องการเฉพาะของผู้ใช้ (Lu et al., 2018)

การประยุกต์ใช้ระบบนี้ยังสามารถขยายไปสู่การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) และระบบขนส่งอัจฉริยะ (Smart Transportation) ซึ่งอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ จะทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากร เช่น พลังงาน การจราจร และการบริการสาธารณะ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเชื่อมต่อของอุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการตอบสนองของระบบและทำให้สามารถดำเนินการปรับปรุงได้ทันที (Ghogho et al., 2014) ในบริบทของ Smart Campus ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive IoT) นั้น มีการนำระบบ IoT และ AI มาใช้เพื่อปรับปรุงประสบการณ์การศึกษา การจัดการทรัพยากร และการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัย เช่น เซ็นเซอร์สำหรับตรวจจับการใช้พลังงาน ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับแสงสว่างและเครื่องปรับอากาศ รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ทำให้สามารถควบคุมทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงาน และเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้พื้นที่ (Zaidi et al., 2014)

นอกจากนี้ Smart Campus ยังสามารถใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ เช่น การสร้างห้องเรียนอัจฉริยะที่สามารถปรับการตั้งค่าของแสงและเสียงตามความต้องการของนักเรียน ระบบการเข้าถึงข้อมูลการศึกษาแบบอัตโนมัติ และการเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ ในวิทยาเขต นอกจากนี้ AI ยังถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้พื้นที่และกิจกรรมของนักเรียนเพื่อปรับปรุงการจัดสรรทรัพยากรและการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lu et al., 2018) อีกด้านหนึ่ง เทคโนโลยี Smart Campus ยังสามารถรวมถึงการใช้ระบบความปลอดภัยอัจฉริยะที่ใช้กล้องวงจรปิดและเซ็นเซอร์ในการตรวจสอบและวิเคราะห์สถานการณ์ในวิทยาเขต เช่น การตรวจจับพฤติกรรมผิดปกติและการแจ้งเตือนอัตโนมัติ ทำให้การรักษาความปลอดภัยในมหาวิทยาลัยมีความรัดกุมมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ การบูรณาการของ Cognitive IoT เข้ากับ Smart Campus จึงไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัย แต่ยังช่วยให้การจัดการทรัพยากรเป็นไปอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (J. Sens. Actuator Netw., 2020)

การจัดการพลังงานใน Smart Campus เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและลดการสูญเสียทรัพยากรผ่านการใช้เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive IoT) ระบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคารและห้องเรียนต่าง ๆ และส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มการประมวลผลแบบเรียลไทม์ ข้อมูลนี้จะถูกวิเคราะห์โดยปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อคาดการณ์และปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมอัตโนมัติเหล่านี้รวมถึงการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน การปรับระดับแสงและอุณหภูมิตามความต้องการของผู้ใช้งาน หรือการใช้พลังงานทดแทนอย่างแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าภายในวิทยาเขต (Ghogho et al., 2014; Zhang et al., 2020)

นอกจากนี้ เทคโนโลยี Digital Twin ยังถูกนำมาใช้ในการจัดการพลังงานใน Smart Campus โดยจะมีการสร้างแบบจำลองเสมือนของระบบพลังงานทั้งหมดเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับแต่ง

กระบวนการจัดการพลังงานในแบบจำลองก่อนที่จะนำไปใช้จริง สิ่งนี้ช่วยลดความเสี่ยงในการใช้พลังงานและทำให้สามารถคาดการณ์การใช้งานล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถปรับแต่งระบบไฟฟ้าและการควบคุมทรัพยากรพลังงานตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศหรือความต้องการของผู้ใช้งานในวิทยาเขตได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างยั่งยืนและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน (Zaidi et al., 2014) การจัดการพลังงานใน Smart Campus ยังสามารถใช้ระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น เทคโนโลยี 5G ที่มีความเร็วสูงและมีการเชื่อมต่อที่เสถียร ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว ระบบนี้ช่วยให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานได้อย่างใกล้ชิดและทันที ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการลดความล่าช้าในการตอบสนองและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ยังสามารถรวมระบบผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ และระบบจัดเก็บพลังงานเข้ากับระบบจัดการพลังงานหลักได้ ทำให้วิทยาเขตสามารถลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกและเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lu et al., 2018)

เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง หรือ Cognitive Internet of Things (CIoT) เป็นการรวมกันของเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) กับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างความสามารถในการคิด วิเคราะห์ และการตัดสินใจให้กับอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยมนุษย์ในการควบคุมเป็นหลัก ความหมายของ CIoT นั้นมาจากการที่ IoT สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลากหลายประเภท เช่น เซนเซอร์ ตัวควบคุม และอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลและทำงานร่วมกันได้อย่างอัตโนมัติ แต่จุดที่โดดเด่นของ CIoT คือการผนวกเอาปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้ในการประมวลผลข้อมูล ทำให้อุปกรณ์เหล่านี้สามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รับ และพัฒนาตัวเองเพื่อให้การตัดสินใจและการควบคุมเป็นไปอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Ghogho et al., 2014) ลักษณะของเทคโนโลยี CIoT นั้นครอบคลุมความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์ การวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก การเรียนรู้แบบอัตโนมัติ และการตัดสินใจด้วยตัวเองผ่านระบบปัญญาประดิษฐ์ สิ่งนี้ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับระบบที่ใช้ CIoT เช่น ในภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง หรือการจัดการพลังงาน ระบบสามารถตรวจสอบและควบคุมการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์ผ่านเซ็นเซอร์ที่ถูกเชื่อมต่อไว้กับระบบ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการทำนายหรือคาดการณ์ผลลัพธ์ในอนาคตจากข้อมูลที่ได้รับผ่านการวิเคราะห์ของ AI ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานและลดความสูญเสียของทรัพยากรต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Zaidi et al., 2014)

เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things - CIoT) เป็นแนวคิดที่พัฒนาต่อยอดมาจาก IoT (Internet of Things) ซึ่งมุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล ใน CIoT ได้มีการเพิ่มฟังก์ชันที่สำคัญอย่าง ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งทำให้ระบบไม่เพียงแค่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แต่ยังสามารถ คิด วิเคราะห์ และตัดสินใจ ได้อย่างอัตโนมัติ เทคโนโลยีนี้มีการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้สามารถ

เรียนรู้และปรับตัว ต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยไม่ต้องอาศัยการควบคุมจากมนุษย์เป็นหลัก เช่นในระบบจัดการพลังงานในอาคารหรือเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ที่สามารถปรับแต่งการใช้พลังงานตามสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zaidi et al., 2014)

ลักษณะเด่น ของ CIoT นั้นรวมถึงการ ทำงานแบบเรียลไทม์ ที่ช่วยให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างทันที นอกจากนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และการใช้ AI ในการเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำให้สามารถปรับปรุงการทำงานของระบบได้อย่างต่อเนื่อง ยิ่งไปกว่านั้น CIoT ยังสามารถบูรณาการกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้ เช่น การประมวลผลผ่านระบบคลาวด์ การสื่อสารไร้สายด้วยเครือข่าย 5G และระบบควบคุมผ่าน Edge Computing ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อและการตอบสนอง นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้ยังสามารถเพิ่มความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากร ไม่ว่าจะเป็นการจัดการพลังงาน การควบคุมการใช้พลังงานทดแทน หรือการใช้ระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ในการจำลองสถานการณ์เพื่อปรับแต่งกระบวนการก่อนนำไปใช้งานจริง (Ghogho et al., 2014; Lu et al., 2018)

นอกจากความสามารถในการเรียนรู้และตัดสินใจแล้ว CIoT ยังมีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความปลอดภัย โดยเฉพาะในด้านการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลและการตรวจจับพฤติกรรมที่ผิดปกติ ระบบสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากอุปกรณ์หลายแหล่งเพื่อตรวจจับความผิดปกติ เช่น การพยายามเจาะระบบ หรือการใช้ข้อมูลในทางที่ไม่เหมาะสม ทำให้สามารถแจ้งเตือนและดำเนินการป้องกันได้อย่างอัตโนมัติ (J. Sens. Actuator Netw, 2020) CIoT ยังสามารถบูรณาการกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง เช่น การประมวลผลข้อมูลผ่านคลาวด์คอมพิวติ้ง และการสื่อสารผ่านเครือข่าย 5G ที่มีความเร็วและเสถียรภาพสูง ทำให้ระบบ CIoT สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมากและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในระบบที่ต้องการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน เช่น ระบบความปลอดภัย ระบบการจัดการจราจร หรือระบบสุขภาพที่เชื่อมโยงข้อมูลผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในสถานที่อย่าง Smart Campus หรือ Smart City ที่อุปกรณ์ทั้งหมดถูกเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายเดียวกัน และมีการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนด้วยการใช้ระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) เพื่อจำลองการทำงานของระบบจริง ทำให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานได้ล่วงหน้า (Lu et al., 2018) ยิ่งไปกว่านั้น การประยุกต์ใช้ CIoT ยังช่วยเสริมความปลอดภัยให้กับระบบ โดยเฉพาะในด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลและการควบคุมการเข้าถึงจากภายนอก เทคโนโลยีนี้สามารถตรวจสอบพฤติกรรมที่ผิดปกติหรือการพยายามเจาะระบบได้ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ และสามารถแจ้งเตือนหรือดำเนินการป้องกันได้อัตโนมัติ ซึ่งทำให้ระบบมีความมั่นคงปลอดภัยมากขึ้น นอกจากนี้ AI ยังสามารถช่วยในการจัดการการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การควบคุมอุณหภูมิหรือแสงสว่างภายในอาคาร การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรในโรงงาน

อุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งการจัดการพลังงานในเมืองที่มีการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนร่วมกับระบบพลังงานหลักอย่างมีประสิทธิภาพ (J. Sens. Actuator Netw, 2020)

ดังนั้น เทคโนโลยี CIoT จึงเป็นตัวแทนของการพัฒนาในยุคที่อุปกรณ์และระบบสามารถทำงานร่วมกันอย่างชาญฉลาด มีความสามารถในการวิเคราะห์และตัดสินใจด้วยตัวเอง โดยลดการพึ่งพามนุษย์ ทำให้การดำเนินงานในระบบที่ซับซ้อน เช่น การจัดการพลังงาน การขนส่ง และการรักษาความปลอดภัย เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืนในระยะยาว

2.7.2 องค์ประกอบของเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง

เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things หรือ CIoT) มีองค์ประกอบหลายด้านที่ร่วมกันสร้างระบบที่มีความสามารถในการรับรู้ การวิเคราะห์ และการตัดสินใจที่ชาญฉลาด โดยองค์ประกอบหลักดังนี้

2.7.2.1 การรับรู้ข้อมูล (Data Sensing) เป็นการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลผ่านอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ชาญฉลาด เทคโนโลยีนี้รวมการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ด้วยอัลกอริทึม AI เพื่อตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างพื้นฐานเช่น IoT ARM และ IEEE P2413 ช่วยให้การสื่อสาร การจัดการข้อมูล และความปลอดภัยเป็นมาตรฐาน ส่งเสริมความสามารถในการปรับขยาย ความสามารถในการทำงานร่วมกัน และความปลอดภัยในระบบ IoT (Bauer et al., 2013; Breivold, 2017; Lin et al., 2019) ซึ่งทำงานผ่านเครือข่ายของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในสภาพแวดล้อม เซ็นเซอร์เหล่านี้สามารถเก็บข้อมูลจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว เสียง และข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เหล่านี้ถูกส่งผ่าน ระบบการสื่อสาร (Communication Systems) ซึ่งใช้เทคโนโลยีไร้สาย เช่น 5G, Wi-Fi, และเทคโนโลยีการสื่อสารอื่น ๆ เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับจะถูกส่งต่อไปยังระบบการประมวลผล (Processing Systems) ที่สามารถทำงานได้ทั้งในระบบคลาวด์และการประมวลผลขอบ (Edge Computing) ระบบนี้มีหน้าที่ในการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากผ่านปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ทำหน้าที่สำคัญในการวิเคราะห์และเรียนรู้จากข้อมูล ทำให้ระบบสามารถตัดสินใจและปรับตัวได้ตามข้อมูลที่มีอย่างแม่นยำและทันท่วงที (Ghogho et al., 2014; Zaidi et al., 2014)

การตรวจจับข้อมูลเป็นหนึ่งในหัวใจสำคัญของเทคโนโลยี IoT ซึ่งประกอบด้วยการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบที่เชื่อมต่อกันผ่านอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์เหล่านี้มีหน้าที่ตรวจจับข้อมูลสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว และอื่น ๆ แล้วนำข้อมูลที่เก็บได้มาประมวลผลผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ชาญฉลาดและตอบสนองต่อสถานการณ์แบบเรียลไทม์ Data Sensing ใน IoT เซ็นเซอร์ใน IoT ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมโยงสำคัญระหว่างโลกจริงกับระบบดิจิทัล การใช้งานเซ็นเซอร์มีหลากหลายตั้งแต่ระบบสมาร์ทโฮมไปจนถึงอุตสาหกรรมการผลิต โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Harb et al., 2018) เซ็นเซอร์เหล่านี้จะรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ และส่งไปยังระบบคลาวด์ หรือบางกรณีที่ต้องการ

การประมวลผลรวดเร็วจะใช้การประมวลผลที่ขอบเครือข่าย (Edge Computing) เพื่อลดเวลาแฝงในการประมวลผล (Medeiros & Fravel, 2010)

คุณภาพของข้อมูลที่เก็บจากเซ็นเซอร์เป็นสิ่งที่สำคัญในระบบ IoT หากข้อมูลไม่มีคุณภาพเพียงพอ เช่น มีสัญญาณรบกวน หรือข้อมูลที่หายไป การวิเคราะห์ข้อมูลอาจนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาด งานวิจัยหลายชิ้นได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล เช่น การลดสัญญาณรบกวน (Denoising) และการเติมข้อมูลที่หายไป (Harb et al., 2018; Silva & Neiva, 2020) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น

2.7.2.2 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence - AI) เป็นหัวใจสำคัญของ CIoT ที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน AI สามารถใช้ในการเรียนรู้จากข้อมูลเพื่อพัฒนาการตัดสินใจในอนาคต อีกทั้งยังช่วยในการทำนายเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ล่วงหน้า ระบบการตัดสินใจและการดำเนินการ (Decision Making and Actuation) เป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากที่ AI ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ระบบจะทำการตัดสินใจเกี่ยวกับการดำเนินการ เช่น การเปิดหรือปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า การปรับระดับแสง หรือการควบคุมระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลหรือคำสั่งกลับไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านระบบการสื่อสาร ทำให้เกิดการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว (Lu et al., 2018) การเชื่อมโยงเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับ Internet of Things (IoT) ได้สร้างความเปลี่ยนแปลงอย่างสำคัญในหลายด้านของเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดย AI สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ IoT นำไปสู่การสร้างสภาพแวดล้อมที่ชาญฉลาดและมีการตอบสนองที่แม่นยำ ในงานวิจัยโดย Ivanov และคณะ (2022) ได้แสดงให้เห็นว่า AI มีบทบาทสำคัญในการประมวลผลข้อมูลที่เกิดจากอุปกรณ์ IoT โดยเฉพาะการใช้ Machine Learning ในการตรวจจับและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาความสามารถในการคาดการณ์และตัดสินใจโดยอัตโนมัติในระบบต่าง ๆ

การประยุกต์ใช้ AI ใน IoT นั้น AI ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ในหลายสาขา เช่น การแพทย์ การเกษตร เมืองอัจฉริยะ และการผลิตอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในระบบสุขภาพที่ AI สามารถช่วยในการวินิจฉัยโรคผ่านการประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตามสัญญาณชีพต่าง ๆ ของผู้ป่วย (Chataut et al., 2023) AI ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลในระบบ IoT ผ่านการใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ในการสังเคราะห์และคาดการณ์ผลลัพธ์จากข้อมูลจำนวนมากที่มาจากเซ็นเซอร์ ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสู่ AIoTการรวมกันระหว่าง AI และ IoT ซึ่งเรียกว่า AIoT (Artificial Intelligence of Things) ได้ช่วยเสริมสร้างความสามารถในการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้เกิดการทำงานร่วมกันที่ดีขึ้นในระบบต่างๆ ตัวอย่างเช่น การใช้ AI ในเครือข่ายไร้สายเพื่อลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ IoT และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Ivanov et al., 2022) แม้ว่า AI จะเพิ่มขีดความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของ IoT แต่ยังมีเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญอีกหลายด้าน เช่น ความปลอดภัยของข้อมูล การใช้พลังงานที่จำกัด และความซับซ้อนในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับ AI ใน IoT การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบเซ็นเซอร์และการแก้ปัญหาเรื่องการส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพยังคงเป็นหัวข้อวิจัยที่สำคัญ (Perallos et al., 2020; Sun & Bai, 2022)

2.7.2.3 การจัดการข้อมูล (Data Management) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเก็บ การวิเคราะห์ และการจัดระเบียบข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในภายหลัง เพื่อการวิเคราะห์เพิ่มเติมหรือการพัฒนาระบบในอนาคต การจัดการข้อมูลนี้ยังครอบคลุมถึงการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการป้องกันการเข้าถึงข้อมูลที่ไม่เหมาะสม การป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์ และการรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย ระบบรักษาความปลอดภัยเหล่านี้ถูกบูรณาการเข้าไปในแพลตฟอร์มของ CIoT เพื่อรับรองว่าข้อมูลทั้งหมดจะได้รับการปกป้องและควบคุมอย่างปลอดภัย (Zaidi et al., 2014; J. Sens. Actuator Netw., 2020) ซึ่งการจัดการข้อมูล (Data Management) ในระบบ IoT มีหลายขั้นตอนที่ซับซ้อนและต้องการเทคโนโลยีหลากหลายเพื่อให้มีประสิทธิภาพ (Siow et al., 2021) ดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection): ข้อมูลถูกเก็บจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในเครือข่าย IoT ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบหลากหลาย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหว หรือเสียง

2. การสื่อสารข้อมูล (Data Communication) ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะถูกส่งผ่านเครือข่าย โดยผ่านโปรโตคอลสื่อสาร เช่น Wi-Fi, Bluetooth, 5G หรือ LoRa การเลือกโปรโตคอลขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลและความต้องการด้านพลังงานและระยะทาง

3. การจัดเก็บข้อมูล (Data Storage) เนื่องจากข้อมูลในระบบ IoT มีปริมาณมหาศาล การจัดเก็บข้อมูลต้องใช้เทคโนโลยีการจัดเก็บที่เหมาะสม เช่น คลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud Computing) หรือ Edge Computing โดยคลาวด์จะเหมาะกับการจัดเก็บข้อมูลระยะยาวและการประมวลผลขนาดใหญ่ ส่วน Edge Computing ช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้ใกล้แหล่งกำเนิดข้อมูล เพื่อลดเวลาแฝง

4. การประมวลผลข้อมูล (Data Processing) ข้อมูลที่เก็บได้ถูกนำไปประมวลผล ซึ่งอาจใช้เทคโนโลยี Machine Learning หรือ AI เพื่อวิเคราะห์และตอบสนองต่อข้อมูลแบบเรียลไทม์ เช่น การแจ้งเตือนการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ปกติในสภาพแวดล้อม หรือการควบคุมอุปกรณ์อัตโนมัติ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis): หลังจากที่ข้อมูลถูกจัดเก็บและประมวลผลแล้ว จะมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อหาความสัมพันธ์หรือแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์เชิงพยากรณ์ (Predictive Analytics) หรือการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analytics)

6. การแสดงผลข้อมูล (Data Visualization) ข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์จะถูกแปลงเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น กราฟหรือแผนภูมิ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการตัดสินใจหรือดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว การแสดงผลในรูปแบบนี้มีความสำคัญในการนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติ

ในการจัดการข้อมูลในเทคโนโลยี IoT (Data Management in IoT) การจัดการข้อมูลในระบบ Internet of Things (IoT) มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากอุปกรณ์จำนวนมากในระบบ IoT สร้างข้อมูลจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง การวิเคราะห์และจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้ต้องใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง งานวิจัยของ Marjani et al. (2022) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลใหญ่ใน IoT และแนะนำ

สถาปัตยกรรมใหม่เพื่อจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ ในขณะที่ Hajjaji et al. (2022) ได้สำรวจโครงสร้างพื้นฐานในการจัดเก็บข้อมูลและการประมวลผล รวมถึงการแบ่งประเภทการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นหลายขั้นตอน เช่น การวิเคราะห์เชิงพรรณนา การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ และการวิเคราะห์เชิงกำหนด

ในด้านของการประมวลผลและการจัดการข้อมูลใน IoT นั้นยังคงมีความท้าทายหลายประการ หนึ่งในปัญหาหลักคือการจัดเก็บข้อมูลในระบบที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร การใช้เทคโนโลยี NoSQL และระบบจัดเก็บไฟล์แบบกระจายเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการจัดการข้อมูลใหญ่ใน IoT (Fawzy et al., 2022) การจัดการข้อมูลใน IoT ยังรวมถึงกระบวนการที่ซับซ้อนหลายขั้นตอนตั้งแต่การเก็บรวบรวม การสื่อสาร การจัดเก็บ การประมวลผล และการวิเคราะห์ โดยมีเครื่องมือหลายอย่างที่ถูกพัฒนาเพื่อช่วยในแต่ละขั้นตอน (Ahmadova et al., 2021)

การจัดการข้อมูลใน IoT ยังคงมีประเด็นท้าทายที่สำคัญหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นความปลอดภัยของข้อมูล ความเร็วในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย นักวิจัยหลายท่านได้พยายามเสนอวิธีการใหม่ในการพัฒนาแพลตฟอร์มที่สามารถจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพใน IoT เช่น การใช้เทคโนโลยี blockchain ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและเพิ่มความปลอดภัย (Zhong et al., 2022)

อีกหนึ่งองค์ประกอบที่มีความสำคัญใน CIoT คือ ระบบคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนของระบบทางกายภาพที่มีอยู่จริง แบบจำลองนี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และทดสอบกระบวนการต่าง ๆ ได้ล่วงหน้าโดยไม่จำเป็นต้องมีการทดลองบนระบบจริง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มความแม่นยำในการปรับแต่งและตัดสินใจ นอกจากนี้ Digital Twin ยังสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงาน การผลิต และการบำรุงรักษา ทำให้เกิดการประหยัดทรัพยากรและลดการสูญเสียพลังงาน (Lu et al., 2018)

Cognitive IoT (CIoT) และ AIoT เป็นสองแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยี IoT แต่มีความแตกต่างในวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้การประมวลผลข้อมูลและการเรียนรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบโดย Cognitive IoT (CIoT) มุ่งเน้นไปที่การนำเทคนิคการประมวลผลแบบองค์รวมที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ เพื่อให้ระบบสามารถรับรู้ เรียนรู้ และปรับตัวตามสภาพแวดล้อมได้โดยมีการปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์น้อยที่สุด CIoT ใช้ Cognitive Computing ซึ่งเป็นการประมวลผลที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เครื่องจักรเข้าใจและตัดสินใจได้คล้ายคลึงกับมนุษย์ โดยการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ และใช้กระบวนการเรียนรู้ที่ซับซ้อน เช่น การใช้โมเดลการตัดสินใจเพื่อให้ระบบสามารถเข้าใจบริบทและทำการตัดสินใจในระดับสูงได้ (Zhang et al., 2012) CIoT ยังถูกออกแบบให้สามารถปรับปรุงการทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยการใช้ข้อมูลย้อนหลังและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเพื่อให้การตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Wu et al., 2014)

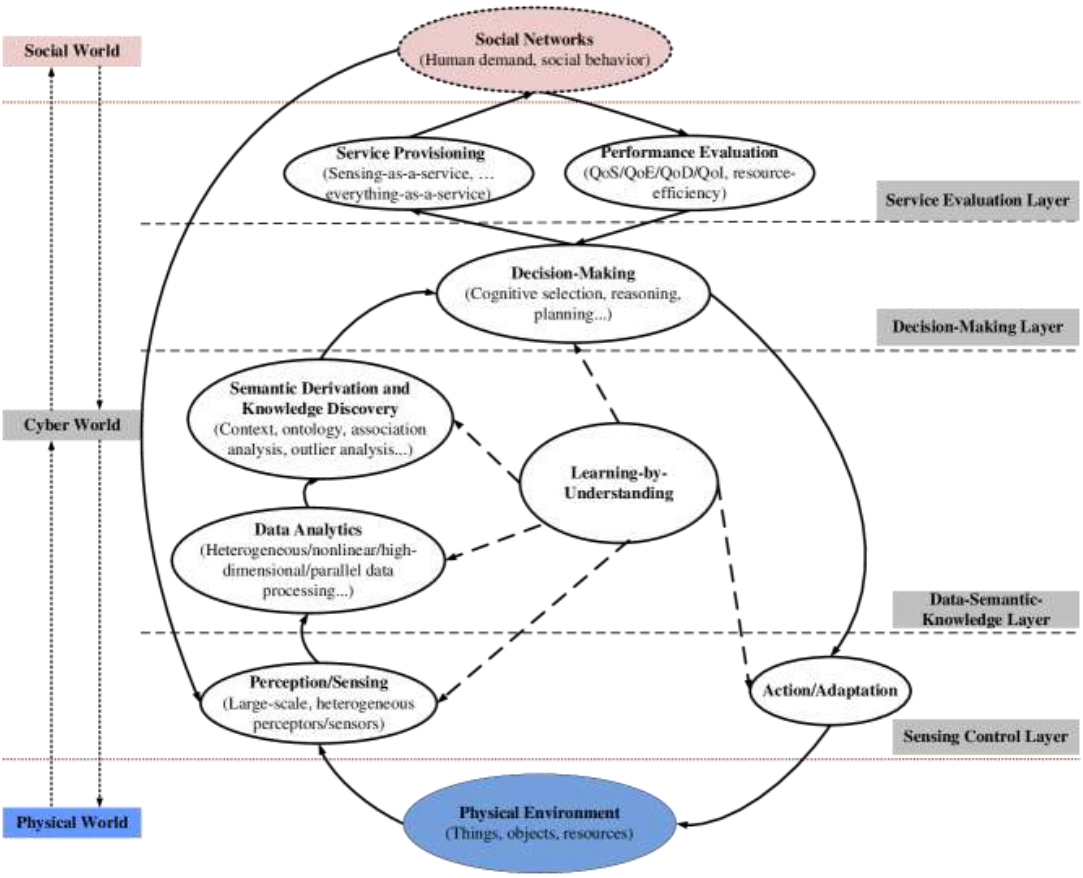
ในขณะที่ AIoT เป็นการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับ IoT ซึ่ง AI จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และเรียนรู้จากข้อมูลที่ IoT เก็บรวบรวมมา จากนั้นระบบสามารถตัดสินใจและดำเนินการ

โดยอัตโนมัติ AIoT มีความสามารถในการประมวลผลแบบเรียลไทม์ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ที่กระจายอยู่ทั่ว และใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) เพื่อสร้างระบบที่ฉลาดและตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jameel et al., 2021) ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์สมาร์ทโฮมที่สามารถปรับการทำงานตามพฤติกรรมของผู้ใช้ได้โดยไม่ต้องมีการตั้งค่าล่วงหน้า การวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และระบบมีความฉลาดมากขึ้นทุกครั้งที่ใช้งาน (Zhang et al., 2022)

สรุปได้ว่า CIoT มุ่งเน้นที่การพัฒนาแบบจำลองทางปัญญาที่เลียนแบบการคิดของมนุษย์และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเพื่อให้ระบบสามารถตัดสินใจอย่างชาญฉลาด ส่วน AIoT เป็นการผสมผสานระหว่าง AI และ IoT เพื่อให้ระบบสามารถเรียนรู้จากข้อมูลและปรับตัวได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งทั้งสองแนวคิดนี้มีความสำคัญในอนาคตของการพัฒนาเทคโนโลยีที่เชื่อมโยงสรรพสิ่งเข้าด้วยกัน การบูรณาการของเทคโนโลยี CIoT ทั้งหมดนี้ทำให้ระบบมีความสามารถในการปรับตัวและตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ CIoT ไม่เพียงแค่เชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ แต่ยังสามารถเรียนรู้และพัฒนาตัวเองเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและผู้ใช้งานได้อย่างชาญฉลาดและยั่งยืนในระยะยาว

2.7.3 สถาปัตยกรรมระบบของเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง

สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (Cognitive Internet of Things: CIoT) ถูกออกแบบมาเพื่อทำให้ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สามารถทำงานได้อย่างชาญฉลาด โดยการผสานเทคโนโลยีการประมวลผลทางปัญญาเข้าไปในโครงสร้างของระบบ IoT เพื่อให้การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบสามารถปรับตัว ตัดสินใจ และดำเนินการได้โดยอัตโนมัติ โครงสร้างของ CIoT ประกอบด้วย 4 ชั้นหลักที่มีการเชื่อมโยงและทำงานร่วมกันเพื่อสร้างระบบที่สามารถประมวลผลและตัดสินใจได้แบบอัตโนมัติ ชั้นแรกคือ ชั้นการควบคุมการรับรู้ (Sensing Control Layer) ซึ่งเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมผ่านการใช้เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูล โดยมีการเก็บข้อมูลที่ได้รับจากสิ่งรอบข้างมาใช้ในการประมวลผล ชั้นนี้ทำงานร่วมกับ ชั้นข้อมูล-ความหมาย-ความรู้ (Data-Semantic-Knowledge Layer) ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่ได้รับเป็นความหมายและความรู้เพื่อการวิเคราะห์เชิงลึก จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งต่อไปยัง ชั้นการตัดสินใจ (Decision-Making Layer) ซึ่งระบบจะใช้ข้อมูลเชิงลึกที่ได้มาในการตัดสินใจและดำเนินการตอบสนองที่เหมาะสม ทั้งนี้ การตัดสินใจจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพและจากผู้ใช้ ในชั้นสุดท้ายคือ ชั้นการประเมินผลและบริการ (Service Evaluation Layer) ซึ่งจะทำการประเมินผลของการดำเนินการและให้บริการตามความต้องการของผู้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โครงสร้างของ CIoT ช่วยให้เกิดการทำงานอย่างอัตโนมัติและอัจฉริยะ ลดการพึ่งพามนุษย์ในการตัดสินใจ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและทรัพยากร นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น การขนส่งอัจฉริยะและระบบเฝ้าระวังสุขภาพ (He et al., 2014; Sassi et al., 2021)



ภาพที่ 2-3 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีทางปัญญา (CIoT) (Q. Wu et al.,2014)

สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีทางปัญญา (CIoT) ที่แสดงในภาพสามารถอธิบายได้อย่างละเอียดดังนี้

ชั้นการควบคุมการรับรู้ (Sensing Control Layer) เป็นชั้นแรกของสถาปัตยกรรม CIoT ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพ (Physical Environment) เช่น วัตถุ อุปกรณ์ หรือทรัพยากร โดยใช้ Perception/Sensing (การรับรู้และการใช้เซ็นเซอร์) เพื่อเก็บข้อมูลจากสภาพแวดล้อม เช่น การรับข้อมูลจากอุณหภูมิ แสง หรือการเคลื่อนไหว เซ็นเซอร์เหล่านี้จะส่งข้อมูลที่เก็บได้ไปยังชั้นต่อไปเพื่อการประมวลผล He et al. (2014) กล่าวว่าการใช้การรับรู้ด้วยเซ็นเซอร์นี้ มีความสำคัญในระบบอัจฉริยะ เช่น ระบบขนส่งและเครือข่ายพลังงานอัจฉริยะ โดยข้อมูลที่ได้รับจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการควบคุมสภาพแวดล้อม

ชั้นข้อมูล-ความหมาย-ความรู้ (Data-Semantic-Knowledge Layer) ข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์จะถูกส่งมาที่ชั้นนี้ ซึ่งทำหน้าที่ Data Analytics (การวิเคราะห์ข้อมูล) เพื่อแปลงข้อมูลจำนวนมหาศาลให้เป็นความหมายและความรู้ (Semantic และ Knowledge) โดยใช้เทคนิคการประมวลผลที่ซับซ้อน เช่น การประมวลผลข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้นหรือการประมวลผลข้อมูลแบบขนาน

ซึ่งชั้นนี้จะช่วยให้ระบบสามารถรับรู้และเข้าใจสถานการณ์ในระดับที่ลึกขึ้น Zaidi et al. (2014) ระบุว่าการแปลงข้อมูลให้เป็นความรู้มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้ในระบบ CIoT ที่สามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์และปรับตัวตามสภาพแวดล้อมได้ทันที

ชั้นการตัดสินใจ (Decision-Making Layer) เมื่อระบบได้รับข้อมูลเชิงลึกและความหมายแล้ว ชั้นนี้จะทำหน้าที่ในการ Decision-Making (การตัดสินใจ) โดยใช้การเลือกที่เหมาะสม การใช้เหตุผลและการวางแผน เช่น ระบบสามารถเลือกการตอบสนองที่เหมาะสมจากข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์และการวิเคราะห์ เพื่อให้การตอบสนองในสภาพแวดล้อมเป็นไปตามที่ตั้งเป้าไว้ ระบบ CIoT นี้ทำให้เกิดการตัดสินใจที่ชาญฉลาดโดยมีพื้นฐานจากข้อมูลเชิงบริบท ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาการตัดสินใจของมนุษย์ Sassi et al. (2021) กล่าวถึงการนำชั้นการตัดสินใจมาใช้ในระบบสมาร์ทซิตี้เพื่อปรับตัวต่อสถานการณ์ได้อย่างอัตโนมัติ เช่น ในการจัดการทรัพยากรพลังงานและการขนส่ง

ชั้นการประเมินผลและการให้บริการ (Service Evaluation Layer) หลังจากการตัดสินใจในชั้นก่อนหน้านี้ ระบบจะทำการประเมินผลผ่านชั้นนี้โดยการ Service Provisioning (การให้บริการ) ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของ Everything-as-a-Service (EaaS) โดยบริการเหล่านี้จะถูกปรับให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานและประเมินผลด้วยตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่น QoS (Quality of Service) และ QoE (Quality of Experience) เพื่อตรวจสอบความสำเร็จของการดำเนินการและปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง He et al. (2014) ระบุว่าการประเมินผลนี้ช่วยให้ระบบสามารถปรับปรุงการให้บริการและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรได้ดีขึ้นในระยะยาว

การเรียนรู้ผ่านความเข้าใจ (Learning-by-Understanding) กระบวนการเรียนรู้เป็นหัวใจสำคัญของสถาปัตยกรรม CIoT โดยระบบจะสามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รับและปรับตัวให้ดีขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ระบบนี้จะใช้วิธีการ Learning-by-Understanding ซึ่งหมายความว่าระบบจะสามารถปรับปรุงความสามารถในการตัดสินใจและการให้บริการได้โดยอัตโนมัติตามการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมและข้อมูลที่เข้ามา Sassi et al. (2021) ระบุว่าการเรียนรู้นี้ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว

สรุปแล้ว สถาปัตยกรรมของ CIoT นั้นประกอบด้วยหลายชั้นที่ทำงานร่วมกันอย่างประสานสอดคล้องระหว่างโลกทางกายภาพ โลกไซเบอร์ และโลกทางสังคม โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N.Kaewrattanapat , P.Wannapiroon (2018) ได้ทำการวิจัยเรื่องแบบจำลององค์ประกอบของการจัดการนักศึกษาสัมพันธ์อัจฉริยะที่เกิดจากการสังเคราะห์แบบจำลองการ จัดการลูกค้าสัมพันธ์ทั้ง 4 แบบ คือ แบบจำลอง IDIC แบบจำลองโซ่มูลค่า (CRM Value Chain) แบบจำลองสมรรถนะของ Gartner (The Gartner’s Competency model: Eight Building Blocks of CRM) แบบจำลองกระบวนการบริหารลูกค้าสัมพันธ์ (DEAR Model) และทำการปรับปรุงให้เข้ากับบริบท

การจัดการนักศึกษาแรกเข้าสัมพันธ์ รวมถึงมีการผนวกเทคโนโลยอัจฉริยะ คือ การทำคลังข้อมูลส่วนต่อประสานผู้ใช้เชิงสนทนา ระบบพหุตัวแทน และจักรกลเรียนรู้ นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีเว็บเซอร์วิสมาใช้ในการสื่อสารเชิงเครื่องจักรกลด้วย แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เข้ากับบริบทของแต่ละ สถานศึกษาได้ ผู้เรียนจะได้รับประสบการณ์ที่ดีจากระบบการจัดการนักศึกษาสัมพันธ์อัจฉริยะ เกิดความพึงพอใจในการเรียนการ สอนและการใช้ชีวิตระหว่างที่ศึกษา รวมถึงเกิดความจงรักภักดีต่อสถานศึกษา และเมื่อสำเร็จการศึกษาเป็นบัณฑิตแล้วก็ยังคงมี ความรู้สึกผูกพันและต้องการมีส่วนร่วมในการพัฒนาสถานศึกษาทำให้เกิดเป็นวงจรการพัฒนาคุณภาพการศึกษาที่ส่งผลต่อความ มั่งคั่งของสถานศึกษาทั้งทางด้านงบประมาณ คุณภาพการจัดการเรียนการสอน อัตราการคงอยู่ของนักศึกษาและบุคลากร ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน

Song et al., (2012) ได้ทำการวิจัยเรื่อง ระบบการจัดการพลังงานอัจฉริยะใช้เทคโนโลยีการระบุอิมพีแดนซ์เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการใช้เครื่องตามความต้องการ (Intelligent Power Management System Based Impedance Identification Technology for Safety of Power Utilization) โดยการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีที่ใช้งานง่ายครอบคลุมระบบนวัตกรรมต่าง ๆ ที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการโต้ตอบกับผู้ใช้ความก้าวหน้าที่สำคัญ ได้แก่ ระบบการจัดการพลังงานอัจฉริยะที่ใช้การระบุอิมพีแดนซ์สำหรับการตรวจสอบอุปกรณ์ที่แม่นยำ และการจัดการพลังงานที่ใช้งานง่ายในอุปกรณ์สื่อสารที่เปิดใช้งานในระหว่างการโต้ตอบของผู้ใช้เท่านั้น

Hyung & Il, (2019) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจัดการพลังงานอัจฉริยะ (IPM) ใช้การควบคุมแบบปรับตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของพลังงานและการไหลของอากาศของคอมเพรสเซอร์ในระบบเซลล์เชื้อเพลิง/แบตเตอรี่ เพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิภาพตามโหลดและสถานะแบตเตอรี่ การจัดการพลังงานอัจฉริยะสำหรับระบบไฮบริดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของพลังงานและการจ่ายอากาศตามสภาพแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ระบบการจัดการพลังงานที่ทันสมัยรวมการจัดเก็บแบตเตอรี่และการควบคุมการชาร์จเพื่อให้แน่ใจว่ามีการกระจายพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะมีความก้าวหน้าเหล่านี้ แต่ความท้าทายยังคงอยู่ในการบรรลุความเข้ากันได้สากลและการยอมรับระบบดังกล่าวของผู้ใช้ซึ่งอาจขัดขวางการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในภาคส่วนต่างๆ

Hassine, (2024) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Internet of Intelligent Things (IoIT) ผสานรวม IoT และ AI ทำให้วัตถุทางกายภาพกลายเป็นอัจฉริยะ มีสติและมุ่งมั่นในวัตถุประสงค์ร่วมกัน เชื่อมโยงเทคโนโลยีกับสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีทางปัญญาโดยเฉพาะอย่างยิ่งผ่านการบูรณาการของ Internet of Things (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) อำนวยความสะดวกในการเชื่อมโยงอุปกรณ์และแหล่งข้อมูลต่าง ๆ การเชื่อมต่อนี้ช่วยให้สามารถสร้างเครือข่ายอัจฉริยะที่สามารถวิเคราะห์ ทำนายและควบคุมสถานะของอุปกรณ์หลายพันล้านเครื่อง ปฏิวัติปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและสิ่งแวดล้อม แนวคิดของ Internet of Intelligent Things (IOIT) เน้นการสร้างมนุษยชาติของวัตถุทางกายภาพ ทำให้สามารถทำงานโดยมีวัตถุประสงค์ร่วมและความสามารถในการปรับตัว นอกจากนี้ แบบจำลองกราฟเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการประมวลผลข้อมูลที่เชื่อมโยงแบบไดนามิกที่สร้างขึ้นโดยเทคโนโลยีเหล่านี้ เนื่องจากระบบข้อมูลขนาดใหญ่แบบดั้งเดิมต้องต่อสู้กับการวิเคราะห์

แบบเรียลไทม์ โดยรวมแล้วการทำงานร่วมกันระหว่าง IoT และ AI ช่วยเพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ทำให้ตอบสนองและชาญฉลาดมากขึ้นในการโต้ตอบกับโลก

Tien-Wen Sung (2021) ได้ทำการวิจัยเรื่อง เทคโนโลยีและแอปพลิเคชันปัญญาประดิษฐ์ของสรรพสิ่ง (Artificial Intelligence of Things technologies and applications) ได้พบว่า การผสานรวมระหว่างปัญญาประดิษฐ์ (AI) และอินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (IoT) หรือที่เรียกว่า AIoT เป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดจากอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันผ่านเครือข่าย การประมวลผลข้อมูลจำนวนมากที่รวบรวมได้จาก IoT ผ่าน AI ช่วยให้สามารถทำการตัดสินใจและแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว AIoT ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น การดูแลสุขภาพอัจฉริยะ การจัดการพลังงาน และการตรวจสอบความปลอดภัย ซึ่งมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาที่ท้าทายในด้าน AIoT ไว้หลายเรื่อง เช่น การพัฒนาเทคนิคการจับคู่ความหมายของข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูลภาพและวิดีโอด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และการปรับปรุงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเซ็นเซอร์ นอกจากนี้ ยังมีการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับปัญหาในระบบเซ็นเซอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ AIoT ในสภาพแวดล้อมจริงอย่างไรก็ตาม AIoT ยังเผชิญกับความท้าทาย เช่น ความซับซ้อนของระบบ ความสามารถในการขยายขนาด และความแม่นยำของการวิเคราะห์ ซึ่งนักวิจัยได้พยายามพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เช่น การพัฒนาเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องและการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงลึก งานวิจัยในหัวข้อนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการประมวลผลข้อมูลของ AIoT เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในยุคดิจิทัลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

Liu, Y., Xu, X., & Yang, S. (2020) ได้ทำวิจัยเรื่อง การใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานในอาคาร ผลการวิจัยพบว่า การเชื่อมโยงระบบเซ็นเซอร์ IoT สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้มากกว่า 15% โดยการปรับตัวตามสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คืออาคารอัจฉริยะในประเทศจีน ข้อค้นพบชี้ว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติช่วยลดความซับซ้อนในการจัดการพลังงาน แต่ข้อจำกัดคือค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซ็นเซอร์และระบบยังคงสูงอยู่

Wang, H., Chen, Y., & Li, Z. (2021) ได้ทำวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้ AI และ IoT ในการจัดการพลังงานอัจฉริยะในเครือข่ายพลังงานไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถทำนายการใช้พลังงานล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำและช่วยในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนการใช้งานพลังงาน ข้อจำกัดที่พบคือความเสี่ยงในการโจมตีทางไซเบอร์ที่เพิ่มขึ้น

