

การพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านโดยใช้การเรียนรู้แบบถ่ายโอน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of Home Energy Management System using Transfer Learning



Mr. Piyapat Leeraksakiat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการจัดการพลังงานภายในบ้านโดยใช้
	การเรียนรู้แบบถ่ายโอน
โดย	นายปิยพัทธ์ สรีรักษาเกียรติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

	.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
	(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	.....	ประธานกรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุ่มรินทร์)	
	.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
	(รองศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา)	
	.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
	(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ทีลาร์ศรี)	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปิยพัทธ์ สิริรักษาเกียรติ : การพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านโดยใช้การเรียนรู้แบบถ่ายโอน. ( Development of Home Energy Management System using Transfer Learning) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วันเฉลิม โปธา

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการเรียนรู้ด้วยเครื่องถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นมา เทคโนโลยีเหล่านี้เข้ามามีส่วนร่วมกับการใช้ชีวิตประจำวัน และถูกนำมาประยุกต์ใช้กับบ้าน หรือที่อยู่อาศัย เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และอำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาพยากรณ์พฤติกรรม การเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน อย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ และทำนายพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยได้เพียงพฤติกรรมเดียวเท่านั้น เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมถูกนำไปพยากรณ์ผู้อยู่อาศัยใหม่ ซึ่งมีพฤติกรรมแตกต่างจากผู้อยู่อาศัยเดิม จะส่งผลต่อความถูกต้อง และความแม่นยำของค่าพยากรณ์ แม้ว่าปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแก้ปัญหาด้วยการเก็บข้อมูลผู้อยู่อาศัยใหม่ แต่การเก็บข้อมูลให้มากพอสำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมอาจต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนาน ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System: HEMS) ที่มีราคาไม่สูงด้วยการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ นอกจากนี้ยังนำการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สำคัญมาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแก่โครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถลดปริมาณข้อมูล และระยะเวลาสำหรับการสอนโครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์จากการทดลองพบว่า เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน ทำให้การทำนายพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยใหม่มีความแม่นยำ และถูกต้องมากยิ่งขึ้น ตามปริมาณข้อมูลที่สอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม ค่าความถูกต้องมีค่าสูงสุดประมาณ 95% ด้วยการใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ และค่าจริง (Confusion Matrix) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ยิ่งกว่านั้น การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยค่าพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถช่วยจำกัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น และลดค่าใช้จ่ายภายในบ้านแก่ผู้อยู่อาศัยได้อีกด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6170213621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Neural Network; Transfer Learning; the entry/exit behavior of residents

Piyapat Leeraksakiat : Development of Home Energy Management System using Transfer Learning. Advisor: Assoc. Prof. WANCHALERM PORA, Ph.D.

Nowadays, machine learning has been developed rapidly and become highly efficient. It is associated with daily life activities and adapted to work at home in order to increase security and bring about convenience for residents. Especially, neural networks are employed to forecast entry/exit behavior of the residents so that electrical appliances can be controlled wisely. However, a neural network can learn and predict the behavior of a person only. If the neural network is used to forecast another person's behavior, the forecasting accuracy will decrease. Although this problem can be solved by new data collection, it might take a long time. This thesis proposes low-cost Home Energy Management System (HEMS) implement on a Raspberry Pi which runs LSTM neural network for behavior forecasting. Furthermore, transfer learning is exploited to improve LSTM accuracy of the network in order to reduce the quantity of samples and period of time for re-training. The results of prediction show that accuracy gradually increases when the neural network is trained with a batch of data. The highest accuracy increases to 95% approximately by using Confusion Matrix as metric to verify the performance of network. Moreover, electrical appliances are controlled by HEMS can reduce electricity consumption ie. the electricity cost.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2019

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปธา อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลาวัศม์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุ่มรินทร์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเรียบร้อย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ Embedded System and IC Design Research Laboratory หรือ ESID Lab ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ และอุปกรณ์ต่างๆ ระหว่างการทำวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องในห้องปฏิบัติการที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพื่อการปรับปรุง และแก้ไขในการศึกษาครั้งถัดไป

ปิยพัทธ์ ลิรักษาเกียรติ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มา และความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎี และโครงงานที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) [1].....	5
2.2 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication) [4].....	7
2.3 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) [7].....	15
2.4 ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database management system) [14] .....	21
2.5 โปรแกรมโนดเร็ด (Node -Red) [15].....	22
2.6 ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า (Home management system) [16].....	22

2.7 การประเมินประสิทธิภาพ (Evaluation).....	23
2.8 ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review).....	24
บทที่ 3 การออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน .....	28
3.1 การสร้างชุดข้อมูลพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย .....	28
3.2 ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และระบบการจัดเก็บข้อมูล .....	29
3.3 ระบบอัลกอริทึม.....	31
3.4 ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า.....	32
3.5 การเรียนรู้แบบถ่ายโอน.....	34
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง .....	35
4.1 การเปรียบเทียบค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านระหว่างเซ็นเซอร์ชนิด กับมิเตอร์ในปัจจุบัน .	35
4.2 การทดสอบการทำงานแต่ละส่วนของระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน .....	36
4.2.1 ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และระบบการจัดเก็บข้อมูล.....	36
4.2.2 ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า .....	38
4.3 การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย.....	41
4.3.1 การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยชุดข้อมูลสมมติ .....	41
4.3.2 การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยชุดข้อมูลจริง.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ .....	53
5.1 สรุปงานวิจัย.....	53
5.2 งานที่ควรทำต่อในอนาคต .....	54
บรรณานุกรม.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	59



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 รายละเอียดของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแต่ละชนิด .....	12
ตารางที่ 2 จำนวนชั้น และจำนวนนิวรอนของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม .....	25
ตารางที่ 3 ค่าความแม่นยำของการจดจำกิจกรรมของผู้พักอาศัยในบ้านอัจฉริยะของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม .....	26
ตารางที่ 4 รายละเอียดการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละประเภท เช่น จำนวนนิวรอน จำนวนชั้น และจำนวนรอบ .....	27
ตารางที่ 5 รายละเอียดเซ็นเซอร์ที่นำมาติดตั้งเพื่อวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน .....	30
ตารางที่ 6 การแบ่งจำนวนชุดข้อมูล และการกำหนดไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำลักษณะหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) .....	32
ตารางที่ 7 ชุดคำสั่งควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite) .....	33
ตารางที่ 8 ค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านระหว่างเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ปัจจุบันลักษณะรายชั่วโมง และค่าความคลาดเคลื่อน .....	35
ตารางที่ 9 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ระหว่างข้อมูลทดสอบ A และ B ที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวเท่านั้น .....	42
ตารางที่ 10 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) .....	43
ตารางที่ 11 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคมที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) .....	44
ตารางที่ 12 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวเท่านั้น .....	48
ตารางที่ 13 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) .....	49

ตารางที่ 14 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่มาจากโครงข่ายประสาทเทียม LSTM, GRU และ SimpleRNN ซึ่งถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)..... 50



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมไอโอทีแบบ 3-5 ชั้น (3-5 Layers Architecture).....	6
รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมไอโอทีแบบคลาวด์ และฟ็อก (Cloud and Fog Architecture) .....	7
รูปที่ 3 การเชื่อมต่อของการสื่อสารบนบัสไอแอสควซีบัส (I2C Bus).....	9
รูปที่ 4 การทำงานของ 와이파이 (Wi-Fi) ในการสื่อสารแบบแอดฮอค (Ad Hoc) .....	10
รูปที่ 5 การทำงานของ 와이파이 (Wi-Fi) ในการสื่อสารแบบแอคเซสพอยต์ (AP) .....	11
รูปที่ 6 การสื่อสารแบบไร้สายแบบเอ็มคิวทีที (MQTT).....	13
รูปที่ 7 การทำงานของการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 0 (QoS 0).....	13
รูปที่ 8 การทำงานของการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 1 (QoS 1).....	14
รูปที่ 9 การทำงานของการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 2 (QoS 2).....	15
รูปที่ 10 ส่วนประกอบของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) .....	16
รูปที่ 11 กระบวนการของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning).....	17
รูปที่ 12 กระบวนการของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning).....	17
รูปที่ 13 กระบวนการของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) .....	18
รูปที่ 14 กระบวนการของการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning).....	19
รูปที่ 15 กระบวนการของโครงข่ายแบบวนซ้ำ (RNN).....	20
รูปที่ 16 โครงสร้างภายในของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม (LSTM) .....	21
รูปที่ 17 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโหนดเร็ด (Node-Red) .....	22
รูปที่ 18 ตัวอย่างตารางการประเมินผลลัพธ์การทำนาย (Confusion Matrix) .....	23
รูปที่ 19 การใช้พลังงานทั้งหมดก่อน และหลังสัญญาณการตอบสนองเมื่อมีโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับระบบการบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้าน .....	25
รูปที่ 20 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Correlation Matrix).....	29

รูปที่ 21 กระบวนการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน (Home Environment System) และการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล (Database System).....	30
รูปที่ 22 ตัวแปร และลำดับตำแหน่งของตัวแปรในระบบจัดเก็บฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) .....	31
รูปที่ 23 ตารางข้อมูลสำหรับการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องโดยอาศัยการมอญย้อนหลังจำนวน 6 จุดช่วงเวลา .....	32
รูปที่ 24 ตารางคำสั่งการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้ากลุ่มเครื่องปรับอากาศสำหรับโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite) .....	33
รูปที่ 25 การออกแบบการเรียนรู้แบบส่งผ่าน (Transfer Learning) .....	34
รูปที่ 26 ข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในบ้านจากบอร์ดควบคุม (ESP32 MCU).....	37
รูปที่ 27 กระบวนการส่งข้อมูลมายังบอร์ดควบคุมหลัก และจัดเก็บลงระบบจัดเก็บฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมโหนดเร็ด (Node-Red) .....	37
รูปที่ 28 ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ถูกบันทึกลงในระบบจัดเก็บข้อมูล .....	38
รูปที่ 29 ตัวอย่างโปรแกรมจำลองแบบเสมือน โมเอคาเดนมูม (Moekaden Room) .....	39
รูปที่ 30 การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าของโปรแกรมโมเอคาเดนมูม (Moekaden Room) ด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite).....	39
รูปที่ 31 บอร์ดตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่รองรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite).....	40
รูปที่ 32 การควบคุมเปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศบนบอร์ดด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite).....	41
รูปที่ 33 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ระหว่างข้อมูลทดสอบ A และ B ที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวเท่านั้น .....	42
รูปที่ 34 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning).....	43
รูปที่ 35 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคมที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) .....	44

รูปที่ 36 ขั้นตอนการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยข้อมูลจริง ..... 46

รูปที่ 37 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลจริง ..... 47

รูปที่ 38 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวนั้น ..... 48

รูปที่ 39 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)..... 49

รูปที่ 40 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่มาจากโครงข่ายประสาทเทียม LSTM, GRU และ SimpleRNN ซึ่งถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)..... 50



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มา และความสำคัญ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้รับการพัฒนา และเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเข้าสู่ยุคของสังคมดิจิทัล (Digital Society) สามารถกล่าวได้ว่าเป็นสังคมที่ได้นำองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี นวัตกรรม วิทยาการคอมพิวเตอร์ และโครงข่ายการสื่อสาร มาประสานรวมกับการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์เพื่อช่วยยกระดับคุณภาพชีวิต ซึ่งพบเห็นได้จากการนำเทคโนโลยีมาใช้ในสถานที่ทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การทำงาน ทำให้พนักงานบริษัทสามารถติดต่อกับลูกค้าที่อยู่ต่างประเทศด้วยการประชุมทางวิดีโอทัศนระยะไกล (Video Conference) นอกจากนี้จะมีประโยชน์ต่อการติดต่อกับลูกค้าเพื่อช่วยประหยัดเวลาในการเดินทางแล้ว ความสามารถทางดิจิทัลยังมีประโยชน์อีกหลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ (Smart Healthcare) และด้านเกษตรกรรมสมัยใหม่ (Smart Farm) เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่าความสามารถทางเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญ และนำมาซึ่งประโยชน์ต่อวิถีการดำรงชีวิตและดำเนินกิจกรรมหลากหลาย ของมนุษย์ในสังคมปัจจุบันเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงมีความพยายามที่จะนำความรู้ และนวัตกรรมหลากหลายที่ได้คิดค้นขึ้นมาประยุกต์ใช้กับบ้านและที่อยู่อาศัย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกสบายให้แก่ผู้อยู่อาศัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน (Home Appliances) ประเภทต่างๆ ที่สามารถตอบสนองต่อการใช้ชีวิตที่แตกต่างกัน เช่น การควบคุมการเปิด/ปิดเครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner) โดยโครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ว่า ถ้าไม่มีใครกลับเข้ามาห้องภายใน 30 นาที เครื่องปรับอากาศจะถูกปิดอย่างอัตโนมัติ ในทางตรงกันข้าม ถ้าโครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ว่า คนจะกลับไปที่ห้องภายใน 30 นาที เครื่องปรับอากาศก็จะทำงานตามปกติ การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านด้วยโครงข่ายประสาทเทียมไม่ได้แค่เพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้อยู่อาศัย แต่ยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์จากการหลงลืมของผู้อยู่อาศัย และลดค่าใช้จ่ายแก่ผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของโครงข่ายประสาทเทียมคือ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถถูกสอนด้วยข้อมูลเพียงพฤติกรรมเดียวเท่านั้น เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย ส่งผลให้เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้กับผู้อยู่อาศัยคนอื่นที่มีพฤติกรรมแตกต่างกันหรือ นำไปใช้พยากรณ์บริเวณห้องอื่นจะทำให้ความถูกต้อง และความแม่นยำของค่าพยากรณ์ลดน้อยลง แม้ว่าปัญหานี้จะสามารถถูกแก้ไขด้วยการ

เก็บข้อมูลพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยใหม่ และนำมาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม แต่การเก็บข้อมูลใหม่อาจจะต้องใช้ระยะเวลาที่นาน เพื่อจะได้มีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอแนวทางของระบบการบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System: HEMS) ที่มีราคาไม่สูงด้วยการนำเทคโนโลยีที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless System) ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence System) และระบบการจัดเก็บข้อมูล (Database System) เป็นต้น มาทำการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย และควบคุมเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) เพื่อลดปริมาณข้อมูล และระยะเวลาของการสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยใหม่

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านที่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น โดยการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และสามารถจำกัดกำลังการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยให้มีผลกระทบต่อความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัยน้อยที่สุด

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สร้างต้นแบบเซ็นเซอร์โหนด จำนวน 1 โหนด ที่มี ESP32 MCU เป็นตัวควบคุม และส่งข้อมูลผ่านวายฟาย (Wi-Fi) ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่สามารถ

- ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- วัดอุณหภูมิ
- วัดความชื้นสัมพัทธ์
- วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.3.2 เครื่องบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน ซึ่งรับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์โหนด มาจัดเก็บ ประมวลผลข้อมูล เรียนรู้ และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

- ใช้ราสเบอร์รี่พายสาม (Raspberry Pi 3) เป็นบอร์ดประมวลผล (Processor Board)
- รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดผ่านซอฟต์แวร์โหนดเร็ด (Node-Red)
- จัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลโดยใช้ซอฟต์แวร์มายเอสคิวแอล (MySQL)
- ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม (LSTM Neural Network)

- ปรับปรุงโครงข่ายด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)
- สื่อสาร และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite)

1.3.3 เครื่องบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านในข้อ.1.3.2 สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาจากวิทยานิพนธ์ที่มีมาก่อน ซึ่งรองรับโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ อย่างละ 1 เครื่องดังนี้

- เครื่องปรับอากาศ
- โคมไฟแอลอีดี

#### 1.3.4 การประเมินผล

- ค่าความคลาดเคลื่อนของสภาพแวดล้อมภายในบ้านจากเซ็นเซอร์โหนดมีดังนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์ที่จำหน่ายในปัจจุบัน
  - อุณหภูมิมีความผิดพลาดไม่เกิน 4%
  - ความชื้นสัมพัทธ์มีความผิดพลาดไม่เกิน 10%
  - ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความผิดพลาดไม่เกิน 30%
- ค่าพยากรณ์พฤติกรรมกรเข้าออกห้องพักอาศัยจากโครงข่ายประสาทเทียมแอลเอส ที่เฝ้าต้องมีความถูกต้องของการทดสอบมากกว่า 80% โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ และค่าจริง (Confusion Matrix) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์
- หลังการใช้งานจริงโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับตัวตามพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และมีความแม่นยำมากกว่า 80% โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ และค่าจริงเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์
- สามารถจำกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ และโคมไฟให้เหลือ 50% ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบของระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสที่เอื้อที่นำการเรียนรู้แบบถ่ายโอนมาใช้งานร่วมกันเพื่อพยากรณ์พฤติกรรมกรเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน



## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์

1.5.1 กำหนดปัญหา และข้อหัวที่สนใจ

1.5.2 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแก้ไขปัญหา เช่น ระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ระบบปัญญาประดิษฐ์ และระบบการจัดเก็บข้อมูล เป็นต้น

1.5.3 ออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน

- การสร้างชุดข้อมูลพฤติกรรมกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย
- ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และระบบการจัดเก็บข้อมูล
- ระบบอัลกอริทึม
- ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า
- การเรียนรู้แบบถ่ายโอน

1.5.4 ประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ได้ทำการออกแบบ

- เปรียบเทียบค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านจากเซ็นเซอร์ชนิด กับมิเตอร์ปัจจุบัน
- เปรียบเทียบค่าพยากรณ์พฤติกรรมกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยจากโครงข่ายประสาทเทียมแอลเอสทีเอ็มกับค่าจริง
- เปรียบเทียบค่าพยากรณ์พฤติกรรมกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยหลังจากปรับปรุงโครงข่ายด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอนกับค่าจริง
- ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในบ้านที่มีระบบโครงข่ายประสาทเทียม และโพรโทคอลเอคโคเน็ต โลกต้องมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง

1.5.5 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

1.5.6 จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และโครงงานที่เกี่ยวข้อง

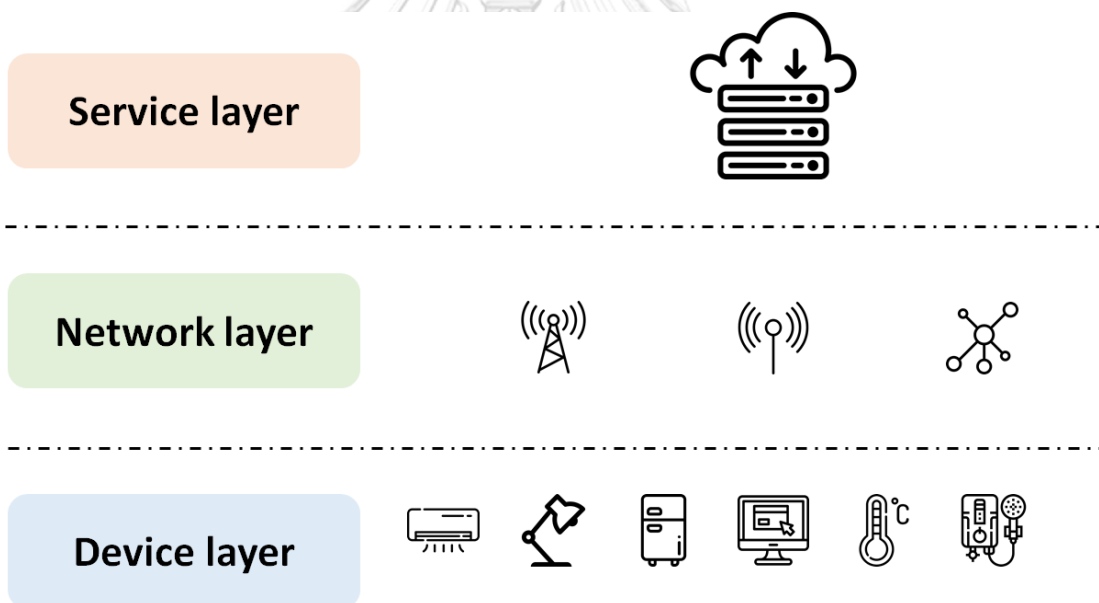
#### 2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) [1]

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที หมายถึง วัตถุ อุปกรณ์ พาหนะ สิ่งของเครื่องใช้ และสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตอื่นๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยมีการฝังตัวของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และการเชื่อมต่อกับโครงข่าย ซึ่งวัตถุสิ่งของเหล่านี้สามารถเก็บบันทึก และแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ อีกทั้ง สามารถรับรู้สภาพแวดล้อม และถูกควบคุมได้จากระยะไกล โดยไอโอทีถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน เช่น ด้านการเกษตรกรรม ด้านการแพทย์ ด้านการศึกษา และด้านการผลิต เป็นต้น องค์ประกอบพื้นฐานของไอโอทีสามารถแยกได้เป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย [2]

- เซ็นเซอร์ (Sensor) และแอคชูเอเตอร์ (Actuator) ทำหน้าที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม และตอบสนองต่อสิ่งที่เกิดขึ้น
  - เซ็นเซอร์หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับสภาวะต่างๆ ก่อนที่จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลลักษณะดิจิทัล
  - แอคชูเอเตอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ และตอบสนองตามเงื่อนไขที่กำหนด
- หน่วยประมวลผล (Processor Unit) ทำหน้าที่ในการประมวลผลที่จำเป็น เช่น การหาเส้นทางในการถ่ายโอนข้อมูลไปยังโหนดถัดไป หน่วยประมวลผลนี้โดยทั่วไปนิยมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ใช้พลังงานต่ำเพื่อให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ในช่วงเวลานานขึ้น
- ส่วนรับส่งสัญญาณ (Transceiver) ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อกัน
- แหล่งพลังงาน (Resource) โดยทั่วไปองค์ประกอบพื้นฐานของไอโอทีต้องอาศัยแหล่งพลังงานเพื่อทำการตรวจวัด ตอบสนอง ประมวลผล และรับส่งข้อมูล จึงต้องมีแหล่งพลังงานเพื่อหล่อเลี้ยงวงจรโดยอยู่บนสภาวะที่มีพลังงานจำกัด ดังนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างเหมาะสม รวมไปถึงเข้าสู่โหมดสลีป (Sleep Mode) เพื่อลดการใช้พลังงาน

2.1.1 สถาปัตยกรรมไอโอที (IoT Architecture) ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ [3]

- สถาปัตยกรรมแบบ 3-5 ชั้น (3-5 Layers Architecture) รูปที่ 1 แสดงสถาปัตยกรรมไอโอทีแบบ 3-5 ชั้น (3-5 Layers Architecture)
  - ชั้นอุปกรณ์ (Device Layer) เป็นชั้นอุปกรณ์ลักษณะฮาร์ดแวร์ (Physical Things/Devices) เช่น บอร์ดควบคุม เซ็นเซอร์ และแอคชูเอเตอร์ เช่น มอเตอร์ หลอดไฟ กระจดิ่ง และเตาไฟฟ้า เป็นต้น
  - ชั้นโครงข่าย (Network Layer) เป็นชั้นของการเชื่อมต่อผ่านระบบโครงข่าย โดยส่วนใหญ่มักใช้การสื่อสารแบบไร้สายซึ่งชั้นนี้จะทำหน้าที่เชื่อมต่อส่งข้อมูลระหว่างชั้นอุปกรณ์ และชั้นบริการ ข้อมูลที่อ่านจากเซ็นเซอร์จะถูกประมวลผลและส่งไปควบคุมอุปกรณ์
  - ชั้นบริการ (Service Layer) เป็นชั้นของเครื่องให้บริการ คล้ายกับเป็นแม่ข่ายที่เชื่อมต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยในชั้นนี้อาจจะมีโปรแกรมประยุกต์ (Application) สำหรับการจัดการระบบ



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมไอโอทีแบบ 3-5 ชั้น (3-5 Layers Architecture)

- สถาปัตยกรรมแบบคลาวด์ และฟ็อก (Cloud and Fog Architecture) มีหลักการเดียวกับแบบแรกคือ มีชั้นอุปกรณ์ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ ส่งข้อมูลผ่านชั้นโครงข่าย และเข้าสู่ชั้นบริการ สถาปัตยกรรมลักษณะนี้จะรองรับกับระบบไอโอทีขนาดใหญ่ รูปที่ 2 แสดงสถาปัตยกรรมไอโอทีแบบคลาวด์ และฟ็อก (Cloud and Fog Architecture)

- ชั้นการคำนวณแบบฟ็อก (Fog Computing) ทำหน้าที่จัดการกับข้อมูลเบื้องต้น เพื่อช่วยลดภาระของชั้นบริการ เช่น การประมวลผลเบื้องต้น การกรองข้อมูล การจัดระเบียบ และการจัดรูปแบบหรือเก็บข้อมูล (Data Caching)
- ชั้นการคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล และมีโปรแกรมประยุกต์สำหรับจัดการระบบ

## Cloud computing



## Fog computing



## Embedded system



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมไอโอทีแบบคลาวด์ และฟ็อก (Cloud and Fog Architecture)

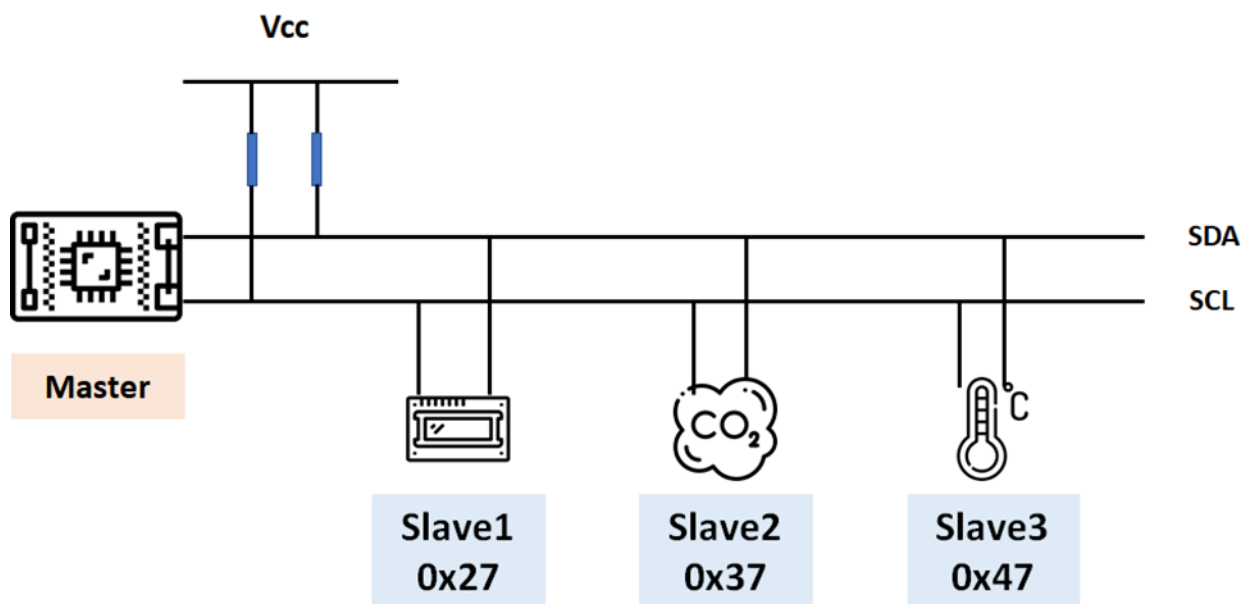
## 2.2 การสื่อสารข้อมูล (Data Communication) [4]

การสื่อสารข้อมูล หมายถึง กระบวนการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้รับกับผู้ส่งโดยผ่านช่องทางการสื่อสาร และกฎเกณฑ์ในการสื่อสารซึ่งข้อมูลที่ถูกรับส่งมีหลายลักษณะ เช่น ข้อมูลภาพ ข้อมูลเสียง ข้อมูลภาพเคลื่อนไหว และข้อมูลตัวอักษร เป็นต้น รูปแบบการรับส่งข้อมูลเป็นชุดข้อความแบบดิจิทัลซึ่งประกอบไปด้วย ที่อยู่ของผู้ส่ง ที่อยู่ของผู้รับ และข้อมูลที่ต้องการส่ง โดยสามารถรับส่งข้อมูลผ่านระบบโครงข่ายมีสาย (Wire Communication) และระบบโครงข่ายไร้สาย (Wireless Communication)

2.2.1 การสื่อสารผ่านระบบโครงข่ายมีสายเป็นการรับส่งข้อมูลด้วยการใช้สายเป็นช่องทางการสื่อสารเพื่อเชื่อมต่อระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง โดยการสื่อสารที่นิยมใช้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ [5]

- การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน (Parallel Communication) เป็นการใช้อย่างน้อย 1 เส้น แทนบิตข้อมูล 1 บิต โดยทั่วไปแล้วมักจะนิยมใช้งานแบบ 4 บิต 7 บิต และ 8 บิต โดยจะมีสาย 1 เส้นเป็นสายควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล
- การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication) เป็นการใช้อย่างน้อย 1 เส้น รับส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยเทคนิคต่างๆ ในการสื่อสาร เช่น การใช้สัญญาณทรานซิสเตอร์เพื่อรับข้อมูลเข้า การใช้บิตเริ่มต้นกำหนดการรับข้อมูลโดยอาจจะอาศัย และไม่อาศัยเวลาในการทำงาน การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ
  - แบบซิงโครนัส (Synchronous) เป็นการสื่อสารที่ใช้อย่างน้อย 2 เส้นในการรับส่งข้อมูล โดยเป็นสายสัญญาณข้อมูล (Data Signal) จำนวน 1 เส้น และสายสัญญาณ (Clock Signal) ที่คอยกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลอีก 1 เส้น โปรโตคอลที่ทำงานแบบซิงโครนัสได้แก่ ไอแอสคิวซี และเอสพีไอ
  - แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) เป็นการสื่อสารที่ใช้อย่างน้อย 1 เส้นในการรับส่งข้อมูลโดยจังหวะในการรับส่งข้อมูลจะอาศัยสัญญาณจากบิตเริ่มต้น และบิตสุดท้าย

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือไอแอสคิวซีบัส (Inter Integrate Circuit Bus: I2C Bus) เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็กไม่ใหญ่มาก และมีความเร็วปานกลางโดยทั่วไปนิยมใช้กับพวกเซ็นเซอร์ โมดูลต่างๆ เช่น โมดูลอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Module) โมดูลอ่านเอ็นเอฟซี (NFC Module) และอื่นๆ เป็นต้น รูปที่ 3 แสดงการเชื่อมต่อของการสื่อสารบนบัสไอแอสคิวซีบัส (I2C Bus) [3]



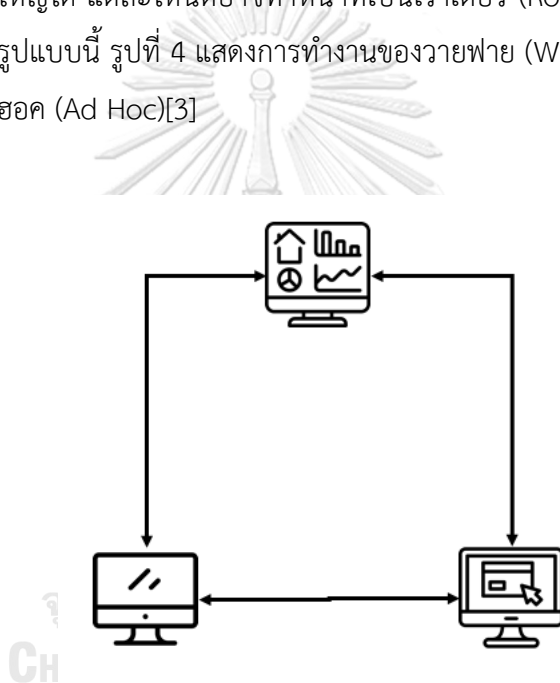
รูปที่ 3 การเชื่อมต่อของการสื่อสารบนบัสไอแอสควซีบัส (I2C Bus)

การสื่อสารรับส่งข้อมูลของไอแอสควซี จะใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้นทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อวงจร สายสัญญาณประกอบด้วย สายสัญญาณนาฬิกา (Serial Clock Line: SCL) และสายสัญญาณข้อมูล (Serial Data Line: SDA) โดยทั้งสองเส้นเป็นแบบเปิดยกลอย (Open Drain) สำหรับส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง อุปกรณ์แต่ละตัวที่เชื่อมต่ออยู่บนบัสจะต้องมีรหัส (Address) ที่ไม่ซ้ำกันเพื่อที่ใช้สำหรับอ้างอิงในการติดต่อสื่อสาร ในระบบเรียกตัวควบคุม (Controller) ว่าเป็นตัวแม่ (Master) ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ ที่มาเชื่อมต่อเรียกว่าตัวลูก (Slave)