Patel, M., Singh, K., & Gupta, A. (2019) ได้ทำวิจัยเรื่อง การบูรณาการ IoT และระบบคลาวด์ในระบบจัดการพลังงาน ผลการวิจัยพบว่า การใช้ระบบคลาวด์สามารถจัดเก็บข้อมูลพลังงานจากเซ็นเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การวิเคราะห์พลังงานสามารถทำได้แบบเรียลไทม์ และช่วยลดการสูญเสียพลังงาน ข้อจำกัดคือความท้าทายในการเชื่อมต่อและความเสถียรของเครือข่ายในพื้นที่ห่างไกล

Kim, J., Park, S., & Choi, H. (2022) ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาแพลตฟอร์ม IoT เพื่อการจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถช่วยลดต้นทุนพลังงานได้มากถึง

20% ผ่านการควบคุมอุปกรณ์และเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ ข้อเสนอแนะคือการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านความปลอดภัยของข้อมูลเพื่อป้องกันปัญหาการถูกโจมตีจากภายนอก

Zhang, W., Liu, Q., & Gao, X. (2018) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบ IoT สำหรับการตรวจสอบและจัดการพลังงานไฟฟ้าในเมืองอัจฉริยะ ผลการวิจัยพบว่า การใช้เครือข่าย IoT สามารถช่วยในการตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงานในเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการจัดการพลังงานในอาคารสูง ข้อจำกัดคือความซับซ้อนในการติดตั้งเครือข่าย IoT ในพื้นที่เมือง

Silva, T., Costa, P., & Santos, R. (2021) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบควบคุมพลังงานในบ้านอัจฉริยะผ่าน IoT ผลการวิจัยพบว่า การใช้ IoT ในบ้านสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 10% ผ่านการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ข้อเสนอแนะคือการปรับปรุงโครงสร้างระบบเพื่อรองรับอุปกรณ์ใหม่ ๆ ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต

Alam, M., Reaz, M., & Ali, M. (2019) ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาแพลตฟอร์ม IoT สำหรับการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริด ผลการวิจัยพบว่า ระบบ IoT ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรพลังงานระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคในระบบไมโครกริด ทำให้การใช้งานพลังงานมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ข้อค้นพบชี้ให้เห็นถึงการปรับตัวของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการพลังงาน ข้อจำกัดที่พบคือความซับซ้อนในการควบคุมเครือข่ายไมโครกริดขนาดใหญ่

Verma, S., Kaur, H., & Singh, P. (2020) ได้ทำวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบจัดการพลังงานในอาคารโดยใช้ IoT และการเรียนรู้ของเครื่อง ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องสามารถทำนายรูปแบบการใช้พลังงานและปรับแต่งระบบให้เหมาะสม ข้อจำกัดคือการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ IoT เองอาจส่งผลต่อความสมดุลของระบบ

Garcia, M., Fernández, J., & Torres, R. (2022) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบการจัดการพลังงานแบบอัตโนมัติในโครงสร้างพื้นฐานการคมนาคมด้วย IoT ผลการวิจัยพบว่า IoT ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงานในสถานีขนส่งและสถานีไฟฟ้า โดยช่วยลดการใช้พลังงานลงอย่างมีนัยสำคัญ ข้อจำกัดที่พบคือการจัดการกับความท้าทายด้านความปลอดภัยข้อมูล

Kumar, N., Mishra, P., & Jha, V. (2021) ได้ทำวิจัยเรื่อง การใช้ IoT ในการจัดการพลังงานที่ยั่งยืนในอาคารพาณิชย์ ผลการวิจัยพบว่า ระบบ IoT สามารถวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยลดการสูญเสียพลังงานได้อย่างมาก กลุ่มตัวอย่างเป็นอาคารพาณิชย์หลายแห่งในอินเดีย ข้อจำกัดที่พบคือการขาดความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการติดตั้งเทคโนโลยีนี้ในหลายภูมิภาค

Gupta, R., Thakur, A., & Sharma, D. (2018) ได้ทำวิจัยเรื่อง การใช้ IoT และ Big Data ในการจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะ ผลการวิจัยพบว่า การผสมผสานข้อมูลจาก IoT และการวิเคราะห์ Big Data สามารถช่วยคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานและปรับการจัดการพลังงานในเมืองอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อค้นพบแสดงถึงความสามารถในการประหยัดพลังงานในระดับเมือง ข้อจำกัดคือความซับซ้อนในการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่

Huang, L., Wang, S., & Zhang, Y. (2023) ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมพลังงานแบบเรียลไทม์ในโรงงานผลิตด้วยเทคโนโลยี IoT ผลการวิจัยพบว่า การใช้ IoT ช่วยเพิ่มความสามารถในการควบคุมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ลดการสูญเสียพลังงานในเครื่องจักร ข้อจำกัดที่พบคือความเสี่ยงจากการโจมตีทางไซเบอร์ที่เพิ่มขึ้นจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์

Choudhury, A., Bhattacharya, S., & Roy, P. (2019) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบ IoT สำหรับการจัดการพลังงานในบ้านอัจฉริยะที่ใช้แหล่งพลังงานทางเลือก ผลการวิจัยพบว่า IoT ช่วยในการจัดการพลังงานจากแหล่งพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และลม ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก ข้อจำกัดคือความสามารถในการปรับตัวของระบบต่อสภาวะอากาศที่ไม่แน่นอน

Reddy, P., Sharma, G., & Kumar, V. (2022) ได้ทำวิจัยเรื่อง การนำ IoT มาใช้ในระบบการจัดการพลังงานโรงเรียนอัจฉริยะ ผลการวิจัยพบว่า การใช้เซ็นเซอร์ IoT และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงเรียนลงถึง 12% โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า ข้อเสนอแนะคือการพัฒนาระบบ AI เพื่อทำนายความต้องการใช้พลังงานในอนาคตเพื่อการจัดการที่ดียิ่งขึ้น ข้อจำกัดคือการขาดแคลนทรัพยากรบุคคลที่เชี่ยวชาญในการจัดการระบบดังกล่าวในโรงเรียนขนาดเล็ก

Zhou, Y., Li, X., & Wang, D. (2020) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในเครือข่ายอุตสาหกรรมอัจฉริยะโดยใช้ IoT ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งระบบ IoT ในเครือข่ายการผลิตอุตสาหกรรมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการใช้พลังงานโดยลดการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิตลงถึง 18% ข้อจำกัดที่พบคือความซับซ้อนในการเชื่อมต่อระบบ IoT ระหว่างเครื่องจักรในโรงงาน

Ibrahim, H., Qureshi, A., & Khan, M. (2021) ได้ทำวิจัยเรื่อง การใช้ระบบ IoT เพื่อการจัดการพลังงานแบบกระจายตัวในชุมชนเมืองอัจฉริยะ ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้ง IoT ในพื้นที่สาธารณะและอาคารในชุมชนเมืองสามารถทำให้การควบคุมพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการจัดสรรพลังงานตามการใช้งานจริง ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น ข้อจำกัดที่พบคือความท้าทายในการรักษาความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูล

Singh, R., Gupta, P., & Agarwal, S. (2019) ได้ทำวิจัยเรื่อง การผสมผสาน IoT และพลังงานทดแทนในการจัดการพลังงานแบบอัตโนมัติในบ้านอัจฉริยะ ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ IoT สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านได้มากถึง 20% ข้อจำกัดคือการติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์ IoT อาจมีค่าใช้จ่ายสูง

Ahmed, S., Khan, A., & Malik, R. (2020) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบจัดการพลังงานในเมืองอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยี IoT และการเรียนรู้ของเครื่อง ผลการวิจัยพบว่า การรวมการวิเคราะห์ข้อมูล IoT กับการเรียนรู้ของเครื่องช่วยให้สามารถคาดการณ์และปรับการใช้พลังงานตามลักษณะของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อจำกัดคือความซับซ้อนในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อปรับตัวให้เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่หลากหลาย

Xie, M., Yu, J., & Zhang, F. (2023) ได้ทำวิจัยเรื่อง การออกแบบระบบจัดการพลังงาน IoT สำหรับเมืองที่มีการใช้พลังงานทดแทน ผลการวิจัยพบว่า ระบบ IoT ช่วยปรับสมดุลการใช้งานพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนเช่นพลังงานลมและแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งไฟฟ้าแบบดั้งเดิมได้ ข้อจำกัดคือความยากลำบากในการผสานระบบ IoT เข้ากับโครงสร้างพื้นฐานพลังงานเดิมในบางพื้นที่

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่องระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ครั้งนี้เป็นการวิจัยประเภทการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ การดำเนินการวิจัย แบ่งออกตามรายการวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

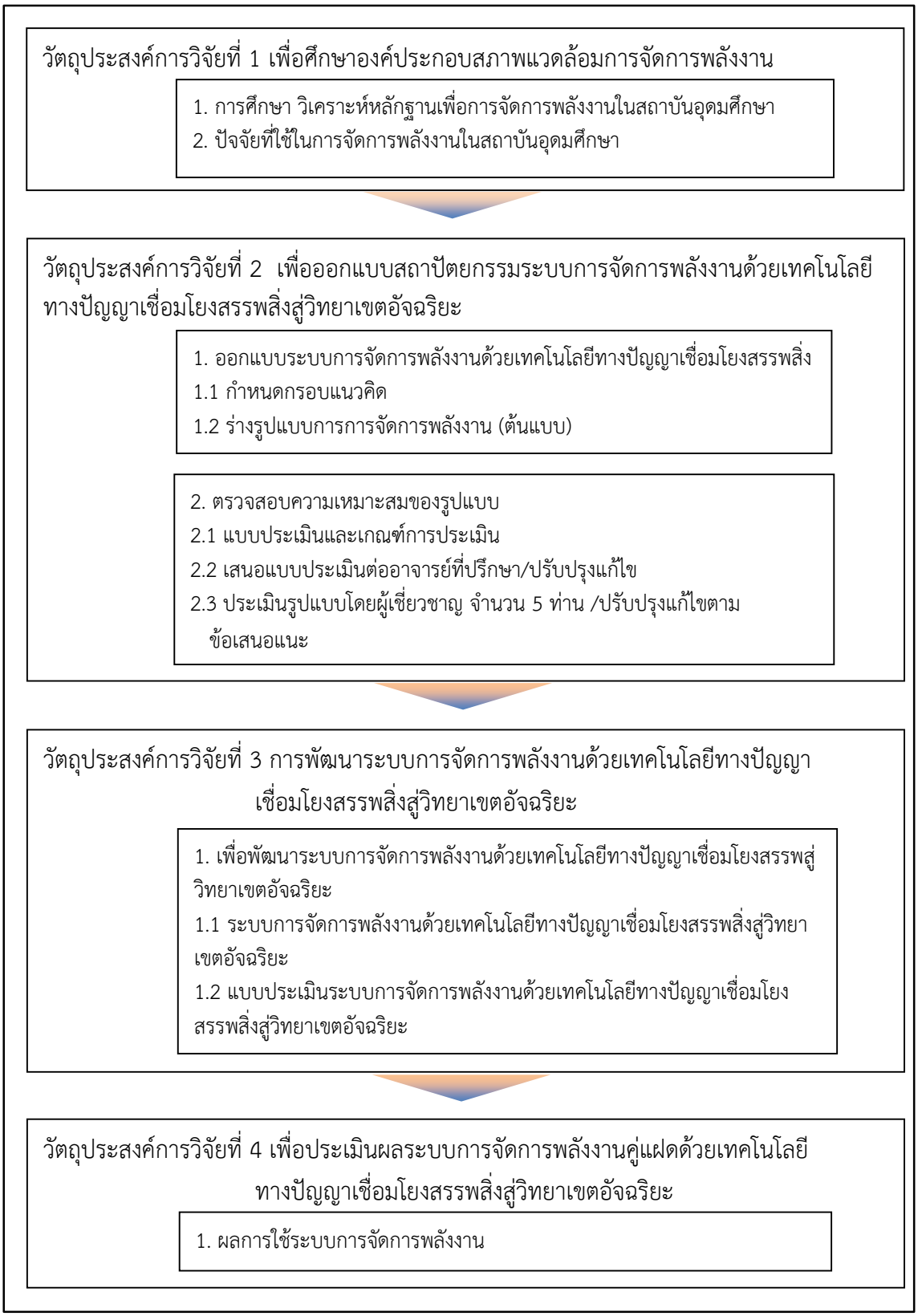
3.1 การศึกษาองค์ประกอบสภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา

3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.3 การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.4 การประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

การดำเนินงานวิจัยตามรายการวัตถุประสงค์ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 การดำเนินงานวิจัยตามรายการวัตถุประสงค์

ตารางที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ระยะ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	วิธีการ	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
ระยะที่ 1	เพื่อศึกษาองค์ประกอบสภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา	(1) ทบทวนวรรณที่เกี่ยวข้อง (2) สังเคราะห์องค์ประกอบของการจัดการพลังงานในวิทยาเขต (3) สังเคราะห์องค์ประกอบของระบบการจัดการพลังงาน	1. องค์ประกอบของการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา 2. กระบวนการในการจัดการพลังงาน
ระยะที่ 2	ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	(1) ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะตามองค์ประกอบของระบบที่ได้จากการสังเคราะห์ (2) สร้างแบบประเมินสถาปัตยกรรมฯ (3) ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินแบบประเมินสถาปัตยกรรมฯ ที่ออกแบบ (4) ผู้เชี่ยวชาญประเมินสถาปัตยกรรมที่ออกแบบ จำนวน 5 ท่าน	สถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
ระยะที่ 3	พัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	(1) พัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ (2) สร้างแบบประเมินระบบฯ (3) ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินแบบประเมินระบบ ฯ ที่ออกแบบ (4) ผู้เชี่ยวชาญประเมินระบบที่ออกแบบ	ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
ระยะที่ 4	ประเมินผลการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	(1) สร้างเครื่องมือประเมินผลการใช้งานระบบฯ (2) ผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด (3) นำไปใช้กับมหาวิทยาลัยที่เป็นกลุ่มตัวอย่างจริง (4) ประเมินผลการจัดการพลังงานคู่แฝดตามแบบประเมินที่สร้างขึ้น (5) สรุปผลการประเมินฯ ประเมินผลการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ	ประเมินผลการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.1 การศึกษาองค์ประกอบสภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา

3.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.1.1 การวิเคราะห์เอกสารจากงานวิจัยเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด

3.1.1.2 การวิเคราะห์จากเกณฑ์การวัดการจัดการพลังงาน

3.1.2 การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล

3.1.2.1 แบบสอบถามเชิงสำรวจและสังเคราะห์ในลักษณะของการวิเคราะห์การจัดการพลังงาน เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการพัฒนาระบบ

3.1.2.2 เอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.3.1 ศึกษาเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และบทความวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด และนำมาร่างแบบบันทึกรายการสังเคราะห์ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1.3.2 สังเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาเอกสารตำรา บทความทางวิชาการ และบทความวิจัย ที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทั้งแนวคิด ทฤษฎีโดยทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาในลักษณะของการวิเคราะห์เอกสาร (Content Analysis) เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหา เบื้องต้นในการพัฒนาระบบ และนำไปสร้างแบบสอบถาม

3.1.4 การประเมินปัจจัยระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.1.5 การศึกษาวิเคราะห์หลักฐานเพื่อการจัดการพลังงาน

หลักฐานเพื่อการจัดการพลังงาน หลักฐานการจัดการพลังงานซึ่งประกอบไปด้วย การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน และการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

ตารางที่ 3-2 การสังเคราะห์องค์ประกอบสภาพแวดล้อมในการจัดการพลังงาน

Energy management area in the Smart Campus	Electricity	Water	Temperature	Humidity	Sound	PM2.5 Pollution	Vibration	Smoke	Light	presence
Classroom	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
laboratory	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Learning Workspace	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Library Area	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Meeting room	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Counseling Center	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pedestrian	✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓
Office	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Research center	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Meeting room	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sports stadium	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
Canteen	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Toilet	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓

3.1.5.1 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน

การสังเคราะห์องค์ประกอบของการจัดการพลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบสำคัญในการจัดการพลังงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างรอบด้าน โดยมีการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านการตีพิมพ์ในแหล่งต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างภาพรวมของปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อการจัดการพลังงานในระบบอัจฉริยะ งานวิจัยเหล่านี้ครอบคลุมการจัดการพลังงานในหลากหลายมิติ ทั้งในด้านการใช้ทรัพยากรพลังงาน การควบคุมและลดการใช้พลังงาน รวมไปถึงการพิจารณาผลกระทบทาง

สิ่งแวดล้อมและการใช้เทคโนโลยีในการบริหารจัดการ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาวิทยาเขตอัจฉริยะในปัจจุบัน ซึ่งมีผลการสังเคราะห์แสดงองค์ประกอบโดยมีที่มาจากผู้วิจัยหลายท่านดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-3 การสังเคราะห์องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน

องค์ประกอบในการจัดการพลังงาน	Agbajor, F.D., Mewomo, M.C., Makanjuola, S.A. (2023)	Li, D., Zuo, X., Zhang, X., (2023)	k Ilber Sirmatel (2023)	Mussawar, O., Mayyas, A., Azar (2022)	Hoda Ahmadinejad (2023)	FranCo, A., Miserocchi, L., Testi, D. (2023)	Ghaleb, B., Abbasi, S.A., Asif, M. (2020)	SCott, C., Ahsan, M., Albarbar, A. (2024)	Khan, N., Khan, S.U., Baik, S.W. (2023)
ไฟฟ้า				✓	✓	✓	✓	✓	✓
ประปา	✓		✓	✓	✓	✓			✓
Co2 อุณหภูมิ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ความชื้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
เสียง	✓	✓	✓				✓	✓	
มลภาวะ PM2.5	✓	✓	✓						
ความสั่นไหว	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ควัน		✓	✓	✓	✓				
แสง	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
ตำแหน่ง		✓	✓	✓		✓	✓	✓	

3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1.1 การวิเคราะห์เอกสารจากงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.2.2 การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล

3.2.2.1 แบบสอบถามเชิงสังเคราะห์ในลักษณะของการวิเคราะห์เนื้อหา เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการพัฒนาแบบจำลองการการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

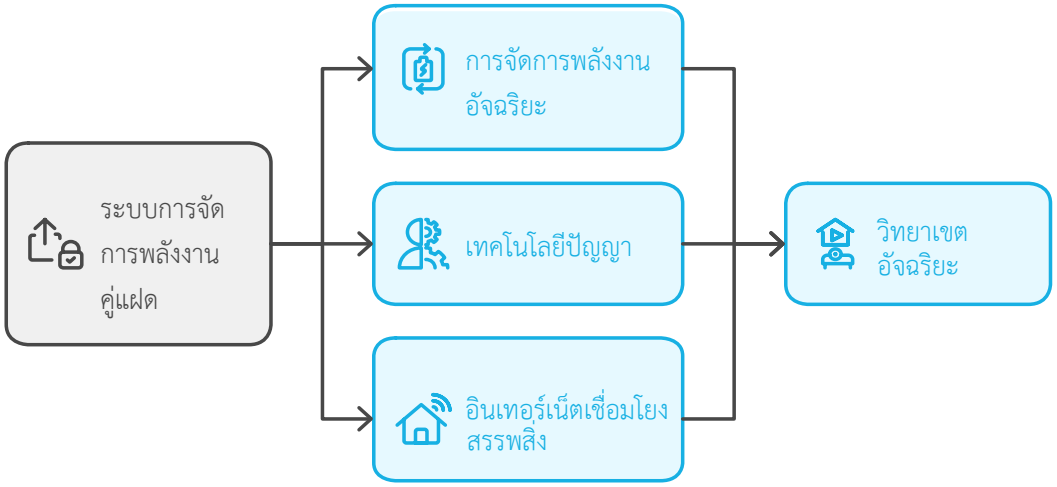
3.2.2.2 เอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.3.1 ศึกษาเอกสาร ตำรา บทความทางวิชาการ และบทความวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะและนำมาร่างแบบบันทึกรายการสังเคราะห์ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.2.3.2 สังเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาเอกสารตำรา บทความทางวิชาการ และบทความวิจัย ที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทั้งแนวคิด ทฤษฎีโดยทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาในลักษณะของการวิเคราะห์เอกสาร (Content Analysis) เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหา เบื้องต้นในการพัฒนาระบบ และนำไปสร้างแบบสอบถาม

3.2.4 การศึกษาและสังเคราะห์กรอบแนวคิดของระบบกการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ



ภาพที่ 3-2 กรอบแนวคิดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

จากภาพกรอบแนวคิดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะแสดงถึงแนวคิดทฤษฎีของการวิจัย โดยจุดเริ่มต้นอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2 ส่วน ส่วนแรกประกอบไปด้วย การจัดการพลังงาน เทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์เพื่อพัฒนาการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ จากนั้นนำระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดไปรวมกับเทคโนโลยีปัญญาทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์การพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะในรูปแบบแอพพลิเคชั่นสำหรับการใช้เป็นเครื่องมือในด้านการให้ การติดตามตรวจสอบ และการประเมินผลจากปัจจัยที่ใช้ในการใช้พลังงาน และทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายซึ่งก็คือ ผลการประเมินการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3.3 การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ (System Development Life Cycle: SDLC) เพื่อรับประกันว่าโครงการพัฒนาระบบจะสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ กระบวนการนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis)

ขั้นตอนแรกในการพัฒนาระบบคือการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งในกรณีนี้หมายถึงการวิเคราะห์ความต้องการพลังงานในวิทยาเขต การจัดการพลังงานเป็นระบบที่มีความซับซ้อน ดังนั้นการระบุความต้องการอย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ความต้องการประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้งานผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายเทคนิคและผู้บริหารวิทยาเขต เพื่อให้เข้าใจถึงความคาดหวังของผู้ใช้งาน เช่น การลดการใช้พลังงาน หรือการปรับปรุงการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และจัดทำเป็นเอกสารความต้องการ (Requirement Document) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบ

3.3.2 การออกแบบระบบ (System Design)

หลังจากที่มีการระบุความต้องการอย่างชัดเจน ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบระบบ ซึ่งจะเป็นการแปลงความต้องการเหล่านั้นให้เป็นโครงสร้างทางเทคนิคที่สามารถพัฒนาได้ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ (System Architecture) ซึ่งเน้นการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์ IoT ต่าง ๆ ภายในวิทยาเขตกับระบบการจัดการพลังงานที่ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ นอกจากนี้ยังรวมถึงการออกแบบฐานข้อมูล (Database Design) ที่จะเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface Design) และการออกแบบโมดูลทางเทคนิคอื่น ๆ การออกแบบจะต้องคำนึงถึงความยืดหยุ่นและสามารถปรับปรุงได้ในอนาคต รวมถึงการเชื่อมต่อกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่อาจถูกนำมาใช้ในวิทยาเขตอัจฉริยะ

3.3.3 การพัฒนาระบบ (System Development)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำการออกแบบระบบมาพัฒนาเป็นโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้จริง การพัฒนาระบบจะเน้นไปที่การสร้างโค้ดและการเขียนโปรแกรมที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT

ในการตรวจวัดการใช้พลังงาน การพัฒนาจะรวมถึงการเขียนโปรแกรมที่สามารถประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านระบบ IoT และนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผลโดยใช้เทคโนโลยีทางปัญญา (AI) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้พลังงานได้อย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เป็นมิตรและง่ายต่อการใช้งาน โดยการพัฒนาทั้งหมดจะอยู่ภายใต้กรอบเวลาและงบประมาณที่กำหนด

3.3.4 การทดสอบระบบ (System Testing)

หลังจากการพัฒนาเสร็จสิ้น ระบบจะต้องผ่านการทดสอบอย่างละเอียดเพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานได้ตามที่ออกแบบและไม่มีข้อผิดพลาด ขั้นตอนการทดสอบระบบแบ่งออกเป็นหลายส่วน เช่น การทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบ (Functionality Testing) เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานได้ครบถ้วนตามความต้องการ การทดสอบการใช้งานของผู้ใช้ (User Acceptance Testing) เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้ตามที่คาดหวัง และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (Performance Testing) เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถรับภาระงานและจัดการข้อมูลปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากพบข้อผิดพลาดในขั้นตอนนี้ จะมีการแก้ไขและทดสอบใหม่จนกว่าระบบจะทำงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

3.3.5 การติดตั้งและดำเนินการใช้งาน (Implementation and Deployment)

เมื่อระบบผ่านการทดสอบและได้รับการยืนยันว่าทำงานได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนถัดไปคือการนำระบบไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง การติดตั้งระบบการจัดการพลังงานจะต้องดำเนินการอย่างรอบคอบเพื่อให้มั่นใจว่าการเปลี่ยนแปลงจากระบบเดิมไปยังระบบใหม่จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของวิทยาเขต นอกจากนี้ยังต้องมีการฝึกอบรมผู้ใช้งานเพื่อให้เข้าใจวิธีการใช้งานระบบได้อย่างถูกต้อง และมีการจัดเตรียมเอกสารประกอบการใช้งาน (User Manual) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ระบบได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

3.3.6 การบำรุงรักษา (Maintenance)

หลังจากการติดตั้งระบบและการนำไปใช้งานแล้ว ระบบจะต้องได้รับการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มั่นใจว่าระบบยังคงทำงานได้ตามที่ออกแบบ การบำรุงรักษาระบบจะรวมถึงการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ IoT และซอฟต์แวร์เป็นประจำ การปรับปรุงระบบเพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีหรือความต้องการของผู้ใช้ และการแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงการพัฒนาและอัปเดตฟีเจอร์ใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในอนาคต นอกจากนี้ยังมีการจัดทำรายงานเกี่ยวกับการบำรุงรักษาและประสิทธิภาพของระบบเป็นระยะ ๆ เพื่อให้มีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไปอย่างยั่งยืน

3.4 การประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ในการใช้งานการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ที่พัฒนาขึ้น โดยที่เครื่องมือประเมินความเหมาะสมของระบบจากผู้เชี่ยวชาญ ก่อนนำมาทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านพลังงานและการพัฒนาระบบ

จำนวน 5 ท่าน โดยเป็นผู้ที่เชี่ยวชาญด้านการจัดการพลังงาน และที่มีประสบการณ์ในด้านการพัฒนาระบบมาอย่างน้อย 5 ปี โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) สร้างเครื่องมือประเมินผลการใช้งานระบบฯ

(2) ผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด

(3) นำไปใช้กับมหาวิทยาลัยที่เป็นกลุ่มตัวอย่างจริง

(4) ประเมินผลการจัดการพลังงานคู่แฝดตามแบบประเมินที่สร้างขึ้น

(5) สรุปผลการประเมินฯ ประเมินผลการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

การดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์การวิจัยที่ 4 นี้ เขียนแสดงเป็นภาพได้ดังแสดงในภาพที่ 3-3

ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการประเมินเพื่อรับรองระบบการพลังงานคู่แฝด

ขั้นตอนการประเมินเพื่อรับรองระบบการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยง มีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของการใช้การพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ โดยมีข้อปรับปรุงเกี่ยวกับ

2. นำเสนอระบบให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบระบบและด้านการจัดการพลังงาน ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง โดยเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านที่เกี่ยวข้อง มีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปี ทำการประเมินเพื่อรับรองระบบการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินเพื่อรับรองการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

4. การประเมินเพื่อรับรองการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อระบบฯ ที่พัฒนาขึ้น

5. การพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะที่ผ่านการรับรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ

3.4.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและความพึงพอใจ ดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad 3\text{-}7$$

เมื่อ $\overline{X}$ คือ คะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง

การแปลความหมายของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ มีรายละเอียดดังนี้

ค่าเฉลี่ยคะแนนตั้งแต่	4.51-5.00	หมายถึง	เห็นด้วยมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยคะแนนตั้งแต่	3.51-4.50	หมายถึง	เห็นด้วยมาก
ค่าเฉลี่ยคะแนนตั้งแต่	2.51-3.50	หมายถึง	เห็นด้วยปานกลาง
ค่าเฉลี่ยคะแนนตั้งแต่	1.51-2.50	หมายถึง	เห็นด้วยน้อย
ค่าเฉลี่ยคะแนนตั้งแต่	1.00-1.50	หมายถึง	เห็นด้วยน้อยที่สุด

ในงานวิจัยนี้มีเกณฑ์ในการพิจารณาระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและความพึงพอใจแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ดังนี้

ระดับความเหมาะสม	ความหมาย
5	มีความเหมาะสมมากที่สุด
4	มีความเหมาะสมมาก
3	มีความเหมาะสมปานกลาง
2	มีความเหมาะสมน้อย
1	มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

3.4.1.1 การคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ล้วนและอังคณา, 2538 : 79)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}} \qquad 3\text{-}8$$

เมื่อ $S.D$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
X คือ คะแนนแต่ละตัวในกลุ่มตัวอย่าง
$\bar{X}$ คือ คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
N คือ จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง

3.4.1.2 การวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์ (ล้วน และอังคณา, 2538)

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \qquad 3\text{-}9$$

เมื่อ IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง
$\sum R$ คือ ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

เกณฑ์การแปลความหมายดัชนีความสอดคล้อง มีดังนี้

0.50	ถึง 1.00	หมายถึง	สอดคล้อง
-0.50	ถึง 0.49	หมายถึง	ไม่แน่ใจ
-1.00	ถึง -0.49	หมายถึง	ไม่สอดคล้อง

ในงานวิจัยนี้มีเกณฑ์ในการพิจารณาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญแบบมาตราส่วนประเมินค่า 3 ระดับ (Rating Scale) ดังนี้

ระดับ +1 หมายถึง ท่านมีความคิดเห็นว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์
ระดับ 0 หมายถึง ท่านไม่มีความคิดเห็นหรือไม่แน่ใจในคำถามข้อนั้น
ระดับ -1 หมายถึง ท่านมีความคิดเห็นว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ” เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยในการนำเสนอผลการวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาองค์ประกอบสภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา

ตอนที่ 2 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ตอนที่ 3 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ตอนที่ 4 ผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

4.1 ศึกษาองค์ประกอบของการจัดการพลังงาน

การศึกษาองค์ประกอบของการจัดการพลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบสำคัญในการจัดการพลังงานถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างรอบด้าน โดยมีการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านการตีพิมพ์ในแหล่งต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างภาพรวมของปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญต่อการจัดการพลังงานในระบบอัจฉริยะ งานวิจัยเหล่านี้ครอบคลุมการจัดการพลังงานในหลากหลายมิติ ทั้งในด้านการใช้ทรัพยากรพลังงาน การควบคุมและลดการใช้พลังงาน รวมไปถึงการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการใช้เทคโนโลยีในการบริหารจัดการ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาวิทยาเขตอัจฉริยะในปัจจุบัน ซึ่งมีผลการสังเคราะห์แสดงองค์ประกอบโดยมีที่มาจากผู้วิจัยหลายท่านดังตารางต่อไปนี้

ภาพที่ 4-1 องค์ประกอบของการจัดการพลังงาน

จากภาพแสดงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการจัดการพลังงานซึ่งถูกรวบรวมจากหลายแหล่งวิจัยในปีต่าง ๆ แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงานในบริบทต่าง ๆ โดยสรุปปัจจัยที่มักถูกนำมาพิจารณาได้แก่ ไฟฟ้า ประปา Co2 และอุณหภูมิ ความชื้น เสียง มลภาวะ PM2.5 ความสั่นไหว ควัน แสง และตำแหน่ง โดยงานวิจัยต่าง ๆ นั้นมีการศึกษาและนำองค์ประกอบเหล่านี้มาใช้เพื่อพัฒนาการจัดการพลังงานในระบบอัจฉริยะ ทั้งนี้ ไฟฟ้าและประปาเป็นองค์ประกอบที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายที่สุดในการจัดการพลังงาน โดยมีงานวิจัยหลายฉบับเน้นที่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการลดการใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น Co2 อุณหภูมิ ความชื้น และมลภาวะยังมีบทบาทสำคัญในการพิจารณาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบการจัดการพลังงาน ทั้งนี้ การเชื่อมโยงกับเทคโนโลยี IoT จะช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลจากปัจจัยเหล่านี้ได้อย่างแม่นยำและนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อพัฒนาแผนการจัดการพลังงานที่เหมาะสม

4.2 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

การพลังงานด้วยเทคโนโลยีเชิงปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งมีการพัฒนาสถาปัตยกรรมของระบบมหาวิทยาลัยอัจฉริยะนั้นมีระบบการตรวจจับค่าต่าง ๆ ทางด้านกายภาพของมหาวิทยาลัย ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ พื้นที่ทำงานการเรียนรู้ พื้นที่ห้องสมุด ห้องประชุม ศูนย์ให้คำปรึกษา ทางเดินเท้า สำนักงาน ศูนย์วิจัย ห้องประชุม สนามกีฬา โรงอาหาร ห้องน้ำ ฯลฯ ด้วยเซ็นเซอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับและวัดสิ่งต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้า น้ำ อุณหภูมิ ความชื้น เสียง ฝุ่น PM2.5 การสั่นสะเทือน ควัน แสงสว่าง

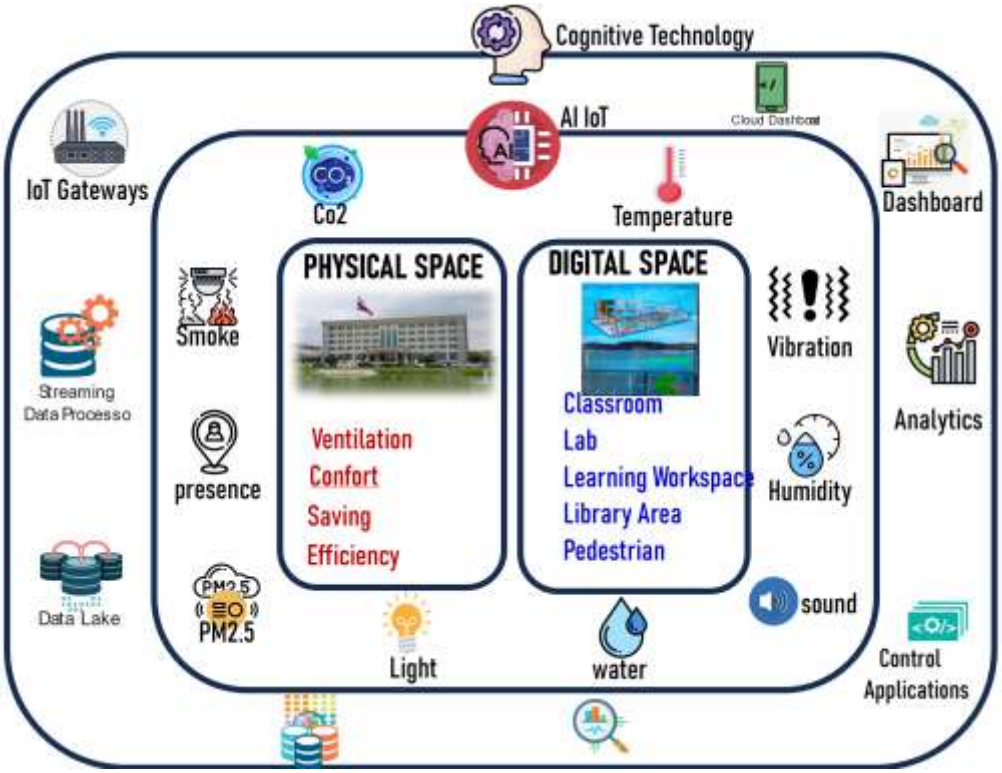
และการเข้าออกของบุคคล โดยหลักการทำงานของเซ็นเซอร์จะแปลงพลังงานรูปแบบหนึ่งให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับหรือวัดค่าของสภาพแวดล้อมหรือสถานะต่าง ๆ โดยมักจะแปลงสัญญาณที่วัดได้เป็นสัญญาณที่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ เช่น สัญญาณไฟฟ้า สัญญาณอนาล็อก หรือสัญญาณดิจิทัล โดยหลักการทำงานของเซ็นเซอร์สามารถแบ่งออกเป็นหลายแบบตามพื้นฐานการทำงานดังนี้ การวัดโดยตรง (Direct Measurement) เซ็นเซอร์บางชนิดทำงานโดยการตรวจจับและวัดค่าของสภาพแวดล้อมโดยตรง เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, แรงดัน, และอื่น ๆ โดยใช้หลักการทางกล อุปกรณ์ที่ใช้ในหมวดนี้อาจเป็นเซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์หรือเซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการทางไฟฟ้า เช่น เซ็นเซอร์แหล่งประจุไฟฟ้า, เซ็นเซอร์อุณหภูมิ, เซ็นเซอร์ความชื้น เป็นต้น การแปลงสัญญาณ (Transduction): เซ็นเซอร์บางชนิดทำงานโดยการแปลงสัญญาณจากสถานะหรือค่าที่วัดได้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลได้ง่าย เช่น เซ็นเซอร์ความเคลื่อนไหว (Motion sensor) ที่ใช้เปลี่ยนแปลงความเคลื่อนไหวเป็นสัญญาณไฟฟ้า เซ็นเซอร์แสง (Light Sensor) ที่ใช้วัดความเข้มของแสงและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เป็นต้น การใช้คลื่น (Wave-based Sensing): บางเซ็นเซอร์ใช้คลื่นแบบต่าง ๆ เช่น คลื่นเสียง, คลื่นรังสี, หรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อวัดหรือตรวจจับสิ่งต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อม เช่น เซ็นเซอร์ระยะทาง (Ultrasonic Sensor) ที่ใช้คลื่นเสียงในการวัดระยะทาง, เซ็นเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) ที่ใช้คลื่นอินฟราเรดเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว เป็นต้น โดยเมื่อเซ็นเซอร์วัดค่าไปแล้วก็จะส่งไปยัง Cloud Gateway IoT (Internet of Things) มีหน้าที่สำคัญคือ เป็นอุปกรณ์หรือระบบที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เซ็นเซอร์ IoT ที่ติดตั้งอยู่ในสถานที่ต่าง ๆ กับพื้นฐานของคลาวด์ (Cloud Infrastructure) ที่ใช้เก็บข้อมูลและประมวลผลข้อมูล รวมถึงเชื่อมต่อและรวมข้อมูล โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ต่าง ๆ และส่งข้อมูลนั้นไปยังคลาวด์เพื่อการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลต่อไป ควบคุมและจัดการสามารถควบคุมและจัดการกับอุปกรณ์ IoT ต่าง ๆ ในระยะไกลผ่านคลาวด์ โดยข้อมูลที่ถูกส่งมาจะถูกจัดเก็บอย่างปลอดภัยและสามารถนำมาประมวลผลเพื่อการวิเคราะห์หรือการดำเนินการต่อไป เช่น สร้างรายงาน การตรวจสอบความผิดปกติ หรือการจัดการอุปกรณ์ ซึ่งในด้านความปลอดภัย Cloud Gateway IoT มีบทบาทสำคัญในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่ถูกส่งไปยังคลาวด์ โดยมักจะมีการใช้เทคโนโลยีการเข้ารหัสและการรักษาความลับของข้อมูลเพื่อป้องกันการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต หลังจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลเข้าสู่ Streaming Data Processor เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญในระบบ IoT และมีความเกี่ยวข้องกับ Cloud Gateway IoT อย่างใกล้ชิด เนื่องจากเป็นเครื่องมือหรือบริการที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลแบบ การประมวลผลข้อมูลแบบสด (real-time) โดยข้อมูลที่มีการส่งมาอย่างต่อเนื่อง (Streaming Data) จากอุปกรณ์ IoT ไปยังคลาวด์ ซึ่งทำให้มีการดำเนินการที่ต้องการให้เกิดขึ้นโดยรวดเร็วและต่อเนื่อง เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลในเวลาที่เป็นปัจจุบัน การตรวจสอบความผิดปกติ หรือการดำเนินการเชิงลักษณะ (Actionable Insights) ในเวลาเดียวกันที่ข้อมูลถูกส่งมา โดยการทำงานร่วมกันระหว่าง Streaming Data Processor และ Cloud Gateway IoT โดยการแจ้งเตือนและการจัดการหลังจากที่ Streaming Data Processor ประมวลผลข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถส่งผลลัพธ์หรือข้อมูลที่ได้ผ่านการประมวลผลไปยัง Cloud Gateway IoT เพื่อทำการแจ้งเตือนผู้ใช้หรือผู้ดูแลระบบ หรืออาจทำการกระทำต่อไปตามการตั้งค่าที่กำหนดไว้ เช่น การสั่งการณ์อุปกรณ์ IoT หรือการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน โดย Streaming Data Processor จะนำ

ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปยัง Data lake เพื่อจัดเก็บไว้ในรูปแบบที่ใช้งานได้ง่ายและมีโครงสร้างที่ถูกต้อง เป็นพื้นที่ที่เหมาะสำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่มีคุณภาพและมีโครงสร้างที่ตรงตามความต้องการของธุรกิจ Streaming Data Processor สามารถส่งข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้วไปยัง Data lake เพื่อการเก็บข้อมูลในระยะยาวโดย Data lake สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และการประมวลผลเพิ่มเติมได้ Streaming Data Processor อาจมีหน้าที่ในการสร้างข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และการประมวลผลนี้ และส่งผลลัพธ์ไปยัง Data lake เพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานต่อไป ซึ่งหน้าที่หลักของ Data lake เก็บรักษาข้อมูลจำนวนมากและหลากหลายรูปแบบ โดยไม่จำกัดรูปแบบหรือโครงสร้างของข้อมูล และสามารถเก็บข้อมูลที่ยังไม่ได้รับการจัดรูปแบบหรือประมวลผลไว้ล่วงหน้าได้ โดย Data lake ให้ความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ โดยสามารถนำเอาข้อมูลที่มีรูปแบบและขนาดที่ใหญ่มากมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อมูลสำคัญและความรู้ที่เกี่ยวข้อง โดยนำข้อมูลมากรองและจัดเป็นกลุ่มเป็นหมวดหมู่ข้อมูลตามคำสั่งสามารถใช้ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ใช้ในการสร้างรายงานและการแสดงผลข้อมูลที่มีความหมาย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการตัดสินใจหรือการวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้งาน ที่เก็บข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำข้อมูลไปใช้งานในอนาคต โดยสามารถนำข้อมูลที่ถูกเก็บไว้มาใช้งานในการวิเคราะห์เพิ่มเติม การพยากรณ์ หรือการใช้งานอื่น ๆ ได้ต่อไป Data lake จะส่งข้อมูลสู่ Big Data Warehouse เป็นสองแนวคิดที่มีการใช้งานและความสามารถที่แตกต่างกัน แต่สามารถทำงานร่วมกันเพื่อสร้างระบบการจัดเก็บและการใช้งานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพขึ้นได้ ดังนั้นการทำงานร่วมกันของ Data lake และ Big Data Warehouse จะมีลักษณะดังนี้การรวมข้อมูล ซึ่ง Data Lake สามารถทำหน้าที่ในการเก็บรักษาข้อมูลที่มีคุณภาพต่ำและมาจากแหล่งที่ต่างกันได้ เพื่อให้มีข้อมูลที่ครอบคลุมและมีปริมาณมาก ในขณะเดียวกัน Big Data Warehouse มักจะใช้สำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่มีคุณภาพสูงและมีโครงสร้าง ซึ่งมักจะมีการจัดระเบียบและการเตรียมข้อมูลก่อนการนำเข้าเข้าสู่ระบบ การรวม Data Lake และ Big Data Warehouse ทำให้มีข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งข้อมูลที่มีคุณภาพสูงและต่ำ สำหรับการวิเคราะห์และการใช้งานต่าง ๆ การจัดการข้อมูล Data Lake สามารถทำหน้าที่เก็บข้อมูลในรูปแบบที่ไม่มีโครงสร้างหรือไฟล์ข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลหยาบ ๆ (Raw Data) ในขณะที่ Big Data Warehouse มักจะใช้สำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่มีโครงสร้างและมีความสมบูรณ์มากขึ้น โดยมักจะมีการจัดเก็บและการเตรียมข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการนำเข้าเข้าสู่ระบบ การจัดการข้อมูลใน Data lake และ Big Data Warehouse จึงมีลักษณะและความสามารถที่แตกต่างกันการวิเคราะห์และการใช้งานข้อมูล ข้อมูลที่เก็บไว้ใน Data Lake สามารถนำมาใช้งานได้ในลักษณะที่เป็นระเบียบหรือไม่เป็นระเบียบ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการค้นหาข้อมูลได้ตามความต้องการ ในขณะที่ข้อมูลที่เก็บใน Big Data Warehouse มักจะมีโครงสร้างและมีคุณภาพสูงมากขึ้น และมักจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์และการทำสรุปข้อมูลที่มีคุณภาพสูง Big Data Warehouse มักจะทำหน้าที่ในการเก็บรักษาข้อมูลในรูปแบบที่มีโครงสร้างและมีคุณภาพสูง และมักจะมีการจัดการและเตรียมข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการนำเข้าเข้าสู่ระบบ ในขณะที่ Data Analytics มักจะใช้ข้อมูลที่ถูกจัดเตรียมมานั้นเพื่อทำการวิเคราะห์ การทำนายและการคาดการณ์ จากข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ใน Big Data Warehouse และผ่านการวิเคราะห์ของ Data Analytics สามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำนายและคาดการณ์เกี่ยวกับแนวโน้มหรือการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอนาคตได้ โดย Data Analytics เป็นกระบวนการที่ใช้

เทคโนโลยีในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อสรุปหรือความรู้ที่มีค่าออกมา โดยมุ่งเน้นการสกัดข้อมูลที่มีความหมายและสาระสำคัญออกมาจากชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และมีความหลากหลาย ซึ่งเพื่อนำข้อสรุปหรือความรู้เหล่านั้นไปใช้ในการตัดสินใจหรือการดำเนินงานจัดการพลังงานต่าง ๆ กระบวนการ Data Analytics เป็นกระบวนการที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจเพื่อทำการการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning) เป็นกระบวนการที่ระบบคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้และปรับปรุงการปฏิบัติงานได้โดยไม่ต้องมีการโปรแกรมแบบชัดเจนอย่างที่คำสั่งโดยตรง ในส่วนของแบบจำลอง (Model) จะถูกสร้างขึ้นด้วยการใช้ข้อมูลตัวอย่าง (Training Data) เพื่อให้ระบบสามารถทำนายผลลัพธ์ของข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อนได้ด้วยความแม่นยำ กระบวนการหลัก ๆ ของการทำงานของ Machine Learning ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ เลือกและเตรียมข้อมูล (Data Preparation) เพื่อให้ข้อมูลสามารถนำมาใช้ในการฝึกแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม ซึ่งรวมถึงการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) การแปลงรูปแบบข้อมูล (Data Transformation) และการแบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึก (Training Set) และชุดทดสอบ (Test Set) เพื่อการทดสอบและประเมินแบบจำลอง

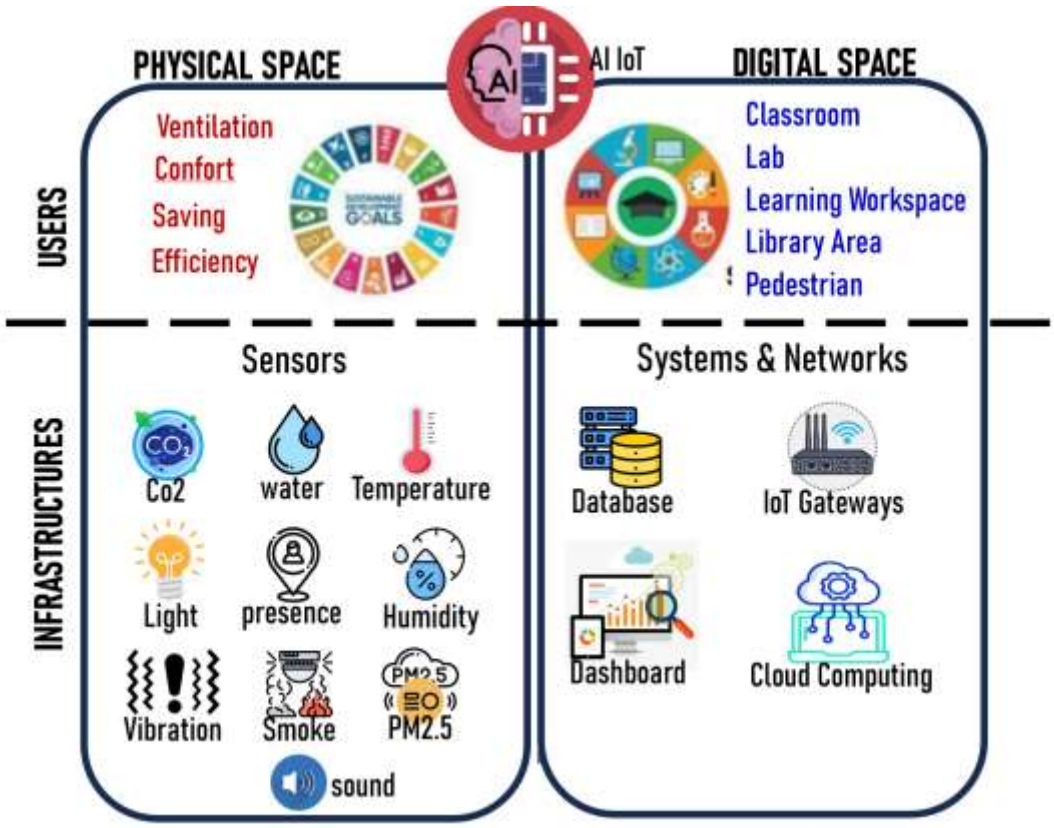
เลือกแบบจำลอง (Model Selection) การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับปัญหาที่กำลังพบ เช่น การจำแนกประเภท (Classification) การทำนาย (Prediction) หรือการจัดกลุ่ม (Clustering) โดยอิงจากลักษณะของข้อมูลและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ รวมถึงการฝึกแบบจำลอง (Model Training) การใช้ชุดข้อมูลฝึกเพื่อปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพื่อให้สามารถทำนายผลลัพธ์ได้ดีที่สุด การฝึกแบบจำลองมักจะใช้เทคนิคการปรับค่าพารามิเตอร์ (Parameter Tuning) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง หลังจากนั้นการประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation) จากการใช้ชุดข้อมูลทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยวัดผลลัพธ์ที่ทำนายขึ้นมากับผลลัพธ์ที่เป็นความจริง เช่น ความแม่นยำ (Accuracy) ความแม่นยำที่ทำนายได้ (Precision) ความแม่นยำในการจำแนกประเภท (Recall) หรือ F1 SCore การใช้งานและการปรับปรุง (Deployment and Refinement) เมื่อแบบจำลองได้รับการอนุมัติว่ามีประสิทธิภาพที่น่าพอใจ เราจะนำแบบจำลองไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง และติดตามผลการใช้งานเพื่อปรับปรุงแบบจำลองต่อไป มีหลายวิธีและเทคนิคในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ Machine Learning ที่สามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล วัตถุประสงค์ และความต้องการของผู้พัฒนาโปรแกรมหรือนักวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละกรณี การตัดสินใจหรือ decision making เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวันและการทำงานของบุคคลและองค์กรต่าง ๆ วิธีการทำงานของ decision making มีหลายแบบ แต่สามารถสรุปได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกที่สำคัญ โดยต้องรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและสำคัญต่อการตัดสินใจ เช่น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือสถานการณ์ที่ต้องการแก้ไข หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์และการประเมินเมื่อมีข้อมูลเพียงพอ จะต้องวิเคราะห์และประเมินข้อมูลดังกล่าวเพื่อเข้าใจปัญหาหรือสถานการณ์ให้ดีขึ้น และหาวิธีการแก้ไขที่เหมาะสม โดยกำหนดเป้าหมายหรือผลลัพธ์ที่ต้องการให้ชัดเจน เพื่อช่วยในการตัดสินใจในทิศทางที่ถูกต้อง หลังจากได้รับข้อมูลและกำหนดเป้าหมายแล้ว จะต้องพิจารณาทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด และวิเคราะห์ความเหมาะสมแต่ละทางเลือก เมื่อทราบถึงทางเลือกที่เป็นไปได้และการประเมินความเหมาะสมแต่ละทางเสร็จสิ้น จะต้องทำการตัดสินใจในการเลือกทางที่ถูกต้องที่สุดตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ หลังจากที่ตัดสินใจแล้วจะต้องดำเนินการตามแผนที่กำหนดไว้และติดตามผลลัพธ์ เพื่อปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนการกระทำ

ต่อไปตามความเหมาะสม โดยในแต่ละขั้นตอนของ decision Making อาจมีการใช้เครื่องมือหรือเทคนิคต่าง ๆ เช่น การใช้โมเดลทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision-making Models) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ อย่างเช่น โมเดล SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) หรือการใช้เทคนิคการตัดสินใจแบบครบรอบ (Rational Decision Making) หรือการใช้กระบวนการการตัดสินใจที่เชื่อมโยงกับการแก้ปัญหา (Problem-Solving Decision Making) เป็นต้น การเลือกใช้เทคนิคหรือเครื่องมือที่เหมาะสมจะช่วยให้การตัดสินใจเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยลดความเสี่ยงในการตัดสินใจให้น้อยที่สุดซึ่งจะส่งต่อไปยัง "Models algorithm" หรือ "Algorithmic models" ในบทบาทของการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning) หรือการวิเคราะห์ข้อมูลมักจะหมายถึงการใช้อัลกอริทึม (Algorithm) เพื่อสร้างแบบจำลอง (model) ที่สามารถใช้ในการทำนายหรือวิเคราะห์ข้อมูลในอนาคต โดยอัลกอริทึมที่ถูกใช้ในเชิงนี้มักจะเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Algorithms) หรือเทคนิคอื่น ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลส่งต่อ Support Vector Machines (SVM) ใช้สำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลโดยการหาแนวของการแบ่งกลุ่มที่ดีที่สุดในพื้นที่แยกระหว่างกลุ่ม หรือ Decision Trees ใช้สำหรับการสร้างโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และการจำแนกประเภทข้อมูล และส่งไปยังแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) แอปพลิเคชันเหล่านี้สามารถทำงานบนอุปกรณ์ IoT เองบนเซิร์ฟเวอร์ระยะไกล หรือบนสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตของผู้ใช้ เช่น การควบคุมไฟสามารถเปิด ปิด หรี่ไฟ หรือเปลี่ยนสีของไฟ LED หรือควบคุมอุณหภูมิสามารถตั้งค่าอุณหภูมิ thermostat หรือเปิด ปิด เครื่องปรับอากาศ รวมถึงการควบคุมความชื้นหรือแสงเปิดปิดการรับแสง โดยช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถควบคุมอุปกรณ์ IoT ได้จากระยะไกล โดยไม่ต้องอยู่ใกล้กับอุปกรณ์ ที่แสดงผลคู่แฝดบนแดชบอร์ด คือ หน้าจอที่แสดงข้อมูลสรุปในรูปแบบภาพรวม เข้าใจง่าย รวดเร็ว มักใช้แสดงข้อมูลสำคัญ ๆ ของธุรกิจองค์กร หรือ โครงการ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ข้อมูล ตัดสินใจ และติดตามผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยองค์ประกอบหลักของแดชบอร์ดประกอบด้วยข้อมูล ซึ่งแดชบอร์ดจะดึงข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ฐานข้อมูล ไฟล์ หรือเว็บ API ในการแสดงภาพ ข้อมูลจะถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟิก เช่น แผนภูมิ กราฟ ตาราง หรือ ตัวเลข หรือการโต้ตอบ โดยผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับแดชบอร์ด เช่น กรองข้อมูล คลิกเพื่อดูรายละเอียดเพิ่มเติม หรือ ปรับแต่งมุมมอง ซึ่งกล่าวได้ว่าแดชบอร์ด (Dashboard) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการแสดงข้อมูลหรือข้อมูลสถานะต่าง ๆ ในรูปแบบกราฟิกหรือตารางเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพรวมของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปแดชบอร์ดจะถูกออกแบบมาให้สามารถปรับแต่งได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานแต่ละคน ซึ่งอาจมีการแสดงข้อมูลที่สำคัญโดยการใช้กราฟหรือชาร์ทต่าง ๆ เช่น กราฟเส้น (Line Chart) กราฟแท่ง (Bar Chart) หรือแผนที่ (Map)



ภาพที่ 4-2 การจัดการสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยีเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อการควบคุมและประหยัดพลังงาน

ภาพที่ 4-2 เป็นการแสดงภาพรวมของการใช้งานเทคโนโลยีเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) ร่วมกับเทคโนโลยีทางปัญญา (Cognitive Technology) ในการจัดการพื้นที่ทางกายภาพ (Physical Space) และพื้นที่ดิจิทัล (Digital Space) ซึ่งไม่ใช่สถาปัตยกรรมในแง่ของการออกแบบอาคารหรือโครงสร้าง แต่เป็นการจัดการสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยีเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อการควบคุมและประหยัดพลังงาน เช่น การตรวจวัด Co2 อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง ควัน การสั่นสะเทือน และการแสดงผลผ่านแดชบอร์ดบนคลาวด์



ภาพที่ 4-3 สถาปัยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง

ภาพนี้แสดงถึงการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ทางกายภาพและพื้นที่ดิจิทัลในการจัดการพลังงานในวิทยาเขตอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง โดยแบ่งเป็นสองส่วนหลัก พื้นที่ทางกายภาพ (Physical Space) โดยเน้นถึง การระบายอากาศ (Ventilation) ความสะดวกสบาย (Comfort) การประหยัดพลังงาน (Saving) ประสิทธิภาพ (Efficiency) โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructures) ซึ่งมีเซ็นเซอร์ (Sensors) ใช้ในการตรวจจับและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย

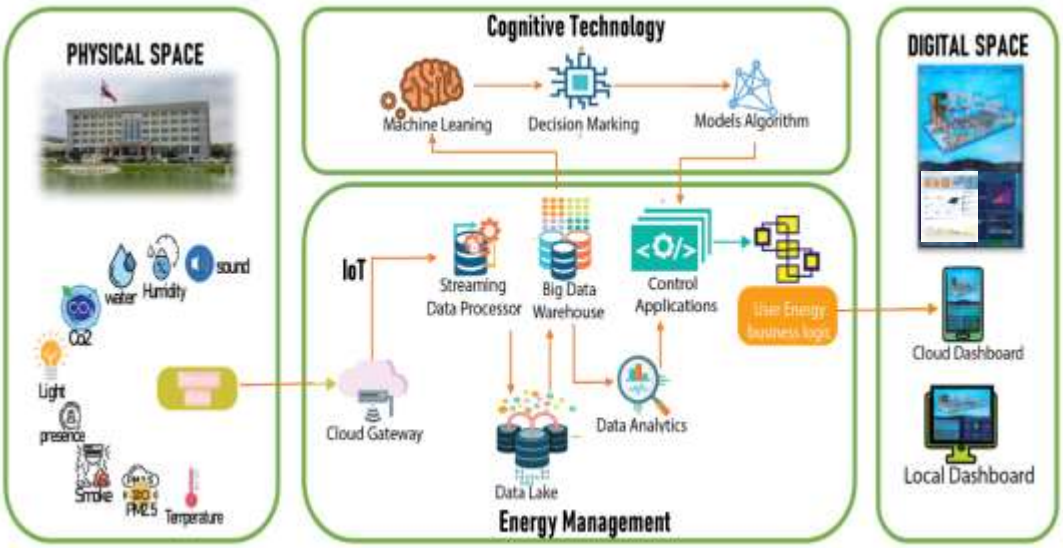
1. เซ็นเซอร์วัดระดับ Co2
2. เซ็นเซอร์น้ำ
3. เซ็นเซอร์อุณหภูมิ
4. เซ็นเซอร์แสง
5. เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
6. เซ็นเซอร์ความชื้น
7. เซ็นเซอร์การสั่นสะเทือน
8. เซ็นเซอร์ควัน
9. เซ็นเซอร์ PM2.5
10. เซ็นเซอร์เสียง

พื้นที่ทางกายภาพ (Physical Space) ประกอบไปด้วย

1. ห้องเรียน (Classroom)
2. ห้องปฏิบัติการ (Lab)
3. พื้นที่การเรียนรู้ (Learning Workspace)
4. พื้นที่ห้องสมุด (Library Area)
5. ทางเดิน (Pedestrian)

โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructures)

1. ระบบและเครือข่าย (Systems & Networks):
2. ฐานข้อมูล (Database)
3. เกตเวย์ IoT (IoT Gateways)
4. แดชบอร์ด (Dashboard)
5. การประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Computing)



ภาพที่ 4-4 สถาปัยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

4.2.1 ผลการประเมินสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีเพื่อสรรพสิ่ง

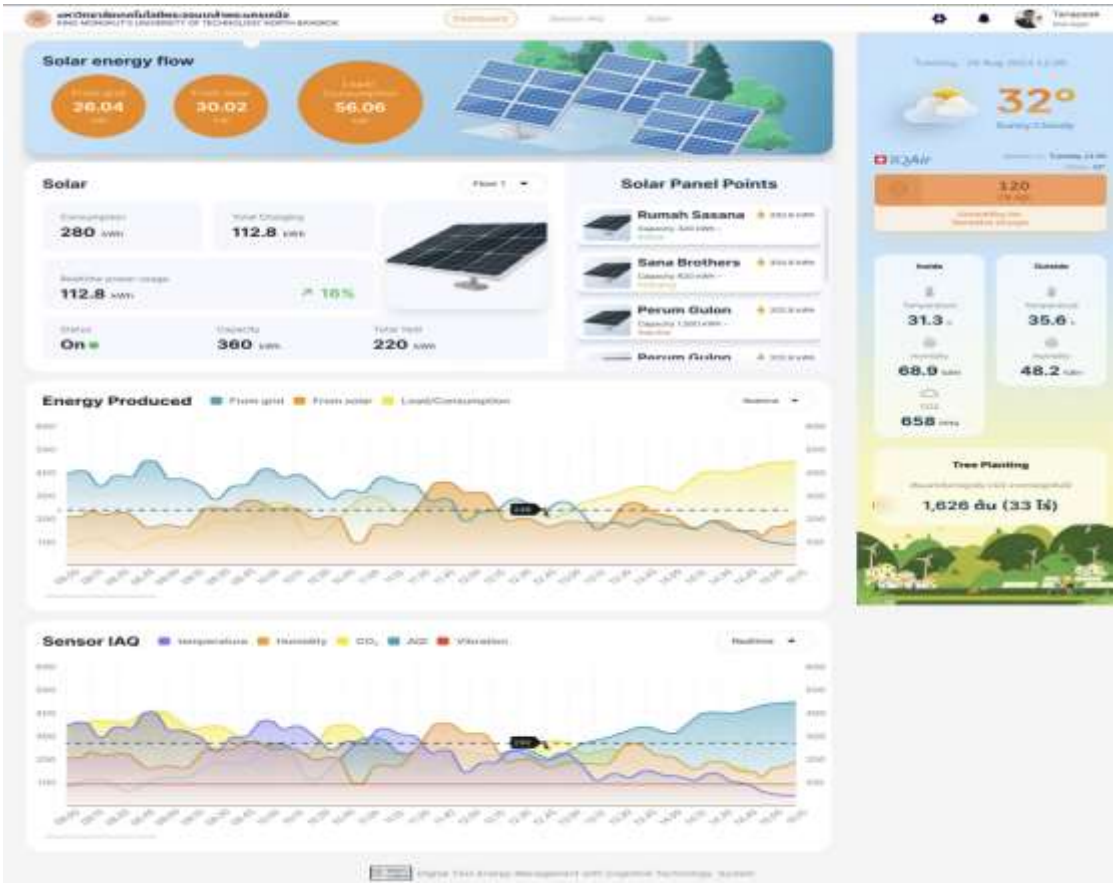
จากการนำสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีเพื่อสรรพสิ่งให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเป็นไปได้ มีผลการประเมินดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 ผลการประเมินความเป็นไปได้ของสถาปัตยกรรมการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

	ระดับความเป็นไปได้		
รายการประเมิน	$\bar{x}$	**S.D.**	**การแปลผล**
1. ความชัดเจนของโครงสร้างสถาปัตยกรรมระบบในการจัดการพลังงาน	4.78	0.38	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมของระบบในการตรวจจับและเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT แบบเรียลไทม์	4.58	0.64	มากที่สุด
3. ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานจากเซ็นเซอร์	4.67	0.62	มากที่สุด
4. ความน่าเชื่อถือของการเชื่อมโยงและถ่ายโอนข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT	4.65	0.47	มากที่สุด
5. ระบบมีความปลอดภัยในการเก็บข้อมูลและการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ IoT และเซิร์ฟเวอร์	4.73	0.43	มากที่สุด
6. การออกแบบ UI/UX ของระบบที่เอื้อต่อการใช้งานจริง	4.82	0.45	มากที่สุด
7. การปรับปรุงและพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่องเมื่อมีเทคโนโลยีใหม่	4.63	0.37	มากที่สุด
8. ความยืดหยุ่นของระบบในการเพิ่มขยายอุปกรณ์ IoT ในอนาคต	4.71	0.39	มากที่สุด
9. การแสดงผลข้อมูลที่ชัดเจนและเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจอาคารอัจฉริยะ	4.77	0.51	มากที่สุด
10. ระบบสามารถจัดการและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.63	0.42	มากที่สุด
11. ความสามารถของระบบในการจัดการพลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด	4.66	0.44	มากที่สุด
12. ระบบวิเคราะห์ข้อมูลมีการทำงานร่วมกันได้	4.59	0.40	มากที่สุด
13. ความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวม	4.78	0.38	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.69**	**0.44**	**มากที่สุด**

4.3 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

จากสถาปัตยกรรมได้นำมาพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานคู่แฝด โดยมีหน้าแดชบอร์ดที่ประกอบไปด้วย การผลิตกระแสไฟฟจากพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้าส่วนกลาง ค่าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากได้จากโซลาเซลล์ รวมถึงค่าโหลดพลังงานที่บริโภคในอาคารในส่วนด้านบน ถัดมาจะเป็นค่าผลิตโซลาเซลล์ในแต่ละเซ็ต ผลรวมจาการชาร์ตที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า รวมถึงสถานะของโซล่าเซลล์ที่ทำงานและแต่ละเซ็ต โดยแสดงในรูปแบบตัวอักษรและกราฟเส้นเพื่อให้เห็นความเปรียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านโซลาเซลล์ และโหลดการใช้พลังงานกระแสไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งเมื่อนำเมาส์หรือทัชสกีนบริเวณตำแหน่งกราฟก็จะปรากฏเป็นตัวเลขของพลังงาน ในส่วนของด้านขวาบนประกอบไปด้วยการแสดงวัน เวลาแบบเรียลไทม์ รวมถึงแสดงค่าอุณหภูมิที่ตรวจจับได้จากเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ ความชื้นทั้งในอาคารและนอกอาคาร รวมถึงแสดงค่าจำนวน Tree Planting เทียบเท่ากับการดูดซับ Co2 จากการปลูกต้นไม้ การคำนวณการดูดซับ Co2 จากการปลูกต้นไม้สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้และสภาพแวดล้อมที่ต้นไม้นั้นเติบโตอยู่ แต่ในกรณีทั่วไป



ภาพที่ 4-5 แดชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝดภาพรวม

การใช้สูตรเบื้องต้นเพื่อประมาณการการดูดซับ Co2 ของต้นไม้ได้ มีขั้นตอนและสูตรคำนวณดังนี้

1. การประเมินปริมาณคาร์บอนที่ต้นไม้สะสมไว้ (C)

สูตรพื้นฐานคือ C=biomass × carbon fraction

โดยที่ biomass คือ มวลชีวภาพของต้นไม้ (น้ำหนักแห้ง)

carbon fraction คือ สัดส่วนของคาร์บอนในมวลชีวภาพ (ปกติใช้ค่าประมาณ 0.5 หรือ 50%)

2. การคำนวณปริมาณ Co2 ที่ดูดซับ (CO2)

เมื่อทราบปริมาณคาร์บอนที่ต้นไม้สะสมไว้แล้ว สามารถแปลงเป็นปริมาณ CO2 ที่ต้นไม้ดูซับได้โดยใช้สูตร $CO_2 = C \times (44/12)$

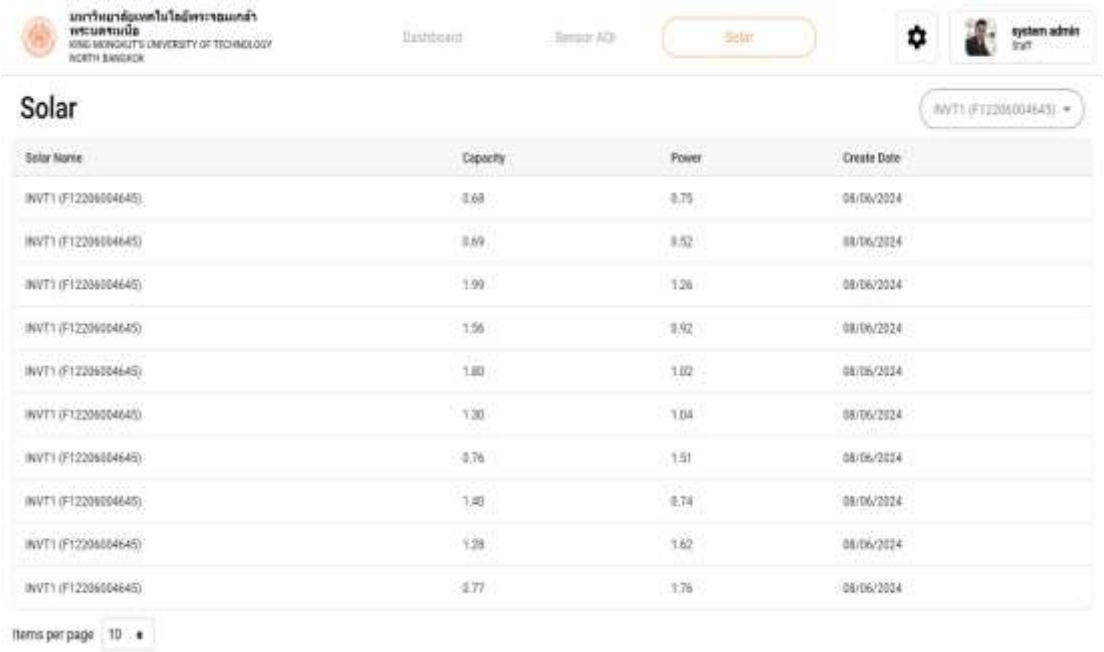
โดยที่ 44 คือมวลโมเลกุลของ CO2

12 คือมวลอะตอมของคาร์บอน

โดยการคำนวณที่แม่นยำยิ่งขึ้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของต้นไม้ อายุของต้นไม้ สภาพแวดล้อมที่ปลูกในแต่ละพื้นที่

ภาพที่ 4-6 แดรชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝด ในชั้นที่ 3 ของอาคาร

จากภาพแดชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝด โดยมีการแสดงข้อมูลจำลองแต่ละห้องในอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ในรูปแบบของตัวเลขซึ่งจะปรากฏขึ้นในขณะที่ทัชหน้าจอห้องที่ต้องการดูข้อมูลนั้น ๆ และแสดงรายละเอียดค่าที่จับได้เซ็นเซอร์ในส่วนของ Sensor AQI ซึ่งประกอบไปด้วยอุณหภูมิ ความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์และสถานะการทำงานของเซ็นเซอร์ ความถึงค่าคุณภาพอากาศในห้องที่เลือกดูข้อมูล นอกจากนั้นในส่วนล่างจะมีการแสดงข้อมูลคุณภาพอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ ความชื้น ค่าฝุ่น PM1.0 PM2.5 และอุณหภูมิของห้องในรูปแบบกราฟเส้นและกราฟแท่งเพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบแบบเรียลไทม์



ภาพที่ 4-7 แดชบอร์ดแสดงผลพลังงานคู่แฝดของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 3 จะแสดงค่าของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละโซน ประกอบไปด้วยความจุ กำลังไฟที่ผลิต และวันเวลาที่บันทึก ซึ่งสามารถเลือกดูในแต่ละหน้าได้

B. ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

การประเมินความเหมาะสมของ ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ของผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานและด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 20 ท่าน มีผลดังนี้

4.4 ผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ตารางที่ 4-2 ผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย $\overline{x}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความเหมาะสม
1. การวิเคราะห์และความต้องการ			
1.1 ความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน	4.82	0.31	มากที่สุด
1.2 ความต้องการในการปรับปรุงการใช้พลังงาน	4.76	0.45	มากที่สุด
1.3 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	4.71	0.77	มากที่สุด
1.4 การเพิ่มความมั่นคงในการใช้พลังงาน	4.72	0.36	มากที่สุด
1.5 เป้าหมายในการลดการใช้พลังงาน	4.80	0.32	มากที่สุด
1.6 การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน	4.79	0.39	มากที่สุด
1.7 การพยากรณ์ความต้องการพลังงาน	4.61	0.68	มากที่สุด
2. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี			
2.1 โครงสร้างระบบ	4.62	0.43	มากที่สุด
2.2 การออกแบบระบบที่ปรับเปลี่ยนได้ง่าย	4.43	0.57	มาก
2.3 การบูรณาการกับระบบอื่น ๆ	4.45	0.53	มาก
2.4 การเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ IoT	4.81	0.33	มากที่สุด
2.5 การบูรณาการกับระบบ ERP	4.31	0.62	มาก
2.6 การใช้ AI และ Machine Learning	4.56	0.51	มากที่สุด
3. ข้อมูลและการจัดการข้อมูล			
3.1 ข้อมูลเรียลไทม์	4.82	0.36	มากที่สุด
3.2 ข้อมูลประวัติการใช้พลังงาน	4.76	0.32	มากที่สุด
3.3 ข้อมูลการพยากรณ์และการวิเคราะห์	4.69	0.61	มากที่สุด
3.4 การใช้ฐานข้อมูลแบบ Relational	4.45	0.73	มาก
3.5 การใช้ฐานข้อมูลแบบ NoSQL	4.44	0.61	มาก
3.6 การจัดเก็บข้อมูลใน Data Lakes	4.32	**0.62**	มาก
3.7 การวิเคราะห์แบบ Descriptive	4.25	**0.68**	มาก
3.8 การวิเคราะห์แบบ Predictive	4.31	**0.71**	มาก
3.9 การวิเคราะห์แบบ Prescriptive	4.34	**0.74**	มาก

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย $\overline{x}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความเหมาะสม
4. ความปลอดภัยและการป้องกัน			
4.1 การเข้ารหัสข้อมูล	4.44	**0.35**	มาก
4.2 การจัดการสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล	4.72	0.42	มากที่สุด
4.3 มาตรการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์	4.48	0.47	มาก
4.4 การทำระบบสำรองข้อมูล	4.71	0.31	มากที่สุด
5. ความสามารถในการปรับตัวและขยายขนาด			
5.1 การรองรับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี	4.71	0.47	มากที่สุด
5.2 ความยืดหยุ่นในการเพิ่มฟีเจอร์ใหม่	4.52	0.33	มากที่สุด
5.3 การรองรับการเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์	4.79	0.38	มากที่สุด
5.4 การขยายขนาดระบบเมื่อมีผู้ใช้งานเพิ่ม	4.65	0.41	มากที่สุด
5.5 การรองรับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี	4.41	0.41	มาก
5.6 ความยืดหยุ่นในการเพิ่มฟีเจอร์ใหม่	4.36	0.35	มาก
6.การบำรุงรักษาและการสนับสนุน			
6.1 การจัดการและการอัปเดตซอฟต์แวร์	4.61	0.43	มากที่สุด
6.2 การตรวจสอบและดูแลระบบเชิงรุก	4.52	0.52	มากที่สุด
6.3 การสนับสนุนด้านเทคนิค	4.66	0.42	มากที่สุด
6.4 การฝึกอบรมและการสนับสนุนผู้ใช้งาน	4.60	0.48	มากที่สุด
6.5 การจัดการและการอัปเดตซอฟต์แวร์	4.51	0.42	มากที่สุด
6.6 การตรวจสอบและดูแลระบบเชิงรุก	4.44	0.41	มาก
6.7 การสนับสนุนด้านเทคนิค	4.61	0.51	มากที่สุด
7. การประเมินความคุ้มค่า			
7.1 ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและติดตั้งระบบ	4.42	0.33	มาก
7.2 ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ IoT	4.39	0.41	มาก
7.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ	4.44	0.32	มาก
7.4 ค่าใช้จ่ายในการอัปเกรดระบบ	4.31	0.59	มาก
7.5 การลดค่าใช้จ่ายพลังงานในระยะยาว	4.86	0.46	มากที่สุด
7.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	4.78	0.32	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.57	0.47	มากที่สุด

จากตารางที่ 4-2 ผลการประเมินะบบการจัดการพลังงานคู่แผดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะในแต่ละรายการมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุดคือ การประเมินความคุ้มค่า การลดค่าใช้จ่ายพลังงานในระยะยาว โดยค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.86, S.D. = 0.46) รองลงมาคือด้านการวิเคราะห์และความต้องการ โดยความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายพลังงานค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.82, S.D. = 0.31) และด้านสถาปัตยกรรมและเทคโนโลยีการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ IoT ซึ่งเท่ากับ ด้านข้อมูลและการจัดการข้อมูล ในส่วนข้อมูลเรียลไทม์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.81 S.D. = 0.33) ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของผลประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แผดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะคือ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.57, S.D. = 0.48)

ตารางที่ 4-3 ผลการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะที่ 1 ของการพัฒนาระบบดังนี้

เดือน	**จำนวนกำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)**			
	INVT1 (F122064645)	INVT2 (F122064643)	INVT3 (F122064648)	INVT4 (F122064643)
มกราคม 2567	3508.84	4124.34	3490.55	4150.63
กุมภาพันธ์ 2567	3838.73	4220.77	3854.89	4706.87
มีนาคม 2567	3969.87	4439.97	4987.64	5060.92
เมษายน 2567	4294.69	3719.96	5018.42	5514.14
พฤษภาคม 2567	3635.46	4544.44	4910.65	4566.31
มิถุนายน 2567	3847.65	4436.66	4633.21	4256.73
กรกฎาคม 2567	3227.73	4237.63	4391.62	4013.12
สิงหาคม 2567	3375.53	4316.55	3744.28	4247.38
รวม	**29698.50**	**34040.32**	**35031.26**	**36516.10**

จากตารางที่ 4-4 ผลการผลการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะที่ 1 โดยเริ่มจากวันที่ 2 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2567 ที่ได้ทำการพัฒนาการจัดการพลังงาน โดยได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตกำลังไฟฟ้าผ่านโซลาเซลล์ ซึ่งค่าที่ได้จากตารางอินเวอร์เตอร์โซล่าเซลล์ที่เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างโซล่าเซลล์กับระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพจะพบว่าอินเวอร์เตอร์ที่ผลิตกำลังฟ้าได้มากที่สุดคือ INVT4 (F122064643) ผลิตได้จำนวน 36516.10 kW รองลงมาคือ INVT3 (F122064648) ผลิตได้จำนวน 35031.26 kW และ INVT2 (F122064643) ผลิตได้จำนวน 34040.32 kW ตามลำดับ โดยเฉลี่ยอยู่ที่เดือนละ 16,256.01 kW เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายหรือจุดคุ้มทุน โดยติดตั้งระบบจำนวน 3,100,000 บาท เมื่อต้องจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าหน่วยละ 3.80 บาท ซึ่งอาจแปรผันตามค่าอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) จะได้ดังนี้

ค่าไฟฟ้า = kW × 3.80

แทนค่า 16,256.01 × 3.80 = 61,772.838 บาทต่อเดือน

จุดคุ้มทุน 3,100,000 / 61,772.838 = 50.18

เมื่อคิดเป็นจำนวนเดือน 50.18 / 12 = 4.18 (4ปี 2เดือน)

จากตารางจะพบว่าจากการลงทุนในระยะที่ 1 จำนวน 3,100,000 บาท จะใช้เวลาจำนวน 4 ปี 2 เดือน ในการคุ้มทุน

ตารางที่ 4-4 ผลการประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

	ระดับความเป็นไปได้		
รายการประเมิน	$\bar{x}$	**S.D.**	**การแปลผล**
1. ความสามารถในการลดต้นทุนพลังงาน	4.72	0.26	มากที่สุด
2. ประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานในระบบ	4.57	0.33	มากที่สุด
3. การติดตั้งและใช้งานระบบอย่างสะดวก	4.42	0.24	มาก
4. ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบเทคโนโลยี	4.58	0.38	มากที่สุด
5. ความเสถียรและความน่าเชื่อถือของระบบ	4.51	0.21	มากที่สุด
6. ผลกระทบต่อการบริหารจัดการองค์กร	4.33	0.28	มาก
7. ความสามารถของระบบในการเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ	4.43	0.22	มาก
8. ประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานแบบอัตโนมัติ	4.58	0.39	มากที่สุด
9. การลดการปล่อยมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	4.70	0.41	มากที่สุด
10. การสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร	4.47	0.32	มาก
11. ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งานเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้	4.66	0.24	มากที่สุด
12. การพัฒนาต่อยอดจากระบบเดิมที่มีอยู่	4.52	0.41	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.69**	**0.44**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 4-4 ผลการประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ในแต่ละรายการมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุดคือ ความสามารถในการลดต้นทุนพลังงาน โดยค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.72, S.D. = 0.26) รองลงมาคือด้านการลดการปล่อยมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.70, S.D. = 0.41) และด้านผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งานเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.66 S.D. = 0.24) ตามลำดับ

บทที่ 5
ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ในบทนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอรายละเอียดของ “ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ” ซึ่งจะอธิบายตามหัวข้อต่อไปนี้

5.1 บทนำ

5.2 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

5.3 การนำระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะไปใช้

5.1 บทนำ

5.1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการบริหารจัดการด้านพลังงงาน ว่าเป็นระบบมีความสำคัญอย่างมากในยุคปัจจุบัน ซึ่งในอดีตการจัดการพลังงานมักมุ่งเน้นไปที่การผลิตและการกระจายพลังงานไปยังผู้ใช้ปลายทาง โดยการใช้พลังงานถูกควบคุมผ่านการจัดการในระดับมหภาค เช่น โรงไฟฟ้าและโครงข่ายไฟฟ้า แต่การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในยุคปัจจุบันได้ก่อให้เกิดความต้องการในการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Devices) และเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ทำให้การจัดการพลังงานในระดับจุลภาค เช่น ในอาคาร บ้านเรือน และวิทยาเขต กลายเป็นสิ่งที่เป็นไปได้และมีความสำคัญมากขึ้น ในการพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ได้ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และทำนายการใช้พลังงานได้อย่างแม่นยำ ซึ่งช่วยให้การจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System หรือ EMS) จึงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถตรวจวัด ควบคุม และวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานและการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้การจัดการพลังงานกลายเป็นสิ่งที่จำเป็นและมีบทบาทสำคัญในการประหยัดพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีและปลอดภัย สนับสนุนความยั่งยืน และส่งเสริมการเรียนรู้และนวัตกรรมในการพัฒนาวิทยาเขตอัจฉริยะ

วัตถุประสงค์

5.1.1.1 เพื่อพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ สำหรับสถาบันการศึกษา

5.1.1.2 สร้างเครื่องมือสำหรับการจัดการพลังงานและยกระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นไปตามระดับสากล

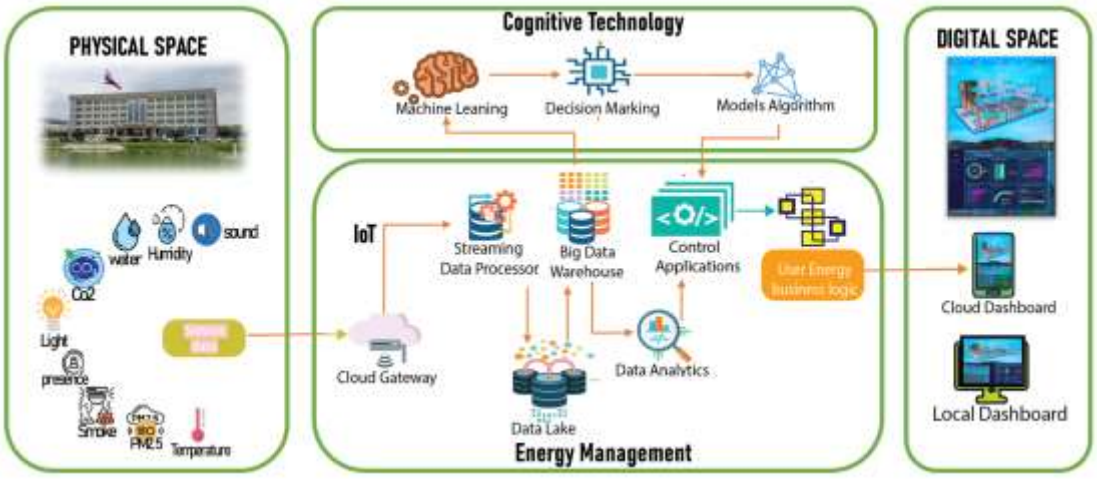
5.1.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ สำหรับการใช้ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาร่วมกับเทคโนโลยี IoT ในวิทยาเขตอัจฉริยะมีประโยชน์ในการประหยัดพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีและปลอดภัย ส่งเสริมการเรียนรู้และการทำงานร่วมกัน และสนับสนุนความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม

5.2 ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

5.2.1 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. สังเคราะห์องค์ประกอบของระบบการจัดการพลังงาน 2. สังเคราะห์พื้นที่ที่ใช้ในการบริหารจัดการสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ และ 3. ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงาน ที่นำไปประยุกต์ใช้ในสถาบันการศึกษา และนำเสนอตัวอย่างการออกแบบและการประยุกต์ใช้แนวคิด ทฤษฎีการจัดการพลังงาน (Energy Management Theory) โดยทฤษฎีการจัดการพลังงานเกี่ยวข้องกับการวางแผน การจัดการ และการควบคุมการใช้พลังงานในองค์กรหรือระบบ การใช้เทคโนโลยีเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (IoT) และเทคโนโลยีปัญญาในการจัดการพลังงานในวิทยาเขตอัจฉริยะเป็นการประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีนี้ในการวางแผนและควบคุมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีองค์ประกอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1. ส่วนของกายภาพ (Physical Space) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ตรวจจับได้จากเซ็นเซอร์ที่เข้าสู่ระบบ 2. ส่วนของระบบการจัดการพลังงาน 3. เทคโนโลยีปัญญา 4. ส่วนของพื้นที่ดิจิทัล (Digital Space)