2.2.2 การสื่อสารผ่านระบบโครงข่ายไร้สาย เป็นการรับส่งข้อมูลด้วยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุ และคลื่นอินฟราเรด เป็นช่องทางการสื่อสารแทนสายเคเบิลในการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้รับกับผู้ส่ง [6] การสื่อสารโครงข่ายไร้สายที่นำมาใช้งานร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งพิจารณาจากระยะทางการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ คือ กลุ่มการสื่อสารไร้สายระยะสั้น โดยกลุ่มนี้ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในระยะทางไม่เกิน 1000 เมตร และถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับสมาร์ทโฟนหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้น การสื่อสารไร้สายระยะสั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือการสื่อสารไร้สายระยะไกลซึ่งมีระยะการเชื่อมต่ออุปกรณ์มากกว่า 1000 เมตรขึ้นไป โดยการสื่อสารกลุ่มนี้นำมาใช้งานสำหรับการสื่อสารระยะไกล เช่น ระบบมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart

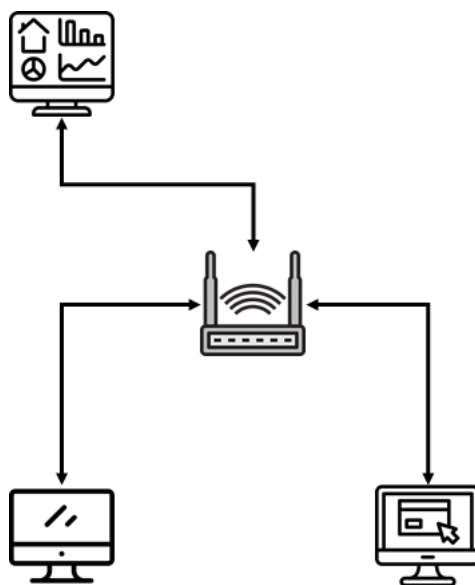
Meter) ทั้งมิเตอร์น้ำ และมิเตอร์ไฟฟ้า เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่นิยมในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 6 โพรโทคอล ดังนี้ [2]

- วิทยุ (Wi-Fi) เป็นโพรโทคอลที่ใกล้ตัวมากที่สุดโพรโทคอลหนึ่ง และถูกนำมาใช้งานกับไอโอทีมากที่สุด เนื่องจากมีความสะดวกสบายในการใช้งาน และจัดหาอุปกรณ์ได้ง่าย รูปแบบการสื่อสารของวิทยุสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แอดฮอค (Ad Hoc) และแอคเซสพอยต์ (Access Point)
  - แอดฮอค เป็นการสื่อสารนี้ไม่จำเป็นต้องมีศูนย์กลางการเชื่อมต่อ แต่ละโหนดสามารถสื่อสารกันโดยตรง ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถสื่อสารในระบบโครงข่ายขนาดใหญ่ได้ แต่ละโหนดอาจทำหน้าที่เป็นเราเตอร์ (Router) สำหรับการสื่อสารในรูปแบบนี้ รูปที่ 4 แสดงการทำงานของวิทยุ (Wi-Fi) ในการสื่อสารแบบแอดฮอค (Ad Hoc)[3]



รูปที่ 4 การทำงานของวิทยุ (Wi-Fi) ในการสื่อสารแบบแอดฮอค (Ad Hoc)

- แอคเซสพอยต์ เป็นการเชื่อมต่อระหว่างโหนดซึ่งจะสื่อสารผ่านตัวกลางที่เรียกว่า แอคเซสพอยต์ การเชื่อมต่อผ่านแอคเซสพอยต์จะทำให้อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลไปยังระบบโครงข่ายอื่นได้ การใช้งานแอคเซสพอยต์เป็นระบบที่นิยมใช้งานในการสื่อสารของไอโอทีผ่านวิทยุในปัจจุบัน เนื่องจากปกติในพื้นที่ทั่วไปจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แอคเซสพอยต์อยู่แล้ว เพียงนำโมดูลไอโอที เช่น ESP8266 มาติดตั้งจะทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้ รูปที่ 5 แสดงการทำงานของวิทยุ (Wi-Fi) ในการสื่อสารแบบแอคเซสพอยต์ (AP) [3]



รูปที่ 5 การทำงานของสายพาย (Wi-Fi) ในการสื่อสารแบบแอ็กเซสพอยต์ (AP)

- บลูทูธ (Bluetooth) เป็นโพรโทคอลที่ถูกออกแบบมาเพื่อความสะดวกในการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Network: WPAN) โดยเป็นการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์รอบข้าง เช่น เม้าส์ คีย์บอร์ด และหูฟัง เป็นต้น
- ซิกบี (Zigbee) เป็นโพรโทคอลที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการสื่อสารที่ไม่ต้องการแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่สูง ส่งผลให้โพรโทคอลนี้ประหยัดพลังงาน และสามารถสื่อสารในระยะที่ไกล (Low Rate Wireless Personal Area Network: LR-WPAN) ซิกบีได้รับความนิยมอย่างมากในการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ ซึ่งทำงานในรูปแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ (Wireless Sensor Network: WSN)
- ซิคโลแพน (6LoWPAN) เป็นโพรโทคอลการสื่อสารมาตรฐานอินเทอร์เน็ตที่สามารถรองรับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อได้เป็นจำนวนมาก ในการสื่อสารจะอาศัยชุดหมายเลขไอพีแอดเดรส (IP Address) เพื่อระบุตัวตนของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ
- เอ็นบี-ไอโอที (NB-IoT) เป็นโพรโทคอลที่ใช้โครงข่ายระบบเซลลูลาร์ (Cellular) ในการสื่อสารข้อมูล เทคโนโลยีนี้สื่อสารได้ระยะไกลโดยข้อมูลที่ทำการสื่อสารมีปริมาณไม่มาก ส่งผลให้ใช้พลังงานน้อย และสามารถใช้งานได้ยาวนานถึง 10 ปี



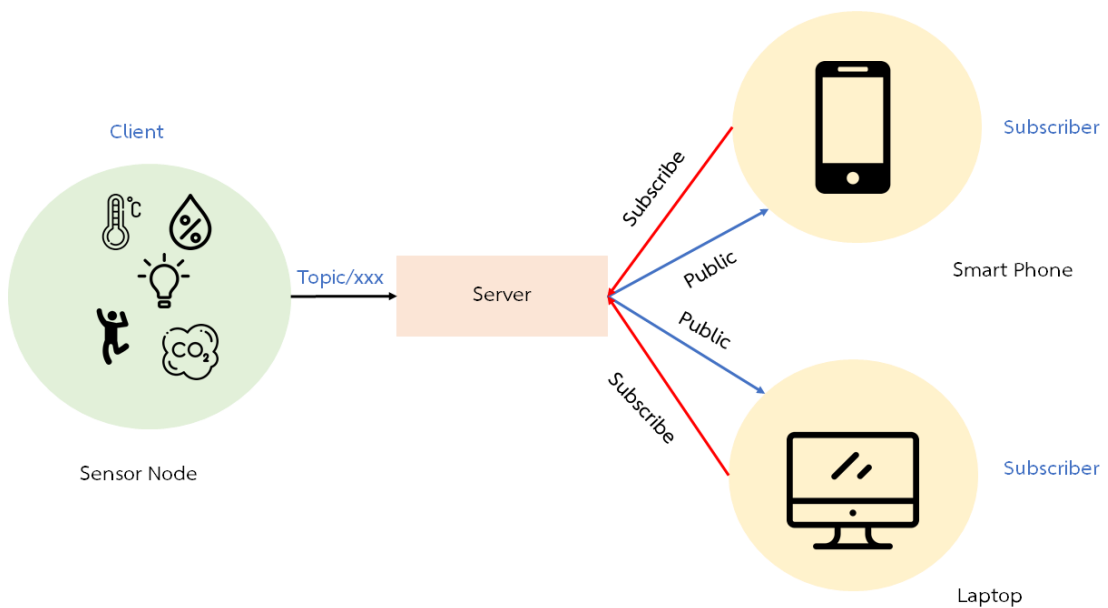
- ลอรา (LoRa) เป็นอีกหนึ่งโพรโทคอลที่ใช้โครงข่ายระบบเซลลูลาร์ (Cellular) ในการสื่อสารข้อมูลซึ่งความแตกต่างระหว่างลอรา กับ เอ็นบี-ไอโอที คือ ลอราจะต้องได้รับอนุญาตในการใช้งานบนโครงข่ายระบบเซลลูลาร์ ในทางตรงกันข้ามเอ็นบี-ไอโอทีไม่จำเป็นต้องได้รับอนุญาตในการใช้ช่องสัญญาณบนโครงข่ายระบบเซลลูลาร์ ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแต่ละชนิด

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแต่ละชนิด

Protocol	Frequency	Range	Speed	Bandwidth
ซิกบี	868 MHz, 915 MHz และ 2.4 GHz	< 1 กิโลเมตร	250 kbps	2 MHz
วายฟาย	2.4 GHz และ 5 GHz	100 เมตร	54 Mbps	22 MHz
บลูทูธ	2.4 GHz	50 เมตร	2 Mbps	2 MHz
ลอรา	868 MHz และ 915 MHz	15 กิโลเมตร	50 kbps	125 kHz, 250 kHz และ 500 kHz
เอ็นบี-ไอโอที	ขึ้นอยู่กับโหมด	10 กิโลเมตร	DL: 234.7 kbps และ UL: 204.8 kbps	180 kHz

นอกเหนือจากโพรโทคอลไอโอทีที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีโพรโทคอลที่น่าสนใจอีก 1 โพรโทคอลคือเอ็มคิวทีที (Message queuing telemetry transport: MQTT) [2] เป็นโพรโทคอลชนิดหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการสื่อสารไร้สาย และถูกนำมาใช้งานเพื่อสนับสนุนไอโอที โพรโทคอลนี้ถูกออกแบบให้มีลักษณะการเชื่อมต่อแบบอุปกรณ์กับอุปกรณ์ (Machine to machine: M2M) และมีน้ำหนักเบาทำให้เหมาะกับการนำมาใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ต้องการแค่โครงข่ายการรับส่งข้อมูลขนาดไม่ใหญ่มาก และแบนด์วิดท์ต่ำโดยองค์ประกอบของการรับส่งข้อมูลของโพรโทคอลนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน รูปที่ 6 แสดงการสื่อสารแบบไร้สายแบบเอ็มคิวทีที (MQTT)

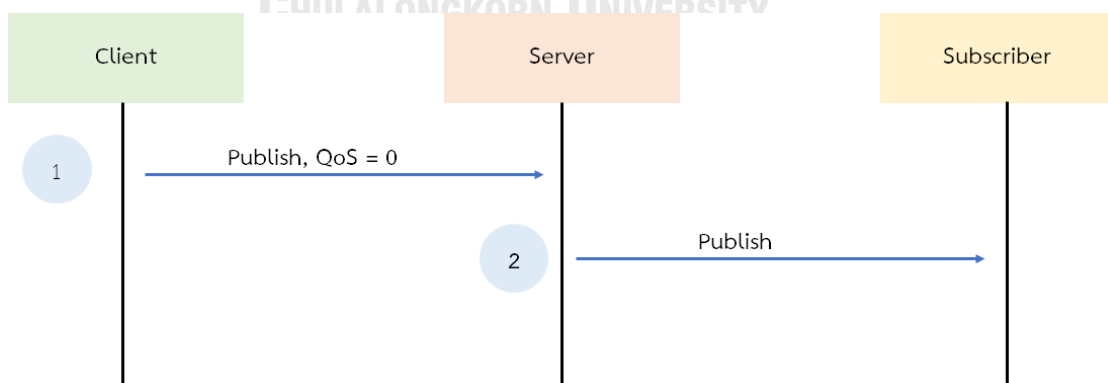
- ไคลเอนต์ (Client) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลโดยผ่านหัวข้อ
- ซับสไครเบอร์ (Subscriber) ทำหน้าที่ตรวจสอบ และติดตามข้อมูลที่ถ่ายโอนหัวข้อ
- เซิร์ฟเวอร์ (Server) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างไคลเอนต์กับซับสไครเบอร์เพื่อจัดการกับข้อมูลโดยอ้างอิงจากหัวข้อ
- หัวข้อ (Topic) ทำหน้าที่เหมือนเส้นทางในการส่งข้อมูล ไคลเอนต์ และซับสไครเบอร์จำเป็นต้องกำหนดหัวข้อให้ตรงกันเพื่อการรับส่งข้อมูลที่ต้องการ



### รูปที่ 6 การสื่อสารแบบไร้สายแบบเอ็มคิวทีที (MQTT)

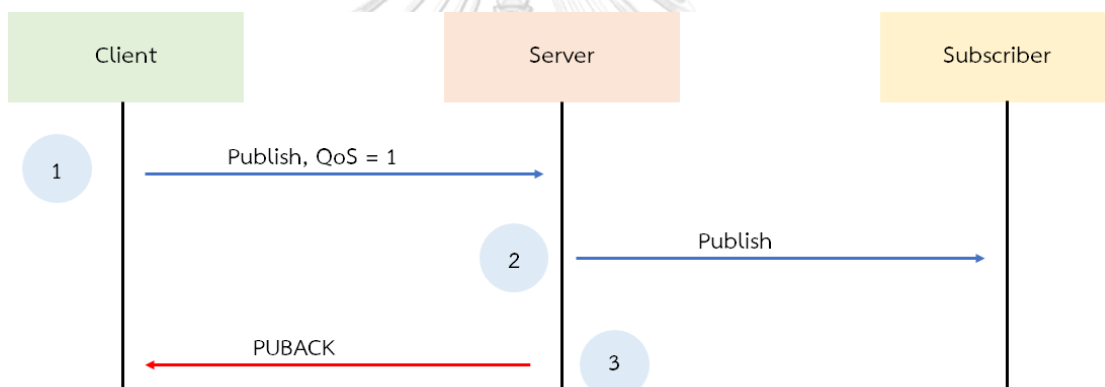
ขั้นตอนการสื่อสารของเอ็มคิวทีทีสามารถแบ่งคุณภาพการรับส่งข้อมูลออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งแต่ละคุณภาพของการบริการ (Quality of Service: QoS) จะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในการรับส่งข้อมูล

- คิวโอเอส 0 (QoS 0) เป็นการส่งเพียงครั้งเดียวเท่านั้น (At most once) โดยไม่สนใจว่าตัวรับจะได้รับหรือไม่ รูปที่ 7 แสดงการทำงานของ การสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 0 (QoS 0)



รูปที่ 7 การทำงานของการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 0 (QoS 0)

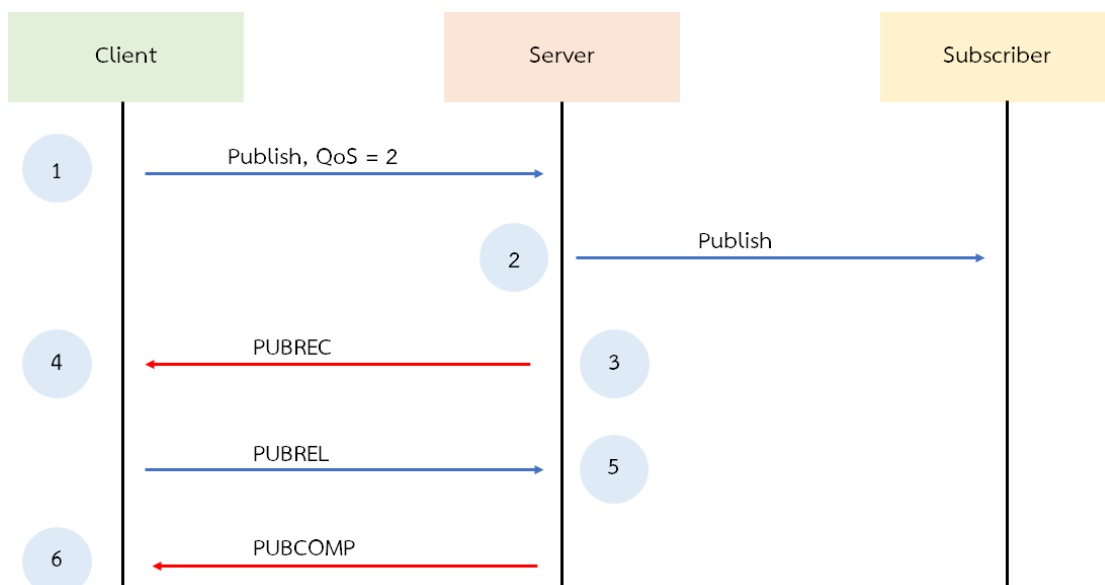
- โคลเอนต์ ส่งข้อความออกไป โดยข้อความที่ถูกส่งออกไปจะถูกกลับทันทีหลังจากการส่ง
  - เซิร์ฟเวอร์ ทำการรับข้อความ และส่งต่อไปยังซบัสโครเบอร์ โดยไม่มีการเก็บข้อมูลไว้แต่อย่างใด
- คิวโอเอส 1 (QoS 1) เป็นการส่งข้อความจากโคลเอนต์ไปยังปลายทาง พร้อมรอสัญญาณตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์ เพื่อยืนยันการส่งข้อมูล ถ้าไม่มีสัญญาณตอบกลับ โคลเอนต์จะส่งข้อความออกไปใหม่ จนกระทั่งได้รับข้อความตอบกลับเป็นการส่งที่เรียกว่า ส่งอย่างน้อยหนึ่งครั้ง (At least one) รูปที่ 8 แสดงการทำงานของ การสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 1 (QoS 1)