ภาพที่ 5-1 สถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

จากภาพสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะพบว่าสถาปัตยกรรมระบบฯ มีองค์ประกอบ ดังนี้

5.2.1.1 ส่วนของกายภาพ (Physical Space) คือ ส่วนที่สำคัญของระบบการจัดการพลังงาน โดยเป็นพื้นที่จริงที่ติดตั้งเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลนี้ไปยังระบบการจัดการพลังงานเพื่อการวิเคราะห์และการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งประกอบไปด้วย

5.2.1.1.1 น้ำ (Water) การตรวจวัดและจัดการการใช้น้ำ

5.2.1.1.2 ความชื้น (Humidity) การตรวจวัดและควบคุมระดับความชื้นในอาคาร

5.2.1.1.3 เสียง (Sound) การตรวจวัดระดับเสียง

5.2.1.1.4 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) การตรวจวัดระดับ CO2 ในอากาศ

5.2.1.1.5 แสงสว่าง (Light) การควบคุมการใช้แสงสว่าง

5.2.1.1.6 การปรากฏตัว (Presence) การตรวจจับการปรากฏตัวของคนในพื้นที่

5.2.1.1.7 การสั่นสะเทือน (Vibration) การตรวจวัดการสั่นสะเทือน

5.2.1.1.8 ควัน (Smoke) การตรวจจับควัน

5.2.1.1.9 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) การตรวจวัดระดับฝุ่น PM2.5

5.2.1.1.10อุณหภูมิ (Temperature) การตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิ

5.2.1.2 ส่วนของระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management) ซึ่งจะทำการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในพื้นที่กายภาพ โดยจะถูกส่งผ่าน Cloud Gateway (เกตเวย์คลาวด์) ไปยังระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) ระบบการจัดการพลังงานจะทำกาประมวลผลข้อมูลเหล่านี้เพื่อวิเคราะห์และตัดสินใจในการควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

5.2.2 ตัวอย่างหน้าจอการพัฒนา ระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะได้พัฒนาตามการวิเคราะห์ สังเคราะห์ และออกแบบสถาปัตยกรรมระบบในระยะการดำเนินการวิจัยที่ 1-3 ในระยะที่ 4 จะนำเสนอผลการพัฒนาระบบและผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งมีผลการพัฒนาดังต่อนี้

5.2.2.1 ผลการพัฒนาระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง ไปใช้ได้พัฒนาตามการวิเคราะห์และสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำผลที่ได้ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ จนกลายเป็นระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ มีองค์ประกอบที่สอดคล้องกับกระบวนการและองค์ประกอบที่สังเคราะห์ สามารถเข้าใช้งานระบบได้ที่ URL: http://141.98.19.101:8082/home/

ภาพที่ 5-2 หน้าเข้าสู่ระบบ

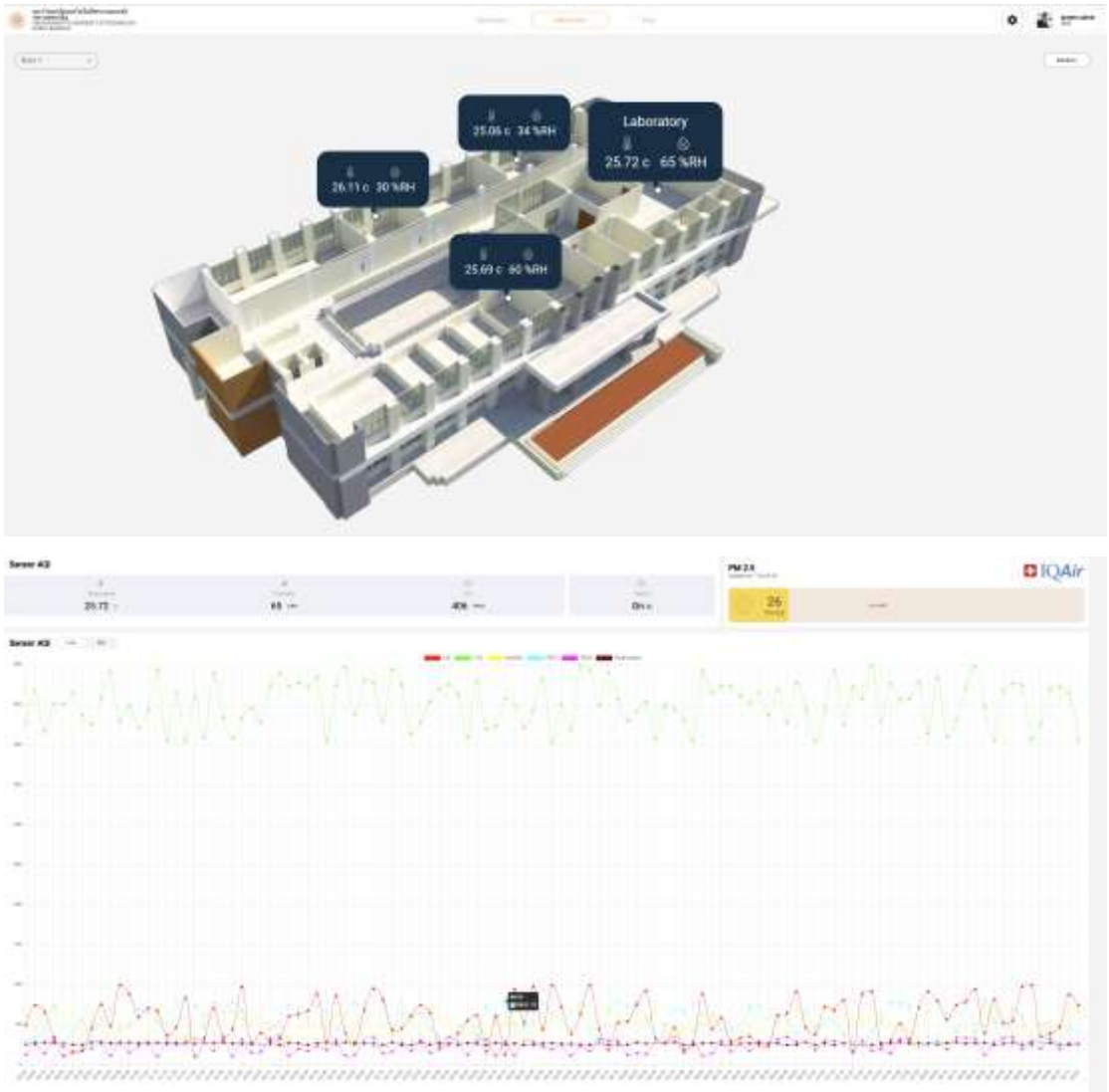
5.2.2.2 แดชบอร์ดหน้าหลักนี้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบและจัดการพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ โดยให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการผลิตและการใช้พลังงาน รวมถึงสภาพแวดล้อมและคุณภาพอากาศ ทำให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยมีการแสดงปริมาณพลังงานที่ได้รับจากโครงข่ายไฟฟ้า (From Grid) และแสดงปริมาณพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar) รวมถึงแสดงปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด (Load Consumption) ได้เป็นต้น และในส่วนของทางด้านขวาจะเป็นการแสดงสภาพอากาศปัจจุบัน (Weather Information) แสดงค่าคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) และค่าฝุ่นทางอากาศ (PM2.5) รวมถึงแสดงข้อมูลสภาพอากาศภายในและภายนอกอาคาร เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกต้นไม้ที่ช่วยดูดซับคาร์บอน (Tree Planting)

ภาพที่ 5-3 แดชบอร์ดหน้าหลักของระบบ

5.2.2.3 ภาพแสดงข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในอาคารของวิทยาเขตอัจฉริยะ โดยแสดงรายละเอียดของแต่ละห้องบนชั้น 3 ของอาคารที่เป็นแผนผังสามมิติของอาคารแสดงให้เห็นการจัดวางห้องต่าง ๆ บนชั้น 3 ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นตำแหน่งและขนาดของแต่ละห้องได้อย่างชัดเจน โดยมีการแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมในแต่ละห้อง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณคน โดยการตรวจสอบสภาพแวดล้อม แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องต่าง ๆ ทำให้สามารถตรวจสอบและควบคุมสภาพแวดล้อมในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการพลังงาน ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนคนในห้องช่วยให้สามารถจัดการการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับความต้องการจริงการแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย โดยการใช้แผนผังสามมิติช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นข้อมูลและตำแหน่งของห้องต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย

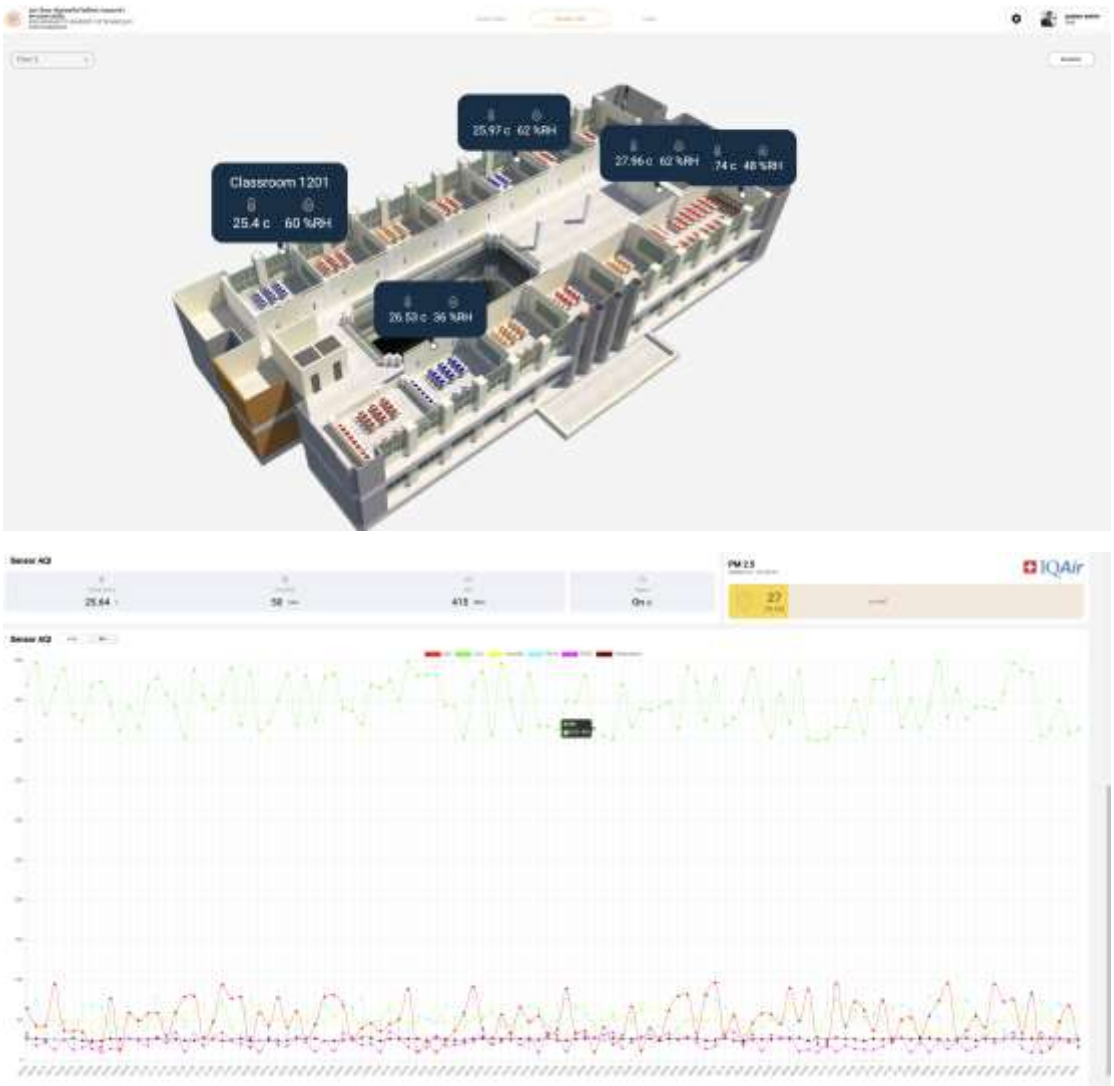
ภาพที่ 5-4 การแสดงข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของแต่ละห้องบนชั้น 3

5.2.2.4 ภาพแสดงข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในอาคารของวิทยาเขตอัจฉริยะ โดยแสดงรายละเอียดของแต่ละห้องบนชั้น 1 ของอาคารที่เป็นแผนผังสามมิติของอาคารแสดงให้เห็นการจัดวางห้องต่าง ๆ บนชั้น 1 ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นตำแหน่งและขนาดของแต่ละห้องได้อย่างชัดเจน โดยมีการแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมในแต่ละห้อง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณคน โดยการตรวจสอบสภาพแวดล้อม แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องต่าง ๆ ทำให้สามารถตรวจสอบและควบคุมสภาพแวดล้อมในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการพลังงาน ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนคนในห้องช่วยให้สามารถจัดการการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับความต้องการจริง



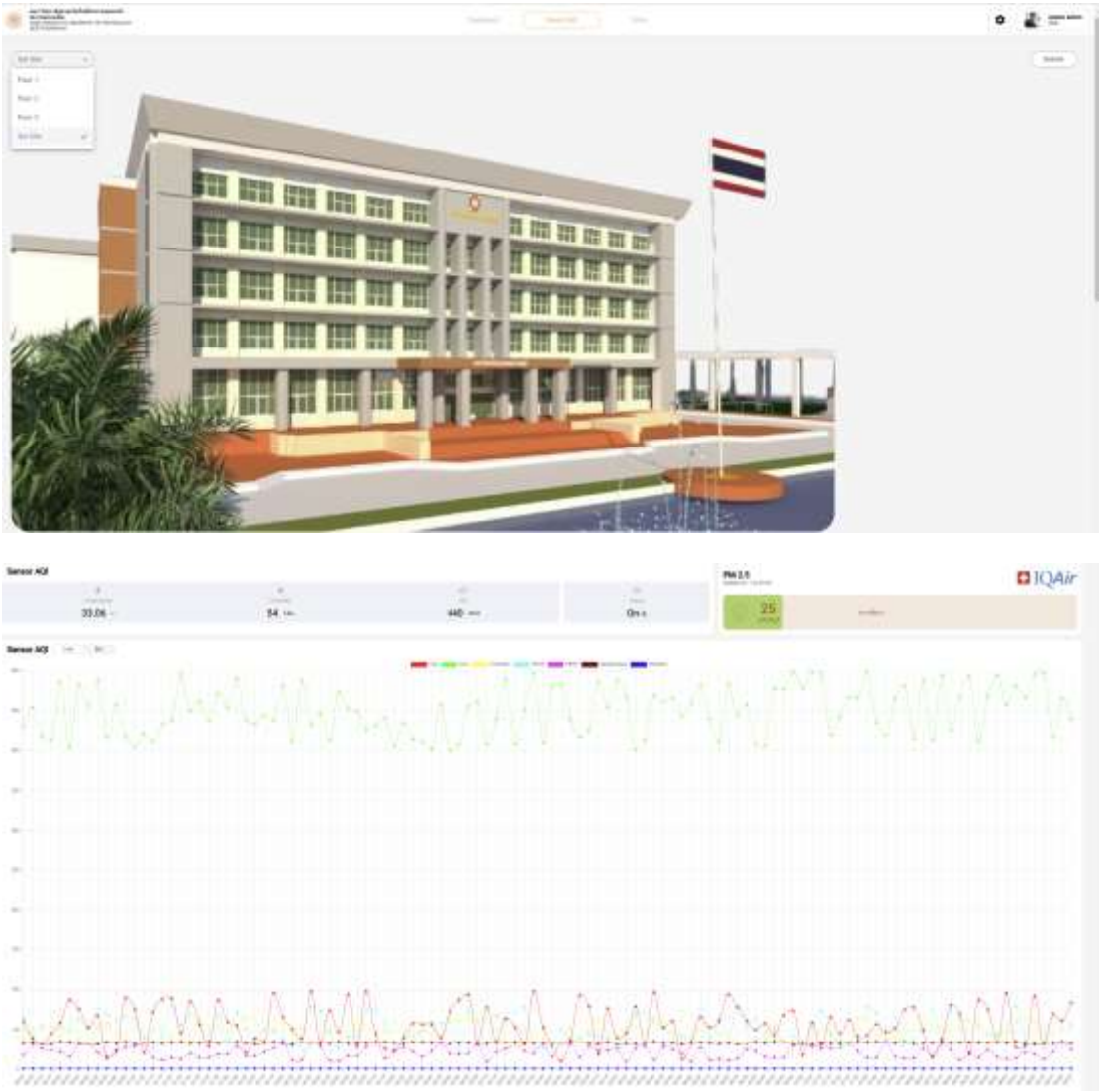
ภาพที่ 5-5 การแสดงข้อมูลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของแต่ละห้องบนชั้น 1

5.2.2.5 ความท้าทาย (Challenge) มีการจัดกิจกรรมในเนื้อหาการเรียนรู้โดยกำหนดเวลา มีระดับหรือเลเวลในการเรียนรู้ ซึ่งในระบบที่พัฒนาขึ้นได้กำหนดระดับออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 นักวิจัยทั่วไป ระดับที่ 2 นักวิจัยดิจิทัลระดับพื้นฐาน ระดับที่ 3 นักวิจัยระดับกลาง และระดับที่ 4 นักวิจัยดิจิทัลระดับสูง ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 5-6 ชั้น 2 ของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด

5.2.2.6 ความก้าวหน้า (Progress-indicator) มีการบอกถึงความก้าวหน้าในเนื้อหาการเรียนรู้ว่าตอนนี้ดำเนินถึงกิจกรรมไหน หรือคิดความก้าวหน้าหรือความสำเร็จออกมาเป็นร้อยละของสิ่งที่ต้องดำเนินกิจกรรมหรือต้องทำภารกิจให้สำเร็จ ดังภาพต่อไปนี้

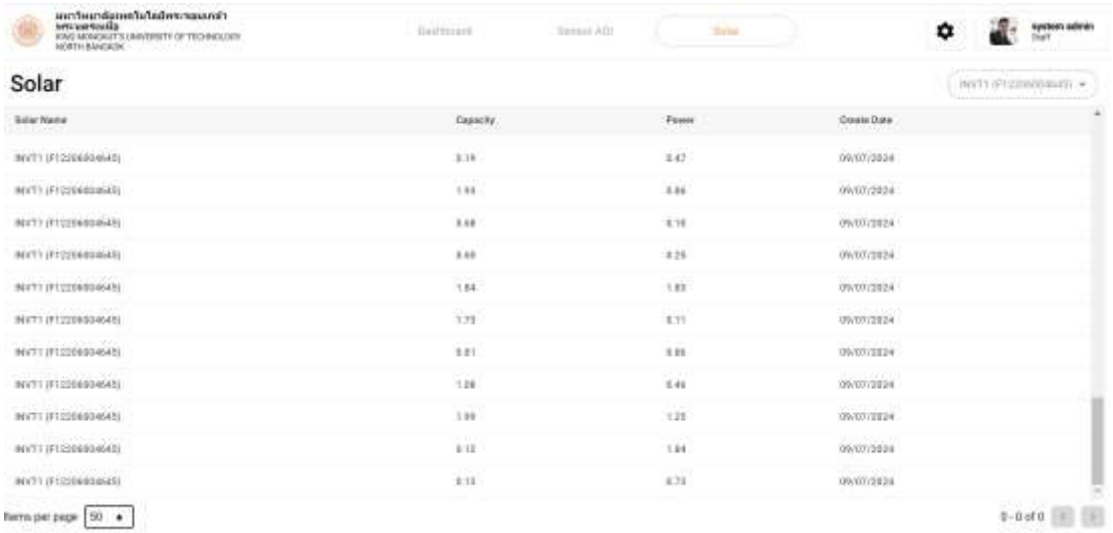


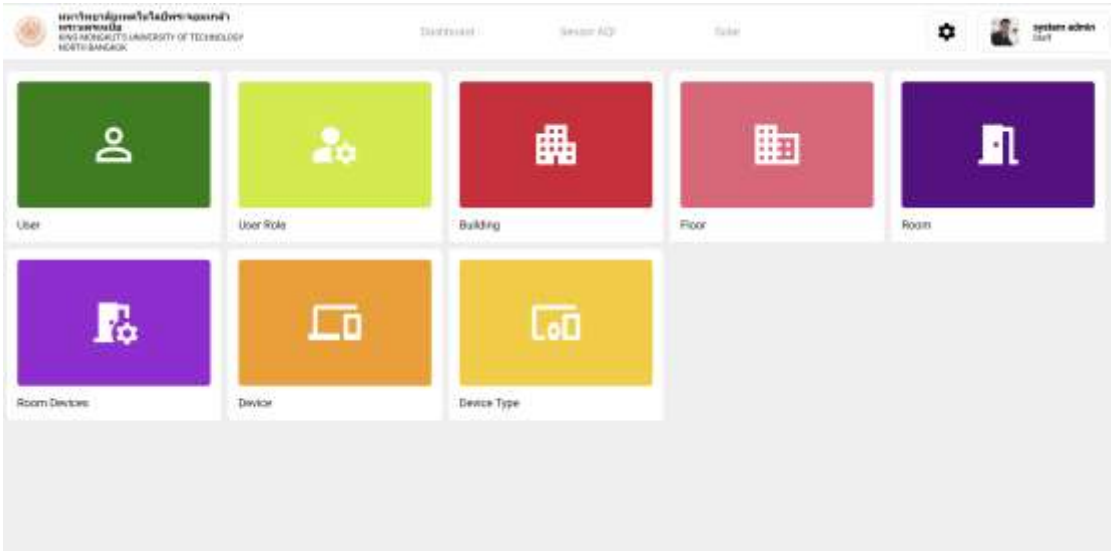
ภาพที่ 5-7 แสดงผลการรายงานภายนอกอาคาร

จากภาพที่ 5-7 เป็นที่แสดงข้อมูลจากระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศที่มีการตรวจสอบค่า AQI (Air Quality Index) และข้อมูลเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศและคุณภาพอากาศ และการสั่นสะเทือนของแผ่นดินโดยมีการแสดงค่าต่าง ๆ เช่น ค่า AQI ของเซ็นเซอร์อยู่ที่ 33.06 ซึ่งบ่งชี้ว่าอากาศอยู่ในเกณฑ์ดี ค่า PM2.5 อยู่ที่ 2.5 μg/m³ ซึ่งถือว่าต่ำมากและไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ค่าความชื้น ที่ 54% พลังงานที่ใช้ (W) อยู่ที่ 440 W สถานะของระบบคือ On ซึ่งหมายความว่ายังมีการผลิตพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์อยู่ กราฟแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายตัว ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซ (Co2) เส้นสีเขียว กราฟนี้แสดงค่าความเข้มข้นของก๊าซ Co2 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้หลักสำหรับการจัดการคุณภาพอากาศภายในพื้นที่นอกอาคาร ปกติแล้วค่าที่สูงแสดงถึงการระบายอากาศที่ไม่ดีหรือมีจำนวนคนอยู่ในพื้นที่มาก ค่า Co2 ในกราฟมีแนวโน้มที่สูงกว่าค่าอื่น ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งหมายความว่ามีการปล่อย Co2 ในพื้นที่มาก โดยประกอบกับ ค่าTVOC (สีเหลือง) เป็นค่านี้แสดง

ถึงสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งมักพบในมลพิษทางอากาศภายในอาคารหรือพื้นที่ที่มีการใช้สารเคมี ซึ่งกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าของ TVOC มีการขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ แต่ไม่สูงมากนัก ซึ่งแปลว่ามีสารประกอบอินทรีย์ระเหยอยู่บ้างแต่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศมาก ความชื้น (Humidity) เส้นสีฟ้า PM2.5 เส้นสีชมพู ซึ่งกราฟของค่า PM2.5 และ PM10 แสดงถึงฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สำคัญของคุณภาพอากาศ ค่า PM2.5 (สีชมพู) และ PM10 (สีม่วง) อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีเพราะฝุ่นละอองที่สูงจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในระยะยาว อุณหภูมิ (Temperature) คือเส้นสีน้ำตาล แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในพื้นที่ตรวจวัด ซึ่งมีความผันผวน อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมหรือการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ การสั่นสะเทือน (Vibration) แสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน มีการวัดค่าการสั่นสะเทือนเป็นตัวชี้วัดการทำงานของอุปกรณ์ในพื้นที่ อาจบ่งบอกถึงการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อพลังงานและคุณภาพอากาศหรือการสั่นของแผ่นดิน โดยค่าการสั่นสะเทือนในกราฟนี้ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าการสั่นสะเทือนไม่มากเกินไปและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ เส้นกราฟสีต่าง ๆ เหล่านี้แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ ตามเวลาที่ระบุไว้ในแกน X โดยที่แกน Y แสดงค่าของปัจจัยแต่ละตัวเส้นกราฟที่อยู่ด้านบนสุด (สีเขียว) เป็นการแสดงค่า Co2 ซึ่งค่าที่พบมีค่าค่อนข้างคงที่และสูงเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ ส่วนเส้นกราฟอื่น ๆ อยู่ในระดับต่ำกว่ามากและมีความแปรปรวนเล็กน้อย โดยเฉพาะ PM2.5, PM10, Humidity, และ Temperature ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาต่าง ๆ โดยด้านขวาสุดของภาพมีการแสดงสถานะของค่า PM2.5 ว่าอยู่ในเกณฑ์ “0-50” ซึ่งหมายถึงคุณภาพอากาศดีตามเกณฑ์มาตรฐานของ AQI ซึ่งภาพนี้แสดงให้เห็นถึงการตรวจวัดคุณภาพอากาศที่มีค่า AQI อยู่ในเกณฑ์ดี พร้อมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ เช่น CO2, PM2.5, PM10, ความชื้น, อุณหภูมิ, และการสั่นสะเทือน ข้อมูลเหล่านี้ช่วยในการประเมินและปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานและคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ที่วิจัยอยู่ และจากข้อมูลในภาพ แสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดและจัดการพลังงานในพื้นที่ที่ใช้นั้นสามารถควบคุมและรักษาคุณภาพอากาศได้เป็นอย่างดี โดยที่ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น Co2, PM2.5, PM10, TVOC และอื่น ๆ ล้วนอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม การตรวจวัดเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการสภาพแวดล้อมในพื้นที่วิจัย โดยเฉพาะในกรณีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา "วิทยาเขตอัจฉริยะ" ที่มีการใช้เทคโนโลยี IoT และระบบเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อจัดการพลังงานและคุณภาพอากาศ

Solar
Solar Name
Capacity
Power
Create Date
Items per page: 10
0 - 0 of 0

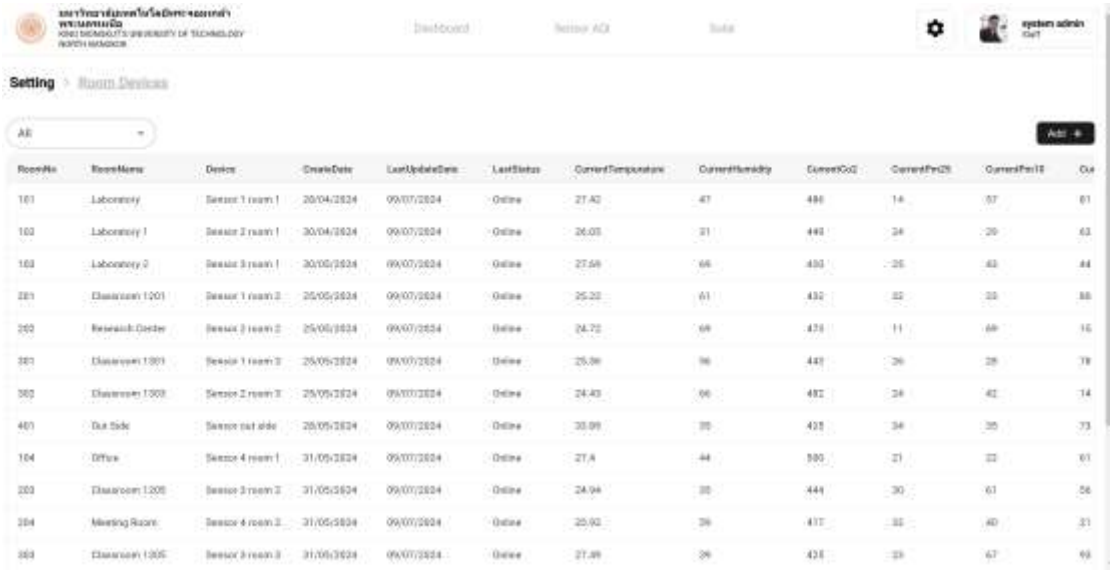

Solar
Solar Name
Capacity
Power
Create Date
Items per page: 50
0 - 0 of 0

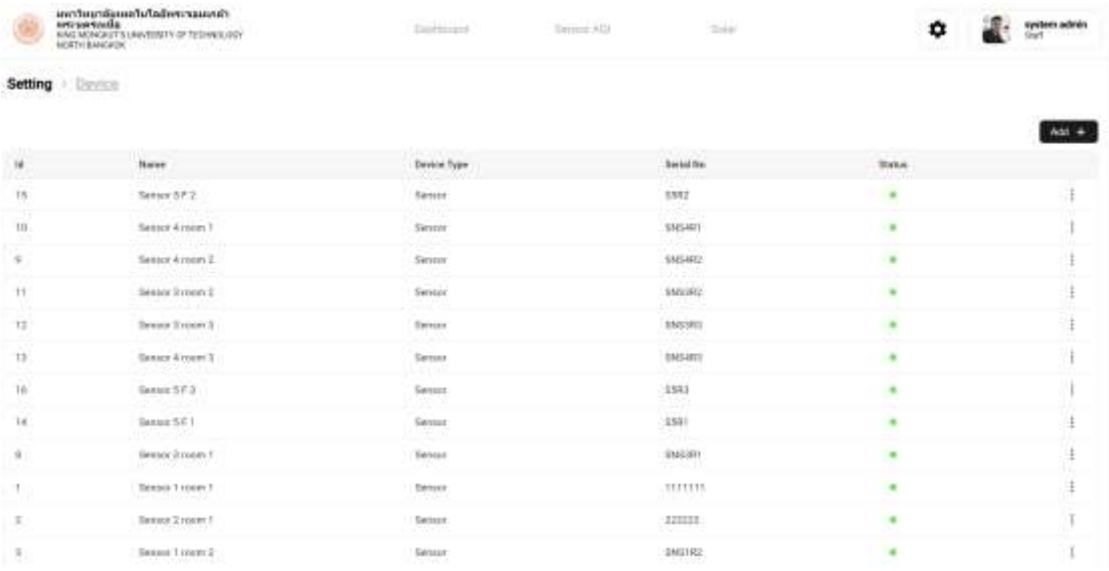


5.2.2.7 การเพิ่มอาคารเข้าระบบจัดการพลังงานคู่แฝด

Setting
User Role
Add
Id
Role Name
Sequence
Status
Items per page : 50
1 - 3 of 3

Setting
Floor
Add
Id
Name
Sequence
Status
Items per page : 50
1 - 4 of 4


Setting
Room Devices
Add
RoomNo
RoomName
Device
CreateDate
LastUpdateDate
LastStatus
CurrentTemperature
CurrentHumidity
CurrentCo2
CurrentPm25
CurrentPm10



5.3 การนำระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะไปใช้

5.3.1 ด้านการวางแผนและการออกแบบระบบ

การประเมินความต้องการพลังงาน โดยทำการประเมินการใช้พลังงานในวิทยาเขตเพื่อระบุพื้นที่ที่ต้องการการจัดการพลังงาน โดยมีการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน IoT ออกแบบการติดตั้งเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoT ในจุดต่าง ๆ ของวิทยาเขต เช่น อาคารเรียน ห้องปฏิบัติการ และพื้นที่ทางเดิน

ผู้ที่สามารถเข้าใช้งานระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะได้ คือ ผู้ที่ดูแลหรือบริหารจัดการด้านพลังงาน ดังภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานระบบ จากนั้นสามารถลงทะเบียนเข้าไปเพิ่มผู้ใช้โดยมีการให้ติดต่อผู้ดูแลระบบเพื่อเปลี่ยนสิทธิ์การเข้าถึงระบบ

5.3.2 ด้านการติดตั้งและการเชื่อมต่ออุปกรณ์

อุปกรณ์การติดตั้งเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมและการใช้พลังงาน เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง และการใช้ไฟฟ้า

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT เชื่อมต่อเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับระบบเครือข่ายเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มการจัดการพลังงาน

บทที่ 6
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะในการวิจัยเรื่อง ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะครั้งนี้ ผู้วิจัยขอสรุปสาระสำคัญของการวิจัยและนำเสนอตามลำดับ ดังนี้

6.1 สรุปผล

6.1.1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา การสังเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานในพื้นที่ต่าง ๆ ของวิทยาเขตอัจฉริยะในสถาบันอุดมศึกษา ปัจจัยเหล่านี้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวางแผนและบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นที่ภายในวิทยาเขตถูกแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น ห้องเรียน, ห้องปฏิบัติการ ห้องสมุด พื้นที่การเรียนรู้ ศูนย์วิจัย สนามกีฬา และอื่น ๆ องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการจัดการพลังงานแบ่งออกเป็น 11 ปัจจัย ได้แก่ ไฟฟ้า น้ำ อุณหภูมิ ความชื้น เสียง มลภาวะ PM2.5 ความสั่นไหว ควัน แสงสว่าง และการปรากฏตัวของผู้ใช้งาน (Presence) ตารางแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้ถูกใช้อย่างแตกต่างกันไปตามลักษณะของพื้นที่ เช่น ห้องปฏิบัติการและศูนย์วิจัยต้องการปัจจัยการจัดการพลังงานในหลายด้านอย่างละเอียด โดยเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ความชื้น และเสียง เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำวิจัย ในขณะที่พื้นที่ทั่วไป เช่น ห้องเรียนและห้องประชุม จะเน้นการจัดการปัจจัยอย่างไฟฟ้า แสง และการปรากฏตัวของผู้ใช้งาน

6.1.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ จากภาพสถาปัตยกรรมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อรวมองค์ประกอบจากทั้งพื้นที่กายภาพ (Physical Space) และพื้นที่ดิจิทัล (Digital Space) ผ่านการเชื่อมโยงด้วยเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) และการประมวลผลพลังงานด้วยระบบที่ใช้เทคโนโลยีทางปัญญา (Cognitive Technology) ระบบทำงานโดยรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น การตรวจวัดระดับ CO2, อุณหภูมิ, ความชื้น, เสียง, มลภาวะ PM2.5, และการปรากฏตัวของผู้ใช้งานในพื้นที่ เซ็นเซอร์เหล่านี้ส่งข้อมูลไปยัง Cloud Gateway ซึ่งข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วยเทคโนโลยี IoT ข้อมูลพลังงานที่ได้จะถูกจัดเก็บและวิเคราะห์ใน Data Lake และ Data Warehouse เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก (Data Analytics) โดยเทคโนโลยีทางปัญญาจะช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) และใช้ Machine Learning ในการสร้างโมเดลและอัลกอริทึมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการพลังงาน ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะถูกแสดงผลผ่าน Control Applications ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนการจัดการพลังงานได้ตามความต้องการ และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ผ่าน Cloud Dashboard หรือ Local Dashboard ทั้งนี้ ระบบการจัดการพลังงานยังเชื่อมโยงกับ User Energy Business Logic ซึ่งจะช่วยในการ

ควบคุมการใช้พลังงานตามหลักธุรกิจหรือการใช้งานขององค์กร โดยมีประการประเมินความเป็นไปได้อยู่ในภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$=4.69, S.D.=0.44)

6.1.3 การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ โดยระบบมีการเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ทางกายภาพและพื้นที่ดิจิทัลในการจัดการพลังงานในวิทยาเขตอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่ง โดยแบ่งเป็นสองส่วนหลัก พื้นที่ทางกายภาพ (Physical Space) โดยเน้นถึง การระบายอากาศ (Ventilation) ความสะดวกสบาย (Comfort) การประหยัดพลังงาน (Saving) ประสิทธิภาพ (Efficiency) โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructures) ซึ่งมีเซ็นเซอร์ (Sensors) ใช้ในการตรวจจับและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ

6.1.4 ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะในแต่ละรายการมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุดคือ การประเมินความคุ้มค่า การลดค่าใช้จ่ายพลังงานในระยะยาว โดยค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.86 S.D. = 0.46) รองลงมาคือด้านการวิเคราะห์และความต้องการ โดยความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายพลังงานค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.82 S.D. = 0.31) และด้านสถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี การเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ IoT ซึ่งเท่ากับ ด้านข้อมูลและการจัดการข้อมูล ในส่วนข้อมูลเรียลไทม์ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.81 S.D. = 0.33) ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยโดยรวมของผลประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะคือ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.57 S.D. = 0.48)

6.2 อภิปรายผล

การวิจัย เรื่อง ระบบจัดการพลังงานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ จากการศึกษา วิเคราะห์ สังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการสัมภาษณ์ การประเมิน รับรองผล ตลอดจนการนำไปสู่การพัฒนาระบบ และการนำระบบที่พัฒนาไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง สามารถสรุปประเด็นการอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์การวิจัย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

6.2.1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา การสังเคราะห์องค์ประกอบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการจัดการพลังงานในพื้นที่ต่าง ๆ ของวิทยาเขตอัจฉริยะ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัจจัยด้านพลังงานและสภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญในการบริหารจัดการพื้นที่ต่าง ๆ ที่มีความหลากหลายตามการใช้งาน การจัดการพลังงานในพื้นที่แต่ละประเภทจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่แตกต่างกันไป เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่นั้น ๆ ในพื้นที่เช่นห้องเรียน (Classroom) ห้องประชุม (Meeting Room) และสำนักงาน (Office) มีการพิจารณาปัจจัยด้านแสงสว่าง อุณหภูมิ และความชื้นเป็นสำคัญ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการทำงานและการเรียนรู้ของบุคลากรและนักศึกษา ขณะที่พื้นที่ที่ต้องรองรับการใช้งานอุปกรณ์วิจัย เช่น ห้องทดลอง (Laboratory) และศูนย์วิจัย (Research Center) มีการพิจารณาปัจจัยด้านเสียง ความสั่นไหว และการควบคุมมลภาวะมากขึ้น เนื่องจากการทำงานในพื้นที่ดังกล่าวต้องการความแม่นยำสูงและปราศจากการรบกวน สำหรับพื้นที่ที่เป็นพื้นที่สาธารณะ เช่น พื้นที่เดินเท้า (Pedestrian) หรือโรงอาหาร (Canteen) มีการพิจารณาปัจจัยเช่น แสงสว่างและ

การปรากฏตัวของผู้ใช้งานเป็นหลัก เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ไม่มีผู้ใช้งาน ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น การสังเคราะห์นี้ช่วยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการพลังงานที่สอดคล้องกับการใช้งานของพื้นที่ในวิทยาเขตอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความสะดวกสบายของผู้ใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ปัจจัยการจัดการพลังงานในสถาบันอุดมศึกษา พบว่าการจัดการพลังงานในวิทยาเขตอัจฉริยะประกอบไปด้วยหลายปัจจัย เช่น ไฟฟ้า น้ำ อุณหภูมิ ความชื้น เสียง และการปรากฏตัวของผู้ใช้งาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ ของวิทยาเขต เช่น ห้องปฏิบัติการและศูนย์วิจัยต้องการการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างละเอียด ขณะที่ห้องเรียนและห้องประชุมเน้นไปที่การจัดการพลังงานไฟฟ้าและแสงสว่าง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mariappan (2018) ที่เน้นถึงความสำคัญของการใช้เทคโนโลยี IoT ในการตรวจสอบและควบคุมพลังงานในวิทยาเขต เพื่อให้การจัดการพลังงานมีความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ งานวิจัยของ Mattoni และคณะ (2016) ยังชี้ให้เห็นถึงการใช้ IoT และเซนเซอร์อัจฉริยะที่ช่วยลดการใช้พลังงานในวิทยาเขตได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของการพัฒนาเมืองอัจฉริยะและวิทยาเขตที่เน้นการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยของ Jabar และ Abdullah (2022) ที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยี IoT ในวิทยาเขตอัจฉริยะเพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของระบบพลังงานให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งาน

6.2.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ จากการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการผสานพื้นที่กายภาพและดิจิทัลด้วยเทคโนโลยี IoT และการประมวลผลด้วยเทคโนโลยีทางปัญญา ข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, มลภาวะ และการปรากฏตัวของผู้ใช้งาน ถูกนำไปวิเคราะห์ใน Data Lake และ Data Warehouse ซึ่งช่วยให้การจัดการพลังงานในวิทยาเขตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้เทคโนโลยี Machine Learning ช่วยสร้างโมเดลที่สามารถปรับปรุงกระบวนการตัดสินใจได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mariappan (2018) ที่เน้นถึงการใช้ IoT ในการจัดการพลังงานในวิทยาเขตอัจฉริยะ โดยเฉพาะการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์และการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ งานวิจัยของ Mattoni และคณะ (2016) ยังชี้ให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยี IoT และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาวิทยาเขตอัจฉริยะ ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงและการบริหารจัดการทรัพยากรเป็นไปอย่างยั่งยืนมากขึ้น ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการวิจัยของ Liu และคณะ (2017) ที่ระบุว่าการใช้แพลตฟอร์มการประมวลผลคลาวด์ในวิทยาเขตอัจฉริยะช่วยในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัวของระบบการจัดการพลังงานในวิทยาเขต

6.2.3 การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ได้พัฒนาตามหลักการ วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) ก่อนที่จะนำระบบที่พัฒนาไปบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในสถาบันการศึกษาและวิทยาเขตอัจฉริยะ โดยการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าเป็นการพัฒนาระบบที่สอดคล้องสัมพันธ์กับการจัด

การพลังงานสากล โดยใช้แนวคิดของคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ในการพัฒนาแบบจำลองดิจิทัลที่จำลองระบบพลังงานของวิทยาเขต ทั้งในด้านการผลิต การจัดเก็บ และการใช้พลังงาน การเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT และเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในวิทยาเขต เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ฯลฯ โดยมีการผสานกับเทคโนโลยีปัญญา (Cognative Technology) ซึ่งการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย AI เพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์การใช้พลังงาน มีการใช้ Machine Learning เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องและการเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (IoT) โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ IoT ทั่ววิทยาเขตเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ และทำการเชื่อมต่อระบบต่าง ๆ ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเพื่อให้สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านพลังงานในวิทยาเขตแบบเรียลไทม์ โดยคู่แฝดดิจิทัลเป็นการสร้างแบบจำลองดิจิทัลของระบบการจัดการพลังงานในวิทยาเขต ซึ่งสามารถจำลองและทำนายผลกระทบจากการใช้งานพลังงานต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoT ที่ติดตั้งทั่วอาคาร เพื่อให้ระบบสามารถตัดสินใจและปรับปรุงการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้คู่แฝดดิจิทัลร่วมกับ AI และ IoT สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในวิทยาเขตได้ ลดการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มความยั่งยืนให้กับวิทยาเขต