รูปที่ 8 การทำงานของการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 1 (QoS 1)

- โคลเอนต์ส่งข้อความออกไป โดยที่ข้อความที่ถูกส่งจะถูกเก็บไว้ก่อน
  - เซิร์ฟเวอร์ทำการรับข้อความ และสำรองข้อความดังกล่าวไว้จากนั้นจึงส่งต่อไปยังซบัสโครเบอร์
  - หลังจากที่มีการรับส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เซิร์ฟเวอร์จะลบข้อความ และส่งสัญญาณกลับไปหาโคลเอนต์ เพื่อยืนยันการรับส่งข้อมูลสำเร็จ
  - เมื่อโคลเอนต์ได้รับสัญญาณตอบกลับ ข้อความที่ถูกเก็บไว้ตัวแรกจะถูกลบทิ้ง
- คิวโอเอส 2 (QoS 2) เป็นการส่งข้อความจากโคลเอนต์ไปยังปลายทาง พร้อมรอสัญญาณตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์ เพื่อยืนยันการส่งข้อมูล และการกำจัดข้อมูล การส่งข้อความลักษณะนี้จะรับเพียงคำสั่งเดียวเท่านั้น (Exactly Once) เมื่อทำการส่ง

ข้อความเรียบร้อยแล้วจะสามารถรับคำสั่งใหม่ รูปที่ 9 แสดงการทำงานของ การสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 2 (QoS 2)



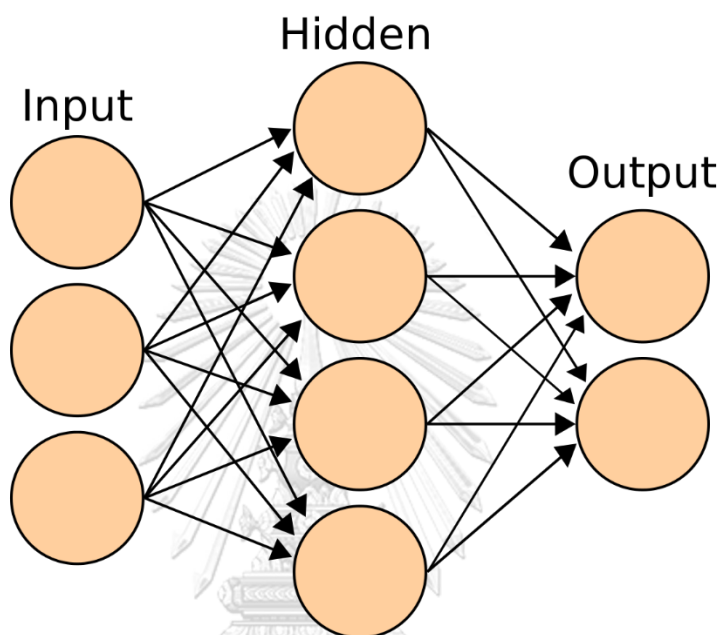
รูปที่ 9 การทำงานของการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (MQTT) ระดับคิวโอเอส 2 (QoS 2)

- โคลเอนต์ส่งข้อความออกไปโดยที่ข้อความที่ถูกส่งจะถูกเก็บไว้ก่อน
- เซิร์ฟเวอร์ทำการรับข้อความ และสำรองข้อความดังกล่าวไว้จากนั้นจึงส่งต่อไปยังซับสไครเบอร์
- เซิร์ฟเวอร์จะส่งสัญญาณเพื่อแจ้งกลับไปยังโคลเอนต์ ว่าได้ทำการส่งข้อความสำเร็จแล้ว
- เมื่อโคลเอนต์ ทราบว่าเซิร์ฟเวอร์ได้ส่งข้อความสำเร็จแล้วจะส่งสัญญาณกลับไปให้เซิร์ฟเวอร์ เพื่อทำการลบข้อความนั้นทิ้ง
- เมื่อเซิร์ฟเวอร์ได้สัญญาณดังกล่าว ข้อความที่สำรองไว้จะถูกลบออกพร้อมยังส่งสัญญาณแจ้งกลับไปยังโคลเอนต์
- การแลกเปลี่ยนจะสมบูรณ์เมื่อโคลเอนต์ได้รับสัญญาณตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์ ว่าได้ทำการลบข้อความที่สำรองไว้แล้ว

### 2.3 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) [7]

การเรียนรู้ของเครื่องเป็นการรวมองค์ความรู้ของสาขาต่างๆ มาไว้รวมกัน เช่น คอมพิวเตอร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และสถิติศาสตร์ เป็นต้น เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่ใส่เข้าระบบ และสามารถตัดสินใจด้วยตัวเองโดยข้างในระบบการเรียนรู้ของเครื่อง

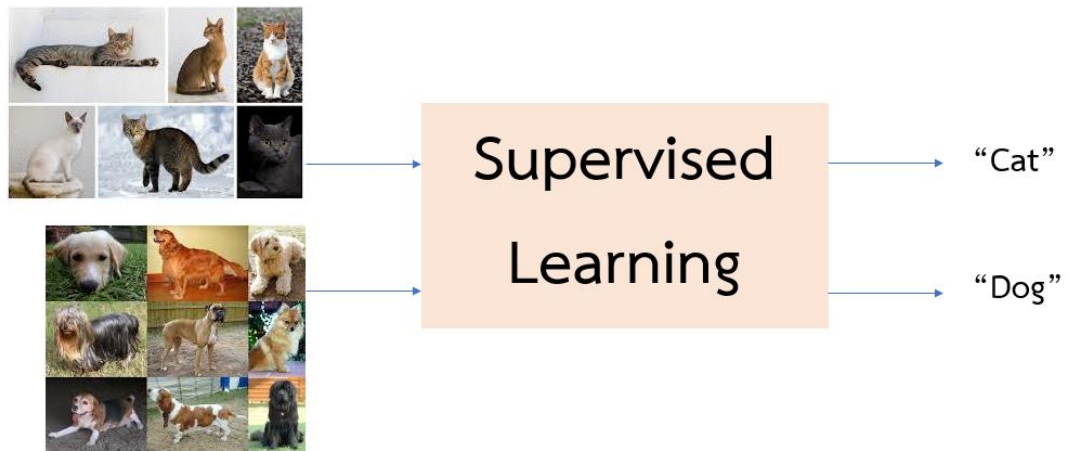
ประกอบด้วย ชั้นข้อมูลขาเข้า (Input Layer) ชั้นถูกซ่อน (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลขาออก (Output Layer) ซึ่งจำนวนชั้นถูกซ่อน และจำนวนนิวรอนของแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับารออกแบบระบบ หรือจำนวนของข้อมูลในแต่ละชั้น รูปที่ 10 แสดงส่วนประกอบของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)



รูปที่ 10 ส่วนประกอบของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

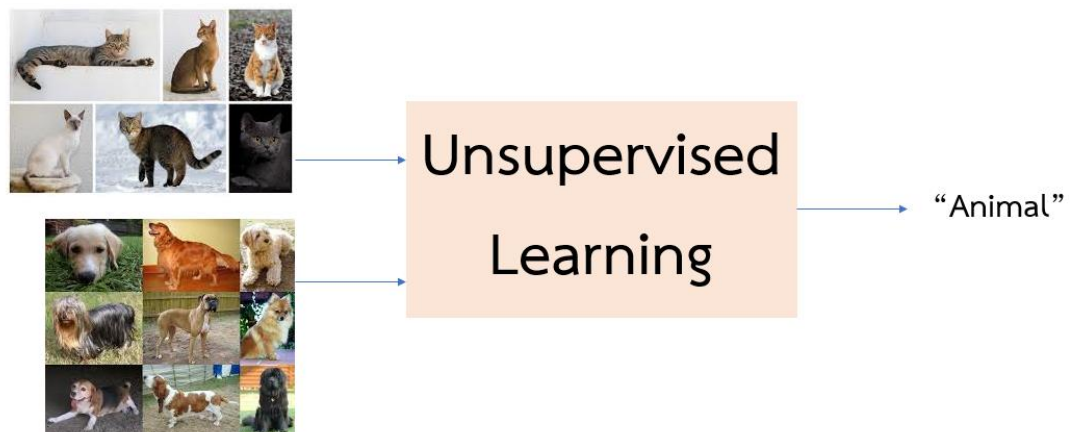
2.3.1 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) [8] เป็นประเภทหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) จะมีชุดข้อมูลขาเข้าพร้อมระบุคำตอบของข้อมูลขาออก เพื่อให้ระบบทำการเรียนรู้ และจดจำคำตอบ การเรียนรู้นี้สามารถนำมาแก้ไขปัญหาได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การจัดแบ่งประเภท (Classification) และการถดถอย (Regression) รูปที่ 11 แสดงกระบวนการของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)

- การจัดแบ่งประเภท [9] เป็นการทำนายคำตอบที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Discrete output) เช่น ตอบคำถามว่าเป็นสุนัขหรือแมว
- การถดถอย เป็นการทำนายคำตอบที่ต่อเนื่องกัน (Continuous Output) เช่น ทำนายราคาบ้านในอนาคตจากทำเล และขนาดบ้าน



รูปที่ 11 กระบวนการของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning)

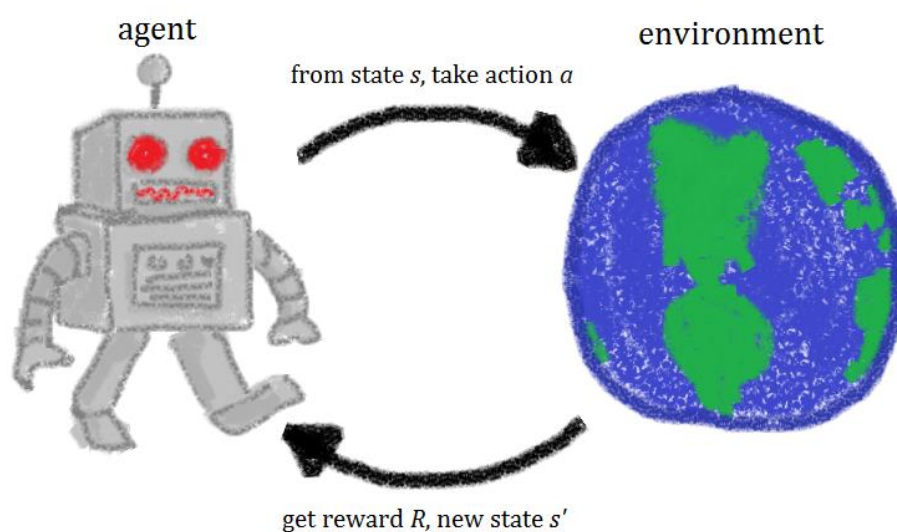
2.3.2 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) [8] เป็นการเรียนรู้อย่างอิสระของเครื่อง อีกประเภทหนึ่งซึ่งมีชุดข้อมูลที่ข้อมูลขาเข้าเพียงอย่างเดียวเพื่อให้ระบบทำการเรียนรู้ ซึ่งตรงข้ามกับการเรียนรู้แบบมีผู้สอน การเรียนรู้นี้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูล (Clustering) รูปที่ 12 แสดงกระบวนการของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)



รูปที่ 12 กระบวนการของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning)

2.3.3 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) [10] เป็นการเรียนรู้ที่ให้ระบบสามารถตัดสินใจภายในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยที่ระบบไม่ได้ถูกตั้งกฎเกณฑ์ในการตัดสินใจโดยตรงแต่ขึ้นกับการลองผิดลองถูก และเรียนรู้เพื่อให้ระบบสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสมซึ่งการเรียนรู้นี้มีพารามิเตอร์พื้นฐานอยู่ 5 พารามิเตอร์ ดังนี้ รูปที่ 13 แสดงกระบวนการของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning)

- ตัวกระทำ (Agent) คือระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการเลือกการกระทำ และ สถานการณ์ที่เหมาะสมภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน
- การกระทำ (Action) คือสิ่งที่ตัวกระทำสามารถทำได้ เช่น เลื่อนขึ้น เลื่อนลง ไม่กดอะไรเลย ซึ่งในแต่ละปัญหานั้นจะมีชุดของการกระทำที่แตกต่างกันไป
- สภาพแวดล้อมและสถานการณ์ (Environment & State) คือสิ่งที่ตัวกระทำรับรู้ เพื่อใช้ในการพิจารณา และตัดสินใจการกระทำต่อไป
- คะแนน (Reward) คือสิ่งที่ตัวกระทำได้รับหลังจากเลือกการกระทำโดยถ้าเลือกการกระทำที่เหมาะสมจะได้รับคะแนนสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าเลือกการกระทำที่ไม่เหมาะสมจะได้รับคะแนนต่ำ
- แผนการ (Policy) คือสิ่งที่ตัวกระทำได้เลือกโดยอ้างอิงจากสถานการณ์ก่อนหน้า (Previous State) มาวิเคราะห์ และพิจารณาเพื่อเลือกการกระทำและ สถานการณ์ต่อไป (Next State) ที่เหมาะสมที่สุด

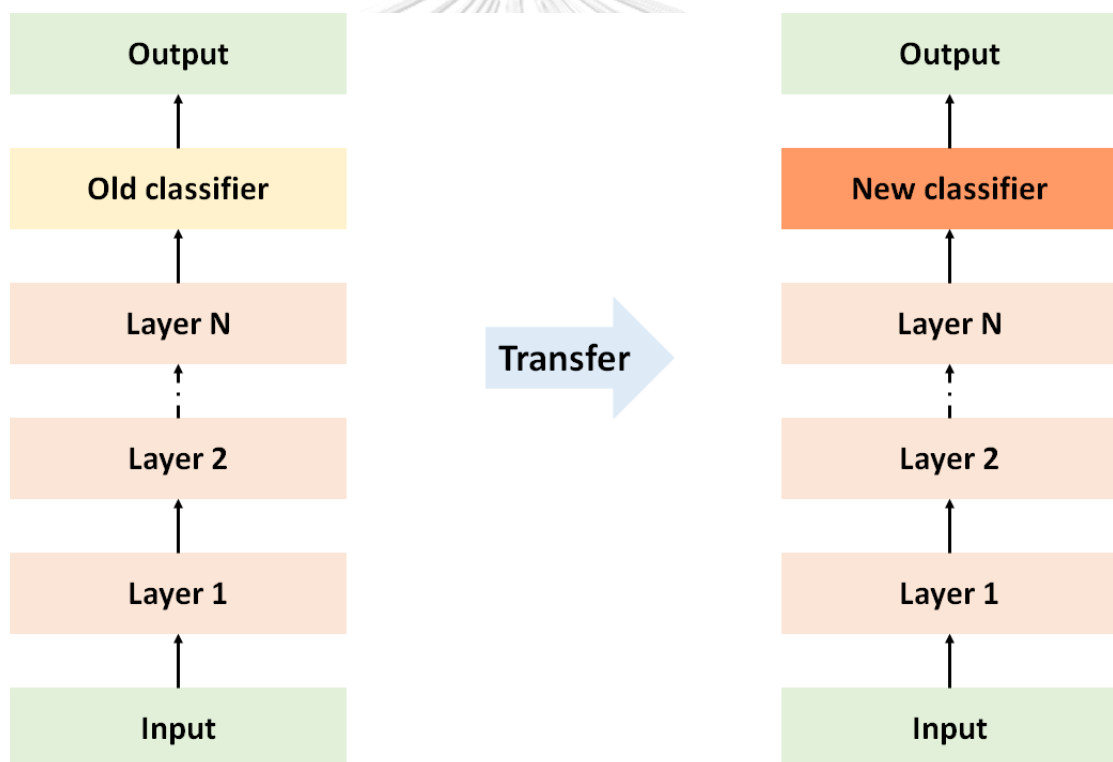


รูปที่ 13 กระบวนการของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning)

2.3.4 การเรียนรู้แบบถ่ายโอน [11] เป็นการเรียนรู้ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาของการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เนื่องจากการเรียนรู้เชิงลึกเป็นการออกแบบให้ระบบเลียนแบบลักษณะการเรียนรู้ของโครงข่ายเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ทำให้ระบบประกอบไปด้วยจำนวนชิ้นมากมาย และซับซ้อน ส่งผลให้ข้อมูลขาเข้าที่นำมาใช้ในการเรียนรู้มีปริมาณมาก และต้องใช้ระยะเวลาจำนวนมากสำหรับการเรียนรู้ (Training Time) เมื่อ

เปรียบเทียบกับเครื่องเรียนของเครื่อง ดังนั้นการเรียนรู้แบบถ่ายโอนจึงเป็นคำตอบที่ใช้ในการลดปริมาณข้อมูล และลดระยะเวลาในการเรียนรู้ของการเรียนรู้เชิงลึก โดยการเรียนรู้นี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ รูปที่ 14 แสดงกระบวนการของการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

- การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) เป็นการนำข้อมูลที่ถูกรู้แล้ว จากงานชิ้นอื่นมาปรับใช้ในงานของเรา โดยข้อมูลที่นำมาใช้ต้องมีความสัมพันธ์กัน และสุดท้ายเป็นการเปลี่ยนแบบจำลองขั้นสุดท้ายจากงานอื่นเป็นแบบจำลองของเรา
- การปรับปรุงให้เหมาะสม (Fine Tuning) เป็นการเรียนรู้ซ้ำ (Retraining) ระหว่างบริเวณแบบจำลองที่มีการแก้ไขกับแบบจำลองเดิมโดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) เพื่อให้แบบจำลองทั้งหมดมีความสอดคล้องกัน

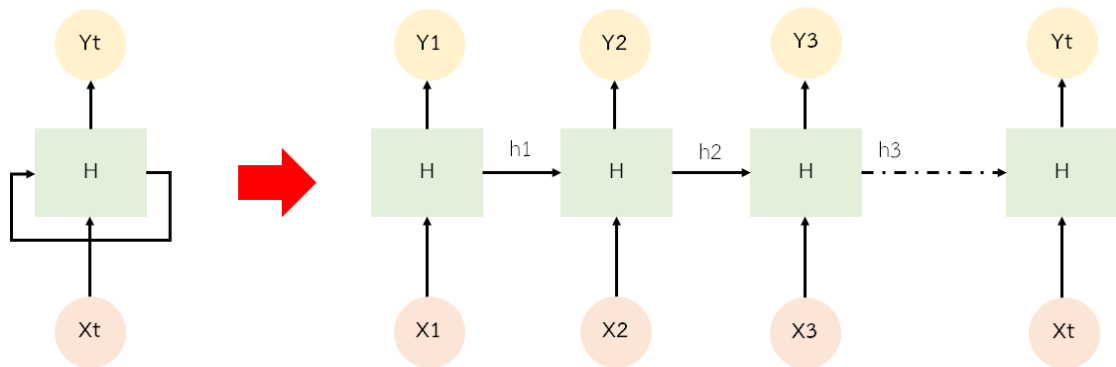


รูปที่ 14 กระบวนการของการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

2.3.5 โครงข่ายแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Network: RNN) [12] เป็นหนึ่งในการเรียนรู้แบบมีผู้สอน โครงข่ายแบบวนซ้ำนิยมใช้งานกับข้อมูลลักษณะเป็นลำดับ (Sequence Data) เช่น ข้อความ (Text) หรือ วิดิทัศน์ (Video) โครงข่ายแบบวนซ้ำจะนำผลลัพธ์ก่อนหน้าเข้ามาเป็นข้อมูลขาเข้าอีกครั้ง ทำให้โครงข่ายแบบวนซ้ำจะมีข้อมูลขาเข้า 2 ตัว ได้แก่

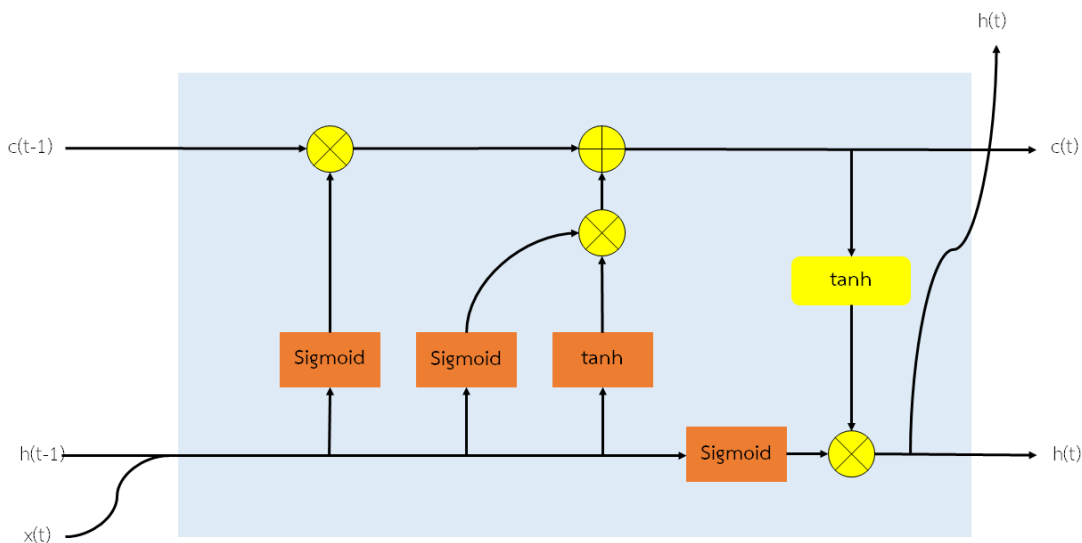


ข้อมูล ณ นิเวรอนนั้นๆ และผลลัพธ์ของนิเวรอนก่อนหน้า รูปที่ 15 แสดงกระบวนการของโครงข่ายแบบวนซ้ำ (RNN)



รูปที่ 15 กระบวนการของโครงข่ายแบบวนซ้ำ (RNN)

แม้ว่าโครงข่ายแบบวนซ้ำจะนำผลลัพธ์ในอดีตมาพยากรณ์ผลลัพธ์ในอนาคต แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องของการขาดหายของความลาดชัน (Vanishing Gradient) คือค่าความลาดชัน (Gradient) จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเท่ากับศูนย์ในระหว่างการสอนโครงข่ายประสาทเทียม จนทำให้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลให้โครงข่ายแบบวนซ้ำสามารถดูผลลัพธ์ในอดีตได้แค่เพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น จึงมีการแก้ไข และพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมแบบใหม่ที่เรียกว่า หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short Term Memory: LSTM) [13] ซึ่งจุดเด่น คือ การมีเซลล์สถานะ (Cell State) ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็มสามารถดูผลลัพธ์ในอดีตได้ไกลกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม (LSTM) มีความสามารถที่จะเพิ่มหรือลดข้อมูลที่ไปยังเซลล์สถานะ (Cell State) ด้วยประตูทั้ง 3 บาน ได้แก่ ประตูลืม (Forget Gate) ประตูขาเข้า (Input Gate) และประตูขาออก (Output Gate) รูปที่ 16 แสดงโครงสร้างภายในของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม (LSTM)



รูปที่ 16 โครงสร้างภายในของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม (LSTM)

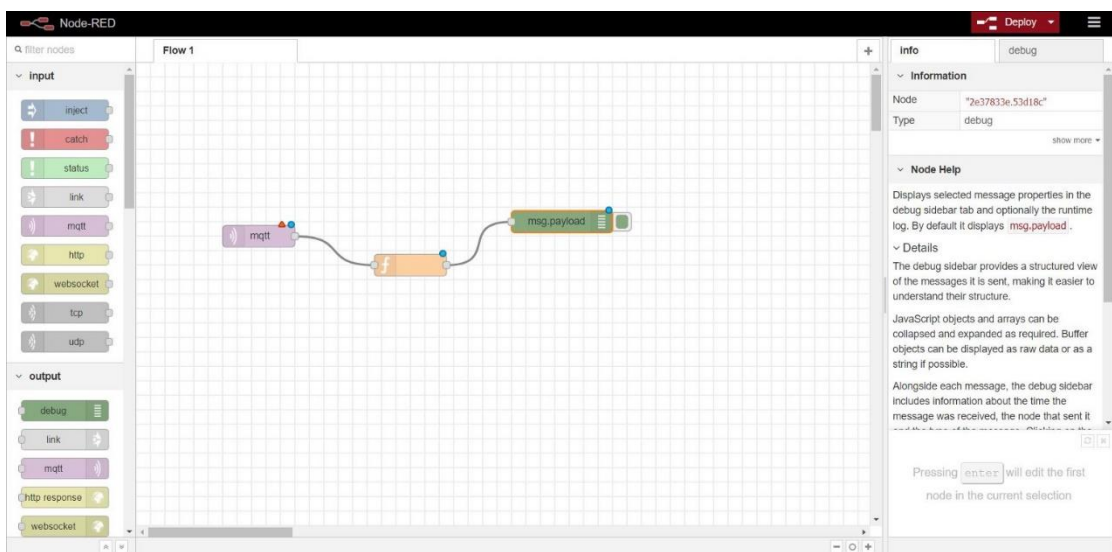
- ประตูลืม ทำหน้าที่ตัดสินใจเกี่ยวกับข้อมูลที่จะถูกส่งไปยังเซลล์สถานะ โดยข้อมูลที่นำมาใช้ประกอบการตัดสินใจได้แก่ ข้อมูลขาเข้าของนิวรอนปัจจุบันกับ ผลลัพธ์ที่ถูกคำนวณมาจากนิวรอนที่แล้วผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function) ถ้าค่าผลลัพธ์เท่ากับ 1 ข้อมูลจะถูกส่งไปยังเซลล์สถานะ ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าผลลัพธ์เท่ากับ 0 ข้อมูลก็จะไม่ถูกส่งไป
- ประตูทางเข้า ทำหน้าที่รับข้อมูลปัจจุบันเข้ามา และบันทึกข้อมูลผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ และทำการอัปเดตข้อมูลระหว่างเซลล์สถานะเก่า กับข้อมูลปัจจุบันให้เป็นเซลล์สถานะปัจจุบัน
- ประตูทางออก ทำหน้าที่ส่งออกข้อมูลจากเซลล์สถานะปัจจุบัน ซึ่งข้อมูลขาออกจะถูกส่งไปเป็นข้อมูลขาเข้าของนิวรอนถัดไป และเป็นคำตอบในนิวรอนปัจจุบัน

## 2.4 ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database management system) [14]

ระบบการจัดการฐานข้อมูลเป็นซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่จัดการข้อมูลซึ่งประกอบด้วย การสร้างฐานข้อมูล การจัดเก็บฐานข้อมูล การปรับปรุงฐานข้อมูล การเรียกใช้ฐานข้อมูล และการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลให้แก่ผู้ใช้งาน โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดการฐานข้อมูลมีประโยชน์อย่างมากทำให้ผู้ใช้งานหลายคนสามารถเข้าถึงข้อมูลในเวลาเดียวกัน และข้อมูลที่ถูกรวบรวมในระบบมีรูปแบบการจัดเก็บที่เป็นมาตรฐาน ระบบจัดการฐานข้อมูลที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีมากมายขึ้นกับการเลือกใช้งานของผู้ใช้ เช่น ออราเคิล (Oracle), มายเอสคิวแอล (MySQL), ไมโครซอฟต์ แอคเซส (Microsoft Access), ไอบีเอ็ม ดีบีทู (IBM DB/2) และไซเบส (Sybase) เป็นต้น

## 2.5 โปรแกรมโนดเร็ด (Node-Red) [15]

โนดเร็ด (Node-Red) เป็นโปรแกรมสำหรับใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และบริการต่างๆ เข้าด้วยกัน การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และบริการต่างๆ บนโนดเร็ดแทบจะไม่ต้องเขียนชุดคำสั่งเลย เพียงแค่เลือกโนดฟังก์ชันที่ต้องการวางบนหน้าแสดงผล และลากเส้นเพื่อเชื่อมต่อกัน โปรแกรมโนดเร็ดมีโนดฟังก์ชันให้เลือกใช้งานมากมาย และยังทำงานบน โหนดเจเอส (Node.js) ทำให้สามารถใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์ที่มีราคาไม่สูง ทรัพยากรน้อยได้ เช่น ราสเบอร์รี่พาย เป็นต้น รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโนดเร็ด (Node-Red)



รูปที่ 17 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของโปรแกรมโนดเร็ด (Node-Red)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.6 ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า (Home management system) [16]

เอกโคเน็ต (ECHONET) ย่อมาจาก โครงข่ายอนุรักษ์พลังงาน และการดูแลรักษาบ้าน (Energy Conservation & Homecare Network) ซึ่งเป็นโพรโทคอลการสื่อสารแบบหนึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับระบบบ้านอัจฉริยะ เพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น เครื่องปรับอากาศ และโคมไฟ เป็นต้น เครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถถูกควบคุมจากสมาร์ตโฟน หรือบอร์ดควบคุมผ่านการสื่อสารไร้สาย นอกจากเอกโคเน็ตจะสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้แล้ว มันยังคงถูกใช้ในการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนเอกโคเน็ต ไลท์ เป็นมาตรฐานการสื่อสารที่อ้างอิงมาจากเอกโคเน็ต แต่ไม่มีข้อกำหนดในเรื่องมาตรฐานการสื่อสารระดับล่างจึงสะดวกต่อการใช้งาน

## 2.7 การประเมินประสิทธิภาพ (Evaluation)

ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ และค่าจริง [17] เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริงโดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ รูปที่ 18 แสดงตัวอย่างตารางการประเมินผลลัพธ์การทำนาย (Confusion Matrix)

		Actual Values	
		TP	FP
Predicted Values	FN		
	TN		

รูปที่ 18 ตัวอย่างตารางการประเมินผลลัพธ์การทำนาย (Confusion Matrix)

- ค่าจริงเชิงบวก (True Positive: TP) คือสิ่งที่โครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ว่าจริง และเป็นเหตุการณ์จริง
- ค่าจริงเชิงลบ (True Negative: TN) คือสิ่งที่โครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ว่าไม่จริง แต่เป็นเหตุการณ์ไม่จริง
- ค่าเท็จเชิงบวก (False Positive: FP) คือสิ่งที่โครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ว่าจริง แต่เป็นเหตุการณ์ไม่จริง
- ค่าเท็จเชิงลบ (False Negative: FN) คือสิ่งที่โครงข่ายประสาทเทียมพยากรณ์ว่าไม่จริง และเป็นเหตุการณ์ไม่จริง

ค่าความแม่นยำ (Accuracy) คือ การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมโดยพิจารณาทุกกลุ่ม

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)}$$

ค่าการเรียกกลับ (Recall) คือ การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมโดยพิจารณาแยกทีละกลุ่ม

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

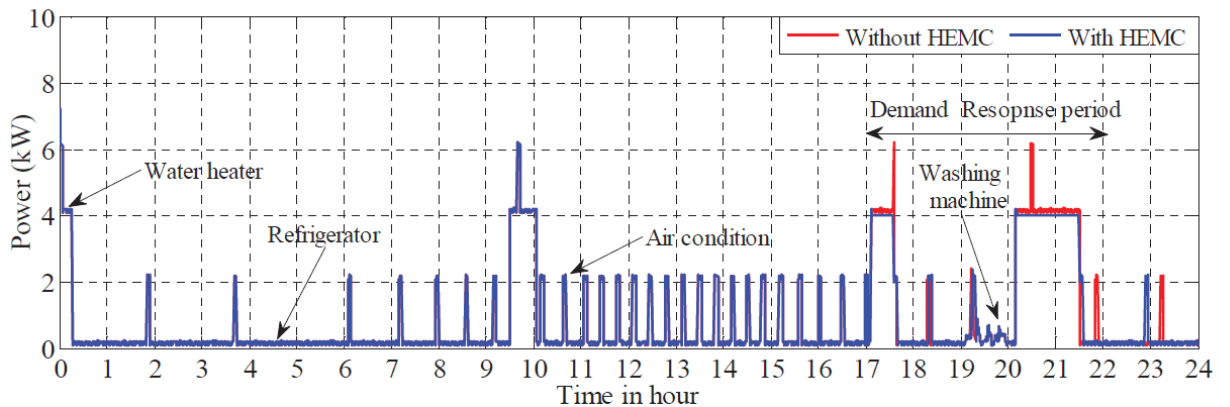
ค่าความเที่ยงตรง (Precision) คือ การวัดความแม่นยำของข้อมูลโดยพิจารณาแยกที่ละกลุ่ม