นอกจากนี้ยังช่วยในการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวิทยาเขต ทำให้สามารถระบุปัญหาและแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้และการทำงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุนการใช้พลังงานในระยะยาว และเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานในวิทยาเขต นอกเหนือจากเรื่องของพลังงานแล้วระบบยังทำการตรวจสอบและแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารของวิทยาเขตอัจฉริยะ โดยจะทำการคาดการณ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศแสดงบนแดรชบอร์ดดิจิทัล เพื่อให้การทำงานของเครื่องปรับอากาศทำงานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ และในส่วนของแสงสว่าง ที่ต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้า ก็จะทำการเปิด-ปิดแบบอัตโนมัติเพื่อให้การใช้แสงสว่างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสามารถเปิด-ปิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเพื่อให้การใช้แสงสว่างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและแสงสว่างภายในอาคาร ช่วยลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งาน โดยระบบนี้สามารถลดการใช้พลังงานสำหรับการแสงสว่างได้ถึง 30% เมื่อเทียบกับระบบแบบเดิมและการบำรุงรักษาและการตรวจสอบระบบสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และแจ้งเตือนเมื่อพบปัญหาหรือการทำงานที่ผิดปกติ ทำให้การบำรุงรักษาเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งในเรื่องของความยั่งยืน การลดการใช้พลังงานส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสนับสนุนความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นเรื่องความปลอดภัยจากแผ่นดินไหว ระบบจะมีเซ็นเซอร์ตรวจจับการสั่นสะเทือนและแสดงผลไปยังแดรชบอร์ดแบบดิจิทัล ระบบสามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแผ่นดินไหวและแจ้งเตือนผู้บริหารและบุคลากรผ่านแดรชบอร์ดแบบดิจิทัล เพื่อให้สามารถดำเนินการตามขั้นตอนฉุกเฉินได้อย่างทันท่วงที โดยมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับการสั่นสะเทือนในจุดสำคัญช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งานในวิทยาเขต และในส่วนของคุณภาพอากาศนั้นมีการตรวจจับค่า PM2.5 การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับค่า PM2.5 ทั่วบริเวณวิทยาเขตเพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศ และแสดงผลค่า PM2.5 บนแดรชบอร์ดแบบดิจิทัล

เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลคุณภาพอากาศและสามารถดำเนินการตามขั้นตอนที่เหมาะสมระบบสามารถตรวจจับค่า PM2.5 ซึ่งแสดงผลการตรวจวัดเป็นกราฟและตัวเลขบนแดรชบอร์ดแบบดิจิทัล ทำให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลคุณภาพอากาศและสามารถตัดสินใจในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ภายในวิทยาเขตได้อย่างเหมาะสม โดยมีการแจ้งเตือนเมื่อค่า PM2.5 เกินระดับที่ปลอดภัย ทำให้สามารถดำเนินการป้องกันและแก้ไขได้ทันท่วงที อีกทั้งยังมีการแสดงค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น โดยระบบแสดงผลจำนวนต้นไม้ที่ปลูกเพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ผู้ใช้งานทราบถึงผลกระทบทางบวกที่เกิดจากการใช้พลังงานที่ลดลงและการปลูกต้นไม้ระบบคำนวณและแสดงผลเป็นจำนวนต้นไม้ที่ต้องปลูกเพื่อชดเชยการใช้พลังงานในวิทยาเขต ทำให้เห็นถึงความพยายามในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาและ IoT ในวิทยาเขตอัจฉริยะที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าการผสานเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัล, AI, และ IoT สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานได้อย่างชัดเจน ระบบดังกล่าวทำให้เกิดการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ ช่วยลดการสูญเสียพลังงาน และส่งเสริมความยั่งยืน โดยเฉพาะการใช้ Machine Learning ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2017) ที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของแพลตฟอร์มคลาวด์และ IoT ในการจัดการพลังงานในวิทยาเขตอัจฉริยะ นอกจากนี้ การวิจัยของ Mattoni และคณะ (2016) ยังสนับสนุนว่า การใช้ IoT และเซ็นเซอร์สามารถลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้งานได้ถึง 30% โดยเฉพาะในด้านแสงสว่าง ในส่วนของการตรวจจับและวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งทั่ววิทยาเขต งานวิจัยของ Mariappan (2018) ยืนยันถึงความสำคัญของการใช้ IoT เพื่อรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ด้วย AI เพื่อให้สามารถทำนายและปรับปรุงการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการสั่นสะเทือนและ PM2.5 ยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยและคุณภาพชีวิตในวิทยาเขต ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาในสถาบันการศึกษาทั่วโลกที่ให้ความสำคัญกับการจัดการพลังงานแบบยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

6.2.4 ผลการประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะจากการประเมินผู้เชี่ยวชาญ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ผสานกับเทคโนโลยีทางปัญญาและการเชื่อมโยงสรรพสิ่ง (IoT) เป็นแนวทางที่ทันสมัยและมีศักยภาพสูงในการพัฒนาวิทยาเขตอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน ทั้งในด้านการใช้พลังงาน การรักษาความปลอดภัย และการสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีสำหรับการเรียนรู้และทำงาน โดยการประยุกต์ใช้ Digital Twin ในระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าสามารถจำลองและทำนายผลกระทบจากการใช้งานพลังงานได้อย่างแม่นยำ ช่วยให้สามารถจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง การผสานกับ AI ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ IoT ที่ติดตั้งทั่ววิทยาเขต ทำให้ระบบสามารถตัดสินใจและปรับปรุงการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดดิจิทัลยังส่งผลให้สามารถควบคุมการทำงานของระบบแสงสว่างและเครื่องปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและแสงสว่างเพื่อเปิด-ปิดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ลดการใช้พลังงานได้ นอกจากการจัดการพลังงานแล้ว ระบบยังรองรับการตรวจสอบและแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น

PM2.5 และการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวผ่านแดรชบอร์ดดิจิทัล การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับการสั่นสะเทือนและคุณภาพอากาศช่วยเพิ่มความปลอดภัยและคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานในวิทยาเขต นอกจากนี้ การแสดงค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยให้เห็นถึงความพยายามในการลดปริมาณ CO2 ผ่านการปลูกต้นไม้ การใช้เทคโนโลยี Digital Twin, AI, และ IoT ในระบบการจัดการพลังงานของวิทยาเขตอัจฉริยะ ไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แต่ยังช่วยในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ ลดต้นทุนการใช้พลังงานในระยะยาว และสนับสนุนความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ทำให้วิทยาเขตกลายเป็นสถานที่ที่น่าอยู่และส่งเสริมการเรียนรู้และการทำงานอย่างยั่งยืน ทั้งนี้การบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถสร้างประโยชน์ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ส่งผลให้วิทยาเขตอัจฉริยะกลายเป็นโมเดลของการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในอนาคต ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดดิจิทัล (Digital Twin) ผสานกับเทคโนโลยีทางปัญญาและ IoT ในวิทยาเขตอัจฉริยะ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงในการจัดการพลังงานอย่างต่อเนื่อง การใช้งาน Digital Twin ช่วยจำลองและทำนายผลกระทบจากการใช้พลังงานได้อย่างแม่นยำ ช่วยในการปรับปรุงระบบให้เกิดความยั่งยืนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ji et al. (2021) ที่ยืนยันว่าเทคโนโลยีคู่แฝดดิจิทัลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงาน ลดการใช้พลังงาน และสนับสนุนความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างดี โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมของวิทยาเขตอัจฉริยะที่มีการบูรณาการ AI และ IoT อีกทั้งยังสอดคล้องกับการวิจัยของ Abdullah และคณะ (2022) ที่ยังสนับสนุนว่าเทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยให้ระบบสามารถจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังลดต้นทุนการบำรุงรักษาและเพิ่มความปลอดภัยในวิทยาเขตอีกด้วย และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2022) ที่ยังชี้ให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้ IoT และ Machine Learning สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานและปรับปรุงการตัดสินใจเชิงพลังงานในสถาบันการศึกษา ส่งผลให้เกิดการจัดการพลังงานที่ยั่งยืน

6.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยแบ่งออกได้ตามวัตถุประสงค์การวิจัยโดยมีรายละเอียด ดังนี้

6.3.1 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้

6.3.1.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด ควรพิจารณาเพิ่มฟีเจอร์การเข้าถึงและควบคุมระบบผ่านอุปกรณ์พกพาและเทคโนโลยีสมาร์ทโฟน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามและควบคุมการใช้พลังงานในวิทยาเขตแบบเรียลไทม์ ไม่ว่าจะอยู่ในสถานที่ใด

6.3.1.2 การปรับปรุงการจัดเก็บข้อมูล ควรพิจารณาเพิ่มระบบบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์จากเซ็นเซอร์ IoT ที่ติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ ของวิทยาเขต และควรนำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลด้วยเทคโนโลยีทางปัญญา เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงที่มีการใช้งานต่ำ เช่น ช่วงเวลากลางคืนหรือวันหยุด

6.3.1.3 ควรปรับปรุงการแสดงผลข้อมูล โดยการพัฒนาระบบแดชบอร์ดที่ใช้งานง่ายและสามารถนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในรูปแบบกราฟหรือภาพที่เข้าใจง่าย เพื่อให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.3.1.4 ควรพิจารณาเพิ่มการรองรับการเข้าสู่ระบบผ่านบัญชีผู้ใช้จากแพลตฟอร์มโซเชียลมีเดียต่างๆ เช่น Google, Microsoft, หรือ Facebook เพื่อความสะดวกในการเข้าถึงและลดขั้นตอนการลงทะเบียน

6.3.1.5 ควรพิจารณาเพิ่มความสามารถในการจัดการเหตุการณ์พลังงานแบบอัตโนมัติ โดยให้ระบบสามารถคาดการณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตจากข้อมูลที่เก็บรวบรวม และทำการปรับการจ่ายพลังงานตามลำดับ เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

6.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งถัดไป

6.3.2.1 ระบบที่พัฒนาขึ้นควรถูกนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายมากขึ้น เช่น เจ้าหน้าที่บริหารงานวิทยาเขต และนักศึกษาจากหลายระดับชั้น เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลการตอบสนองต่อการใช้งานระบบจากกลุ่มผู้ใช้งานที่แท้จริง

6.3.2.2 ในการวิจัยครั้งถัดไปควรมีการศึกษาถึงผลกระทบด้านความปลอดภัยของข้อมูลที่เกิดจากการเชื่อมต่อกับระบบ IoT และการนำข้อมูลพลังงานมาใช้ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในด้านการจัดการพลังงาน

6.3.2.3 ควรพิจารณาการเชื่อมโยงระบบการจัดการพลังงานกับระบบอื่นๆ ในวิทยาเขต เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย และระบบการจัดการอาคาร เพื่อให้เกิดการบูรณาการที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในวิทยาเขตอัจฉริยะ

6.3.2.4 การวิจัยในอนาคตอาจเน้นการพัฒนาระบบที่สามารถปรับปรุงตัวเองได้ (self-optimizing) โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่มีการเรียนรู้จากข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน เพื่อให้สามารถปรับปรุงการใช้งานพลังงานได้อย่างต่อเนื่องและลดการสูญเสียพลังงานในระยะยาว

6.3.2.5 การนำระบบจัดการพลังงานคู่แฝดนี้ไปใช้ในสถาบันการศึกษาอื่นๆ ควรคำนึงถึงบริบทที่แตกต่างกันของแต่ละสถาบัน เช่น ขนาดของพื้นที่และประเภทของอาคาร เพื่อให้ระบบสามารถปรับใช้ได้อย่างเหมาะสมตามสถานการณ์และความต้องการของแต่ละสถาบัน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ประทินทิพย์ พรไชยยา. (2561). “การพัฒนารูปแบบการสร้างเสริมสมรรถนะการวิจัยในชั้นเรียนของครู ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา เขต 23.” *วารสารวิชาการสถาบันวิทยาการแห่งแปซิฟิค*. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 : 25-43.

ปราโมทย์ ถ่างกระโทก. (2561). *สมรรถนะดิจิทัลของพยาบาลวิชาชีพไทย*. ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 : 1–12.

พัชริน ดำรงกิตติกุล. (2555). [ออนไลน์]. *การจัดการระบบนิเวศการวิจัย* (Research Environment) เพื่อรับใช้สังคม ชุมชน ท้องถิ่น. [สืบค้นวันที่ 9 พฤศจิกายน 2563]. จาก http://research-thailand.blogspot.Com/2013/07/research-environment.html

พิมพ์ปวีณ์ สุวรรณโณ. (2560). “*การพัฒนารูปแบบการประเมินสมรรถนะการวิจัยของอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏ ภาคใต้*.” วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิจัย วัดผลและสถิติการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

รัตนะ บัวสนธ์. (2563). “การวิจัยแบบไร้กำแพงทางวิชาการ.” *วารสารราชพฤกษ์*. ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 : 1-5.

เสกสรร สุขเสนา และวสวัตติ์ วงศ์พันธุเศรษฐ์. (2563). “การเรียนรู้บนความท้าทายเป็นฐาน เพื่อส่งเสริมการแก้ปัญหาที่ถูกท้าทายในปัจจุบันของผู้เรียน.” *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร*. ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 : 106-117.

เสาวภา วิชาด. (2554). [ออนไลน์]. การศึกษาในกระบวนทัศน์ใหม่: การเรียนโดยใช้การวิจัยเป็นฐาน. [สืบค้นวันที่ 9 พฤศจิกายน 2563]. จาก https://www.bu.ac.th/knowledgecenter/executive_journal/july_sep_11/pdf/aw4.pdf

สิโรดม มณีแฮด และปณิตา วรรณพิรุณ. (2562). “ระบบนิเวศการเรียนรู้ดิจิทัลด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับการเรียนรู้อย่างชาญฉลาด.” วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 : 359–373.

ภาษาอังกฤษ

Abdolvahhab, Fetanat., Ehsan, Khorasaninejad., Gholamreza, Shafipour. (2021). “Energy security-based game theoretic approach for strategies selection in climate risk and energy resources management: a case study of Iran.” i*nternational journal of energy and environmental engineering*, doi: 10.1007/S40095-021-00400-5

Ahmad, Hamdan., Sedat, Sonko., Adefunke, Fabuyide., Cosmas, Dominic, Daudu., Arumugam. (2024). “Design and Development of an IoT based Intelligent Energy Meter using Less Expensive Controller Unit.” *International Conference on Intelligent* Systems for Cybersecurity (ISCS), Gurugram, India, 2024, : 1-6.

Arowoiya, Victor Adetunji, Robert Christian Moehler, and Yihai Fang. (2024). “Digital twin technology for thermal Comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions.” *Energy and Built Environment.* Vol.5 No.5 , : 641-656.

Alhayaly, Qaddo M. Noori, and Rayan Yousif Alkhayat. (2024). “Design and Implementation of a Data Warehouse for Managing an Educational Institution.” *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*. Vol. 8 , No. 3 , : 1-36.

A. Davids. (2022). “Urban search and rescue robots: from tragedy to technology.” *IEEE Intelligent Systems.* vol.17, : 81-83.

A. K. Gupta and R. Johari. (2019). “IOT based Electrical Device Surveillance and Control System.” *2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*. Ghaziabad, India, : 1-5.

Arun, Agarwal., Sayan, Prasad, Basu., Sukhankshama, Nayak. (2023). “IoT Data Management and Analytics: Challenges, Solutions & Trends.” *Journal of ISMAC The Journal of IoT in Social, Mobile, Analytics, and Cloud*. doi:10.36548 /jismac.2023.3.005

Balali, Amirhossein, Akilu Yunusa-Kaltungo, and Rodger Edwards. (2023).“A systematic review of passive energy Consumption optimisation strategy selection for buildings through multiple decision-making techniques.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* Vol.171, : 113-123.

Bibri, Simon Elias, et al., (2023). “Environmentally sustainable smart cities and their Converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review.” *Energy Informatics.* Vol. 6, No. 1, : 1-9.

B. Ridhosari and A. Rahman. (2020). “Carbon footprint assessment at Universitas Pertamina from the sCope of electricity transportation and waste generation: toward a green campus and promotion of environmental sustainability.” *Journal of Cleaner Production*, vol.246, : 119-172.

EBIESUWA, SEUN, et al. (2022). “INTERNET OF THINGS (IOT) APPROACH TO COMBATING ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ISSUES.” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology.*

Cherradi, Mohamed, and Anass El Haddadi. (2024). “Data lake management using topic modeling techniques.” *Data and Metadata.* Vol.3, : 282-282.

C. M. Legaard, C. Gomes, P. G. Larsen and F. F.Foldager. (2020). “Rapid Prototyping of Self-Adaptive-Systems using Python Functional Mockup Units.” *2020 Summer Simulation Conference, SummerSim*, : 1-12.

Chaiyarak, Sakchai, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. (2021). “An empirical study of intelligent virtual universal learning platforms.” *2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C).* IEEE, 2021.

C. Wang, D. Wang, Y. Duan and X. Tao, (2023). “Secure and Lightweight User Authentication Scheme for Cloud-Assisted Internet of Things.” in *IEEE Transactions on Information Forensics and Security.* vol.18, : 2961-2976.

Cybersecurity using Digital Twins in IoT-based Healthcare Applications," 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring), Helsinki, Finland, pp. 1-5, 2022.

C. Badii, P. Bellini, A. Difino, and P. Nesi, (2023). “Smart city IoT platform respecting GDPR privacy and security aspects,” *IEEE Access*, vol.8, : 23601–23623.

C. V. Suresh Babu, Andrew Simon P., (2020). “Adaptive AI for Dynamic Cybersecurity Systems", Principles and Applications of Adaptive Artificial Intelligence, : 52,

C. M. Legaard, C. Gomes, P. G. Larsen and F. F. Foldager. (2020). “Rapid Prototyping of Self-Adaptive-Systems using Python Functional Mockup Units.” *Proceedings of the 2020 Summer Simulation Conference ser. SummerSim.* : 1-12.

Chopade, Swati Sandeep, Hari Prabhat Gupta, and Tanima Dutta. (2023). “Survey on sensors and smart devices for IoT enabled intelligent healthcare system.” *Wireless Personal Communications*, Vol.131, No.3, : 1957-1995.

DeMedeiros, Kyle, Abdeltawab Hendawi, and MarCo Alvarez", A survey of AI-based anomaly detection in IoT and sensor networks", Sensors, Vol. 23, No. 3, 2023, : 1352.

D. Panket, P. Wannapiroon and P. Nilsook, "A Review Intelligent Supply Chains for Asset Management," 2022 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C), Bangkok, Thailand, , : 347-352, 2022.

D. Lehner, J. Pfeiffer, E. F. Tinsel, M. M. Strljic, S. Sint, M. Vierhauser, et al., "Digital Twin Platforms: Requirements Capabilities and Future Prospects", IEEE Software, vol. 7459, no. c, : 1-7, 2021.

DQ Institute. (2019). [online]. *Digital Intelligence*. [cited September 21, 2020] Available from URL : https://www.dqinstitute.org/dq-framework/

Dai, Haifeng, et al., (2021). “Advanced battery management strategies for a sustainable energy future: Multilayer design Concepts and research trends.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 138, : 110480.

Do Amaral, J. V. S., et al, (2023). “Energy digital twin applications: a review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.188, 2023, : 113891.

eshma, P., Priya, A.S., Teja, C.S., Sivani, B.S., Harsha, C.S., & Rao, K.D., (2024). “Power Consumption Monitoring System Using IoT.” *2024 International Conference on Emerging Systems and Intelligent Computing (ESIC)*. : 387-392.

Emmanuel, Augustine, Etukudoh. (2024). “Real-time energy monitoring systems: Technological applications in Canada, USA, and Africa”. *World Journal Of Advanced Research and Reviews*, Vol.24, : 2053–2063.

E. V. Volkova. (2015). “Cognitive Learning Technology: DI-approach.” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 171, : 1330–1339. , doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.250.

E. Alharbi, (2021). “People-Centric Smart Campus,” *2021 International Symposium on Computer Science and Intelligent Controls (ISCSIC)*, Rome, Italy, : 264-267.

Fei Liu, Ping Ma and Ming Yang, (2005). “A validation methodology for AI simulation models.” *2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, *Guangzhou, China*, Vol.7, : 4083-4088.

Farrokhi, Alireza, et al, "Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey", Computer Networks, Vol.189 2021, : 107859.

Farhad, Yazdandoost., S., Yazdani. (2024). “Enhancing Energy Security through Portfolio Thinking: An Analysis of National Energy Portfolios.” *iranica journal of energy and environment*, doi: 10.5829/ijee.2024.15.04.05

F. F. Devitama, B. Paramita, and N. A. Ardiani, (2020). “Planning and Designing UPI Science and Techno Park as a Green Campus Center in Universitas Pendidikan Indonesia,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 520, no.1, doi: 10.1088/1755-1315/520/1/012021.

Giulia, Pancheri. (2022). “Energy security as an integral element of ensuring the eConomic security of the state in the national security strategies of Ukraine.” Naukovij vìsnik Užgorods kogo nacìonal nogo unìversitetu, doi: 10.24144/2307-3322.2021.67.32

H. Feng, C. Gomes, C. Thule, K. Lausdahl, M. Sandberg and P. G. Larsen, (2021). “The Incubator Case Study for Digital Twin Engineering.” Feb. 2021.

H. Feng, C. Gomes, S. Gil, P. H. Mikkelsen, D. Tola, P.G. Larsen, et al., (2022) “Integration Of The Mape-K Loop In Digital Twins.” *2022 Annual Modeling and Simulation Conference (ANNSIM), jul 2022.*

Hansen, Emil Blixt, and Simon Bøgh. (2021). “Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey.” *Journal of Manufacturing Systems*. Vol.58, : 362-372.

Hussaini, Adamu, et al., (2023). “Digital twins of smart campus: Performance evaluation using machine learning analysis.” *2023 IEEE/ACIS 21st International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA), IEEE*,

Hengshuo, Liang., Cheng, xue, Qian., Chao, Liu., Lauren, Burgess., John, Mulo., Wei, Yu. (2023). “Named Data Networking (NDN) for Data Collection of Digital Twins-based IoT Systems.” doi: 10.1109/sera57763.2023.10197693

I. Malygin, V. Komashinskiy, and O. Korolev. (2018). “Cognitive technologies for providing road traffic safety in intelligent transport systems.” *Transp. Res. Procedia*, vol.36, : 487–492, doi: 10.1016/j.trpro.2018.12.134.

ISO, “ISO 50001: (2011). “Energy management systems.” vol.13, no.2, : 20346–20346.

I. Negreiros et al., (2020). “Smart Campus® as a living lab on sustainability indicators monitoring,” 2020 IEEE *International Smart Cities Conference (ISC2), Piscataway*, NJ, USA, : 1-5.

I. Negreiros, A. C. C. FrancisCo, F. H. Fengler, G. Faria, L. G. P. Pinto, M. Tolotto, et al., "Smart Campus® as a living lab on sustainability indicators monitoring", 2020 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2020.

I. Negreiros, A. C. C. FrancisCo, F. H. Fengler, G. Faria, L. G. P. Pinto, M. Tolotto, et al., "Smart Campus® as a living lab on sustainability indicators monitoring", 2020 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2020.

J. Fitzgerald, P. G. Larsen and K. Pierce, Multi-modelling and Co-simulation in the Engineering of Cyber-Physical Systems: Towards the Digital Twin, Springer International Publishing, vol. 11865 LNCS, 2019.

Jaqueline, B., Correia., Mary, Deborah, Abel., Karin, E., Becker. (2023). 5. Data management in digital twins: a systematic literature review. Knowledge and Information Systems, doi: 10.1007/s10115-023-01870-1

J. Pfeiffer, D. Lehner, A. Wortmann and M. Wimmer, "Modeling Capabilities of Digital Twin Platforms-Old Wine in New Bottles?", Journal of Object Technology, vol. 21, no. 3, 2022.

Jaynesh, H., Desai., Swetabh, Patel., Shanti, Verma., Sangeetha, Subramaniam. (2024). 2. Machine Learning Application for Virtual Replicas (Digital Twins) in Cybersecurity. Advances in business information systems and analytics book series, doi: 10.4018/979-8-3693-3234-4.ch019

John, A., Paravantis., Nikoletta, Kontoulis., Athanasios, Ballis., D., Tsirigotis., V., Dourmas. (2018). “A Geopolitical Review of Definitions, Dimensions and Indicators of Energy Security.” doi: 10.1109/IISA.2018.8633676

Konstantinos Bousmalis, Alex Irpan, Paul Wohlhart, Yunfei Bai, Matthew Kelcey, Mrinal Kalakrishnan, et al., "Using simulation and domain adaptation to improve efficiency of deep robotic grasping", ICRA, 2018.

K. Kuribayashi, Y. Miyake, K. Rikitake, K. Tanaka and Y. Shinoda, "Dynamic IoT Applications and Isomorphic IoT Systems Using WebAssembly," 2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Aveiro, Portugal, pp. 1-8, 2023.

K. Kuribayashi, Y. Miyake, K. Rikitake, K. Tanaka and Y. Shinoda, "Dynamic IoT Applications and Isomorphic IoT Systems Using WebAssembly," 2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Aveiro, Portugal, pp. 1-8, 2023.

Kenneth, Ifeanyi, Ibekwe., Emmanuel, Augustine, Etukudoh., Zamathula, Queen, Sikhakhane, Nwokediegwu., Aniekan, Akpan, Umoh., Adedayo, Adefemi., Valentine, Ikenna, Ilojianya. (2024). “Energy security in the global Context: a Comprehensive review of geopolitical dynamics and policies.” doi: 10.51594/estj.v5i1.741 Ashling Partners. (2020). [online]. *INTELLIGENT AUTOMATION*. [cited September 21, 2020] Available from URL : https://www.ashlingpartners.Com

Kishor, Amit, and Chinmay Chakraborty, "Artificial intelligence and internet of things based healthcare 4.0 monitoring system", Wireless personal Communications, Vol. 127, No.2, 2022, pp. 1615-1631.

Kalita, Kanak, et al., "Parametric optimization of non-traditional machining processes using multi-criteria decision making techniques: literature review and future directions", Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, Vol. 6, No. 1, 2023, pp. 1-40.

Koçi, Rediana, et al., "Web api evolution patterns: A usage-driven approach", Journal of Systems and Software, Vol. 198, 2023, pp. 111609.

Li, Na, et al., "Design and Optimization of Smart Campus Framework Based on Artificial Intelligence", Journal of Information Systems Engineering and Management, Vol. 8, No. 3, 2023, : 23086.

Luigi, Coppolino., Roberto, Nardone., Alfredo, Petruolo., Luigi, Romano. (2023). 5. Building Cyber-Resilient Smart Grids with Digital Twins and Data Spaces. Applied Sciences, doi: 10.3390/app132413060

Liu, Huafeng, et al. "An effective energy management Layout-Based reinforcement learning for household demand response in digital twin simulation", Solar Energy, Vol. 258, 2023, pp. 95-105.

M. Deitke et al., "RoboTHOR: An Open Simulation-to-Real Embodied AI Platform," 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern ReCognition (CVPR), Seattle, WA, USA, pp. 3161-3171, 2020.

Manish, Kumar., Muralidhar, Nayak, Bhukya., Anshuman., Sachin. (2021). 5. Impact and SCope of Electric Power Generation Demand Using Renewable Energy Resources Due to COVID-19. doi: 10.1007/978-981-15-9829-6_39

M. P. Sari, A. Hajawiyah, S. Raharja, and I. D. Pamungkas, “The report of university sustainability in Indonesia,” *Int. J. Innov. Creat. Chang.*, vol. 11, no. 8, p

M. D. Amore and M. Bennedsen. (2016). “Corporate governance and green innovation,” *J. Environ. ECon. Manage.*, vol. 75, pp. 54–72, , doi: 10.1016/j.jeem.2015.11.003.

M. D. Dickey. (2008). “Integrating Cognitive apprenticeship methods in a Web-based educational technology Course for P-12 teacher education,” *Comput. Educ.*, vol. 51, no. 2, : 506–518, doi: https://doi.org/10.1016/j.Compedu.2007.05.017.

M. Chassignol, A. Khoroshavin, A. Klimova, and A. Bilyatdinova. (2018). “Artificial Intelligence trends in education: A narrative overview.” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 136, : 16–24, doi: 10.1016/j.procs.2018.08.233.

M. Balasubramani, B. Gohin, J. Jayashankari, V. Samuthira Pandi, K. C. Ravi and D. Mahapatra, Bandana, and Anand Nayyar, "Home energy management system (HEMS): Concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes," Energy Systems, Vol. 13, No. 3, 2022, pp. 643-669.

Mariano-Hernández, Deyslen, et al, (2021). “A review of strategies for building energy management system: Model predictive Control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis.” *Journal of Building Engineering.* Vol.33, : 101692.

Mishra, Priyanka, and Ghanshyam Singh., (2 0 2 3). “Energy management systems in sustainable smart cities based on the internet of energy: A technical review.” *Energies*, Vol.16, No.19 : 6903.

Mohammad, Hossein, Homaei., Óscar, Mogollón-Gutiérrez., José, Carlos, Sancho, Núñez., Mar, Ávila., Andrés, Caro. (2024). “A review of digital twins and their application in cybersecurity based on artificial intelligence.” *Artificial Intelligence* Review, doi: 10.1007/s10462-024-10805-3

M. Çolak, F. K. Gündoğdu, E. Bozkuş, G. Işık, A. Karaşan and İ. Kaya, (2022). “A Model Proposal for Smart Campus Investment Prioritization by Using Data Envelopment Analysis.” 2022 *International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), Sakheer, Bahrain*, : 572-575, 2022.

M. Obrecht, Z. Feodorova and M. Rosi, (2022). “Assessment of environmental sustainability integration into higher education for future experts and leaders.” *Journal of Environmental Management*, vol.3 .no16 : 115-223,

M. Çolak, F. K. Gündoğdu, E. Bozkuş, G. Işık, A. Karaşan and İ. Kaya, “A Model Proposal for Smart Campus Investment Prioritization by Using Data Envelopment Analysis," 2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), Sakheer, Bahrain, : 572-575, 2022.

M. Dalibor, M. Heithoff, J. Michael, L. Netz, J. Pfeiffer, B. Rumpe, et al., "Generating Customized Low-Code Development Platforms for Digital Twins” *Journal of Computer Languages*, vol.70, : 101-117, jun 2022.

Mahariya, Satish Kumar, et al, "Smart campus 4.0: Digitalization of university campus with assimilation of industry 4.0 for innovation and sustainability", Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, Vol. 32, No. 1, 2023, : 120-138.

Mitchell, Gordon L. "Intensity‐Based and Fabry–Perot Interferometer Sensors", Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists, 2024, pp. 125-137.

Muhammad Shoaib Farooq et al., "A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming", IEEE Access, vol. 7, pp. 156237-156271, 2019.

N. Silvis-Cividjian, "Teaching Internet of Things (IoT) Literacy: A Systems Engineering Approach", IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET), pp. 50-61, May 2019.
Canadian Government for IoT, [online] Available: https://cyber.gc.ca/en/guidance/internet-things-security-small-and-medium-organizationsitsapOOOl2.

N. Busaeri, I. A. D. Giriantari, W. G. Ariastina, and I. B. A. Swamardika. (2019). “Energy Management Assessment Measurement Using Three Measurement Approaches for Green Campus Concept,” in *ICSECC 2019 - International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing: New Idea, New Innovation, Proceedings*, 2019, : 195–199, doi: 10.1109/ICSECC.2019.8907094.

N. Min-Allah and S. Alrashed, "Smart campus—a sketch", Sustainable Cities and Society, vol. 59, pp. 102231, 2020.

Netinant, Paniti, et al., "Development and Assessment of Internet of Things-Driven Smart Home Security and Automation with Voice Commands." IoT, Vol. 5, No. 1, 2024, pp. 79-99.

Omínguez Bolaño, Tomás, et al, "An IoT system for a smart campus: Challenges and solutions illustrated over several real-world use cases", Internet of Things, Vol. 25, 2024, pp. 101099.

P. Talasila, C. Gomes, P. H. Mikkelsen, S. G. Arboleda, E. Kamburjan and P. G. Larsen, "Digital Twin as a Service (DTaaS): A Platform for Digital Twin Developers and Users," 2023 IEEE Smart World Congress (SWC), Portsmouth, United Kingdom, pp. 1-8, 2023.

P. Agarwal, R. Kumar G.V.V. and P. Agarwal, "IoT based Framework for Smart Campus: COVID-19 Readiness," 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), London, UK, 2020, pp. 539-542, UK, 2020.

R. Katakojwala and S. V. Mohan. (2021). “A critical view on the environmental sustainability of biorefinery systems.” *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 27, doi: 10.1016/j.Cogsc.2020.100392.

Rathor, Sumit K., and Dipti Saxena, "Energy management system for smart grid: An overview and key issues.", International Journal of Energy Research, Vol. 44, No. 6, 2020, pp. 4067-4109

Rajalakshmi, Krishnamurthi., Adarsh, Kumar., Dhanalekshmi, Gopinathan., Anand, Nayyar., Basit, Qureshi. (2020). 10. An Overview of IoT Sensor Data Processing, Fusion, and Analysis Techniques.. Sensors, doi: 10.3390/S20216076

R. Balasubramanian, A. Libarikian, and D. McElhaney, “Insurance 2030 The impact of AI on the future of insurance,” Digit. McKinsey Co., no. May, pp. 1–12, 2018.

Roda-Sanchez, Luis, et al., "Building a smart campus digital twin: system, analytics and lessons learned from a real-world project." IEEE Internet of Things Journal, 2023.[46] Roda-Sanchez, Luis, et al., "Building a smart campus digital twin: system, analytics and lessons learned from a real-world project", IEEE Internet of Things Journal, 2023.

Rathor, Sumit K., and Dipti Saxena, "Energy management system for smart grid: An overview and key issues," International Journal of Energy Research, Vol. 44, No. 6, 2020, pp. 4067-4109.

R. V. Imbar, S. H. Supangkat and A. Z. R. Langi, "Development of Smart Campus Model," 2021 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), Bandung, Indonesia, pp. 1-5, 2021.

R. V. Imbar, S. H. Supangkat, A. Z. R. Langi and A. A. Arman, "Measurement of Campus Smartness: The Development of Smart Campus Model," 2023 10th International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), Bandung, Indonesia, pp. 1-6, 2023.

Rangineni, Sandeep, "An analysis of data quality requirements for machine learning development pipelines frameworks", International Journal of Computer Trends and Technology, Vol. 71, No. 9, 2023, pp. 16-27.

S. Pirbhulal, H. Abie and A. Shukla, "Towards a Novel Framework for Reinforcing

Samour, Ahmed, et al, "Insights from BRICS-T eConomies on the impact of human capital and renewable electricity Consumption on environmental quality", Scientific Reports, Vol. 13, No. 1, 2023, pp. 5245.

Spandana, K., and S. Pabboju, "IoT Enabled Smart Agriculture using Digital Dashboard", Indian Journal of Science and Technology, Vol. 16, No. 1, 2023, pp. 1-11.

S. Sopapradit and P. Piriyasurawong, (2020)., “Green University Using Cloud Based Internet of Things Model for Energy Saving,” *Int. Educ. Stud.*, vol. 13, no. 9, p. 123, doi: 10.5539/ies.v13n9p123. p. 110–124, 2020.

Schmitt, Marc, "Automated machine learning: AI-driven decision making in business analytics", Intelligent Systems with Applications, Vol. 18, 2023, pp. 200188.
Zhu, Jun-Jie, Meiqi Yang, and Zhiyong Jason Ren, "Machine learning in environmental research: Common pitfalls and best practices", Environmental Science & Technology, Vol. 57, No. 46, 2023, pp. 17671-17689.

Siti, Rosilah, Arsad., Muhamad, Haziq, Hasnul, Hadi., Nayli, Aliah, Mohd, Afandi., Pin, Jern, Ker., Shirley, Gee, Hoon, Tang., Madihah, Mohd, Afzal., Santhi, Ramanathan., Chai, Phing, Chen., Prajindra, Sankar, Krishnan., Sieh, Kiong, Tiong. (2023). “The Impact of COVID-19 on the Energy Sector and the Role of AI: An Analytical Review on Pre- to Post-Pandemic Perspectives.” *Energies*, doi: 10.3390/en16186510

Schmeck, Hartmut, Antonello Monti, and Veit Hagenmeyer. "Energy informatics: key elements for tomorrow's energy system", Communications of the ACM, Vol. 65, No. 4, 2022, pp. 58-63.

S. Wu, M. Wang, and Y. Zou. (2018). “Bidirectional Cognitive Computing method supported by cloud technology.” *Cogn. Syst. Res.*, vol. 52, : 615–621, doi: 10.1016/j.Cogsys.2018.07.035.

Sharma, Vibhu, "Integrating renewable energy with building management systems: Pathways to sustainable infrastructure", Journal of Waste Management & Recycling Technology, Vol. 2, No. 1, 2024.

Sunil, Abith Kizhakkemuri, Preethi Nanjundan, and Jossy Paul George, "Deployment of IoT with AI for Automation", AI-Driven IoT Systems for Industry 4.0. CRC Press, 2024, pp. 364-381

Schmeck, Hartmut, Antonello Monti, and Veit Hagenmeyer, "Energy informatics: key elements for tomorrow's energy system, "Communications of the ACM, Vol. 65, No. 4, 2022, pp. 58-63.

Shi, Qiongfeng, et al, "Progress in wearable electronics/photonics—Moving toward the era of artificial intelligence and internet of things", InfoMat, Vol. 2, No. 6, 2020, pp. 1131-1162.

Song, Junsup, et al, "Process Algebraic Approach for Probabilistic Verification of Safety and Security Requirements of Smart IoT (Internet of Things) Systems in Digital Twin", Sensors, Vol. 24, No. 3, 2024, pp. 767.

S. Phuengrod, P. Wannapiroon and P. Nilsook, "Intelligent Collaborative Supply Chain Management (iCSCM)", IEEE International Conference on Cybernetics and Innovations (ICCI), Chonburi, Thailand, 2024, pp. 1-6.

S. Alrashed, "Key performance indicators for smart campus and microgrid", Sustainable Cities and Society, vol. 60, pp. 102264, 2020.

Sarnok, Kritsupath, Panita Wannapiroon, and Prachyanun Nilsook. "Digital Emotional Intelligence (DEI) and Learning Achievement Through Digital Storytelling in Digital Learning ECosystem for Student Teachers." 2021 5th International Conference on Education and Multimedia Technology. 2021.

Schwalb, V. Menon, N. Tenhundfeld, K. Weger, B. Mesmer and S. Gholston, "A Study of Drone-based AI for Enhanced Human-AI Trust and Informed Decision Making in Human-AI Interactive Virtual Environments," 2022 IEEE 3rd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS), Orlando, FL, USA, pp. 1-6, 2022.

S. H. S, A. Z. R. L and R. V. Imbar, "Smart Campus Model : A Literature Review", 2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), pp. 1-7, 2020.

Saraubon, Kobkiat, Panurut Chinakul, and Rittinan Chanpen. "Asset Management System using NFC and IoT Technologies." Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Software and e-Business. 2019.

Tae, Ho, Woo. (2021). “Energy utilisation-related, climate change foresight for post COVID-19 era pandemic.” I*nternational Journal of Global Warming*, doi: 10.1504/IJGW.2021.10037782

T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT, AI and Digital Twin For Smart Campus," 2022 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C), Bangkok, Thailand, 2022, pp. 160-164.

T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT 6G and Digital Twin For Smart Campus," 2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C), Bangkok, Thailand, 2023, pp. 46-50.

T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus," 2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C), Bangkok, Thailand, 2023, pp. 46-50.

T. Rujira, P. Nilsook and P. Wannapiroon, "Vocational Education Digital Enterprise Architecture Framework (VEDEAF)," 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET), Okayama, Japan, pp. 63-67, 2021.

T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus," 2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C), Bangkok, Thailand, , pp. 46-50, 2023.

T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus," 2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C), Bangkok, Thailand, pp. 46-50, 2023.

Tungpantong, Chanin, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "Factors Influencing Digital Transformation Adoption among Higher Education Institutions during Digital Disruption." Higher Education Studies 12.2 (2022) : 1-9.

Tungpantong, Chanin, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "A Conceptual Framework of Factors for Information Systems Success to Digital Transformation in Higher Education Institutions." 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET). IEEE, 2021.

Vijarania, Meenu, et al., "Energy efficient load-balancing mechanism in integrated IoT–fog–cloud environment", Electronics, Vol. 12, No. 11, 2023, pp. 2543.

Wannapiroon, Panita, et al. "Augmented reality interactive learning model, using the imagineering process for the SMART classroom." TEM Journal 10.3 (2021): 1404-1417.

Xheladini Azra, Sertan Deniz Saygili and Ferhat Dikbiyik, "An IoT-based smart exam application", Smart Technologies IEEE EUROCON 2017-17th International Conference on, pp. 513-518, 2017.

Yevgen Chebotar, Ankur Handa, Viktor Makoviychuk, Miles Macklin, Jan Issac, Nathan D. Ratliff, et al., "Closing the sim-to-real loop: Adapting simulation randomization with real world experience", ICRA, 2019. JaCob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee and Kristina Toutanova, "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding", NAACL-HLT, 2019.

Zhiyuan, Li., Xuesong, Mei., Dawei, Zhang., Zheng, Sun., Jun, Xu. (2024). 2. A quick response data Collection and management system for digital twin production line based on cloud-fog-edge Computing Collaboration. Digital twin, doi: 10.12688/digitaltwin.17907.1

Zhiyuan, Li., Xuesong, Mei., Dawei, Zhang., Zheng, Sun., Jun, Xu. (2024). 2. A quick response data Collection and management system for digital twin production line based on cloud-fog-edge Computing Collaboration. Digital twin, doi: 10.12688/digitaltwin.17907.1

Xu, Hanyue, et al, "Decentralized and Distributed Learning for AIoT: A Comprehensive Review, Emerging Challenges and Opportunities", IEEE Access, 2024.

Zahraoui, Younes, et al, "Energy management system in microgrids: A Comprehensive review", Sustainability, Vol. 13, No. 19, 2021, pp. 10492

Zheng, Zhuang, et al, "A systematic review towards integrative energy management of smart grids and urban energy systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 189, Part B, 2024, pp. 189-201.

Z. Y. Dong, Y. Zhang, C. Yip, S. Swift and K. Beswick, "Smart campus: definition framework technologies and services", IET Smart Cities, vol. 2, pp. 43-54, 2020. C. Prandi, L. Monti, C. Ceccarini and P. Salomoni, "Smart campus: Fostering the Community awareness through an intelligent environment", Mobile Networks and Applications, vol. 25, no. 3, pp. 945-952, 2020.

Z. Xiaoyi, W. Dongling, Z. Yuming, K. B. Manokaran, and A. Benny Antony. (2020). "IoT driven framework based efficient green energy management in smart cities using multi-objective distributed dispatching algorithm," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 88, no. November, p. 106567, 2021, doi: 10.1016/j.eiar.2021.106567.

ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ-สกุล	ตำแหน่ง	สังกัด
1. นายอดิศักดิ์ ชูสุข	ผู้อำนวยการกองพัฒนาพลังงานทดแทน	กระทรวงพลังงาน
2. นายพงษ์ศักดิ์ พรหมกร	ผู้อำนวยการกองวิจัย ค้นคว้าพลังงาน	กระทรวงพลังงาน
3. นายประกอบ เอี่ยมสอาด	ผู้อำนวยการกองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี	กระทรวงพลังงาน
4. ดร.สุทัด ครองชนม์	นายกสมาคม	สมาคมไอโอที (ประเทศไทย)
5. นายเมฆินทร์ วรศาสตร์	นายกสมาคม	สมาคมเพื่อการแลกเปลี่ยนความรู้สหวิทยาการ (ประเทศไทย)
6. รองศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอนก เทียนบูชา	อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปกรณ์ ยุบลโกศล	หัวหน้าหลักสูตรวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการข้อมูล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
9. นายสุชาติ เสนานนท์	ผู้จัดการ	บริษัทไอพลัสดิเวลลอปเมนท์ จำกัด
10. นายทวีป แสงภูติ	ผู้จัดการ	บริษัทดอทลายน์ จำกัด

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๓๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายอดิศักดิ์ ชูสุข ผู้อำนวยการกองพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เบิกเบียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายพงษ์ศักดิ์ พรหมกร ผู้อำนวยการกองวิจัยค้นคว้าพลังงาน กระทรวงพลังงาน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.ภอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายประกอบ เอี่ยมสอาด ผู้อำนวยการกองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กระทรวงพลังงาน

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.ภอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน ดร.สุทัด ครองชนม์ นายกสมาคม สมาคมไอโอที (ประเทศไทย)

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๒๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายเมพินทร์ วรศาสตร์ นายกสมาคม สมาคมเพื่อการแลกเปลี่ยนความรู้สหวิทยากร (ประเทศไทย)

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัย

เรียน รองศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเอียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัย

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอนก เทียนบูชา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัย

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปกรณ์ ยุบลโกศล หัวหน้าหลักสูตรวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์และวิทยาการข้อมูล
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ จะขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายสุชาติ เสนานนท์ ผู้จัดการ บริษัทไอพลัสดิเวลลอปเมนท์ จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.ภอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ จะขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๕-๐๓๔-๓๘๓๖

ที่ อว ๗๑๐๔.๕/๒๗

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐

๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือการวิจัย

เรียน นายทวีป แสงภูติ ผู้จัดการ บริษัทดอทลายน์ จำกัด

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ด้วย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ" โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเครื่องมือเพื่อการวิจัย โดยนักศึกษาขอติดต่อประสานงานในรายละเอียดโดยตรงด้วยตนเอง ทั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาเพื่อให้ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่เหมาะสม สำหรับประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าว เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ จะขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวนันท์ แดงประเสริฐ)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ

ภาควิชาครุศาสตร์เทคโนโลยีและสารสนเทศ
โทรศัพท์ / โทรสาร ๐๒-๕๘๗-๘๒๕๙
นักศึกษา โทรศัพท์ ๐๙๔-๐๓๔-๓๘๓๖

ภาคผนวก ข

เครื่องที่ใช้ในการวิจัย

แบบประเมินความเหมาะสมสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝด ด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ชื่อหัวข้อ ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ผู้วิจัย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข

คำชี้แจง

1. การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่องระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
2. แบบประเมินนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

สิ่งที่แนบมาด้วย

1. เนื้อหารายละเอียดเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
2. แบบประเมินสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทรงคุณวุฒิ

ชื่อผู้ประเมิน .....

ตำแหน่ง .....

สถานที่ทำงาน .....

ตอนที่ 2 แบบประเมินความเหมาะสมของสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

คำชี้แจง

แบบประเมินความเหมาะสมของสถาปัตยกรรมระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ที่พัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสัมภาษณ์เชิงลึก ท่านสามารถพิจารณารายละเอียดของกระบวนจากเอกสารที่แนบ และโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างให้ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

5 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับมาก

3 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับปานกลาง

2 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อย

1 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
1. ความชัดเจนของโครงสร้างสถาปัตยกรรมระบบในการจัดการพลังงาน					
2. ความเหมาะสมของระบบในการตรวจจับและเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT แบบเรียลไทม์					
3. ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานจากเซ็นเซอร์					
4. ความน่าเชื่อถือของการเชื่อมโยงและถ่ายโอนข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT					
5. ระบบมีความปลอดภัยในการเก็บข้อมูลและการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ IoT และเซิร์ฟเวอร์					
6. การออกแบบ UI/UX ของระบบที่เอื้อต่อการใช้งานจริง					
7. การปรับปรุงและพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่องเมื่อมีเทคโนโลยีใหม่					
8. ความยืดหยุ่นของระบบในการเพิ่มขยายอุปกรณ์ IoT ในอนาคต					

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
9. การแสดงผลข้อมูลที่ชัดเจนและเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจอาคารอัจฉริยะ					
10. ระบบสามารถจัดการและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ					
11. ความสามารถของระบบในการจัดการพลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด					
12. ระบบวิเคราะห์ข้อมูลมีการทำงานร่วมกันได้					
13. ความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
ที่ให้ความอนุเคราะห์ตอบแบบประเมินอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
โทรศัพท์. 094-0343836, E-mail: Tanapeak@bsu.ac.th

แบบประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญา
เชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ชื่อหัวข้อ ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ผู้วิจัย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข

คำชี้แจง

1. การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่องระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
2. แบบประเมินนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

สิ่งที่แนบมาด้วย

1. เนื้อหารายละเอียดเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
2. แบบประเมินระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทรงคุณวุฒิ

ชื่อผู้ประเมิน .....

ตำแหน่ง .....

สถานที่ทำงาน .....

ตอนที่ 2 แบบประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

คำชี้แจง

แบบประเมินความเหมาะสมของระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ที่พัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสัมภาษณ์เชิงลึก ท่านสามารถพิจารณารายละเอียดของกระบวนจากเอกสารที่แนบ และโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างให้ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

5 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับมาก

3 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับปานกลาง

2 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อย

1 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
1. การวิเคราะห์และความต้องการ					
1.1 ความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน					
1.2 ความต้องการในการปรับปรุงการใช้พลังงาน					
1.3 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก					
1.4 การเพิ่มความมั่นคงในการใช้พลังงาน					
1.5 เป้าหมายในการลดการใช้พลังงาน					
1.6 การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน					
1.7 การพยากรณ์ความต้องการพลังงาน					
2. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี					
2.1 โครงสร้างระบบ					
2.2 การออกแบบระบบที่ปรับเปลี่ยนได้ง่าย					
2.3 การบูรณาการกับระบบอื่น ๆ					
2.4 การเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ IoT					
2.5 การบูรณาการกับระบบ ERP					
2.6 การใช้ AI และ Machine Learning					
3. ข้อมูลและการจัดการข้อมูล					
3.1 ข้อมูลเรียลไทม์					
3.2 ข้อมูลประวัติการใช้พลังงาน					

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
3.3 ข้อมูลการพยากรณ์และการวิเคราะห์					
3.4 การใช้ฐานข้อมูลแบบ Relational					
3.5 การใช้ฐานข้อมูลแบบ NoSQL					
3.6 การจัดเก็บข้อมูลใน Data Lakes					
3.7 การวิเคราะห์แบบ Descriptive					
3.8 การวิเคราะห์แบบ Predictive					
3.9 การวิเคราะห์แบบ Prescriptive					
4. ความปลอดภัยและการป้องกัน					
4.1 การเข้ารหัสข้อมูล					
4.2 การจัดการสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล					
4.3 มาตรการป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์					
4.4 การทำระบบสำรองข้อมูล					
5. ความสามารถในการปรับตัวและขยายขนาด					
5.1 การรองรับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี					
5.2 ความยืดหยุ่นในการเพิ่มฟีเจอร์ใหม่					
5.3 การรองรับการเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์					
5.4 การขยายขนาดระบบเมื่อมีผู้ใช้งานเพิ่ม					
5.5 การรองรับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี					
5.6 ความยืดหยุ่นในการเพิ่มฟีเจอร์ใหม่					
6.การบำรุงรักษาและการสนับสนุน					
6.1 การจัดการและการอัปเดตซอฟต์แวร์					
6.2 การตรวจสอบและดูแลระบบเชิงรุก					
6.3 การสนับสนุนด้านเทคนิค					
6.4 การฝึกอบรมและการสนับสนุนผู้ใช้งาน					
6.5 การจัดการและการอัปเดตซอฟต์แวร์					
6.6 การตรวจสอบและดูแลระบบเชิงรุก					
6.7 การสนับสนุนด้านเทคนิค					
7. การประเมินความคุ้มค่า					
7.1 ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและติดตั้งระบบ					
7.2 ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ IoT					
7.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ					
7.4 ค่าใช้จ่ายในการอัปเกรดระบบ					
7.5 การลดค่าใช้จ่ายพลังงานในระยะยาว					
7.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน					
คะแนนเฉลี่ยรวมทุกด้าน					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
ที่ให้ความอนุเคราะห์ตอบแบบประเมินอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
โทรศัพท์. 094-0343836, E-mail: Tanapeak@bsu.ac.th

แบบประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ชื่อหัวข้อ ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ผู้วิจัย นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ สระอุบล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข

คำชี้แจง

1. การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่องระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

2. แบบประเมินนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

สิ่งที่แนบมาด้วย

1. เนื้อหารายละเอียดเกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

2. แบบประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทรงคุณวุฒิ

ชื่อผู้ประเมิน .....

ตำแหน่ง .....

สถานที่ทำงาน .....

ตอนที่ 2 แบบประเมินความประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

คำชี้แจง

แบบประเมินความประเมินความพึงพอใจความคุ้มค่า ประสิทธิภาพ และผลกระทบต่อองค์กรของระบบการจัดการพลังงานด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ ที่พัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการติดตั้งระบบ ท่านสามารถพิจารณาและโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างให้ตรงกับความคิดเห็นของท่าน โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

5 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับมาก

3 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับปานกลาง

2 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อย

1 คะแนน หมายถึง เหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความเหมาะสม				
	5	4	3	2	1
1. ความสามารถในการลดต้นทุนพลังงาน					
2. ประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานในระบบ					
3. การติดตั้งและใช้งานระบบอย่างสะดวก					
4. ความคุ้มค่าในการลงทุนระบบเทคโนโลยี					
5. ความเสถียรและความน่าเชื่อถือของระบบ					
6. ผลกระทบต่อการบริหารจัดการองค์กร					
7. ความสามารถของระบบในการเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีอื่น ๆ					
8. ประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานแบบอัตโนมัติ					
9. การลดการปล่อยมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม					
10. การสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร					
11. ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งานเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้					
12. การพัฒนาต่อยอดจากระบบเดิมที่มีอยู่					
13. ความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
ที่ให้ความอนุเคราะห์ตอบแบบประเมินอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
โทรศัพท์. 094-0343836, E-mail: Tanapeak@bsu.ac.th

ภาคผนวก ค

คู่มือการใช้งานระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ

คู่มือการใช้งานระบบบ (User Manual) สำหรับผู้ใช้งาน

1. การเข้าสู่ระบบ

1. ระบุชื่อสำหรับเข้าสู่ระบบ
2. ระบุรหัสผ่าน
3. กดปุ่ม Remember me เพื่อให้จดจำการเข้าสู่ระบบ
4. กดปุ่มเข้าสู่ระบบ

2. หน้า Overview Dashboard

1. แสดงข้อมูล Overview Dashboard
2. แสดงข้อมูล Sensor AQI

3. แสดงข้อมูล Solar Cell
4. แสดงค่า Solar cell energy flow
5. แสดงค่า Solar cell โดยสามารถเลือกได้ในรูปที่ 6
6. เลือกดู Solar cell และจะแสดงผลในรูปที่ 5
7. แสดงค่าอากาศ
8. เข้าสู่หน้าการตั้งค่าระบบ
9. แสดงข้อมูล User ที่เข้าสู่ระบบ
10. แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการปลูกต้นไม้

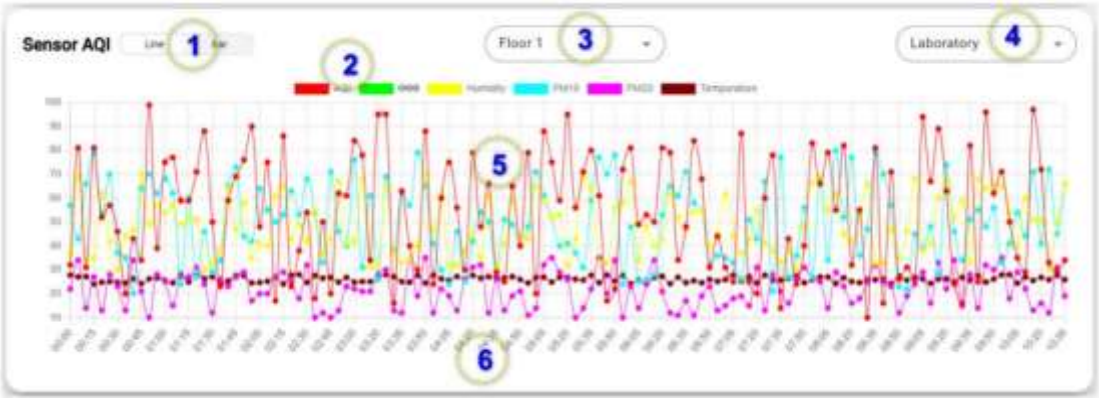
โดยมีสูตรการคา นวณดงัน้ี

รายการ	สูตรการคำนวณ	ค่าคงตัว		ตัวอย่างการคำนวณ			หน่วย
				ทดสอบใส่ค่าได้ตรงนี้ ผูกสูตรแล้ว	หน่วย	ผลลัพธ์	
CO2 Avoid(GHG)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)*0.4857	ค่าการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า	0.4857	10,000.00	kWh	4,857.00	kg CO2eq
Tree Planting	ปริมาณเลดการใช้ GHG(kg CO2eq)/1000/1.21	ปริมาณการดูดซับ CO2 ต้นคาร์บอนไร่ฝปี	1.21			4.01	ไร่
	เทียบเท่าการปลูกต้นไม้ = จำนวนไร่*50		50			200.70	ต้น

11. แสดงค่า Energy Produced

1. แสดงรูปแบบของกราฟ โดยสามารถเลือกได้แบบ Bar chart และ Line chart
2. สามารถกรองข้อมูล โดยคลิกซ้ายที่สีแต่ละสี
3. แสดงข้อมูลแบบละเอียด
4. แสดงเวลาโดยระบบจะแสดงแบบ 12 ชั่วโมง

12. แสดงค่า Sensor AQI



1. แสดงรูปแบบของกราฟ โดยสามารถเลือกได้แบบ Bar chart และ Line chart
2. สามารถกรองข้อมูล โดยคลิกซ้ายที่สีแต่ละสี
3. ระบุชั้นที่ต้องการให้แสดงข้อมูล
4. เลือกอุปกรณ์ที่ติดตั้งในแต่ละห้อง
5. แสดงข้อมูลของ Sensor
6. แสดงเวลาโดยระบบจะแสดงแบบ 12 ชั่วโมง

3 หน้า Sensor AQI

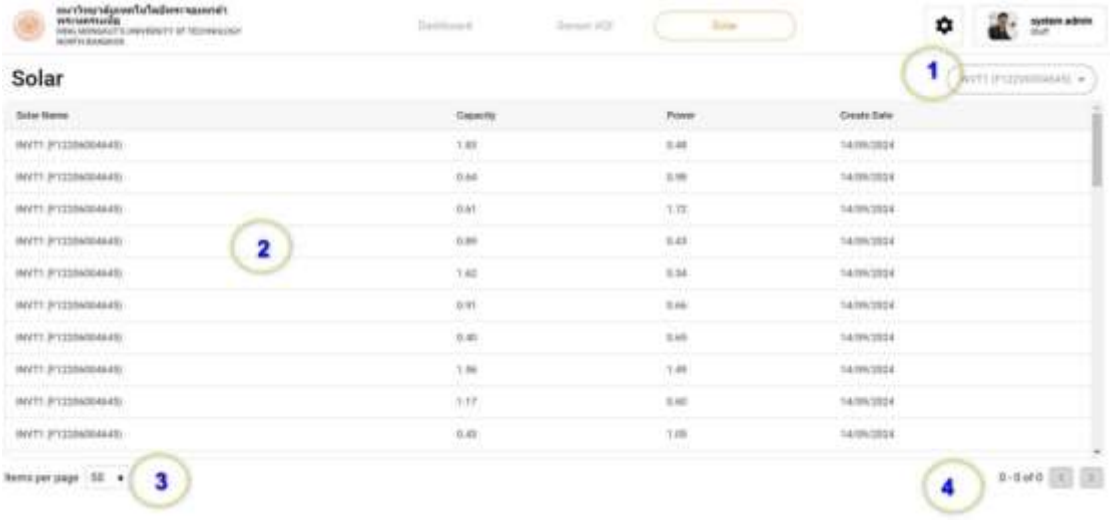
1. เลือกชั้นที่ต้องการให้แสดงข้อมูล
2. ระบบจะแสดงข้อมูลของ Sensor ของแต่ละห้อง แบบใกล้เคียงเรียลไทม์
3. แสดงรายละเอียดค่าของ sensor ทั้งหมด

1. เลือกชั้นที่ต้องการให้แสดงข้อมูล
2. เลือกอุปกรณ์ที่ต้องการเรียกดูข้อมูล
3. แสดงข้อมูลของ sensor
4. กำหนดจำนวนบรรทัดของข้อมูลที่ต้องการให้แสดง
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

3.1 แสดงกราฟข้อมูล Sensor

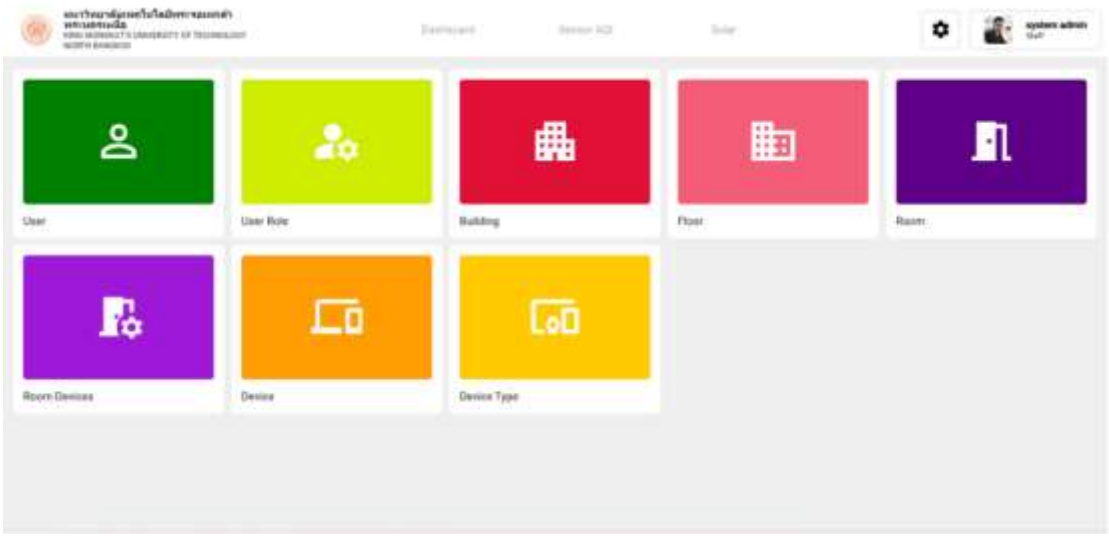
1. แสดงค่าของอุณหภูมิความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์และ สถานะอุปกรณ์
2. แสดงค่า PM2.5 และ IQAir
3. สามารถคลิกซ้ายที่สีต่าง ๆ เพื่อกรองข้อมูลที่ต้องการให้แสดง
4. แสดงข้อมูลของ sensor
5. แสดงช่วงเวลา โดยระบบจะแสดงแบบ 12 ชั่วโมง

4. หน้า Solar

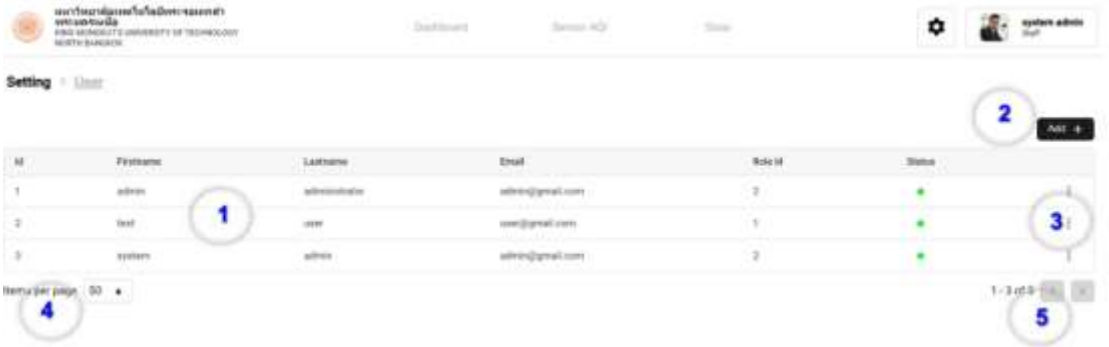


1. ระบุอุปกรณ์ที่ต้องการให้แสดงข้อมูล
2. แสดงข้อมูลอุปกรณ์
3. กำหนดจำนวนบรรข้อมูลที่ต้องการให้แสดง
4. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

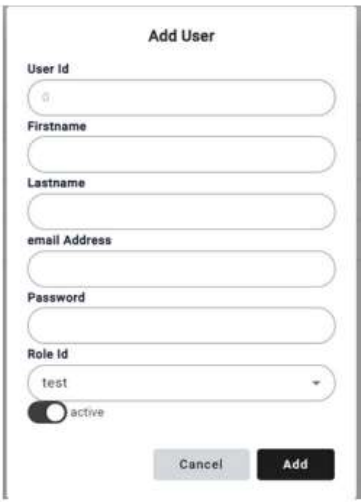
5. หน้า Settings



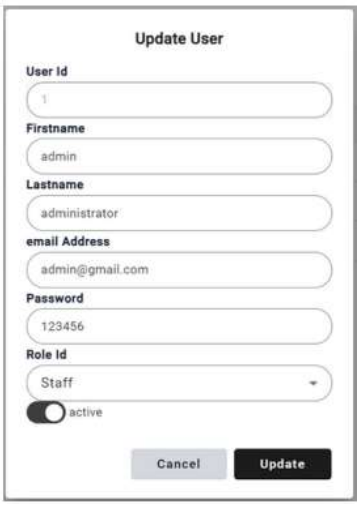
1. การจัดการผู้ใช้งาน (User)



1. แสดงข้อมูลของ User ทั้งหมด
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มขอ้มูล User โดยกรอกข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add



3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียดและแก้ไขข้อมูล User



4. แสดงจำนวนบรรทัดที่ต้องการให้แสดง
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

2. การจัดการสิทธิ์ผู้ใช้งาน (User Role)

1. แสดงข้อมูลสิทธิ์ทั้งหมด
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มสิทธิ์โดยการข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add

3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียด และแก้ไขข้อมูล

4. แสดงจำนวนแถวที่ต้องการให้แสดงข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

3. การจัดการตึกหรืออาคาร (Building)

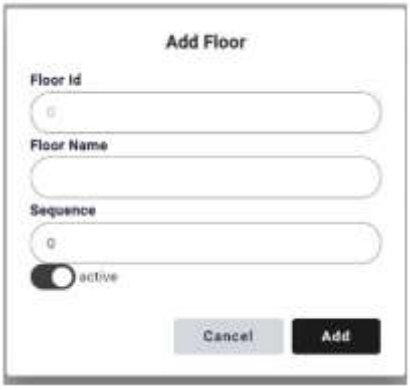
1. แสดงรายละเอียดของตึกหรืออาคาร
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มข้อมูลและกรอกข้อมูลให้ครับแล้วกดปุ่ม Add

3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียดและแก้ไขข้อมูล

4. แสดงจำนวนบรรทัดของข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

4. การจัดการชั้น (Floor)

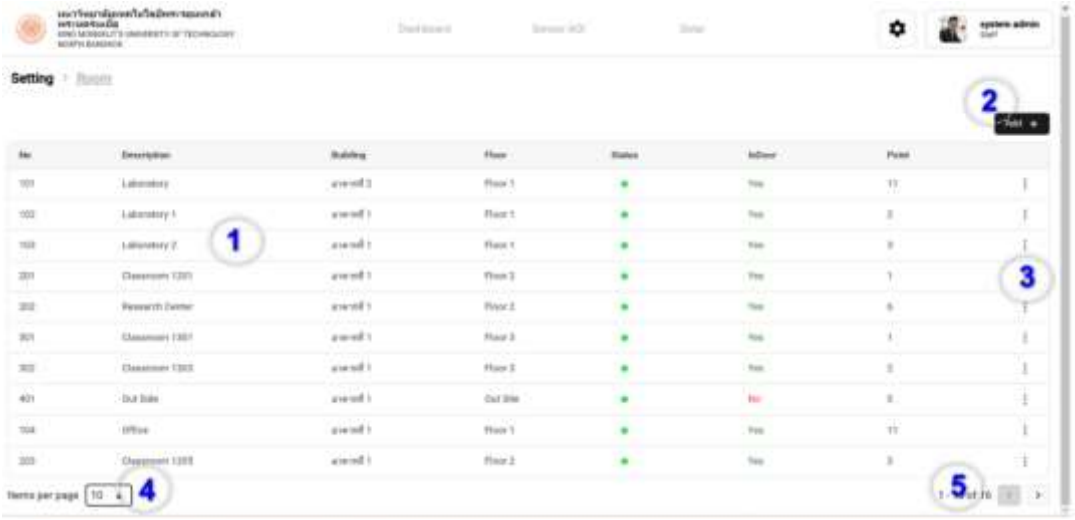
1. แสดงรายละเอียดของชั้นต่าง ๆ
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มข้อมูลและกรอกข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add



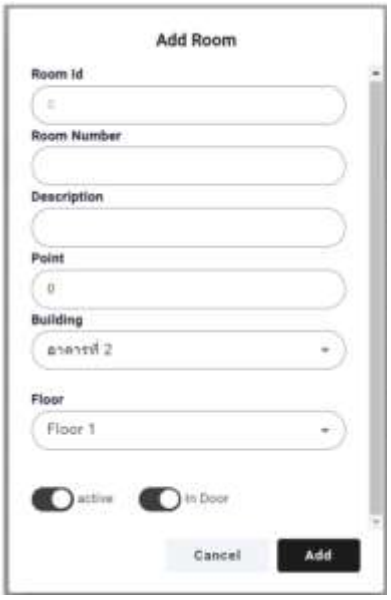
3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียดและแก้ไขข้อมูล

4. แสดงจำนวนบรรทัดของข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

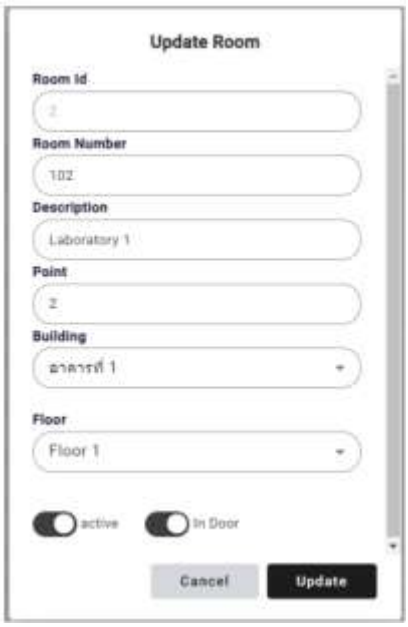
5. การจัดการห้อง (Room)



1. แสดงรายละเอียดของห้องต่าง ๆ
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มข้อมูลและกรอกข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add



3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียดและแก้ไขข้อมูล



4. แสดงจำนวนบรรทัดของข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

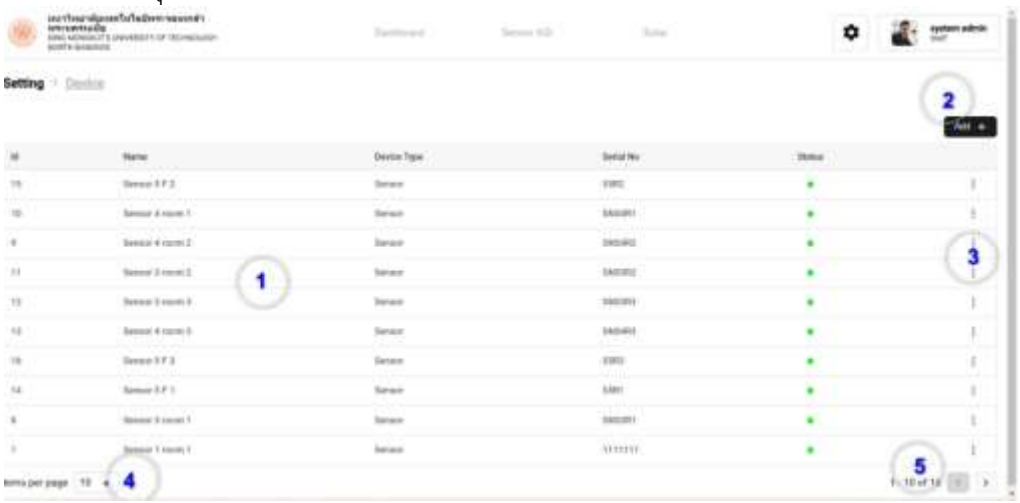
6. การจัดการประเภทอุปกรณ์(Device Type)

1. แสดงรายละเอียดของประเภทอุปกรณ์
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มข้อมูลและกรอกข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add

3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียดและแก้ไขข้อมูล

4. แสดงจำนวนบรรทัดของข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

7. การจัดการอุปกรณ์(Device)

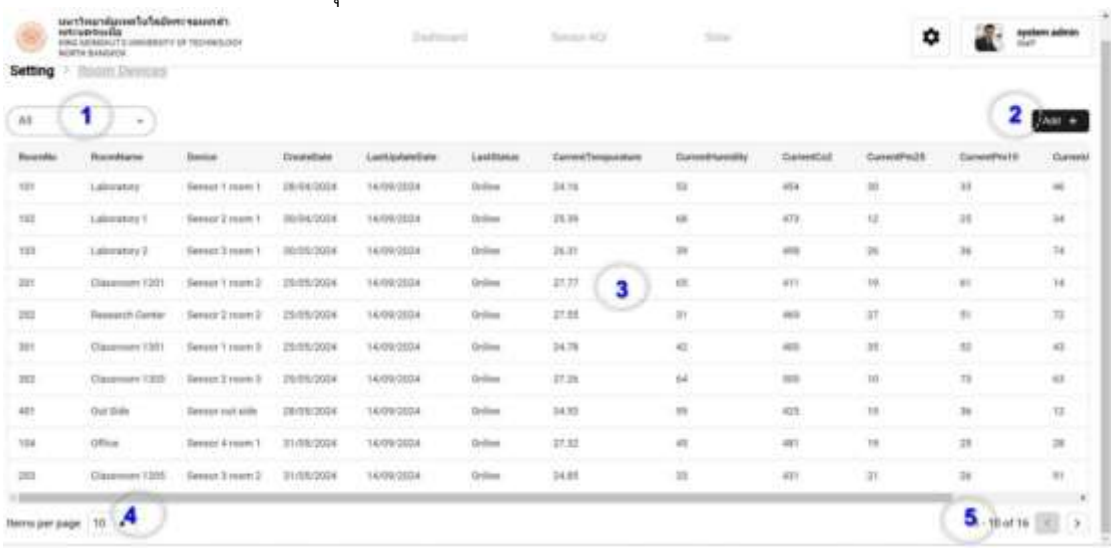


1. แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์
2. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มข้อมูลและกรอกข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add

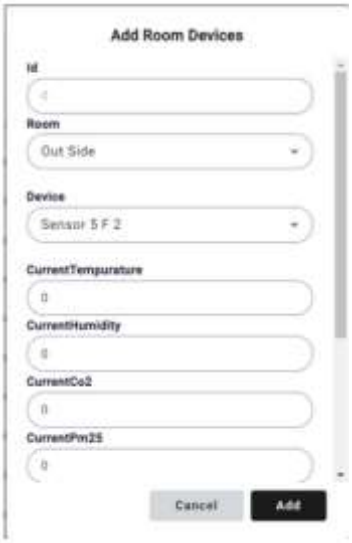
3. กดปุ่ม ... เพื่อแสดงรายละเอียดและแก้ไขข้อมูล

4. แสดงจำนวนบรรทัดของข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

8. การจัดการห้องและอุปกรณ์(Room Device)



1. เลือกชั้นที่ต้องการแสดงข้อมูล
2. แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์
3. กดปุ่ม Add เพื่อเพิ่มข้อมูลและกรอกข้อมูลให้ครบแล้วกดปุ่ม Add



4. แสดงจำนวนบรรทัดของข้อมูล
5. แสดงจำนวนหน้าของข้อมูล

ภาคผนวก ง

บทความที่เผยแพร่

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

DIGITAL TWIN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTERNET OF THING TO SMART CAMPUS

TANAPEAK PEXYEAN[1] , KOBKIAT SARAUBON[2] , PRACHYANUN NILSOOK[3]

[1]Division of Information and Communication Technology for Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

[2] Department of Computer Science and Information, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

[3]Division of Information and Communication Technology for Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

E-mail: [1]tanapeak@bsu.ac.th, [2]kobkiat.s@sci.kmutnb.ac.th, [3]prachyanunn@kmutnb.ac.th

ABSTRACT

The purpose of this research study is to develop a twin energy management system with intellectual technology to connect all things to a smart campus and to evaluate the suitability of a twin energy management system with intellectual technology to connect all things to a smart campus. The research is divided into two phases: Phase 1 is the development of a twin energy management system with intelligent technology that connects all things to be able to meet the needs of energy management within the smart campus. Theories from documents and research related to physical energy management. It then synthesizes and links the relationships of all the important physical elements to design the architecture. Phase 2 is the development of a twin energy management system with intelligent technology that connects all things to the world, which consists of 4 main working system components, Part 1 is Physical part Synthesizing various areas within the smart campus that must be equipped with smart sensors to process data and control smart devices in that area to have an environment suitable for learning in a smart campus. Part 2 is Energy Management, which is an important process of managing data received from sensors to process various data, Cloud Gateway, Streaming Data, Data Lake, Control Applications, Data Analytics, User Engy Business logic, and Part 3 is Intelligence Technology, consisting of Machine leaning Decision marking and Models algorithm that analyzes and forecasts energy management intelligently. Part 4 is the Digital Twin part that uses the dashboard to display in a digital form that is like a physical aspect of communicating with the user. The results show that twin digital energy management systems that design and develop the system can be used to manage energy in smart campuses at the greatest scale.

Keywords: *Digital Twin, Energy Management System, Smart Campus*

1. INTRODUCTION

In the digital age where technological changes and advancements are the driving force of the economy, society, and industry. In terms of energy development and management, there is no difference. In a world where energy is an important resource for livelihood and economic development. Energy consumption in buildings has become a major factor with a significant impact on the environment.[1] Economy and Society Effective management of energy in buildings can help reduce negative impacts and increase energy efficiency. The problem of energy consumption in buildings has a large impact that is evident from climate change and energy resources. Improper use of energy in buildings also affects the performance of equipment and systems, such as heating systems.[2] This can cause equipment to deteriorate faster and reduce the comfort of residents or users. This affects long-term productivity and productivity. The cost and efficiency of operations and inefficient energy consumption in buildings lead to higher operating costs. In particular, electricity and heating costs are a high financial burden and cause unnecessary

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

increases in operating costs of businesses and organizations.[3] Using technology to increase energy management efficiency can effectively help reduce these costs. The uneconomical use of energy resources in buildings leads to inefficient and wasteful use of energy resources.[4] This has led to a rapid decline in natural energy resources. This is one of the factors that cause energy prices to rise and the risk of future energy shortages. Good energy management can help reduce the use of these resources and promote long-term sustainability. Climate change, most of the energy consumption in buildings still relies on fossil fuels such as coal.[5] This is a major cause of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide (CO2), resulting in climate change that has global impacts such as global warming.[6] The need to reduce greenhouse gas emissions makes energy efficiency in buildings critical.

Improper energy management can cause uncomfortable indoor environments such as inappropriate temperatures, inadequate lighting, or noise from various systems, which affects the satisfaction and quality of life of building users. One of the most sought-after and highly impactful technologies is Digital Twin, a technology that creates accurate digital models of real systems in the virtual world, working with Cognitive Technology, which helps to intelligently analyze and optimize the system.[7] Digital Twin in Power Management is the digital modeling of a device. systems or processes that consume various energy using data collected from sensors and devices in the actual system. This model allows us to analyze and understand energy consumption behavior in depth. The integration of Cognitive Technology with Digital Twin allows the model to improve itself based on the data received in a time close to reality.[8] Artificial intelligence and machine learning technologies enable systems to learn from historical data, analyze trends, and optimize their operations to the ever-changing environment and energy demand, such as improving HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) systems in large buildings or optimizing energy efficiency in industrial facilities.[9] Digital twins provide energy managers with granular visibility into energy consumption habits in real-time. This makes it possible to forecast future energy consumption more accurately, leading to more efficient planning and management. Emergency response is provided by simulating a virtual environment.[10] Digital Twin helps to identify and analyze potential problems such as power leakage or equipment damage. Cognitive Technology enables Digital Twin to continuously improve processes. By learning from new information and adapting to situations. Energy management is therefore more flexible and efficient. Costs and environmental impact are reduced by using Digital Twin, which makes it possible to monitor energy consumption and find ways to reduce energy consumption.[11] And when Digital Twin and Cognitive Technology are applied in the industrial sector, the use of Digital Twin can help in managing and controlling the production process effectively.[12] It can simulate production and analyze energy consumption in factories to find ways to improve energy consumption.[13] And in smart campuses, Digital Twin can be used to control indoor energy systems, such as heating systems. Ventilation, and air conditioning (HVAC) make it possible to optimize energy consumption.[14]

The increase in energy consumption in large-scale educational campuses has created challenges in energy management efficiency. Although several studies have explored the use of IoT in monitoring energy consumption [15], there is a lack of integration of artificial intelligence for analytics and optimization. In addition, the application of Digital Twin in campus contexts is limited [16], which points to the need for further research in this area. Therefore, this research focuses on the development of a digital twin energy management system that integrates AI and IoT for smart campuses to increase energy efficiency. This is to fill the gap in current literature. Reduce excess energy consumption and increase user comfort in the renewable energy sector.[17] Although there is a lot of research on energy management systems, only a few studies have integrated artificial intelligence. It is integrated into the Internet of Things (IoT) under the framework of Digital Twin, especially for smart campuses. Most of the existing approaches focus on managing energy through static models or using real-time data to a limited extent without taking full advantage of the predictive potential of AI. For example, the research of [P., Reshma et al., 2024][18] focuses primarily on the IoT aspect. However, there is a lack of comprehensive and predictive approach that AI can offer. There is also a huge gap in how Digital Twin technology is used for simulating dynamic energy consumption behavior in smart infrastructure. This research fills the gap in energy management by offering a Digital Twin energy management system that fully integrates AI and IoT, which enables energy management in smart campuses in real-time and can accurately predict energy consumption. This system differs from previous models that only focus on static tuning or monitoring via IoT. By offering a comprehensive solution that can adapt to real-time

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

data and predict energy consumption patterns to increase efficiency. The result is a smarter and more adaptable energy management system. which can be applied to large-scale smart infrastructure. Addressing limitations found in current research. The combination of Digital Twin and Cognitive Technology not only helps to optimize energy management, but is also an important step forward in sustainable innovation in the energy industry. Respond effectively to the challenges of changes in the environment and increasing demands in the future.

2. LITERATURE REVIEW

The author presents the essence of "Digital twin Energy Management with Cognitive Technology System", which occurs from the analysis and synthesis of relevant documents and research as follows.

2.1 Areas to be managed in a smart campus

The space to be managed in a smart campus is very important. The installation of smart sensor devices for energy management can be divided into issues such as efficient energy management. Smart sensors help to collect data on the energy consumption of buildings, such as electricity consumption. Energy consumption for heating and cooling These data can be used to optimize energy efficiency.[19] Reduce waste and save costs in real-time control and monitoring of energy consumption, where smart sensors can track and report on energy consumption in real time. This makes it possible to identify problems immediately and take quick action to fix them. [20] It is analyzed and forecasted by collecting data from smart sensors, allowing it to analyze energy consumption trends and forecast future energy demand. This accurate forecast helps in planning energy consumption and campus infrastructure expansion appropriately. System performance has been improved. The data from the sensors can be used to improve energy control systems such as HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), lighting, and hot water systems in buildings, making these systems more efficient and reducing energy consumption. The use of smart sensors in energy management promotes sustainable management in smart campuses, such as reducing greenhouse gas emissions. The smart sensors improve the comfort and safety of campus residents. The environment can be adjusted to suit the needs of users, such as lighting adjustment, temperature control, and building access management, with elements in campus energy management, which the researcher synthesized as shown in the table.

Table 1: Composite table of elements in energy management.

Elements in energy management	Zheng, Zhuang, et al. (2024) [21]	Mishra, Priyanka, and Ghanshyam Singh. (2020) [22]	Schmeck, Hartmut, and Veit Hagenmeyer., (2022) [23]	Zahraou, Younes, et al. (2021) [24]	Rathor, Sumit K., and Dipti Saxena. (2022) [25]	Mahapatra, Bandana, and Anand Nayyar. (2022) [26]	Dai, Haifeng, et al., (2022) [27]	Manano-Hernández, Deyalen, et al. (2021) [28]
Electricity				✓	✓	✓	✓	✓
Water	✓		✓	✓	✓	✓		
CO2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Humidity	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sound	✓	✓	✓				✓	✓
PM2.5	✓	✓	✓					
Flicker	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Smoke		✓	✓	✓	✓			
Light	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Position		✓	✓	✓		✓	✓	✓

2.2 Artificial Intelligence Internet of Thing

Artificial Intelligence (AIoT) technology is an integration of artificial intelligence. The AIoT framework involves a layered architecture where IoT devices collect data, which is then processed and analyzed by AI algorithms to generate actionable insights.[29] This integration consists of several components, collecting data from sensors and devices. IoT collects large amounts of data from the physical environment and delivers it.[30] The collected data is sent to a centralized computing platform or at the edge. Data processing with AI algorithms , including machine learning techniques and deep learning.[31] Process data to identify patterns and make forecasts. It relies on key technologies such as edge computing to reduce latency and bandwidth usage.[32] Data processing is being moved from centralized cloud servers to edge devices closer to the data source, and the 5G network in the high-speed connectivity that 5G networks provide supports the real-time data transmission required for AIoT applications.[33] The aggregation of a large number of devices increases the attack surface, making it necessary to implement robust

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

security measures, including encryption and secure communication protocols. It has interoperability with a wide range of devices and platforms involved. Ensuring interoperability between IoT devices and various AI systems has the ability to scale as the number of connected devices increases.[34] Infrastructure must be scaled accordingly. This requires the ability to efficiently handle and process data to handle the large volumes of data generated. AIoT is important in the development of smart cities, which enables efficient urban infrastructure management.[35] Applications include traffic management. In the healthcare field, AIoT enables remote patient monitoring. IoT devices such as wearable sensors have collected health data, which AI algorithms analyze to provide insights into a patient's health status. and in industrial automation. AIoT optimizes automation in the industry by enabling predictive maintenance.[36] Supply chain optimization and operational efficiency improvement Sensors embedded in the machine collect performance data. The AI model analyzes to predict failures and optimize maintenance schedules. [37] In other words, the integration of AI and IoT into AIoT presents a wealth of opportunities for innovation in many sectors. However, addressing challenges such as data privacy is a great way to solve problems. Interoperability, and scalability are essential to make the most of AIoT.