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

## 2.8 ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

### 2.8.1 Artificial Neural Network Based Controller for Home Energy Management Considering Demand Response Events [18]

บทความนี้ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบการบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้านเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสมด้วยการพิจารณาสัญญาณการตอบสนอง (Demand Response Signal) เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกควบคุมประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า และเครื่องทำน้ำร้อน โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดจะถูกจัดลำดับตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากมากไปน้อย พารามิเตอร์ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลขาเข้า แก่โครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิของน้ำในเครื่องทำน้ำร้อน การใช้พลังงานทั้งหมด และสัญญาณการตอบสนอง ในทางตรงกันข้ามข้อมูลขาออกจะเป็นสัญญาณการเปิด/ปิด เพื่อไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ในการทดลองจะพิจารณา 2 ส่วน คือ ความสามารถในการลดการใช้พลังงาน และความสามารถในการประหยัดพลังงาน โดยกำหนดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 4kW การทดลองพบว่าขณะที่เครื่องทำน้ำร้อนทำงาน ระบบจะทำการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือเลื่อนเวลาการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่นเพื่อรักษาพลังงานไฟฟ้าไม่ให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งการทำเช่นนี้สามารถประหยัดการใช้พลังงาน 3.0832% ต่อ 5 ชั่วโมง และไม่มีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันของผู้อยู่อาศัย รูปที่ 19 แสดงการใช้พลังงานทั้งหมดก่อน และหลังสัญญาณการตอบสนองเมื่อมีโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบการบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้าน



รูปที่ 19 การใช้พลังงานทั้งหมดก่อน และหลังสัญญาณการตอบสนองเมื่อมีโครงข่ายประสาทเทียม  
สำหรับระบบการบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้าน

### 2.8.2 Resident Activity Recognition in Smart Homes by Using Artificial Neural Network [19]

บทความนี้ได้นำเสนอการจดจำกิจกรรมของผู้พักอาศัยในบ้านอัจฉริยะด้วยโครงข่ายประสาทเทียม อัลกอริทึมที่นำมาใช้สำหรับการจดจำกิจกรรมประกอบด้วย 3 อัลกอริทึม ได้แก่ คิวคพรอพริเกชัน (Quick Propagation: QP) เลเวนเบิร์กมาร์ควาร์ด (Levenberg Marquardt: LM) และแบชแบลค พรอพริเกชัน (Batch Back Propagation: BBP) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลขาเข้า แก่โครงข่ายประสาทเทียมถูกจัดเก็บจากเซ็นเซอร์จำนวน 77 ตัว ที่ถูกติดตั้งไว้ในห้องพักแห่งหนึ่งเป็นระยะเวลา 1 เดือนเพื่อบันทึกจำนวนครั้งของกิจกรรมภายในห้องพัก เช่น การทำความสะอาดห้อง การทำกับข้าว และการซักผ้า เป็นต้น ข้อมูลข้างต้นจะถูกเพิ่มเติมวันที่ เวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุดของกิจกรรม หลังจากนั้นทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 3 อัลกอริทึม โดยชั้นข้อมูลขาเข้า และชั้นข้อมูลขาออก จะมีจำนวนนิวรอนเท่ากัน แต่ชั้นถูกซ่อน ของแต่ละอัลกอริทึมจะมีจำนวนนิวรอนแตกต่างกัน ตารางที่ 2 แสดงจำนวนชั้น และจำนวนนิวรอนของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 2 จำนวนชั้น และจำนวนนิวรอนของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม

Algorithm	Architecture
คิวที (QP)	6:9:13
แอลเอ็ม (LM)	6:10:13
บีบีที (BBP)	6:7:13

ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ชุดข้อมูลสอน 68% ชุดข้อมูลตรวจสอบ 16% และชุดข้อมูลทดสอบ 16% ซึ่งผลลัพธ์พบว่าอัลกอริทึมแบบแอลเอ็ม มีความแม่นยำในการจดจำกิจกรรมของผู้พักอาศัยในบ้านอัจฉริยะกว่าอัลกอริทึมแบบคิวพี และบีบีพี ตารางที่ 3 แสดงค่าความแม่นยำของการจดจำกิจกรรมของผู้พักอาศัยในบ้านอัจฉริยะของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 3 ค่าความแม่นยำของการจดจำกิจกรรมของผู้พักอาศัยในบ้านอัจฉริยะของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม

Algorithm	Accuracy (%)
คิวพี (QP)	89.23
แอลเอ็ม (LM)	92.81
บีบีพี (BBP)	87.61

### 2.8.3 Role of Deep LSTM Neural Networks And Wi-Fi Networks in Support of Occupancy Prediction in Smart Building [20]

บทความนี้ได้นำเสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียม และโครงข่ายวายพายสำหรับการพยากรณ์จำนวนมนุษย์ในตึกอัจฉริยะ ลักษณะข้อมูลสำหรับพยากรณ์เป็นข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่งถูกเก็บบันทึกทุกๆ 15 นาที 30 นาที และ 60 นาที ตามลำดับเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ (15 มกราคม 2559 ถึง 29 กุมภาพันธ์ 2559) ด้วยโครงข่ายวายพายในมหาวิทยาลัย ข้อมูลที่ถูกเก็บบันทึกประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ เวลาเริ่มเชื่อมต่อ (Connection Time) ช่วงเวลาการเชื่อมต่อ (Connection Duration) หมายเลขอุปกรณ์เชื่อมต่อกับโครงข่าย (MAC Address) และหมายเลขอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point ID) โครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมสำหรับการพยากรณ์ทางอนุกรมเวลา ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม และเทคนิคการพยากรณ์แบบอาร์มาร์ ซึ่งแบบจำลองทั้งสองนี้อาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคต โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็มจะถูกแยกเป็น 2 ประเภทคือ แบบจำลองแยกแต่ละเวลา และแบบจำลองประสานเวลากัน ซึ่งถูกสร้างด้วยสถาปัตยกรรมที่หลากหลายของแอลเอสทีเอ็ม โดยข้อมูลแต่ละช่วงเวลาจะใช้ชั้นถูกซ่อนร่วมกัน แต่ชั้นขาเข้า และชั้นขาออกแยกกันตามช่วงเวลา แบบจำลองอนุกรมเวลาทั้งสองยังถูกออกแบบตามอุปกรณ์กระจายสัญญาณ และแบบครอบคลุมตึก ชื่อของแบบจำลองแต่ละตัวจะถูกตั้งตามชื่อแบบจำลอง ประเภทเวลา และลักษณะการออกแบบ เช่น LSTMCom15Bld หมายถึงโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็มประเภทประสานเวลาที่บันทึกเวลาทุก 15 นาที และลักษณะครอบคลุมตึก การทดลองแรกคือการเปรียบเทียบ





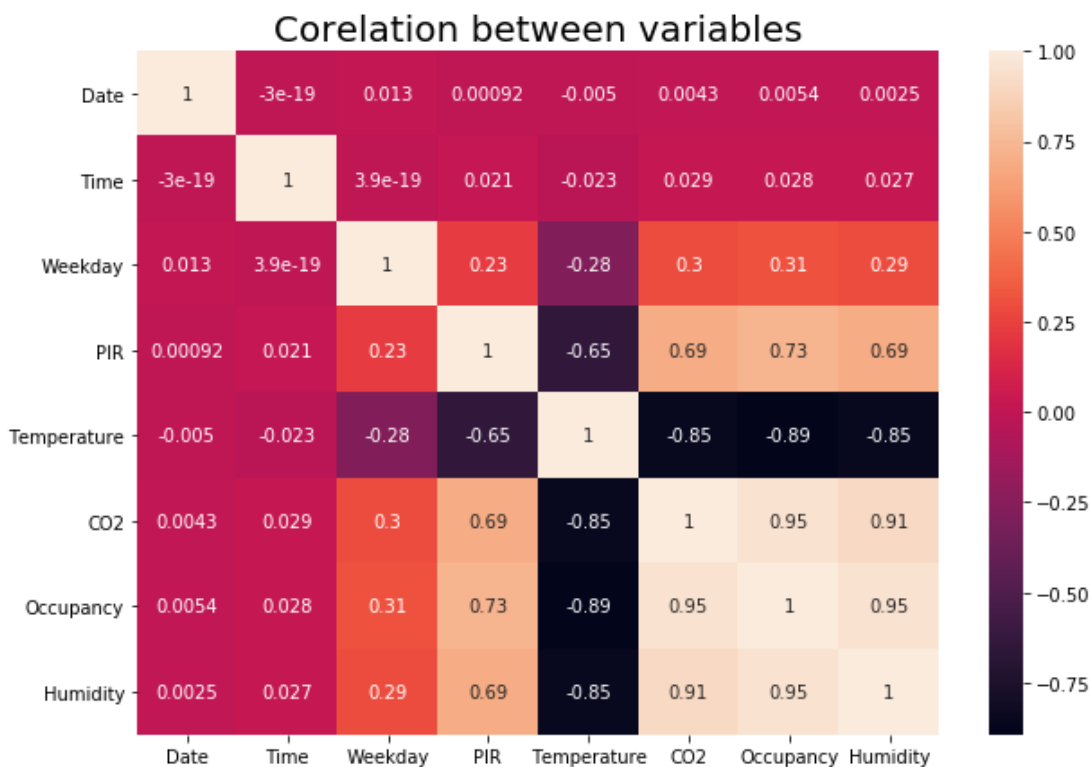
### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน

ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System) ถูกออกแบบและพัฒนาด้วยการนำเทคโนโลยีในหลายด้านที่มีอยู่ในปัจจุบันมาทำงานร่วมกัน เพื่อให้ระบบสามารถแสดงการทำงานที่มีประสิทธิภาพได้อย่างสูงสุด โดยสามารถควบคุม และจำกัดการใช้พลังงาน เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสูญเปล่า ได้แก่ การตรวจวัดสภาพแวดล้อม การคาดการณ์พฤติกรรมของผู้อยู่อาศัย และการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอน และวิธีการออกแบบแต่ละส่วนของระบบบริหารจัดการพลังงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 การสร้างชุดข้อมูลพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย

ชุดข้อมูลถูกสร้างขึ้นจำนวน 2 ชุด (ชุดข้อมูล A และ B) ซึ่งประกอบด้วย 8 ตัวแปร ได้แก่ วันที่ เวลา วันทำงาน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเคลื่อนไหว และพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย โดยข้อมูลทั้งหมดถูกบันทึกค่าราย 5 นาที เป็นระยะเวลา 1 ปี แม้ว่าชุดข้อมูลทั้งสองจะมีจำนวนตัวแปรที่เหมือนกัน แต่พฤติกรรมการเข้าออกห้องมีความแตกต่างกัน ก่อนนำชุดข้อมูลเหล่านี้ไปใช้งานในขั้นต่อไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้า กับข้อมูลขาออก โดยข้อมูลขาเข้าหมายถึง ค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้าน ได้แก่ วันที่ เวลา วันทำงาน อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการเคลื่อนไหว ในขณะที่ข้อมูลขาออกคือ พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Correlation Matrix) ดังแสดงในรูปที่ 20 สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้าตัวแปรทั้งสองไม่มีความเกี่ยวข้องกันเลย ค่าสัมประสิทธิ์จะเท่ากับศูนย์ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบหมายถึง ความสัมพันธ์เชิงลบ (Negative Correlation) โดยค่าของแปรตัวหนึ่งจะเพิ่มขึ้น และค่าอีกตัวแปรหนึ่งจะลดลง แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกแสดงว่า ค่าตัวแปรทั้งสองจะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามกัน ยิ่งตัวแปรทั้งสองมีความเกี่ยวข้องกันมาก ค่าสัมประสิทธิ์จะเข้าใกล้ 1 หรือ -1 เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางความสัมพันธ์พบว่า อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนไหว มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ วันที่ เวลา และวันทำงานมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น ตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการเข้าออกห้องจึงถูกเลือกมาใช้เป็นข้อมูลขาเข้าแก่โครงข่ายประสาทเทียม



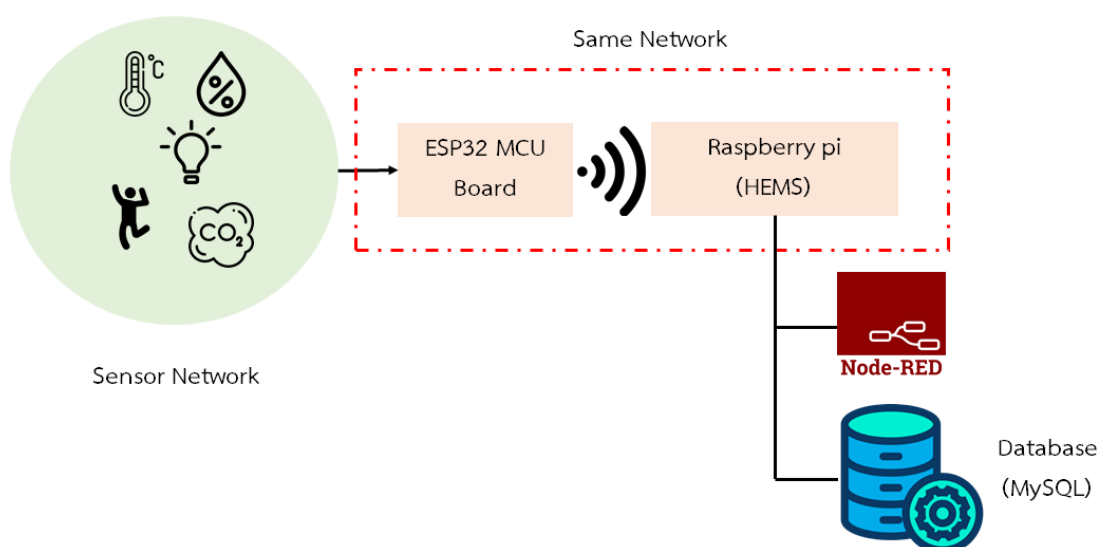
รูปที่ 20 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Correlation Matrix)

### 3.2 ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และระบบการจัดเก็บข้อมูล

ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมเป็นการนำเซ็นเซอร์ไหนด ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว มาติดตั้งในบริเวณพื้นที่ที่สนใจภายในบ้าน ตารางที่ 5 แสดงรายละเอียดเซ็นเซอร์ที่นำมาติดตั้งเพื่อวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน เซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ จะส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในบ้านไปยังบอร์ดควบคุม ด้วยการสื่อสารแบบไอแอสควซีบีส และพอร์ตอนุกรม จากนั้นบอร์ดควบคุมจะนำข้อมูลเหล่านี้ส่งไปที่บอร์ดควบคุมหลัก ผ่านโปรโตคอลเอ็มคิวทีที เพื่อบันทึกค่าลงระบบจัดเก็บฐานข้อมูลมายเอสคิวแอลที่ถูกติดตั้งไว้ภายในบอร์ดควบคุมหลัก โดยใช้โปรแกรมที่ชื่อว่าไหนดเร็ด เป็นตัวจัดการข้อมูล และจัดเก็บลงฐานข้อมูล รูปที่ 21 แสดงกระบวนการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน (Home Environment System) และการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล (Database System)

ตารางที่ 5 รายละเอียดเซ็นเซอร์ที่นำมาติดตั้งเพื่อวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน

Sensor	DC Supply Voltage	Interface	Measurement range
SDC30	3.3V – 5.5V	UART หรือ I2C	อุณหภูมิ: -40 – 70 c
			ความชื้นสัมพัทธ์: 0 – 100 %RH
			ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์: 0 -40,000 ppm
Pir motion	3V – 5V	Serial Port	การเคลื่อนไหว: 0 – 600 cm



รูปที่ 21 กระบวนการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน (Home Environment System) และการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล (Database System)

ในระบบจัดเก็บฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล จะมีตารางที่ประกอบด้วย 5 คอลัมน์สำหรับบันทึกข้อมูล ได้แก่ วันเวลา และสภาพแวดล้อมภายในบ้าน ซึ่งข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกลงฐานข้อมูลทุก 5 นาที ข้อมูลที่ถูกบันทึกนี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนของการพยากรณ์ และการเรียนรู้แบบถ่ายโอน รูปที่ 22 แสดงตัวแปร และลำดับตำแหน่งของตัวแปรในระบบจัดเก็บฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL)