2.3 Digital Twin

Digital twin is a technology used to create digital models of physical systems. It will be applied in a variety of industries such as manufacturing. With the Digital Twin framework, digital modeling of physical systems is collected. IoT in collecting data from the actual system that sends the data to the processing platform.[38] The data is used to create a digital model that can represent the behavior of the actual system. Key edge computing technologies are used to reduce latency and increase data processing efficiency.[39] Data is analyzed using machine learning algorithms and deep learning to analyze and predict system behavior. The technical components of the Digital Twin include sensors and IoT devices that are used to collect data from the actual system, such as temperature, pressure, humidity, and motion data. The collected data is then sent to a real-time processing platform. The Processing and Analytics Platform processes data with AI and machine learning algorithms to analyze and predict system behavior.[40] Computing platform based on Edge Computing to increase efficiency and reduce latency. The use of 3D and AR/VR visualization technologies allows users to visualize digital models and the operation of data visualization systems in easy-to-understand formats such as graphs and dashboards based on communication and connectivity, the use of 5G networks and highly secure communication protocols for data transmission.[41] Digital twins are used to optimize production by simulating and testing the manufacturing process before it is actually used in medicine. In infrastructure management, digital twins are used to manage and maintain infrastructure such as buildings, bridges, and electrical networks, which can be said to be a technology with high potential for application in many industries.

2.4 Smart Campus

A smart campus is the use of technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and big data analytics to improve and optimize resource management and operations in a smart campus. IoT to collect data on energy consumption Water, student and staff movements, as well as environmental information.[42] The data collected from the sensors is sent to a computing platform that uses AI and Big Data Analytics technology to analyze and create models that can forecast trends and improve university operations. The use of 5G networks and secure communication protocols to ensure fast and secure data transmission between devices and integration and interoperability by integrating technologies to work together smoothly and efficiently requires accepted standards and protocols.[43] It can be applied to energy management, where sensors are used to monitor energy consumption and improve energy management systems to be more efficient.[44] It can help reduce energy consumption and costs, or improve teaching and learning by using technology to support teaching and learning, such as using applications that help track student progress and improve teaching methods, or using data from sensors to manage resources such as water and building space more efficiently.[45] Addressing challenges such as data security and technology integration will enable the full utilization of Smart Campus.

3. RESEARCH AND DISCUSSION

Based on the study of internet of things, the Digital twin Energy Management with Cognitive Technology System, the author summarizes and presents examples of articles and research on interesting educational developments towards smart campus

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

management. The architecture system is as follows.

Figure 1: Digital twin Energy Management with Cognitive Technology Architecture System

Smart universities have a system to monitor various physical values of the university, classrooms, classrooms, etc. Laboratories, learning workspaces, library spaces, meeting rooms, counseling centers. Pedestrian walkways, offices, Research centers, meeting rooms, stadiums, cafeterias, With sensors that detect and measure things such as electricity, water, temperature, humidity, noise, dust, PM2.5, vibration, etc. The principle of operation of the sensor converts a form of energy into an electrical signal. It is a device used to detect or measure the value of various environments or states, usually converting the measured signal into a signal that can be used for further use, such as electrical signals, analog signals, or digital signals.[46] Direct Measurement: Some sensors work by directly detecting and measuring the values of the environment, such as temperature, humidity, pressure, and so on, using mechanical principles. Devices used in this category may be electronic sensors or sensors that use electrical principles, such as charge source sensors. Temperature Sensor Humidity sensors, etc. Transduction: Some sensors work by converting a signal from a measured state or value into an electrical signal.[47] This can be easily used for processing, such as motion sensors that are used to convert motion into electrical signals, light sensors, etc. Light sensor used to measure the intensity of light and convert it into electrical signals, etc. Wave-based sensing: Some sensors use different types of waves, such as sound waves.[48] Radiation waves or microwaves to measure and detect things in the environment, such as ultrasonic sensors that use sound waves to measure distance. Infrared sensors use infrared waves to detect motion, etc., and when the sensor has measured the value, it will be sent to the Cloud Gateway IoT (Internet of Things) which serves to connect sensor devices.[49] IoT is installed in various places with the foundation of the cloud infrastructure used to store and process data, as well as connect and integrate data, acting as an intermediary to receive data from various IoT devices and send that data to the cloud for further storage and processing. Control and management can control and manage IoT devices remotely through the cloud, where the transmitted data is stored securely and can be processed for further analysis or action, such as generating reports, monitoring anomalies, or managing devices.[50] After that, the data is sent to the streaming data processor, which is another important part of the IoT system and is closely related to the Cloud Gateway IoT because it is a tool or service used to process real-time data (live data processing) or data that is continuously transmitted (streaming data) from IoT devices to the cloud.[51] Anomaly detection or actionable insights at the same time that the data is submitted. By collaborating between the Streaming data processor and Cloud Gateway IoT by notifying and managing after the Streaming data processor has successfully processed the data. It can send the results or data that has been processed to the IoT Cloud Gateway to alert users or administrators, or it may continue to take actions according to predefined settings,[52] such as IoT device commands or notifications through applications. Streaming data processors can send processed data to a data lake for long-term storage, which can be used for further analysis and processing. The primary function of a data lake is to preserve large and varied data formats, without limitation on the format or structure of the data, and to store data that has not been pre-formatted or processed. The data lake provides the ability to analyze the data that is collected. It can analyze data in a very large format and size to obtain important information and relevant knowledge. The data can be used to generate meaningful reports and visualizations so that users can make effective decisions or analyses by using the right data repository for future use. Data lakes send data to a Big Data Warehouse into two concepts with different uses and capabilities, but can work together to create a more efficient data storage and utilization system. Therefore, the collaboration of data lake and big data warehouse will look like this: data aggregation, where data lakes can serve to store low-quality data and come from different sources.[53] To have a comprehensive and large amount of information. At the same time, Big Data Warehouse is often used for high-quality and structured storage, which is often organized and prepared before being imported into the system. The integration of data

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

lakes and big data warehouses provides data coverage of both high-quality and low-quality data.[54] Data lake management can store data in an unstructured format or data file in the form of raw data, while Big Data Warehouse is often used for storing more structured and complete data. Data is often stored and prepared to be suitable for import. Therefore, data management in data lakes and big data warehouses has different characteristics and capabilities. The data stored in the data lake can be used in an organized or disorganized manner. It can be used to analyze data or search for data on demand. While the data stored in Big Data Warehouses is usually more structured and high-quality.[55] and is often used for high-quality analysis and summarization. Big Data Warehouses are usually responsible for storing data in a structured, high-quality format, and often the data is managed and prepared to be suitable for import. Data Analytics usually uses the data provided to perform analysis. Predictions and predictions Based on the data collected in the Big Data Warehouse and through the analysis of Data Analytics, the data obtained can be used to predict and predict trends or events. Data Analytics is a process that uses technology to analyze data to draw valuable conclusions or knowledge. It focuses on extracting meaningful and substantive data from large and diverse data sets. The data analytics process is an important process in analyzing data for decision-making to make machine learning.[56] Machine learning is a process in which computer systems can learn and improve operations without the need for explicit programming like direct instructions. The model is created using training data so that the system can predict the outcome of data that has never been seen before with accuracy. The main processes of machine learning work include Data Preparation to ensure that the data can be used for model training appropriately, including data cleaning.[57] data transformation, and data division into training sets and test sets for model testing and evaluation. Model Selection Selecting a model that is appropriate for the problem being encountered, such as classification, prediction, or clustering, based on the nature of the data and the purpose of the analysis, as well as model training. Model training often uses parameter tuning techniques to improve model performance. After that, model evaluation is the use of test datasets to evaluate the performance of the model by measuring the predicted results against the actual results, such as accuracy. Precision, recall, or deployment and refinement when the model is approved as having satisfactory performance. The model will be deployed in a real environment.[58] Follow up on the implementation to further improve the model. There are many methods and techniques at each stage of the machine learning process that can be used, which depend on the nature of the data. The objectives and needs of the program developer or data analyst in each case. Decision making is an important process in the daily life and work of individuals and organizations. There are many ways of making decisions, but they can be summarized The first step is important, where you need to collect information that is relevant and important to the decision, such as information related to the problem or situation to be solved. After that, analysis and evaluation are carried out when sufficient data is available. The information must be analyzed and evaluated to better understand the problem or situation and find an appropriate solution by clearly setting the desired goals or outcomes. To help make decisions in the right direction. After receiving the data and setting the target, All possible options must be considered and the suitability of each option must be analyzed.[59] Once the possible options are known and the feasibility assessment of each path is completed, the company will be able to provide a safe and secure solution. must make a decision to choose the most correct path according to the set goals. After the decision is made, it must be carried out according to the set plan and the results must be monitored.[60] To improve or modify further actions as appropriate. At each stage of decision making, tools or techniques may be used, such as the use of decision theory models. Decision-making models to help analyze and make decisions in situations such as the use of holistic decision-making techniques. Rational Decision Making or the use of a decision-making process linked to problem solving.[61] Choosing the right technique or tool will help make decisions more efficiently and minimize the risk of decision-making, which will be passed on to the model algorithm in the role of machine learning or data analysis. Support Vector Machines (SVMs) are used for classifying data by finding the best line of segmentation in the separation area between groups, or Decision Trees are used for building decision tree structures. For data analysis and classification, and send it to the software application used to control the device. These applications can run on the IoT device itself, on a remote server, or on the user's smartphone or tablet, such as lighting control, can turn on, turn off, dim, or change the color of LED lights , or control the temperature, can set the thermostat temperature, or turn on, off, air conditioning, as well as humidity control or lighting on/off exposure. It facilitates users to control IoT devices remotely without being close to the device.[61] Easy to

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No.17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

understand, fast Displays important information of the business and organization, allowing users to analyze the data. Make decisions and follow up effectively. The main components of a dashboard are data, which is pulled from sources such as file databases or web APIs to visualize. Data is presented in a graphical format, such as charts, graphs, tables, or numbers, or interactions.[62] A dashboard is a tool used to display data or status information in a graphical or tabular format so that users can get a quick overview of the data. Dashboards are typically designed to be customized to meet the needs of each user. Important information may be displayed using graphs or charts such as line charts, bar charts, or maps.

Figure 2: Dashboard displaying twin power overview

From the architecture, it has been used to develop a twin energy management system. The dashboard page consists of Solar energy flow, electricity imported from central electricity. The cost of generating electricity from solar cells, including the cost of energy consumed in the building in the upper part, is followed by the cost of producing solar cells in each set. The sum of the charging that produces electricity, including the status of the solar cells that are operating and each set. It is displayed in the form of letters and line graphs to show the comparison of electricity imported from the Provincial Electricity Authority and the generation of electricity from solar energy through solar cells. When the mouse or touch skin is placed at the graph position, it will appear as a number of energy. The upper right part contains the date display. Real-time time, including displaying the temperature values detected by the temperature sensor.

Figure 3: Twin Power Display Dashboard On the 3rd floor of the building.

From Figure3 Twin Power Display Dashboard The data is displayed on a simulation of each room in the building, which consists of: Temperature, humidity In the form of a number, which will appear while touching the screen of the room where you want to view that information, and show the details of the value captured by the sensor in the Sensor AQI This consists of temperature, humidity, Carbon dioxide and sensor operating status Attainability of air quality in the selected room for viewing data In addition, the lower part will display air quality data. Carbon dioxide, humidity, dust PM1.0 PM2.5 and room temperature in line and bar graph formats to see real-time comparisons. The calculation of CO2 absorption from tree planting can be done in a variety of ways, depending on the type of tree and the environment in which the tree grows. We can use a preliminary formula to estimate the CO2 absorption of trees, with the following steps and formulas:

1. Assessment of the amount of carbon stored by trees (C)

$$C = \text{biomass} \times \text{carbon fraction}$$

Where biomass is the biomass of the tree (dry weight). Carbon fraction is the proportion of carbon in biomass (usually around 0.5 or 50%).

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

2. Calculation of the amount of CO2 absorbed (CO2) Knowing the amount of carbon that trees have accumulated, It can be converted to the amount of CO2 absorbed by the tree using the formula $CO2 = C \times (44/12)$. Where 44 is the molecular mass of CO2. 12 is the atomic mass of carbon. And shows the value of solar power generation in each zone. It includes capacity, power produced, and recorded date and time, which can be viewed on each page. Evaluation of the Suitability of Twin Energy Management Systems with Intelligent Technology to Connect All Things to a Smart Campus. The evaluation of the suitability of the twin energy management system with intellectual technology to connect all things to a smart campus by 20 experts in energy and information technology is as follows

Table 1: Suitability of Twin Energy Management System with Intellectual Technology Connecting Everything to Smart Campus.

Assessment List	Evaluation Results		
	($\bar{x}$)	S.D	Results
1. Analysis and Requirements			
1.1 The need to reduce energy costs	4.82	0.31	Very good
1.2 The need to improve energy consumption	4.76	0.45	Very good
1.3 Reducing greenhouse gas emissions	4.71	0.77	Very good
1.4 Increasing Energy Security	4.72	0.36	Very good
1.5 Energy Consumption Reduction Goals	4.80	0.32	Very good
1.6 Monitoring and analyzing energy consumption	4.79	0.39	Very good
1.7 Forecasting energy needs	4.61	0.68	Very good
2. Architecture and Technology			
2.1 System Structure	4.62	0.43	Very good
2.2 Easily Adaptable System Design	4.43	0.57	Good
2.3 Integration with other systems	4.45	0.53	Good
2.4 Connecting to IoT Sensors	4.81	0.33	Very good
2.5 Integration with ERP System	4.31	0.62	Good
2.6 Using AI and Machine Learning	4.56	0.51	Very good
3. Data and Data Management			
3.1 Real-time data	4.82	0.36	Very good
3.2 Power History Information	4.76	0.32	Very good
3.3 Forecast and Analysis Data	4.69	0.61	Very good
3.4 Using Relational Databases	4.45	0.73	Good
3.5 Using NoSQL Databases	4.44	0.61	Good
3.6 Data Storage in Data Lakes	4.32	0.62	Good
3.7 Descriptive Analysis	4.25	0.68	Good
3.8 Predictive Analytics	4.31	0.71	Good
3.9 Prescriptive Analysis	4.34	0.74	Good
4. Safety and protection			
4.1 Data encryption	4.44	0.35	Good
4.2 Data Access Rights Management	4.72	0.42	Very good
4.3 Cyber Attack Prevention Measures	4.48	0.47	Good
4.4 Making a backup system	4.71	0.31	Very good
5. Adaptability and scalability			
5.1 Supporting Technological Changes	4.71	0.47	Very good
5.2 Flexibility to add new features	4.52	0.33	Very good
5.3 Sensor Multiplier Support	4.79	0.38	Very good
5.4 System Expansion as Additional Users Become	4.65	0.41	Very good
5.5 Supporting Technological Changes	4.41	0.41	Good
5.6 Flexibility to add new features	4.36	0.35	Good
6. Maintenance and Support			
6.1 Software Management and Updates	4.61	0.43	Very good
6.2 Proactive Monitoring and Maintenance	4.52	0.52	Very good
6.3 Technical Support	4.66	0.42	Very good
6.4 User Training and Support	4.60	0.48	Very good
6.5 Software Management and Updates	4.51	0.42	Very good
6.6 Proactive System Monitoring and Maintenance	4.44	0.41	Good
6.7 Technical Support	4.61	0.51	Very good
7. Value Assessment			
7.1 System Development and Installation Costs	4.42	0.33	Good
7.2 Cost of Purchasing IoT Devices	4.39	0.41	Good
7.3 System Maintenance Costs	4.44	0.32	Good
7.4 System Upgrade Costs	4.31	0.59	Good
7.5 Long-term reduction in energy costs	4.86	0.46	Very good
7.6 Improving Energy Efficiency	4.78	0.32	Very good
Overall average score in all aspects	4.57	0.47	Very good

From Table 1, it was found that the results of the evaluation of the suitability of the twin energy management system with intellectual technology to connect all things to the smart campus in each item were the most appropriate. Long-term reduction in energy costs The average value is the most ($\bar{x}$= 4.86 S.D. = 0.46), followed by analytics and demand, with the need to reduce average energy costs ($\bar{x}$= 4.82 S.D. = 0.31) and architecture and technology. In the real-time data section. They have an average value ($\bar{x}$=

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

4.81 S.D. = 0.33), respectively. The overall average of the evaluation results of the twin energy management system with intelligent technology to connect all things to a smart campus is the most appropriate ($\bar{x}$= 4.57 S.D. = 0.48).

4. DISCLUSION

From Table 1. Twin energy management system with intellectual technology to connect all things to develop electrical energy management in educational institutions and smart campuses. Electricity management is the development of a system that is consistent with international energy management using the concept of digital twins. In developing a digital model that simulates the energy system of the campus in terms of energy production, storage, and consumption, data collection from IoT devices and sensors installed on campus such as electrical appliances, lighting systems, air conditioning systems, etc.[63] It is integrated with artificial AI technology, which uses AI technology to analyze data. AI to create energy forecasting models Machine learning is used to continuously improve and optimize energy consumption and the Internet of Things (IoT). IoT across the campus to collect real-time energy consumption data and connect systems through the Internet network to enable efficient communication and collaboration. To meet campus energy needs in real-time. The digital twin is a digital model of the campus energy management system, which can accurately simulate and predict the impact of various energy uses. Artificial intelligence technology is used to analyze the data received from sensors and devices. IoT installed throughout the building to enable the system to make decisions and improve energy efficiency. The use of digital twins in combination with AI and IoT can significantly increase energy efficiency on campus. Reduce energy loss and increase campus sustainability. It also helps in the inspection and maintenance of various equipment on campus, allowing for quick identification and resolution of problems, as well as the creation of an environmentally friendly learning and work environment. Reduce energy costs in the long term and improve the quality of life of campus users. In addition to energy, the system also monitors and displays the temperature and humidity values that affect the electricity consumption [64] of the air conditioner in the smart campus building by predicting the suitability of the weather conditions displayed on the digital dashboard so that the air conditioner works properly and efficiently. The system can reduce energy consumption for lighting by up to 30% compared to traditional systems, and the maintenance and monitoring system can monitor the operating status of various equipment and alert when problems or malfunctions are found. In terms of sustainability, reducing energy consumption results in reduced greenhouse gas emissions and supports environmental sustainability. In addition, safety from earthquakes. The system will have vibration sensors that detect vibration and display the results to a digital dashboard. The system can detect vibrations caused by earthquakes and alert executives and personnel through a digital dashboard, so that emergency procedures can be taken in a timely manner. In terms of air quality, PM2.5 sensors are installed throughout the campus to monitor air quality and PM2.5 [65] values are displayed on a digital dashboard so that users can know the air quality information and take appropriate steps. This allows users to know air quality information and make appropriate decisions about activities on campus, with alerts when PM2.5 levels exceed safe levels, enabling timely prevention and remediation actions. It also shows the carbon dioxide absorption value as a colorless and odorless gas. The system displays the number of trees planted to absorb carbon dioxide. This allows users to know the positive impact caused by reduced energy consumption and tree planting, which is calculated and displayed as the number of trees that need to be planted to compensate for energy consumption on campus. This shows the efforts to reduce the amount of carbon dioxide.[66] The results of this study are significant both theoretically and practically. Theoretically, the integration of AI and IoT within the Digital Twin system has helped strengthen a new understanding of real-time energy management with predictive predictions, which is more accurate compared to traditional approaches based on fixed models. In practice, DTEMS systems can significantly improve energy efficiency in smart campuses. As a result, it will reduce costs and use energy sustainably. The system can also be deployed in large infrastructures such as smart cities and industrial facilities. The findings also have significant implications for energy policy, suggesting that technological solutions such as the Digital Twin play an important role in achieving future energy efficiency goals.

5. CONCLUSIONS

Analytical systems to help you successfully implement AI and IoT under the framework of Digital Twin, enabling smart campus management still need to take into account the main considerations, namely the use of this system, including many others and the energy demand that emphasizes the need for further

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

system customization regarding AI and IoT technologies, still need both hardware and hardware at that point. For the control at a large scale, the system should be able to expand the scope of use to other areas such as smart cities and industrial industries. In terms of the energy resources of the control system... The direction and direction of this research system helps improve the understanding of the current literature, especially the use of Digital Twin in conjunction with AI and IoT. The characteristics of energy that do not need to be deeply understood before. Using Digital Twin Energy Management System Digital Twin, combined with intellectual technology and Internet of Things (IoT), is a modern approach with high potential to develop smart campuses to be efficient and sustainable. Both in terms of energy consumption, security, and creating a good environment for learning and working. By applying Digital Twin in an electrical power management system, it can accurately simulate and predict the impact of energy use. It allows for continuous management and improvement of energy consumption. The integration with AI helps to analyze data from sensors and IoT devices installed throughout the campus, enabling the system to make decisions and improve energy efficiency. The digital twin power management system also results in efficient control of the operation of the lighting and air conditioning system. Motion and lighting sensors are installed to automatically turn the electricity on and off. Reduce energy consumption In addition to energy management, The system also supports monitoring and displaying temperature, humidity, PM2.5 and earthquake vibration values through a digital dashboard. Installing vibration and air quality sensors improves the safety and quality of life of campus users. In addition, the display of carbon dioxide absorption values helps to illustrate efforts to reduce CO2 emissions through tree planting. Using Digital Twin, AI, and IoT Technologies in Smart Campus Energy Management Systems It not only increases energy efficiency. This research has made an important contribution to the integration of artificial intelligence technology. The choice of these technologies is based on the capabilities of big data management and real-time processing of AI, which is suitable for complex energy management in large campuses. Factors affecting the research, such as the environment of the smart campus, real-time energy management requirements, and the need to improve energy efficiency, were carefully considered to obtain a model that can quickly respond to changes in the environment and various factors. The results are not only effective in smart campus applications. But it can also be extended to other infrastructures such as smart cities. It also helps in equipment maintenance. Reduce energy costs in the long term and support environmental sustainability. This makes the campus a pleasant place to live and promotes sustainable learning and work. The integration of these technologies can bring benefits to both the environment, the environment, and the environment. Economy and Society As a result, smart campuses become a model of efficient and sustainable energy management in the future. Twin energy management system with intellectual technology to connect all things to develop electrical energy management in educational institutions and can be applied to various organizations or agencies effectively. This research has succeeded in integrating artificial intelligence. Under the framework of Digital Twin for Energy Management in Smart Campus, it answers the key questions set out in the introduction on how to improve real-time energy management efficiency. The introduction of this approach reduces limitations found in previous research, such as the lack of integration of new technologies in energy management. This research also presents clear guidelines for improving energy management systems to be more resilient and adaptable. Not only can it improve the energy consumption in smart campuses, but it can also be applied to other infrastructures such as smart cities and large-scale industrial facilities, opening the way for future research.

REFERENCES:

[1] Ahmad, Y. G. Ghadi, M. Adnan and M. Ali, "From Smart Grids to Super Smart Grids: A Roadmap for Strategic Demand Management for Next Generation SAARC and European Power Infrastructure", *in IEEE Access*, Vol. 11, 2023, pp. 12303-12341.

[2] N. Silvis-Cividjian, "Teaching Internet of Things (IoT) Literacy: A Systems Engineering Approach", *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET)*, May 2019, pp. 50-61.

[3] Sneesl, Y. Y. Jusoh, M. A. Jabar and S. Abdullah, "Conceptualizing IoT-based Smart Campus Adoption Model for Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review", *2022 Applied Informatics International Conference (AiIC)*, Serdang, Malaysia, 2022, pp. 7-12.

[4] Negreiros et al., "Smart Campus® as a living lab on sustainability indicators monitoring", *2020*

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Piscataway, NJ, USA, 2020, pp. 1-5.

[5] T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus, *2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)*, Bangkok, Thailand, 2023, pp. 46-50.

[6] Yevgen Chebotar, Ankur Handa, Viktor Makoviychuk, Miles Macklin, Jan Issac, Nathan D. Ratliff, et al., "Closing the sim-to-real loop: Adapting simulation randomization with real world experience", *ICRA*, 2019.

[7] M. Deitke et al., "RoboTHOR: An Open Simulation-to-Real Embodied AI Platform", *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Seattle, WA, USA, 2020, pp. 3161-3171.

[8] Schwalb, V. Menon, N. Tenhundfeld, K. Weger, B. Mesmer and S. Gholston, "A Study of Drone-based AI for Enhanced Human-AI Trust and Informed Decision Making in Human-AI Interactive Virtual Environments", *2022 IEEE 3rd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, Orlando, FL, USA, 2022, pp. 1-6.

[9] A. Davids, "Urban search and rescue robots: from tragedy to technology", *IEEE Intelligent Systems* Vol. 17, 2020, pp. 81-81.

[10] K. Kuribayashi, Y. Miyake, K. Rikitake, K. Tanaka and Y. Shinoda, "Dynamic IoT Applications and Isomorphic IoT Systems Using WebAssembly,", *2023 IEEE 9th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Aveiro, Portugal, 2023, pp. 1-8.

[11] P. Talasila, C. Gomes, P. H. Mikkelsen, S. G. Arboleda, E. Kamburjan and P. G. Larsen, "Digital Twin as a Service(DTaaS): A Platform for Digital Twin Developers and Users", *2023 IEEE Smart World Congress (SWC)*, Portsmouth, United Kingdom, 2020, pp. 12-19.

[12] D. Lehner, J. Pfeiffer, E. F. Tinsel, M. M. Strljic, S. Sint, M. Vierhauser, et al., "Digital Twin Platforms: Requirements Capabilities and Future Prospects", *IEEE Software*, Vol. 7459, 2021, pp. 1-7.

[13] J. Pfeiffer, D. Lehner, A. Wortmann and M. Wimmer, "Modeling Capabilities of Digital Twin Platforms-Old Wine in New Bottles", *Journal of Object Technology*, Vol. 21, No. 3, 2020, pp. 62-71.

[14] H. Feng et al., "Integration Of The Mape-K Loop In Digital Twins," *2022 Annual Modeling and Simulation Conference (ANNSIM)*, San Diego, CA, USA, 2022, pp. 102-113.

[15] Ganesh, Nagraj, Patil., Satish, Suresh, Tanavade, Eco-Friendly Energy Efficient Classrooms and Sustainable Campus Strategies: A Case Study on Energy Management and Carbon Footprint Reduction. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol.14.2024, 2024 p.188-197.

[16] M. Balasubramani, B. Gohin, J. Jayashankari, V. Samuthira Pandi, K. C. Ravi and D. Arumugam, "Design and Development of an IoT based Intelligent Energy Meter using Less Expensive Controller Unit," *2024 International Conference on Intelligent Systems for Cybersecurity (ISCS)*, Gurugram, India, 2024, pp. 1-6

[17] Ahmad, Hamdan., Sedat, Sonko., Adefunke, Fabuyide., Cosmas, Dominic, Daudu., Emmanuel, Augustine, Etukudoh, "Real-time energy monitoring systems: Technological applications in Canada, USA, and Africa". *World Journal Of Advanced Research and Reviews*, Vol.24, 2024, pp. 2053–2063.

[18] Reshma, P., Priya, A.S., Teja, C.S., Sivani, B.S., Harsha, C.S., & Rao, K.D., "Power Consumption Monitoring System Using IoT", *2024 International Conference on Emerging Systems and Intelligent Computing (ESIC)*, 2024, pp. 387-392.

[19] C. M. Legaard, C. Gomes, P. G. Larsen and F. F. Foldager, "Rapid Prototyping of Self-Adaptive-Systems using Python Functional Mockup Units", *2020 Summer Simulation Conference*, SummerSim, 2020, pp. 1-12.

[21] Schmeck, Hartmut, Antonello Monti, and Veit Hagenmeyer. "Energy informatics: key elements for tomorrow's energy system", *Communications of the ACM*, Vol. 65, No. 4, 2022, pp. 58-63.

[21] Rathor, Sumit K., and Dipti Saxena, "Energy management system for smart grid: An overview and key issues.", *International Journal of Energy Research*, Vol. 44, No. 6, 2020, pp. 4067-4109

[22] Zheng, Zhuang, et al, "A systematic review towards integrative energy management of smart grids and urban energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 189, Part B, 2024, pp. 189-201.

[23] Mishra, Priyanka, and Ghanshyam Singh., "Energy management systems in sustainable smart cities based on the internet of energy: A technical review", *Energies*, Vol. 16, No. 19, 2023, pp. 6903.

[24] Schmeck, Hartmut, Antonello Monti, and Veit Hagenmeyer, "Energy informatics: key elements

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

for tomorrow's energy system, "*Communications of the ACM*, Vol. 65, No. 4, 2022, pp. 58-63.

[25] Zahraoui, Younes, et al, "Energy management system in microgrids: A comprehensive review", *Sustainability*, Vol. 13, No. 19, 2021, pp. 10492

[26] Rathor, Sumit K., and Dipti Saxena, "Energy management system for smart grid: An overview and key issues," *International Journal of Energy Research*, Vol. 44, No. 6, 2020, pp. 4067-4109.

[27] Mahapatra, Bandana, and Anand Nayyar, "Home energy management system (HEMS): Concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes," *Energy Systems*, Vol. 13, No. 3, 2022, pp. 643-669.

[28] Dai, Haifeng, et al., "Advanced battery management strategies for a sustainable energy future: Multilayer design concepts and research trends", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 138, 2021, pp. 110480.

[29] Mariano-Hernández, Deyslen, et al, "A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis", *Journal of Building Engineering*, Vol. 33, 2021, pp. 101692.

[30] Hansen, Emil Blixt, and Simon Bøgh, "Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 58, 2021, pp. 362-372.

[31] Kishor, Amit, and Chinmay Chakraborty, "Artificial intelligence and internet of things based healthcare 4.0 monitoring system", *Wireless personal communications*, Vol. 127, No.2, 2022, pp. 1615-1631.

[32] Farrokhi, Alireza, et al, "Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey", *Computer Networks*, Vol. 189 2021, pp. 107859.

[33] Shi, Qiongfeng, et al, "Progress in wearable electronics/photonics—Moving toward the era of artificial intelligence and internet of things", *InfoMat*, Vol. 2, No. 6, 2020, pp. 1131-1162.

[34] T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT, AI and Digital Twin For Smart Campus," *2022* Research, *Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)*, Bangkok, Thailand, 2022, pp. 160-164.

[35] T. Pexyean, K. Saraubon and P. Nilsook, "IoT 6G and Digital Twin For Smart Campus," *2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)*, Bangkok, Thailand, 2023, pp. 46-50.

[36] Sharma, Vibhu, "Integrating renewable energy with building management systems: Pathways to sustainable infrastructure", *Journal of Waste Management & Recycling Technology*, Vol. 2, No. 1, 2024.

[37] Sunil, Abith Kizhakkemuri, Preethi Nanjundan, and Jossy Paul George, "Deployment of IoT with AI for Automation", *AI-Driven IoT Systems for Industry 4.0. CRC Press*, 2024, pp. 364-381.

[38] Xu, Hanyue, et al, "Decentralized and Distributed Learning for AIoT: A Comprehensive Review, Emerging Challenges and Opportunities", *IEEE Access*, 2024.

[39] Song, Junsup, et al, "Process Algebraic Approach for Probabilistic Verification of Safety and Security Requirements of Smart IoT (Internet of Things) Systems in Digital Twin", *Sensors*, Vol. 24, No. 3, 2024, pp. 767.

[40] S. Phuengrod, P. Wannapiroon and P. Nilsook, "Intelligent Collaborative Supply Chain Management (iCSCM)", *IEEE International Conference on Cybernetics and Innovations (ICCI)*, Chonburi, Thailand, 2024, pp. 1-6.

[41] Do Amaral, J. V. S., et al, "Energy digital twin applications: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.188, 2023, pp. 113891.

[42] Arowoiya, Victor Adetunji, Robert Christian Moehler, and Yihai Fang, "Digital twin technology for thermal comfort and energy efficiency in buildings: A state-of-the-art and future directions", *Energy and Built Environment* ,Vol. 5, No. 5, 2024, pp. 641-656.

[43] Mahariya, Satish Kumar, et al, "Smart campus 4.0: Digitalization of university campus with assimilation of industry 4.0 for innovation and sustainability", *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, Vol. 32, No. 1, 2023, pp. 120-138.

[44] Ominguez Bolaño, Tomás, et al, "An IoT system for a smart campus: Challenges and solutions illustrated over several real-world use cases", *Internet of Things*, Vol. 25, 2024, pp. 101099.

[45] Roda-Sanchez, Luis, et al., "Building a smart campus digital twin: system, analytics and lessons learned from a real-world project." *IEEE Internet of Things Journal*, 2023.

[46] Roda-Sanchez, Luis, et al., "Building a smart campus digital twin: system, analytics and lessons learned from a real-world project", *IEEE Internet of Things Journal*, 2023.

[47] Li, Na, et al., "Design and Optimization of Smart Campus Framework Based on Artificial

Journal of Theoretical and Applied Information Technology
15th September 2024. Vol.102. No. 17
© Little Lion Scientific
ISSN: 1992-8645 www.jatit.org E-ISSN: 1817-3195

Intelligence", *Journal of Information Systems Engineering and Management*, Vol. 8, No. 3, 2023, pp. 23086.

[48] Hussaini, Adamu, et al., "Digital twins of smart campus: Performance evaluation using machine learning analysis", *2023 IEEE/ACIS 21st International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA)*, IEEE, 2023.

[49] Mitchell, Gordon L. "Intensity-Based and Fabry–Perot Interferometer Sensors", *Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists*, 2024, pp. 125-137.

[50] C. Wang, D. Wang, Y. Duan and X. Tao, "Secure and Lightweight User Authentication Scheme for Cloud-Assisted Internet of Things," *in IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 18, 2023, pp. 2961-2976.

[51] DeMedeiros, Kyle, Abdeltawab Hendawi, and Marco Alvarez", A survey of AI-based anomaly detection in IoT and sensor networks", *Sensors*, Vol. 23, No. 3, 2023, pp. 1352.

[52] Vijarania, Meenu, et al., "Energy efficient load-balancing mechanism in integrated IoT–fog–cloud environment", *Electronics*, Vol. 12, No. 11, 2023, pp. 2543.

[53] Netinant, Paniti, et al., "Development and Assessment of Internet of Things-Driven Smart Home Security and Automation with Voice Commands." *IoT*, Vol. 5, No. 1, 2024, pp. 79-99.

[54] Bibri, Simon Elias, et al., "Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review", *Energy Informatics*, Vol. 6, No. 1, 2023, pp. 9.

[55] Cherradi, Mohamed, and Anass El Haddadi, "Data lake management using topic modeling techniques", *Data and Metadata*, Vol. 3, 2024, pp. 282-282.

[56] Alhayaly, Qaddo M. Noori, and Rayan Yousif Alkhayat, "Design and Implementation of a Data Warehouse for Managing an Educational Institution", *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, Vol. 8, No. 3, pp. 2024, pp. 36.

[57] Schmitt, Marc, "Automated machine learning: AI-driven decision making in business analytics", *Intelligent Systems with Applications*, Vol. 18, 2023, pp. 200188.

[58] Zhu, Jun-Jie, Meiqi Yang, and Zhiyong Jason Ren, "Machine learning in environmental research: common pitfalls and best practices", *Environmental Science & Technology*, Vol. 57, No. 46, 2023, pp. 17671-17689.

[59] Rangineni, Sandeep, "An analysis of data quality requirements for machine learning development pipelines frameworks", *International Journal of Computer Trends and Technology*, Vol. 71, No. 9, 2023, pp. 16-27.

[60] Balali, Amirhossein, Akilu Yunusa-Kaltungo, and Rodger Edwards, "A systematic review of passive energy consumption optimisation strategy selection for buildings through multiple decision-making techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 171, 2023, pp. 113013.

[61] Kalita, Kanak, et al., "Parametric optimization of non-traditional machining processes using multi-criteria decision making techniques: literature review and future directions", *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, Vol. 6, No. 1, 2023, pp. 1-40.

[62] Koçi, Rediana, et al., "Web api evolution patterns: A usage-driven approach", *Journal of Systems and Software*, Vol. 198, 2023, pp. 111609.

[63] Chopade, Swati Sandeep, Hari Prabhat Gupta, and Tanima Dutta, "Survey on sensors and smart devices for IoT enabled intelligent healthcare system", *Wireless Personal Communications*, Vol. 131, No. 3, 2023, pp. 1957-1995.

[64] Samour, Ahmed, et al, "Insights from BRICS-T economies on the impact of human capital and renewable electricity consumption on environmental quality", *Scientific Reports*, Vol. 13, No. 1, 2023, pp. 5245.

[65] Spandana, K., and S. Pabboju, "IoT Enabled Smart Agriculture using Digital Dashboard", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 16, No. 1, 2023, pp. 1-11.

[66] Liu, Huafeng, et al. "An effective energy management Layout-Based reinforcement learning for household demand response in digital twin simulation", *Solar Energy*, Vol. 258, 2023, pp. 95-105.

บทความที่ 1 เรื่อง IoT, AI and Digital Twin For Smart Campus

IoT, AI and Digital Twin For Smart Campus

Tanapeak Pexyean
Division of Information and Communication Technology for Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok Thailand
5620205291001S@kmutnb.ac.th

Kobkiat Saraubon
Department of Computer Science and Information, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok Thailand
kobkiat.s@sci.kmutnb.ac.th

Prachyanun Nilsook
Division of Information and Communication Technology for Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok Thailand
prachyanunn@kmutnb.ac.th

Abstract— **The objective of this research is to Present the use of Digital Twin. Internet of Things and Intelligence Technology to Intelligently Develop The Energy Management Potential of Campuses By using Digital Twin to manage energy consumption, it enables the creation of work and life on campus, whether it is personal. Teachers and students, including those with disabilities, have a better quality of life. Living on campus is more comfortable Collect energy consumption data, organizations to manage power management systems, reduce energy consumption, simplify management in all departments, and reduce campus costs. It can transparently monitor energy consumption and use educational equipment on campus, especially cost and expenditure management, and sustainable energy consumption, as well as management. Control usage data, energy consumption results, and budget allocations related to educational institutions can create reliability in managing information about electrical energy and energy competency assessment results, and can be recorded and controlled in Digital Twin that can be as if it were with a control center. IoT and Cloud Computing are also integrated with AI systems embedded in state-of-the-art equipment for use in environmental management and intelligent energy management. As well as creating new energy models and management that can resolve future emergencies by controlling virtual energy within the organization from outside anytime, anywhere.**

Keywords— Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence, Digital Twin, Smart Campus

I. INTRODUCTION

In the world, technology has changed dramatically and evolved into the 5G communications era, an era of development of platforms through the Internet of Things (IoT), technology has been developed to combine reality and virtual reality (Augmented Reality: AR), virtualization (VR). In many ways, it affects life, such as smart machines, smart cities, smart homes, smart cars, intelligent healthcare, and intelligent traffic control systems. The challenge of developing a system that enables connected devices to quickly access systems and respond to the needs of a large number of devices simultaneously using IoT and cloud computing technology [2], and there is also a Digital Twin used to control things to help predict and facilitate life in the industry. [3] In urban design, etc.

is necessary for human life, both directly or indirectly, since today there is a lot of energy consumption, which results in organizations. There are more energy costs. Although energy technology in conjunction with environmental transmission contributes to the convenience and efficiency of many more. But in recent times, the energy crisis has been a global focus as current energy costs rise and energy costs are likely to run out of energy. [5] It is necessary to have an effective twin digital energy management system to control energy management on smart campuses.

II. LITERATURE REVIEW

The author presents the essence of "IoT, AI and Digital Twin for smart Campus management", which occurs from the analysis and synthesis of relevant documents and research as follows:

A. Internet of Things (IoT)

Computer Device Connection System Digital Human items, or even animals come together to transfer or exchange information between networks. It is not necessary for people to hand over information to each other, but to make such systems intermediaries to act as substitutes. [6] IoT typically consists of a web-enabled smart devices embedded into the system to store data and send information as directed. These devices share the sensor system with the primary gateway for data transmission. In addition, IoT is beneficial to artificial intelligence because it makes it easier and faster to store data. [7] These smart devices are very important to human life. [8] IoT is used to develop and automate industry and agriculture, reducing human labor and controlling tasks from anywhere, anytime there is internet access, becoming a smart agricultural model, using the architecture and functionality of sensor networks in conjunction with cloud computing to collect data, and using that data to analyze and result in reducing problems and ensuring safety in agriculture. Smartphone control applications and signal detectors developed for agricultural management can be used and incorporated into the policies of many countries to establish new agricultural standards [9] with Digital twin and define algorithms corresponding to IoT applications as an appropriate method for agricultural use based on IoT that assists in operations.

B. Artificial Intelligence (AI)

AI is a development that helps computers exhibit intelligent behaviors, such as behavioral learning. Speaking and human language [10] Human-like analysis and planning, reasoning, problem perception, movement, human-like movements [11] develop computers to understand intelligence and create learning mechanisms that can respond in a similar way to humans. It is a form of intelligent algorithms, with technology developed to be able to learn and support decisions about complex tasks on their own precisely. [12] It is the creation of computer systems and mechanisms to mimic human behavior in cognitive processes, being able to learn, remember, reason, and use rules to reach certain conclusions to make decisions about problems. Be able to recognize reason and understand as humans. [13] Ai is a technology that transforms society, economy and supports work. Examples of APPLICATIONS that use AI systems can be installed and embedded into devices or are the type of programs that can be installed later. Ai's incredible capabilities help transform the way people live in society through cutting-edge technological equipment. Currently, AI is used to manage education to analyze the work system. Plagiarized the behavior of people within the organization, analyze learning behaviors. [14] Ai is also used to analyze data in Human Resource Management.

C. Digital Twin

Virtual models of physical objects are created by integrating multiple technologies, such as AI Algorithm, IoT, Cloud Computing, and other technologies, to create twin models that can display details and properties almost as much as real objects, and can also display features in the past and provide information about what might happen in the future. There are always two forms of data analysis in the digital twin world: physical, existential and tangible. Its digital twins, characterized by models of physical objects, require a large number of sensors to obtain copies that are closest to today's truth. Enormous data from sensors is sent to the cloud to store and process in context of use, for example, if digital twins of bridges are to be created, vibration data is required. [16] Digital Twin will help to integrate AI and perform higher simulations. [17] Digital Twin developments can be better drilled into every business and benefit businesses, organizations, or nations in the long run. Good for planning and designing machinery in factories The design can be checked in advance. In the test phase, the machine control system can be configured like a virtual environment, and when the procedure is carried out, it will correct the risk of failure and error in time.

D. Smart Campus

It is a new conceptual framework for holistic smart campus environments that cover everything, such as holistic e-learning. Social networks and collaborative communications Creating eco-friendly ICT systems (Green ICT) and creating sustainable ICT systems with intelligent sensor management systems Preventive Healthcare Intelligent building management with intelligent security system control and surveillance Power consumption [19] Application of integration between cloud computing and the Internet of Things. By way, integrate smart campus.[20] systems and compare the complexity of integrating the data of traditional Smart Campus services with smart types. After the analysis of the situation data is complete, you can use the <a0 Researchers designed algorithms to provide services for smart campuses and data-based algorithms, which in turn were based on previous research in the framework for smart campuses. Compared to traditional campus platforms It found that smart campuses can manage data more efficiently than convenience services, developing a faster management model on campus [21].

III. RESEARCH AND DISCUSSION

Based on the study of internet of things, the Artificial Intelligence, Digital Twin, and Smart Campus management, the authors used document analysis and the synthesis of relevant keywords. See Table 1.

Table 1. Synthesis of keywords

No.	*Keyword*	*References*
1	Internet of Things (IoT)	[6] [7] [8] [9]
2	Artificial Intelligence(AI)	[10] [11] [12] [13]
3	Digital Twin	[14] [15] [16] [17]
4	Smart Campus	[18] [19] [20] [21]

The author summarized and presented interesting examples of articles and research in educational development in order to move towards smart campus management as follows.

Smart Campus using IoT technology The main purpose of this research is to successfully manage and intelligent services on campus using IoT with organizational management and learning by providing access to external learning facilities.[23] And linking energy-intensive equipment, including physical, 1) Classrooms that are used on class schedules will help to turn on and off the air conditioning, intelligent wireless air conditioning control system, allowing building management staff to customize automatic control patterns to suit conditions such as indoor activities or outdoor weather conditions, as well as self-ordering through cloud and AI. No supervisor required at all times The system can analyze and evaluate the air conditioner to run with minimal power loss. Reduce energy during unnecessary times, save costs, light, humidity to suit the learner's learning ecosystem, including school supplies. Classroom Teaching 2) Laboratory is a room with control of equipment or training materials for safety and energy efficiency. By creating positive and negative oxygen particles from the air flowing through the device. Effective in disinfecting viruses Airborne bacteria up to 99% reduce PM 10 – PM 2.5 dust and odors and are safe for learners, helping to reassure visitors 4) Libraries are the center for digital

research. Information is collected, including the need for searches, 5) corridors. Light control is provided to suit the lighting establishment. CCTV cameras and broadcasting points by buildings on campus, including Internet-connected Smart Devices, as well as Smart Senser, will help link the transmission of devices to internet networks located on the IoT layer. Learn the information provided by Senser into algorithms that process intelligent data with artificial

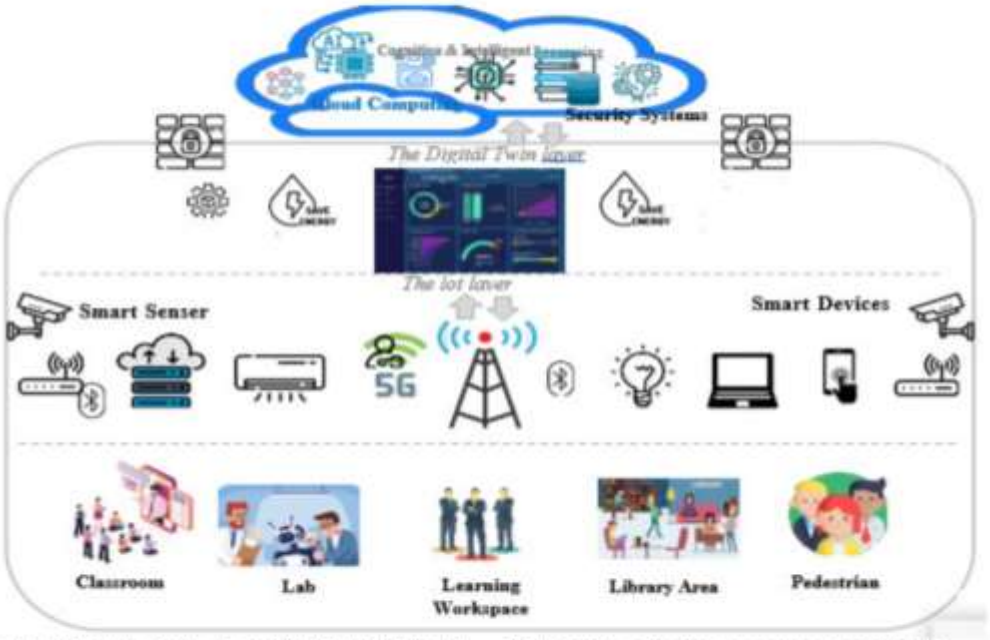


Fig. 1 Architecture of IoT, AI and Digital Twin for smart Campus Management

From Figure 1, it is the architecture of IoT, AI and Digital Twin for smart Campus Management. It consists of 4 layers. The first layer is the different space environments used for teaching and learning in smart campuses such as classrooms, laboratories, and libraries. Space for learning and seminars Including corridors, Layer 2 will be the IoT segment that brings hardware and smart devices. that works with 5G and smart sensors To detect physical characteristics and import application data, Layer 3 Digital Twin layer brings data from layer IoT to be rendered in parallel with hardware. with the display of usage information including usage history and works with Cognitive and Intelligent Processing on Cloud Computing with network security. After the analysis of the situation data is complete, you can use the Researchers designed algorithms to provide services for smart campus and data-based algorithms, which in turn were based on previous research in the framework for energy intelligence campus. Compared to traditional Campus platforms It found that Smart Campus can manage energy more efficiently than convenience services.

IV. CONCLUSIONS

Energy management within smart campuses is a form of energy management that uses digital technology to help manage infrastructure so that it can manage electricity resources. Strategic planning management reduces energy consumption Creating energy sustainability and developing modern energy management models with digital platforms. Intelligent education management using IoT, AI and Digital Twin can be applied to organizations in the future.

intelligence and display current results as well as predict future energy consumption[24]., as well as maintenance of campus equipment for energy management within smart campuses through a dartboard with Digital twin technology 8, pp. 46373–46399, 2020.

REFERENCES

[1] S. K. Sharma, I. Woungang, A. Anpalagan, and S. Chatzinotas, "Towards Tactile Internet in Beyond 5G Era: Recent Advances, Current Issues and Future Directions," IEEE Access, vol. PP, no. 1, pp. 1–1, 2020.

[2] B. Wang, M. Li, X. Jin, and C. Guo, "A Reliable IoT Edge Computing Trust Management Mechanism for Smart Cities," IEEE Access, vol.

[3] C. Badii, P. Bellini, A. Difino, and P. Nesi, "Smart city IoT platform respecting GDPR privacy and security aspects," IEEE Access, vol. 8, pp. 23601–23623, 2020.

[4] S. Sopapradit and P. Piriyasurawong, "Green University Using Cloud Based Internet of Things Model for Energy Saving," Int. Educ. Stud., vol. 13, no. 9, p. 123, 2020, doi: 10.5539/ies.v13n9p123.

[5] W. Kuandee, P. Nilsook, and P. Wannapiroon, "Asset supply chain management system-based IoT technology for higher education institutions," Int. J. online Biomed. Eng., vol. 15, no. 3, pp. 4–20, 2019.

[6] K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, and M. Mustaqim, "Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for

Emerging 5G-IoT Scenarios," IEEE Access, vol. 8, pp. 23022–23040, 2020.

[7] R. Khdhir and A. Belghith, "5G LTE-A cognitive multiclass scheduling scheme for internet of things," Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng., vol.8, no. 5, pp. 2485–2491, 2019.

[8] J. ho Park, M. M. Salim, J. H. Jo, J. C. S. Sicato, S. Rathore, and J. H. Park, "CIoT-Net: a scalable cognitive IoT based smart city network architecture," Human-centric Comput. Inf. Sci., vol. 9, no. 1, 2019.

[9] M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, K. Abid, and M. A. Naeem, "A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming," IEEE Access, vol. 7, pp. 156237–156271, 2019.

[10] M. A. Ferrag, L. Shu, X. Yang, A. Derhab, and L. Maglaras, "Security and Privacy for Green IoT-Based Agriculture: Review, Blockchain Solutions, and Challenges," IEEE Access, vol. 8, pp. 32031–32053, 2020.

[11] R. Balasubramanian, A. Libarikian, and D. McElhaney, "Insurance 2030 The impact of AI on the future of insurance," Digit. McKinsey Co., no. May, pp. 1–12, 2018.

[12] Y. Liu and P. Tang, "The prospect for the application of the surgical navigation system based on artificial intelligence and augmented reality," Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Artif. Intell. Virtual Reality, AIVR 2018, pp. 244–246, 2019.

[13] [1J. Estevez, G. Garate, and M. Graña, "Gentle Introduction to Artificial Intelligence for High-School Students Using Scratch," IEEE Access, vol. 7, pp. 179027–179036, 2019.

[14] C. Sieluzycki, J. Maliński, P. Kaczmarczyk, R. Kubacki, W. B. Cieślański, and K. Witkowski, "Can Kinect aid motor learning in sportsmen? A study for three standing techniques in judo," *PLoS One*, vol. 14, no. 2, 2019.

[15] P. P. Dolgov *et al.*, "Experimental Studies of the Potential Use of Virtual Reality Systems When Modeling the Lunokhod Controlled Movement on the Centrifuge.," *Manned Spacefl.*, vol. 3, no. 3(36), pp. 91–108, 2020.

[16] H. Tamamoto and S. Tang, "A new method of inheriting the dance of folk entertainment through the digitization of Kurokawa Noh," pp. 87–97, 2020.

[17] O. Morriet, "Concevoir et écrire pour la réalité virtuelle : nouvelles compétences, approches et techniques de scénarisation," *http://journals.openedition.org/map*, no. 12, Dec. 2019.

[18] Schroeder, G.N. Steinmetz, C.Rodrigues,, "A Methodology for Digital Twin Modeling and Deployment for Industry 4.0," IEEE Access, 109(4):556-567 Apr, 2021.

[19] M. Liu and L. Li, "The construction of smart campus in universities and the practical innovation of student work," ACM Int. Conf. Proceeding Ser., pp. 154–157, 2018.

[20] K. Jakubowski, T. Eerola, P. Alborno, G. Volpe, A. Camurri, and M. Clayton, "Extracting Coarse Body Movements from Video in Music Performance: A Comparison of Automated Computer Vision Techniques with Motion Capture Data," *Front. Digit. Humanit.*, vol. 4, no. April, pp. 1–10, 2017.

[21] A. M. Yang, S. S. Li, C. H. Ren, H. X. Liu, Y. Han, and L. Liu, "Situational Awareness System in the Smart Campus," IEEE Access, vol. 6, pp. 63976–63986, 2018.

[22] S. Hermawan, A. Rochmaniah, M. Yani, F. Bimo, and U. M. Sidoarjo, "ABDIMAS UNTUK CONTENTCREATOR MELALUI WEBINAR DAN PELATIHAN," vol. 2, no. 2, pp. 38–43, 2021.

[23] N. Songsom, P. Nilsook, P. Wannapiroon, C. C. Fung, and K. W. Wong, "System architecture of a student relationship management system using Internet of Things to collect digital footprint of higher education institutions," Int. J. Emerg. Technol. Learn., vol. 14, no. 23, pp. 125–140, 2019.

[24] K. Lin, C. Li, D. Tian, A. Ghoneim, M. S. Hossain, and S. U. Amin, "Artificial-Intelligence-Based Data Analytics for Cognitive Communication in Heterogeneous Wireless Networks," IEEE Wirel. Commun., vol. 26, no. 3, pp. 83–89, 2019.

[25] F. Lin, Y. Zhou, I. You, J. Lin, X. An, and X. Lu, "Content Recommendation Algorithm for Intelligent Navigator in Fog Computing Based IoT Environment," IEEE Access, vol. 7, pp. 53677–53686, 2019.

[26] Q. Qi and F. Tao, "A Smart Manufacturing Service System Based on Edge Computing, Fog Computing, and Cloud Computing," IEEE Access, vol.7, pp. 86769–86777, 2019.

[27] R. Balasubramanian, A. Libarikian, and D. McElhaney, "Insurance 2030 The impact of AI on the future of insurance," Digit. McKinsey Co., no. May, pp. 1–12, 2018.

[28] J. Estevez, G. Garate, and M. Graña, "Gentle Introduction to Artificial Intelligence for High-School Students Using Scratch," IEEE Access, vol.7, pp. 179027–179036, 2019.

[29] S. Fu, F. Yang, and Y. Xiao, "AI Inspired Intelligent Resource Management in Future Wireless Network," IEEE Access, vol. 8, pp.22425–22433, 2020.

[30] "System architecture of a student relationship management system using Internet of Things to collect digital footprint of higher education institutions," Int. J. Emerg. Technol. Learn., vol. 14, no. 23, pp. 125–140, 2019.

[31] X. Zhou, "Application Research of Face Recognition Technology in Smart Campus," 2020, vol. 1437, no. 1.

[32] A. M. Yang, S. S. Li, C. H. Ren, H. X. Liu, Y. Han, and L. Liu, "Situational Awareness System in the Smart Campus," IEEE Access, vol.6, pp. 63976–63986, 2018.

[33] A. Majeed and M. Ali, "How Internet-of-Things (IoT) making the university campuses smart? QA higher education (QAHE) perspective," 2018 IEEE 8th Annu. Comput. Commun. Work. Conf. CCWC 2018, vol.2018-Janua, pp. 646–648, 2018.

[34] L. M. Palma, M. A. G. Vigil, F. L. Pereira, and J. E. Martina, "Blockchain and smart contracts for higher education registry in Brazil," in International Journal of Network Management, 2019, vol. 29, no. 3.

[35] Sarnubon, Kobkiat, Kesttisuk Amsrugsa, and Adichart Kongsakpaibul. "A smart system for elderly care using iot and mobile technologies." Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Software and e-Business. 2018.

[37] Wanotayaputak, Sukosol, Kobkiat Sarnubon, and Prachyanun Nilsook. "Process Design of Cooperative Education Management System by Cloud-based Blockchain E-portfolio." International Journal of Online & Biomedical Engineering 15.8 (2019).

[38] Sarnubon, Kobkiat. "Learning media repository and delivery system for smart classroom using IoT and mobile technologies." (2019): 66-77.

[39] Sarnubon, Kobkiat, Nuttapong Wiriyamurukmakon, and Natdanai Tangthunyanun. "Flashover Prevention System Using IoT and Machine Learning for Transmission and Distribution Lines." International Journal of Interactive Mobile Technologies 15.11 (2021).

[40] Sarnubon, Kobkiat, Pasurut Chinakul, and Rittinan Charpen. "Asset Management System using NFC and IoT Technologies." Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Software and e-Business. 2019.

[41] Sarnubon, Kobkiat, and Benchaphon Limthanmaphon. "IoT Telemonitoring System for COVID-19 Quarantine." TEM J 10 (2021): 105-112.

[42] Tangpantong, Chanin, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "A Conceptual Framework of Factors for Information Systems Success to Digital Transformation in Higher Education Institutions." 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET). IEEE, 2021.

[43] Wannapiroon, Panita, et al. "Augmented reality interactive learning model, using the imagineering process for the SMART classroom." TEM Journal 10.3 (2021): 1404-1417.

[44] Chaiyarak, Sakchai, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "An empirical study of intelligent virtual universal learning platforms." 2021 Research, Invention, and Innovation Congress:

Innovation Electricals and Electronics (RIEC). IEEE, 2021.

[45] EBIESUWA, SEUN, et al. "INTERNET OF THINGS (IOT) APPROACH TO COMBATING ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ISSUES." Journal of Theoretical and Applied Information Technology 100.10 (2022).

[47] Samok, Kritsopath, Panita Wannapiroon, and Prachyanun Nilsook. "Digital Emotional Intelligence (DEI) and Learning Achievement Through Digital Storytelling in Digital Learning Ecosystem for Student Teachers." 2021 5th International Conference on Education and Multimedia Technology. 2021.

[48] Tungpantong, Chanin, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "Factors Influencing Digital Transformation Adoption among Higher Education Institutions during Digital Disruption." Higher Education Studies 12.2 (2022): 1-9.

[49] Botín-Sanabria, Diego M., et al. "Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review." Remote Sensing 14.6 (2022): 1335.

[50] Kamble, Sachin S., et al. "Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework." Technological Forecasting and Social Change 176 (2022): 121448.

[51] Khan, Latif U., et al. "Digital-twin-enabled 6G: Vision, architectural trends, and future directions." IEEE Communications Magazine 60.1 (2022): 74-80.

Tanapeak Pexyeun is a lecturer at the Faculty of Science and Technology ,Bangkok Suvarnabhumi University University. He received the B.Ed. in Computer Education and received the M.Ed. in Administration of Education. He currently field of expertise are ICT, learning management and pedagogy. His research interests focus on Digital Twin, Artificial Intelligence (AI), Cognitive Technologies, Cloud Computing, Internet of Things (IoT), Blockchain, and Digitalized Learning. (e-mail: Tanapeak@bsu.ac.th, Tanapeak2559@gmail.com)

Kobkiat Saruiboon is an Associate Professor at the Division of Information and Communication Technology for Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Thailand. He currently works in the field of ICT and currently field of expertise are Internet Of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Cognitive Technologies, Cloud Computing.

(e-mail: kobkiat.s@sci.kmutnb.ac.th)

Prachyanun Nilsook is an Professor at the Division of Information and Communication Technology for Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Thailand. He currently works in the field of ICT for Education and Vocational Education Technology Research Centre. He is a member of Professional Societies in the Association for Educational Technology of Thailand (AETT)

(e-mail: prachyanun@kmutnb.ac.th, prachyanun@hotmail.com)

บทความที่ 2 เรื่อง IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus

IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus

Tanapesk Pexyeam
Division of Information and Communication Technology for Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok Thailand
S6202052910015@kmutnb.ac.th

Kobkiat Saraubon
Department of Computer Science and Information, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok Thailand
kobkiat.s@sci.kmutnb.ac.th

Prachyanun Nilsook
Division of Information and Communication Technology for Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok Thailand
prachyanunn@kmutnb.ac.th

Abstract— **Smart Campus This research aims to present the use of the Internet of Things and smart technologies that work with 6G networks to intelligently improve the energy management capabilities of campuses. Whether it's personal. Teachers and students, including those with disabilities, have a better quality of life. Within the university, energy consumption data is collected. Organizations to manage energy management systems Reduce energy consumption Reduce management by using technology to manage and reduce campus costs, transparently monitor energy consumption and use of campus educational equipment, especially cost and expense management, and sustainable energy use. Control usage data, energy consumption results, and estimate budget allocation related to educational institutions. IoT and Cloud Computing are also integrated into 6G networks embedded in state-of-the-art devices for use in environmental management and intelligent energy management, as well as creating new energy models and management that can solve future emergencies with external on-premises virtual energy control anytime, anywhere. Smart Building Management with twin technologies helps to intelligently manage and control indoor energy systems, such as automation for temperature control in buildings. Air conditioner energy consumption control system Electricity consumption control in lighting system This saves energy and increases the usability of buildings within smart campuses.**

Keywords— Internet of Things (IoT), 6G, Digital Twin, Smart Campus

I. Introduction

The era of platform development with AI makes it easier for humans to make complex decisions. Based on data digested by artificial intelligence to make it easy to understand. From a psychological point of view, artificial intelligence will help humans work less[1]. Artificial intelligence is one of the tools that humans have developed just as we have developed innovative devices or facilities in the past. includes augmented reality (AR) technology. Reduce inequality Technology has been developed. The impact has led to the development of areas such as smart agriculture, smart industry, smart cities, smart healthcare, and control systems that are devoid of people[2]. Quickly access systems and meet the needs of many devices simultaneously using Technology of Internet of Things (IoT) Digital Twin technology helps simulate models from physical objects. The object here could be a car, a building, or even a city in the world. Sensors are installed on several physical objects[3]. It acts as a real-time interconnection mechanism between physical and virtual objects used to control things to help predict and facilitate life[4].

In the organization or on campus The global energy crisis has attracted a lot of attention as energy costs have risen and energy is likely to be reduced and depleted. An efficient digital energy management system is needed on campus[5], with the aim of harnessing energy management as a smart campus

II. LITERATURE REVIEW

The author presents the essence of "IoT, 6G and Digital Twin for smart Campus management", which occurs from the analysis and synthesis of relevant documents and research as follows:

A. Internet of Things (IoT)

Internet of Things, IoT It is the connection of various devices over the Internet network to communicate and exchange information. These devices can transmit data and operate independently without direct operator and can recognize and respond to their surroundings with sensors and interfaces[5]. IoT development begins with the design and construction of devices that have the ability to connect to the Internet network, such as sensors, communication tools, servers, or other related devices. By connecting and communicating, IoT devices must be able to connect to the Internet network and communicate effectively with other systems[6]. What is possible includes using appropriate network protocols such as Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, NFC, LoRaWAN, etc[7]. It may use cloud technology that requires deployment and infrastructure for IoT devices to work together effectively. It is necessary to build a basic system that supports connectivity and communication between devices, such as cloud infrastructure or data management system, to collect data and process data from IoT devices[8]. In addition, gateways have been developed that act as intermediaries to connect and convert signals between IoT devices and the Internet network, focusing on controlling and customizing the operation of IoT devices according to user

needs, such as setting up the operation of the device. Setting security conditions or rules is very important in IoT development because IoT devices may contain sensitive information and are responsible for controlling critical systems. Appropriate security systems such as authentication and encryption must be designed to prevent unauthorized access to data. In testing and experimentation, it is an important step in IoT development to verify that devices and systems work as expected and perform at peak performance. Testing can be testing a sampling device or testing a system in real-world conditions, and an experiment can be a simulation to determine capabilities in a variety of possible environments that require energy management.

B. Generation 6 of wireless technology (6G)

6G will focus more on increasing data transmission speed and network performance. To support larger data volumes and lower latency requirements. 6G may have several key technologies that can be expected to be possible, such as the working principle of 6G in terms of technology and higher frequencies[10]. Single-antenna and 6G technologies may use single-pole MIMO technology that improves data transmission efficiency, using multiple channels to transmit signals to multiple devices simultaneously, reducing race between channels and improving communication stability. Device-to-Device Communication Technology[11] 6G may promote D2D communication, reducing communication delays and reducing network loads. This will enable spatial service, which is capable of supporting enough devices to serve a wider area, as well as technology that enables faster and more efficient device connections[12]. Ultra-reliable and Low-latency Communications are also required to support applications requiring low latency times and highly stable connections. Low-interference NOMA technology 6G may use low-conflict NN technology, Network-in-Network Architecture technology. To support multiple connections and share data between devices on a small group scale, allowing for more efficient device management and connection[13]. 6G may use AI technology to enhance network management and control, as well as support for automated decision-making and network learning to improve communication efficiency[14]. 6G has developed sensing technology that allows the network to detect and recognize the environment and data from various devices such as motion detection, temperature, noise level, etc.[15], which can be used to manage and improve network performance.

C. Digital Twin

Digital twins work by simulating real assets in a virtual environment. Features and behaviors Real-time digital representation of assets is generated using smart sensors that collect data from the product[16]. You can use presentations throughout the asset lifecycle, from initial product testing to real-world operations and decommissioning[17]. Virtual models of physical objects are created by integrating multiple technologies, such as AI Algorithm, IoT, Cloud Computing, and other technologies, to create twin models that can display details and properties almost as much as real objects, and can also display features in the past and provide information about what might happen in the future[18]. There are always two forms of data analysis in the digital twin world: physical, existential and tangible[19]. Its digital twins, characterized by models of physical objects, require a large number of sensors to obtain copies that are closest to today's truth. Enormous data from sensors is sent to the cloud to store and process in context of use, for example, if digital twins of bridges are to be created, vibration data is required[20]. Digital Twin will help to integrate AI and perform higher simulations[21]. Digital Twin developments can be better drilled into every business and benefit businesses, organizations, or nations in the long run[22]. Good for planning and designing machinery in factories The design can be checked in advance[23]. In the test phase, the machine control system can be configured like a virtual environment, and when the procedure is carried out, it will correct the risk of failure and error in time.

D. Smart Campus

Smart Campus has the right implementation of smart technology. By using sensor systems and IoT devices to collect data and control things on campus, as well as using technology to integrate with energy management. Safety system and environmental management system[24], etc. Smart campus buildings can have intelligent capabilities such as smart air control[25], intelligent power systems that adjust brightness and power consumption automatically, indoor voice and communication management systems[26], as well as indoor emergency detection and alerting systems, as well as safety and security systems Smart Campus[27]. There should be an intelligent security system that helps prevent and detect risks and dangerous events, such as smart surveillance systems. Stable and high-speed Smart Campus connectivity and network for efficient connectivity In addition, various systems on campus such as electrical networks[28], communication systems, and data access systems should be connected that allow users to quickly access information and services. Smart Campus Systems that use technology and intelligent data to increase efficiency and comfort in campus life or related circuits[29]. It consists of several elements that can be combined to create a more efficient environment. Internet network for fast and stable connection Sensor systems and IoT (Internet of Things) devices to detect and collect environmental data such as air sensors, light sensors, sound sensors to detect temperature, air quality, noise levels, [30]. Intelligent security systems such as detection and notification of dangerous events, CCTV systems, automated security systems, etc. Intelligent energy management system to increase energy efficiency, including energy measurement and control in buildings, electrical and mobility systems[31]. Smart management should include resource management such as building management, information management[32], and personnel management by using automated systems and data analysis for decision making, as well as energy management used within Smart Campus that will help manage energy in a cost-effective and sustainable manner.

III. RESEARCH AND DISCUSSION

Based on the study of internet of things, Generation 6 of wireless technology (6G), Digital Twin, and Smart Campus management, the authors used document analysis and the synthesis of relevant keywords. See Table 1.

Table 1. Synthesis of keywords

No.	*Keyword*	*References*
1	Internet of Things (IoT)	[5] [6] [7] [8] [9]
2	Generation 6 of wireless technology (6G)	[10] [11] [12] [13][14] [15]
3	Digital Twin	[16][17][18] [19][20][21] [22] [23]
4	Smart Campus	[24] [25] [26] [27] [28][29] [30][31][32]

The author summarized and presented interesting examples of articles and research in educational development in order to move towards smart campus management as follows.

Smart Campus using IoT technology The main purpose of this research is to successfully manage and intelligent services on campus using IoT with organizational management and learning by providing access to external learning facilities. And linking energy-intensive equipment, including physical, 1) Classrooms that are used on class schedules will help to turn on and off the air conditioning, intelligent wireless air conditioning control system, allowing building management staff to customize automatic control patterns to suit conditions such as indoor activities or outdoor weather conditions, as well as self-ordering through cloud and AI. No supervisor required at all times The system can analyze and evaluate the air conditioner to run with minimal power loss. Reduce energy during unnecessary times, save costs, light, humidity to suit the learner's learning ecosystem, including school supplies. Classroom Teaching 2) Laboratory is a room with control of equipment or training materials for safety and energy efficiency. By creating positive and negative oxygen particles from the air flowing through the device. Effective in disinfecting viruses Airborne bacteria up to 99% reduce PM 10 – PM 2.5 dust and odors and are safe for learners, helping to reassure visitors 4) Libraries are the center for digital research. Information is collected, including the need for searches, 5) corridors. Light control is provided to suit the lighting establishment. CCTV cameras and broadcasting points by buildings on campus, including Internet-connected Smart Devices, as well as Smart Senser, will help link the transmission of devices to internet networks located on the IoT layer. Learn the information provided by Senser into algorithms that process intelligent data with artificial

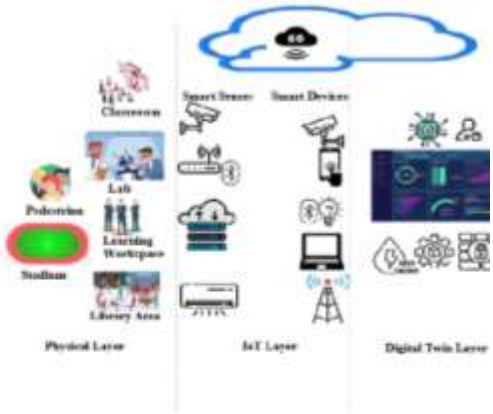


Fig. 1 Architecture of IoT, 6G and Digital Twin for smart Campus Management

From Figure 1, it is the architecture of IoT, 6G and Digital Twin for smart Campus Management. The first part is the physical environment of the various spaces used for teaching and carrying out various activities within the smart campus, such as sports fields, classrooms[33]. Laboratories, corridors, libraries Learning spaces outside the classroom and spaces for activities or seminars Part 2 will be the part of IoT technology consisting of Smart Sensor, Smart Meter, Smart Device that connects to the Internet and communicates with each other to send data and receive commands. Sensors are devices used to detect and measure environmental data, such as temperature sensors, humidity sensors, light sensors[34]. Able to transmit environmental data to other systems in the IoT system together with devices connected to the Internet[35], such as smart devices such as smart light bulbs, smart appliances, smart surveillance cameras, etc. These devices can communicate and transmit data to other machines in IoT systems[36].

Computers and servers are an integral part of IoT systems, which are used for data processing, data acquisition, and communication with other IoT devices[37]. Hardware and smart devices work together with 6G network segments and intelligent sensors to detect physical characteristics and import application data[38]. Layer Digital Twin brings data from the IoT layer to display alongside the hardware, displaying usage data, usage history, and cloud computing with network security[39]. Algorithms designed by researchers to provide services for smart campuses[40] and algorithms that display real-time and automated data and event predictions can be used to control energy and other areas of operation[41], which is based on the framework for smart campuses in energy management. Compared to traditional operations, Smart Campus has been found to manage energy efficiently[42].

IV. CONCLUSIONS

Smart Campus is a concept that focuses on the application of technology and energy management in the operation of educational facilities or places where learning and work takes place at the university level[43]. Energy management in smart campuses focuses on improving energy efficiency[44]. Reducing unnecessary energy consumption and introducing new technologies contribute to a more efficient energy ratio[45]. The power management model on a smart campus

may include[46] Energy consumption analysis and monitoring Energy consumption analysis is essential for energy management in smart campuses through the installation of sensors and energy monitoring systems such as electricity consumption monitoring[47], water consumption detection, or energy consumption monitoring in buildings with IoT technology combined with 6G networks that provide self-control visibility in twin behaviors. This can be applied in the organization or in various places to have efficient energy management and other aspects.

REFERENCES

[1] M. A. Razzaq, J. A. Mahar, A. Mehmood, G. S. Choi and I. Ashraf, "Simulation and Assessment of Vertical Scaling for a Smart Campus Environment Using the Internet of Things," in IEEE Access, vol. 10, pp. 96322-96330, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3204042.

[2] B. Wang, M. Li, X. Jin, and C. Guo, "A Reliable IoT Edge Computing Trust Management Mechanism for Smart Cities," IEEE Access, vol. 8, pp. 46373--46399, 2020.

[3] C. Tavares et al., "Smart Office Chair for Working Conditions Optimization," in IEEE Access, vol. 11, pp. 50497-50509, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3276429.

[4] N. Ahmad, Y. G. Ghazi, M. Adnan and M. Ali, "From Smart Grids to Super Smart Grids: A Roadmap for Strategic Demand Management for Next Generation SAARC and European Power Infrastructure," in IEEE Access, vol. 11, pp. 12303-12341, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3241686.

[5] W. Kou and S. -Y. Park, "A Distributed Energy Management Approach for Smart Campus Demand Response," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, vol. 4, no. 1, pp. 339-347, Jan. 2023, doi: 10.1109/JESTIE.2022.3225755.

[6] E. Yamao and N. L. Lescano, "Smart Campus as a learning platform for Industry 4.0 and IoT ready students in higher education," 2020 IEEE International Symposium on Accreditation of Engineering and Computing Education (ICACIT), Arequipa, Peru, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICACIT50253.2020.9277679.

[7] N. Silvis-Cividjian, "Teaching Internet of Things (IoT) Literacy: A Systems Engineering Approach", 2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET), pp. 50-61, May 2019.

[8] R. Sneesl, Y. Y. Jusoh, M. A. Jabar and S. Abdullah, "Conceptualizing IoT-based Smart Campus Adoption Model for Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review," 2022 Applied Informatics International Conference (AiIC), Serdang, Malaysia, 2022, pp. 7-12, doi: 10.1109/AiIC54368.2022.9914033.

[9] Farooq, Muhammad Shoaib, et al. "A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming." IEEE Access 7 (2019): 156237-156271.

[10] C. -X. Wang et al., "On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies, and Testbeds," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 25, no. 2, pp. 905-974, Secondquarter 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3249835.

[11] H. Kim, J. Kim and J. Oh, "Communication A Novel Systematic Design of High-Aperture-Efficiency 2D Beam-Scanning Liquid-Crystal Embedded Reflectarray Antenna for 6G FR3 and Radar Applications," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 70, no. 11, pp. 11194-11198, Nov. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3209178.

[12] S. Seppo Yrjölä, P. Ahokangas and M. Matinmikko-Blue, "Value Creation and Capture From Technology Innovation in the 6G Era," in IEEE Access, vol. 10, pp. 16299-16319, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149590.

[13] Y. Tang et al., "Intelligent Fabric Enabled 6G Semantic Communication System for In-Cabin Scenarios," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 1, pp. 1153-1162, Jan. 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3174704.

[14] C. Sieluzycki, J. Mailiński, P. Kaczmarczyk, R. Kubacki, W. B. Cieliński, and K. Witkowski, "Can Kinect aid motor learning in sportsmen? A study for three standing techniques in judo," *PLoS One*, vol. 14, no. 2, 201 N. H. Mahmood, G. Berardinelli, E. J. Khatib, R. Hashemi, C. De Lima and M. Latva-aho, "A Functional Architecture for 6G Special-Purpose Industrial IoT Networks," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 19, no. 3, pp. 2530-2540, March 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3182988.9.

[15] D. Serghiou, M. Khalily, T. W. C. Brown and R. Tafazolli, "Terahertz Channel Propagation Phenomena, Measurement Techniques and Modeling for 6G Wireless Communication Applications: A Survey, Open Challenges and Future Research Directions," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 4, pp. 1957-1996, Fourthquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3205505.

[16] S. Mihai et al., "Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 4, pp. 2255-2291, Fourthquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3208773.

[17] M. Sanz Rodrigo, D. Rivera, J. I. Moreno, M. Álvarez-Campana and D. R. López, "Digital Twins for 5G Networks: A Modeling and Deployment Methodology," in IEEE Access, vol. 11, pp. 38112-38126, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3267548.

[18] Q. Tang, B. Wu, W. Chen and J. Yue, "A Digital Twin-Assisted Collaborative Capability Optimization Model for Smart Manufacturing System Based on Elman-IVIF-TOPSIS," in IEEE Access, vol. 11, pp. 40540-40564, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3269577.

[19] S. -H. Lee et al., "Robotic Manipulation System Design and Control for Non-Contact Remote Diagnosis in Otolaryngology: Digital Twin Approach," in IEEE Access, vol. 11, pp. 28735-28750, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3259539.

[20] Q. Liu, X. Qi, S. Liu, X. Cheng, X. Ke and F. Wang, "Application of Lightweight Digital Twin System in Intelligent Transportation," in IEEE Journal of Radio Frequency Identification, vol. 6, pp. 729-732, 2022, doi: 10.1109/JRFID.2022.3212169.

[21] J. Song, Y. Kang, Q. Song, L. Guo and A. Jamalipour, "Distributed Resource Optimization With Blockchain Security for Immersive Digital Twin in IIoT," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 19, no. 5, pp. 7258-7267, May 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3224986.

[22] Q. Guo, F. Tang and N. Kato, "Federated Reinforcement Learning-Based Resource Allocation for D2D-Aided Digital Twin Edge Networks in 6G Industrial IoT," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 19, no. 5, pp. 7228-7236, May 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3227655.A. M. Yang, S. S. Li, C. H. Ren, H. X. Liu, Y. Han, and L. Liu, "Situational Awareness System in the Smart Campus," IEEE Access, vol. 6, pp. 63976-63986, 2018.

[23] S. Hermawan, A. Rochmaniah, M. Yani, F. Bouin, and U. M. Sidoarjo, "ABDIMAS UNTUK CONTENTCREATOR MELALUI WEBINAR DAN PELATIHAN," vol. 2, no. 2, pp. 38--43, 2021.

[24] N. Songsom, P. Nilsook, P. Wannapiroon, C. C. Fung, and K. W. Wong, "System architecture of a student relationship management system using Internet of Things to collect digital footprint of higher education institutions," Int. J. Emerg. Technol. Learn., vol. 14, no. 23, pp. 125--140, 2019.

[25] K. Lin, C. Li, D. Tian, A. Ghoneim, M. S. Hossain, and S. U. Amin, "Artificial-Intelligence-Based Data Analytics for Cognitive Communication in Heterogeneous Wireless Networks," IEEE Wirel. Commun., vol. 26, no. 3, pp. 83--89, 2019.

[26] F. Lin, Y. Zhou, I. You, J. Lin, X. An, and X. Lü, "Content Recommendation Algorithm for Intelligent Navigator in Fog Computing Based IoT Environment," IEEE Access, vol. 7, pp. 53677--53686, 2019.

[27] Q. Qi and F. Tao, "A Smart Manufacturing Service System Based on Edge-Computing, Fog Computing, and Cloud Computing," IEEE Access, vol. 7, pp. 86769--86777, 2019.

[28] P. Agarwal, R. Kumar G.V.V. and P. Agarwal, "IoT based Framework

for Smart Campus: COVID-19 Readiness," 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), London, UK, 2020, pp. 539-542, doi: 10.1109/WorldS450073.2020.9210382.

[28] J. Estevez, G. Garate, and M. Graña, "Gentle Introduction to Artificial Intelligence for High-School Students Using Scratch," IEEE Access, vol.7, pp. 179027–179036, 2019.

[29] S. Fu, F. Yang, and Y. Xiao, "AI Inspired Intelligent Resource Management in Future Wireless Network," IEEE Access, vol. 8, pp.22425–22433, 2020.

[30] "System architecture of a student relationship management system using Internet of Things to collect digital footprint of higher education institutions," Int. J. Emerg. Technol. Learn., vol. 14, no. 23, pp. 125–140, 2019.

[31] R. Carotenuto, M. Merenda, F. G. D. Corte and D. Iero, "Online Black-Box Modeling for the IoT Digital Twins Through Machine Learning," in IEEE Access, vol. 11, pp. 48158-48168, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3275447.

[32] A. M. Yang, S. S. Li, C. H. Ren, H. X. Liu, Y. Han, and L. Liu, "Situational Awareness System in the Smart Campus," IEEE Access, vol.6, pp. 63976–63986, 2018.

[33] A. Majeed and M. Ali, "How Internet-of-Things (IoT) making the university campuses smart? QA higher education (QAHE) perspective," 2018 IEEE 8th Annu. Comput. Commun. Work. Conf. CCWC 2018, vol.2018-Janua, pp. 646–648, 2018.

[34] L. M. Palma, M. A. G. Vigil, F. L. Pereira, and J. E. Martina, "Blockchain and smart contracts for higher education registry in Brazil," in International Journal of Network Management, 2019, vol. 29, no. 3.

[35] Sarnubon, Kobkiat, Keattisuk Anurugsa, and Adichart Kongsakpaibul. "A smart system for elderly care using iot and mobile technologies." Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Software and e-Business. 2018.

[37] Wanotayapitak, Sukwool, Kobkiat Sarnubon, and Prachyanun Nilsook. "Process Design of Cooperative Education Management System by Cloud-based Blockchain E-portfolio." International Journal of Online & Biomedical Engineering 15.8 (2019).

[38] Sarnubon, Kobkiat. "Learning media repository and delivery system for smart classroom using IoT and mobile technologies." (2019): 66-77.

[39] Sarnubon, Kobkiat, Nuttapong Wiriyanurueknakon, and Natdanai Tangthirasunun. "Flashover Prevention System Using IoT and Machine Learning for Transmission and Distribution Lines." International Journal of Interactive Mobile Technologies 15.11 (2021).

[40] Sarnubon, Kobkiat, Panurut Chinakul, and Rittinan Champen. "Asset Management System using NFC and IoT Technologies." Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Software and e-Business. 2019.

[41] Sarnubon, Kobkiat, and Benchaphon Limthanmaphon. "IoT Telemonitoring System for COVID-19 Quarantine." TEM J. 10 (2021): 105-112.

[42] Tungpantong, Chanun, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "A Conceptual Framework of Factors for Information Systems Success to Digital Transformation in Higher Education Institutions." 2021 9th International Conference on Information and Education Technology (ICIET). IEEE, 2021.

[43] Wannapiroon, Panita, et al. "Augmented reality interactive learning model, using the imagineering process for the SMART classroom." TEM Journal 10.3 (2021): 1404-1417.

[44] Chayarak, Sakchai, Prachyanun Nilsook, and Panita Wannapiroon. "An empirical study of intelligent virtual universal learning platforms." 2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C). IEEE, 2021.

[45] EBIESUWA, SEUN, et al. "INTERNET OF THINGS (IOT) APPROACH TO COMBATING ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ISSUES." Journal of Theoretical and Applied Information Technology 100.10 (2022).

[47] Sarnok, Kritsupath, Panita Wannaparoon, and Prachyanun Nilsook. "Digital Emotional Intelligence (DEI) and Learning Achievement Through Digital Storytelling in Digital Learning Ecosystem for Student Teachers." 2021 5th International Conference on Education and Multimedia Technology. 2021.

Tanapeak Pexyean is a lecturer at the Faculty of Science and Technology, Bangkok Suvarnabhumi University (BSU)), Thailand. He received the M.Sc. in Computer Science and received the Ph.D. (candidate) in Information and Communication Technology for Education. He currently field of expertise are ICT, learning management and pedagogy. His research interests focus on Digital Twin, Artificial Intelligence (AI), Cognitive Technologies, Cloud Computing, Internet of Things (IoT), Blockchain, and Digitalized Learning. (e-mail: Tanapeak@bsu.ac.th, Tanapeak2559@gmail.com)

Kobkiat Sarnubon is an Associate Professor at the Division of Information and Communication Technology for Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Thailand. He currently works in the field of ICT and currently field of expertise are Internet Of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Cognitive Technologies, Cloud Computing.

(e-mail: kobkiat.s@sci.kmutnb.ac.th)

Prachyanun Nilsook is an Professor at the Division of Information and Communication Technology for Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Thailand. He currently works in the field of ICT for Education and Vocational Education Technology Research Centre. He is a member of Professional Societies in the Association for Educational Technology of Thailand (AETT).

(e-mail: prachyanun@kmutnb.ac.th, prachyanun@hotmail.com)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายธณพิชญ์ เป็กเยียน
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบการจัดการพลังงานคู่แฝดด้วยเทคโนโลยีทางปัญญาเชื่อมโยงสรรพสิ่งสู่วิทยาเขตอัจฉริยะ
สาขาวิชา : เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา

ประวัติ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2567 ปริญญาเอก ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พ.ศ. 2558 ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549 ปริญญาตรี ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (วิทยาเขตเทเวศร์)

ประวัติการทำงาน

2556 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล
มหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิ

2550 – 2555 อาจารย์ประจำ สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ
วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ

2548 – 2549 โปรแกรมเมอร์ บริษัท Development Tech จำกัด

ผลงานวิชาการ

PEXYEAN, T., SARAUBON, K., & NILSOOK, P. (2024). “DIGITAL TWIN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTERNET OF THING TO SMART CAMPUS.” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 102*(17).

Pexyean, T., Saraubon, K., & Nilsook, P. (2024). “AI Simulation, IoT and Digital Twin For Smart Campus.” In *2024 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)*. IEEE.

Pexyean, T., Saraubon, K., & Nilsook, P. (2023). “IoT, 6G and Digital Twin For Smart Campus.” In *2023 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)* IEEE, : 46-50.

Pexyean, T., Saraubon, K., & Nilsook, P. (2022). “IoT, AI and Digital Twin For Smart Campus.” In *2022 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovative Electricals and Electronics (RI2C)* IEEE, : 160-164.