Datetime	Temperature	Humidity	Co2	Pir
2020-07-17 14:55:20	35.59	54.61	597	1
2020-07-17 15:00:20	35.81	54.34	577	1
2020-07-17 15:05:20	35.74	54.64	601	1
2020-07-17 15:10:20	35.79	54.41	602	1
2020-07-17 15:15:20	35.79	54.15	580	1
2020-07-17 15:20:20	36.12	53.12	581	1
2020-07-17 15:25:20	36.15	53.48	590	1
2020-07-17 15:30:20	36.18	53.04	589	1
2020-07-17 15:35:20	36.42	52.64	580	1
2020-07-17 15:40:20	36.69	51.84	645	1
2020-07-17 15:45:20	36.76	51.76	571	1
2020-07-17 15:50:20	36.87	51.46	583	1
2020-07-17 15:55:20	36.75	51.76	590	1
2020-07-17 16:00:21	36.76	52.12	586	1
2020-07-17 16:05:21	36.73	52.88	600	1

รูปที่ 22 ตัวแปร และลำดับตำแหน่งของตัวแปรในระบบจัดเก็บฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL)

### 3.3 ระบบอัลกอริทึม

โครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม เพราะเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่ลักษณะเป็นลำดับเวลา โดยชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลสอน (Training Data) ข้อมูลความตรวจสอบ (Validation Data) และข้อมูลทดสอบ (Testing Data) ตารางที่ 6 แสดงการกำหนดไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็ม ข้อมูลที่ถูกแบ่งจะทำหน้าที่แตกต่างกัน โดยส่วนของข้อมูลสอนทำหน้าที่ สอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้า กับข้อมูลขาออก ต่อมา ข้อมูลตรวจสอบทำหน้าที่ ปรับแต่งพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมให้เหมาะสม ส่วนสุดท้ายคือ ข้อมูลทดสอบ ข้อมูลชุดนี้จะต้องเป็นข้อมูลที่ยังไม่เคยนำไปสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม โดยข้อมูลจะถูกใช้ในการทดสอบความแม่นยำ และประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะออกแบบให้มีจำนวนชั้นทั้งหมด 3 ชั้นคือ ชั้นถูกซ่อน 2 ชั้น และชั้นข้อมูลขาออก 1 ชั้น การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยจะไม่ได้อาศัยการมองข้อมูลขาเข้าแค่ช่วงเวลา ณ ปัจจุบัน (t) เพียงอย่างเดียว แต่จะพิจารณาช่วงเวลาย้อนหลังด้วย (t-1, t-2, ..., t-n) เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้แนวโน้มพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยจากเวลาปัจจุบัน (t) และช่วงเวลาในอดีต (t-1, t-2, ..., t-n) ทำให้การพยากรณ์มีผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าการเรียนรู้โดยอาศัยแค่ช่วงเวลาปัจจุบันอย่างเดียวเท่านั้น รูปที่ 23 แสดงตารางข้อมูลสำหรับการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องโดยอาศัยการมอย้อนหลังจำนวน 6 จุดช่วงเวลา

ตารางที่ 6 การแบ่งจำนวนชุดข้อมูล และการกำหนดไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำลักษณะหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM)

Parameter	Value
Step Back	6
Step Forward	7
No. of Layer	2: 1
No. of Neuron	64: 32: 7
Activation Function	Relu: Relu: Sigmoid
Optimizer	Adam
Loss	Binary Crossentropy

feature	occupancy						Date	...	Temperature				CO2								
time step	t+0	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6	t-5	t-4	t-3	...	t-3	t-2	t-1	t	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t
	DateTime																				
2017-12-01 07:25:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.80	0.80	0.77	0.92	0.11	0.15	0.14	0.11	0.14	0.29
2017-12-01 07:30:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.80	0.77	0.92	0.71	0.15	0.14	0.11	0.14	0.29	0.23
2017-12-01 07:35:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.77	0.92	0.71	0.74	0.14	0.11	0.14	0.29	0.23	0.09
2017-12-01 07:40:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	...	0.92	0.71	0.74	0.94	0.11	0.14	0.29	0.23	0.09	0.08
2017-12-01 07:45:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	...	0.71	0.74	0.94	0.78	0.14	0.29	0.23	0.09	0.08	0.15
2017-12-01 07:50:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	...	0.74	0.94	0.78	0.91	0.29	0.23	0.09	0.08	0.15	0.15
2017-12-01 07:55:00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	...	0.94	0.78	0.91	0.80	0.23	0.09	0.08	0.15	0.15	0.08
2017-12-01 08:00:00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	...	0.78	0.91	0.80	0.73	0.09	0.08	0.15	0.15	0.08	0.38
2017-12-01 08:05:00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	...	0.91	0.80	0.73	0.87	0.08	0.15	0.15	0.08	0.38	0.03
2017-12-01 08:10:00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	...	0.80	0.73	0.87	0.81	0.15	0.15	0.08	0.38	0.03	0.14

รูปที่ 23 ตารางข้อมูลสำหรับการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องโดยอาศัยการมอยย้อนหลังจำนวน 6 จุดช่วงเวลา

### 3.4 ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า

การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านจะใช้โพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ เป็นตัวสร้างชุดคำสั่งเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยภายในชุดคำสั่งจะต้องระบุกลุ่มของเครื่องใช้ไฟฟ้า (Class Group) ลักษณะการทำงาน (EPC) และรายละเอียดการทำงาน (EDT) ให้ถูกต้องตามเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการ รูปที่ 24 แสดงตารางคำสั่งการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้ากลุ่มเครื่องปรับอากาศสำหรับโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite) และตารางที่ 7 แสดงชุดคำสั่งควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite)

### 3. 2. 1 Requirements for home air conditioner class

Class group code : 0x01

Class code : 0x30

Instance code : 0x01–0x7F (0x00: All-instance specification code)

Property name	EPC	Contents of property	Data type	Data size	Unit	Access rule	Mandatory	Announcement at status change	Remark
		Value range (decimal notation)							
Operation status	0x80	This property indicates the ON/OFF status.	unsigned char	1 byte	—	Set	○	○	
		ON=0x30, OFF=0x31				Get	○		
Power-saving operation setting	0x8F	This property indicates whether the device is operating in power-saving mode.	unsigned char	1 byte	-	Set/Get	○	○	
		Operating in power-saving mode =0x41 Operating in normal operation mode =0x42							
Operation mode setting	0xB0	Used to specify the operation mode ("automatic," "cooling," "heating," "dehumidification," "air circulator" or "other"), and to acquire the current setting.	unsigned char	1 byte	-	Set/Get	○	○	
		The following values shall be used: Automatic: 0x41 Cooling: 0x42 Heating: 0x43 Dehumidification: 0x44 Air circulator: 0x45 Other: 0x40							

รูปที่ 24 ตารางคำสั่งการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้ากลุ่มเครื่องปรับอากาศสำหรับโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite)

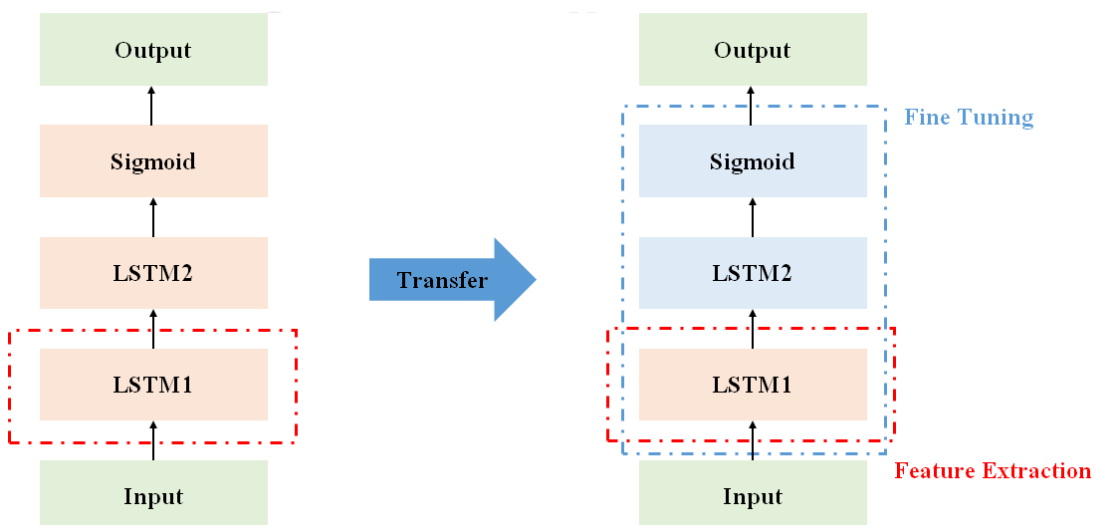
ตารางที่ 7 ชุดคำสั่งควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite)

Items	Controlling Code	Meaning
1	1081000105FF010130016101800130	เปิด
2	1081000105FF010130016101800131	ปิด
3	1081000105FF010130016101B30119	ปรับอุณหภูมิ
4	1081000105FF010130016101B00141	โหมดอัตโนมัติ
5	1081000105FF010130016101A50143	ปรับทิศทางลมแนวนอนให้อยู่ตรงกลาง
6	1081000105FF010130016101A50142	ปรับทิศทางลมแนวนอนให้อยู่ด้านซ้าย
7	1081000105FF010130016101A50141	ปรับทิศทางลมแนวนอนให้อยู่ด้านขวา
8	1081000105FF010130016101A40143	ปรับทิศทางลมแนวตั้งให้อยู่ตรงกลาง
9	1081000105FF010130016101A40142	ปรับทิศทางลมแนวตั้งให้อยู่ด้านซ้าย
10	1081000105FF010130016101A40141	ปรับทิศทางลมแนวตั้งให้อยู่ด้านขวา

### 3.5 การเรียนรู้แบบถ่ายโอน

การเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) ถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณข้อมูล และระยะเวลาสอนโครงข่ายประสาทเทียม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำชุดข้อมูล A ซึ่งถูกสอนแล้วมาเป็นฐานความรู้แก่โครงข่ายประสาทเทียม และเพิ่มชุดข้อมูลใหม่ (New Data) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งชุดข้อมูลใหม่เป็นพฤติกรรมการเข้าออกห้องที่แตกต่างกับชุดข้อมูลเดิม (ชุดข้อมูล A) เพื่อนำมาเรียนรู้ และถ่ายโอนไปยังโครงข่ายประสาทเทียม ส่งผลให้การคาดเดาพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยคนใหม่มีความแม่นยำ และถูกต้องมากขึ้น ตามปริมาณข้อมูลที่นำมาถ่ายโอน อาจกล่าวได้ว่า ถ้าข้อมูลพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยใหม่ที่นำมาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียมมีปริมาณน้อย ค่าพยากรณ์อาจมีความถูกต้องในระดับต่ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้าจำนวนข้อมูลพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยมีจำนวนมากพอจะส่งผลให้การทำนายพฤติกรรมการเข้าออกห้องมีความแม่นยำมากขึ้นตามปริมาณข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น

การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเรียนรู้แบบถ่ายโอนจะอ้างอิงการออกแบบตามหัวข้อที่ 3.2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ใดๆ ทั้งสิ้น โดยชั้นถูกซ่อนที่ 1 จะถูกสร้างเป็นชั้นฐานความรู้ โดยการใช้ชุดข้อมูล A ส่วนชั้นถูกซ่อนที่ 2 กับชั้นข้อมูลขาออก เป็นชั้นที่รับข้อมูลใหม่ และมีการเรียนรู้ซ้ำของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมให้เข้าใจพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยคนใหม่ การเรียนรู้แบบถ่ายโอนจะปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียม 2 ครั้งต่อ 1 เดือน ได้แก่ วันที่ 15 และ 30 ของแต่ละเดือน รูปที่ 25 แสดงการออกแบบการเรียนรู้แบบส่งผ่าน (Transfer Learning)



รูปที่ 25 การออกแบบการเรียนรู้แบบส่งผ่าน (Transfer Learning)

## บทที่ 4

### การทดลอง และผลการทดลอง

การทดลองระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านถูกแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การเปรียบเทียบค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านระหว่างเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ปัจจุบัน การทดสอบการทำงานแต่ละส่วนของระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน และการพยากรณ์พฤติกรรมกรเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย

#### 4.1 การเปรียบเทียบค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านระหว่างเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ในปัจจุบัน

การทดลองหัวข้อแรกเป็นการเปรียบเทียบค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านที่ถูกตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันเป็นระยะเวลา 3 วัน โดยค่าสภาพแวดล้อมที่จะนำมาเปรียบเทียบหาความแม่นยำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากนั้น ผลลัพธ์จะถูกแสดงเป็นค่าความคลาดเคลื่อนลักษณะรายชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 10:00น. ถึง 17:00น. ดังตารางที่ 8 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้รับจะต้องไม่เกินตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อการประเมินผลที่ 1.3.4 ได้แก่ อุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4% ความชื้นสัมพัทธ์มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 30% โดยค่าความคลาดเคลื่อนสามารถคำนวณจาก  $error (\%) = 100 \times \left| \frac{Value_{BN} - Value_{SN}}{Value_{BN}} \right|$  ผลการทดลองพบว่า ค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านที่ตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์โหนด และมีเตอร์ที่มีอยู่ปัจจุบันมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โดยค่าสภาพแวดล้อมที่ตรวจวัดได้จากทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่า ค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านที่มาจากเซ็นเซอร์โหนดมีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง เพื่อทำการพยากรณ์พฤติกรรมกรเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนระหว่างเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ มีค่าเกินกว่าที่กำหนดตามหัวข้อการประเมินผลที่ 1.3.4 เพียงเล็กน้อยในบางเวลา

ตารางที่ 8 ค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านระหว่างเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ปัจจุบันลักษณะรายชั่วโมง และค่าความคลาดเคลื่อน

Datetime	SN	BN	Error	SN	BN	Error	SN	BN	Error
	Temp	Temp	(%)	RH	RH	(%)	CO2	CO2	(%)
6/28/2020 10:00	34.26	32.71	4.74	55.61	58.71	5.28	756.00	726.00	4.13
6/28/2020 11:00	34.69	33.18	4.57	54.82	57.61	4.84	639.00	591.00	8.12



Datetime	SN	BN	Error	SN	BN	Error	SN	BN	Error
	Temp	Temp	(%)	RH	RH	(%)	CO2	CO2	(%)
6/28/2020 12:00	35.33	34.04	3.79	52.92	55.17	4.08	594.00	693.00	14.29
6/28/2020 13:00	35.28	33.74	4.55	54.18	56.95	4.86	545.00	613.00	11.09
6/28/2020 14:00	35.19	33.43	5.26	55.39	58.88	5.93	587.00	505.00	16.24
6/28/2020 15:00	35.70	34.50	3.49	56.07	58.22	3.69	639.00	678.00	5.75
6/28/2020 16:00	35.28	33.69	4.73	57.94	61.85	6.33	647.00	566.00	14.31
6/28/2020 17:00	34.89	33.43	4.36	58.94	62.20	5.24	587.00	535.00	9.72
7/15/2020 10:00	33.77	32.19	4.90	59.37	62.83	5.51	787.00	753.00	4.52
7/15/2020 11:00	34.38	33.27	3.32	58.11	60.52	3.98	676.00	709.00	4.65
7/15/2020 12:00	34.92	33.76	3.44	56.54	58.89	3.99	593.00	649.00	8.63
7/15/2020 13:00	34.77	33.46	3.91	58.88	61.66	4.51	579.00	491.00	17.92
7/15/2020 14:00	34.95	34.00	2.80	58.82	61.07	3.68	644.00	663.00	2.87
7/15/2020 15:00	35.03	33.45	4.74	59.26	63.39	6.52	617.00	632.00	2.37
7/15/2020 16:00	34.82	33.72	3.27	61.73	64.18	3.82	646.00	634.00	1.89
7/15/2020 17:00	34.91	33.97	2.76	61.59	64.07	3.87	630.00	684.00	7.89
7/19/2020 10:00	34.31	32.61	5.22	59.60	64.45	7.52	628.00	640.00	1.88
7/19/2020 11:00	34.88	32.83	6.23	58.10	63.55	8.57	601.00	650.00	7.54
7/19/2020 12:00	34.92	33.32	4.81	56.54	65.12	13.17	593.00	577.00	2.77
7/19/2020 13:05	34.92	33.27	4.95	62.27	66.21	5.95	589.00	632.00	6.80
7/19/2020 14:00	35.34	34.31	3.00	60.10	62.82	4.33	670.00	587.00	14.14
7/19/2020 15:00	35.85	34.25	4.66	60.17	64.45	6.65	650.00	709.00	8.32
7/19/2020 16:00	36.72	35.04	4.80	59.46	63.60	6.50	738.00	658.00	12.16
7/19/2020 17:00	36.82	34.67	6.21	58.36	63.91	8.69	683.00	670.00	1.94

#### 4.2 การทดสอบการทำงานแต่ละส่วนของระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน

การทดลองหัวข้อที่สองเป็นการทดสอบระบบต่างๆ ที่จะนำมาใช้งานสำหรับการบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

##### 4.2.1 ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และระบบการจัดเก็บข้อมูล

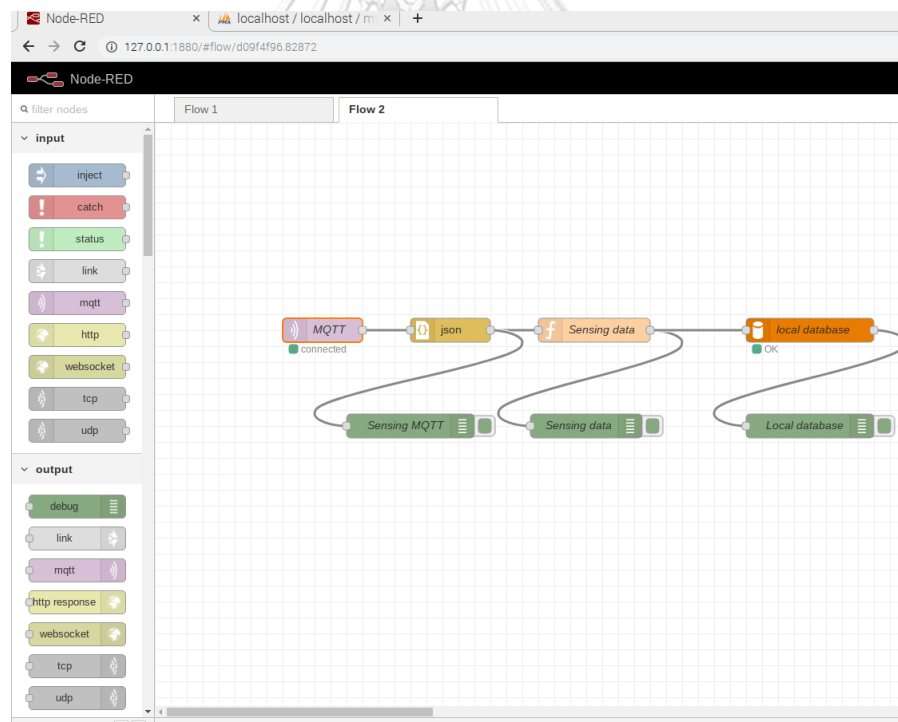
การทดลองแรกจะทดสอบการส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในบ้านจากบอร์ดควบคุมไปยังบอร์ดควบคุมหลักผ่านโปรโตคอลเอ็มคิวทีที และเก็บข้อมูลลงในระบบจัดเก็บฐานข้อมูล ซึ่งพบว่าข้อมูลสภาพแวดล้อมสามารถส่งไปยังบอร์ดควบคุมหลัก และบันทึกค่าข้อมูลลงระบบจัดเก็บฐานข้อมูลได้อย่างเป็นปกติ โดยข้อมูลจะถูกส่งไปที่บอร์ดควบคุมหลัก และถูกบันทึกลงระบบจัดเก็บ

ฐานข้อมูลทุก 5 นาที โดยกำหนดเงื่อนไขว่า “ถ้าเวลาในหน่วยนาที่ถูกรบกวนด้วย 5 แล้วมีเศษเท่ากับ 0 ให้ส่งค่าข้อมูลจากบอร์ดควบคุม ไปยังบอร์ดควบคุมหลัก และบันทึกค่าลงระบบจัดเก็บฐานข้อมูล” ตามรูปที่ 26 – 28

```

14:02:10.687 -> The system is ready
14:02:10.687 ->
14:02:10.687 -> Connecting to network: pleerak_2.4G
14:02:10.891 -> .....
14:02:11.874 -> WiFi connected
14:02:11.874 -> IP address:
14:02:11.874 -> 192.168.1.101
14:02:12.077 -> Attempting MQTT connection: connected
14:05:14.543 -> co2(ppm): 581.00 temp(C): 34.33 humidity(%): 59.68
14:05:14.543 -> Pir: 1
14:10:15.081 -> co2(ppm): 560.00 temp(C): 34.85 humidity(%): 57.70
14:10:15.081 -> Pir: 1
  
```

รูปที่ 26 ข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในบ้านจากบอร์ดควบคุม (ESP32 MCU)



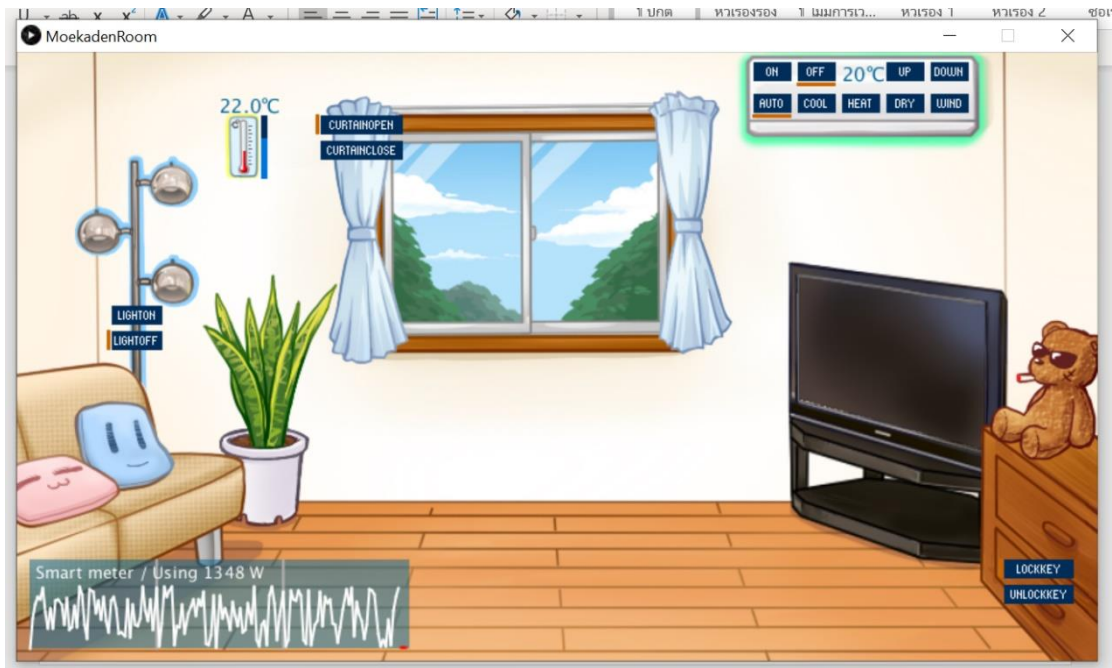
รูปที่ 27 กระบวนการส่งข้อมูลมายังบอร์ดควบคุมหลัก และจัดเก็บลงระบบจัดเก็บฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมโหนดเร็ด (Node-Red)

Datetime	Temperature	Humidity	Co2	Pir
2020-07-17 14:55:20	35.59	54.61	597	1
2020-07-17 15:00:20	35.81	54.34	577	1
2020-07-17 15:05:20	35.74	54.64	601	1
2020-07-17 15:10:20	35.79	54.41	602	1
2020-07-17 15:15:20	35.79	54.15	580	1
2020-07-17 15:20:20	36.12	53.12	581	1
2020-07-17 15:25:20	36.15	53.48	590	1
2020-07-17 15:30:20	36.18	53.04	589	1
2020-07-17 15:35:20	36.42	52.64	580	1
2020-07-17 15:40:20	36.69	51.84	645	1
2020-07-17 15:45:20	36.76	51.76	571	1
2020-07-17 15:50:20	36.87	51.46	583	1
2020-07-17 15:55:20	36.75	51.76	590	1
2020-07-17 16:00:21	36.76	52.12	586	1
2020-07-17 16:05:21	36.73	52.88	600	1

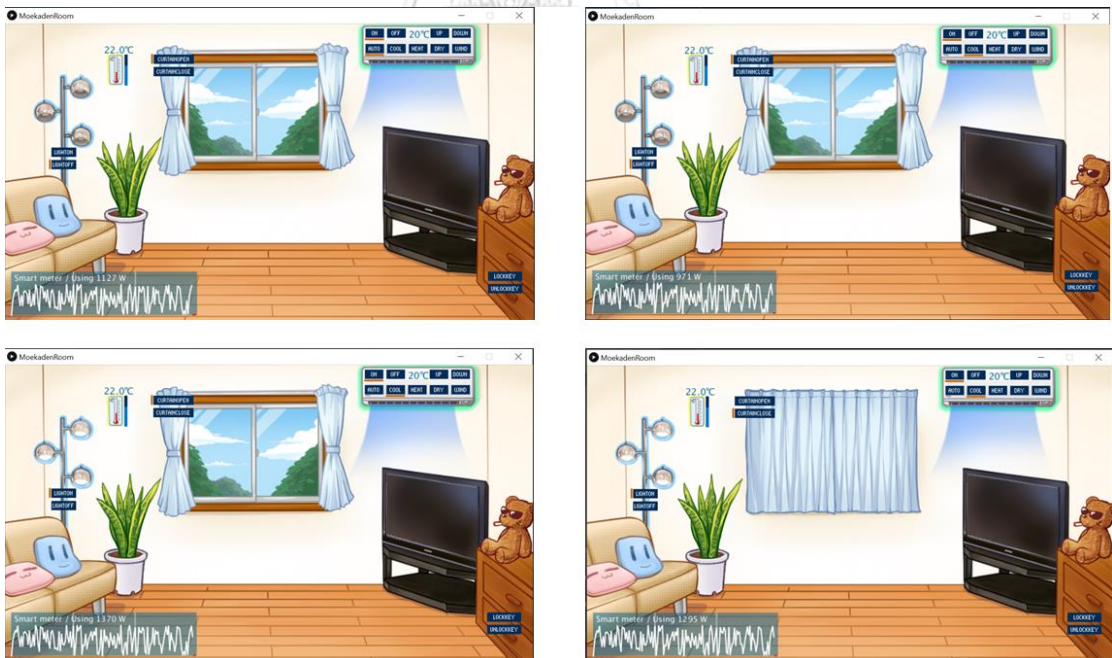
รูปที่ 28 ข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ถูกบันทึกลงในระบบจัดเก็บข้อมูล

#### 4.2.2 ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า

การทดลองต่อมาคือ การนำชุดคำสั่งของโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ มาควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านด้วยโปรแกรมจำลองแบบเสมือน (Simulation Program) ที่เรียกว่า โมเอคาเดนมูม (Moekaden Room) ภายในโปรแกรมจำลองแบบเสมือนประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ โคมไฟ ลิ้นชักไฟฟ้า และม่านบังแดดไฟฟ้า ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าชุดคำสั่งของโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้อย่างถูกต้องตามชุดคำสั่งที่ส่งไป ได้แก่ การสั่งเปิด/ปิด และปรับโหมดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ การสั่งเปิด/ปิด โคมไฟ และม่านบังแดดไฟฟ้า รูปที่ 29 แสดงตัวอย่างโปรแกรมโมเอคาเดนมูม (Moekaden Room) และรูปที่ 30 แสดงการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าของโปรแกรมโมเอคาเดนมูม (Moekaden Room) ด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite)

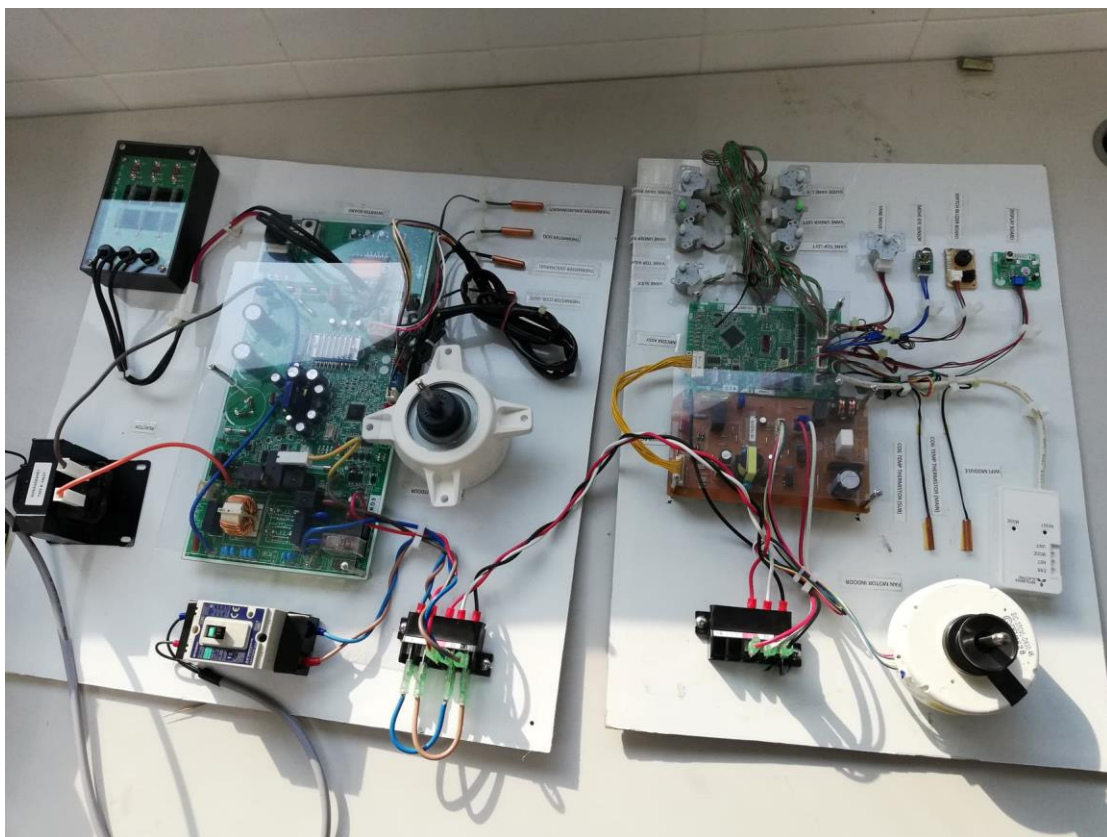


รูปที่ 29 ตัวอย่างโปรแกรมจำลองแบบเสมือน โมเอะคาเดนรูม (Moekaden Room)

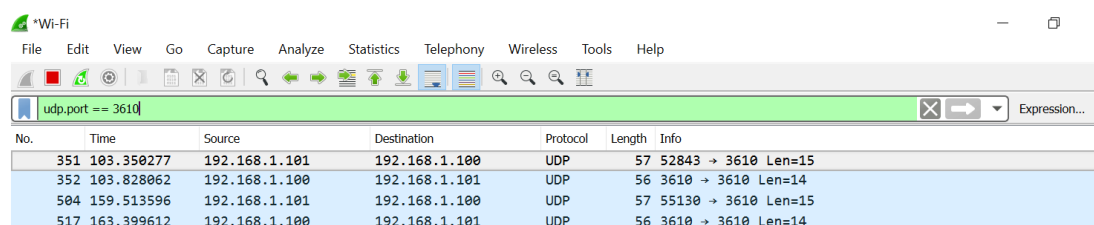
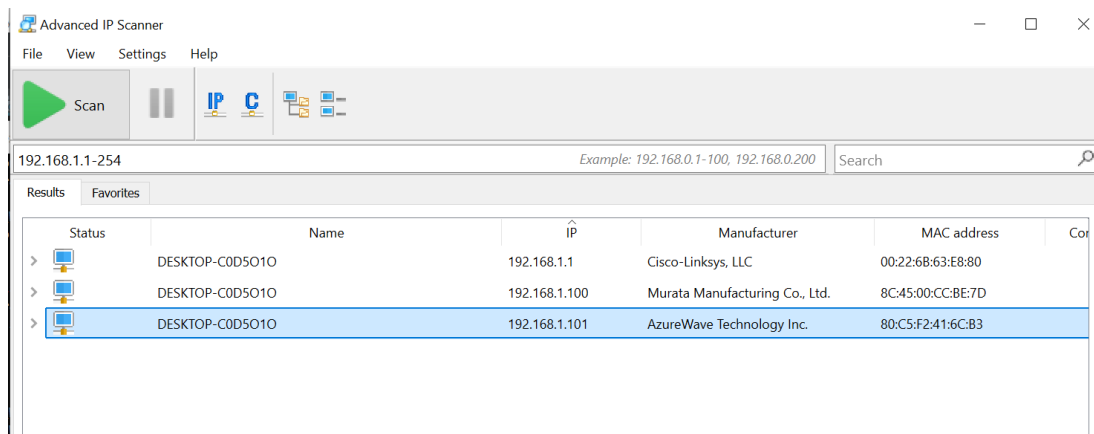


รูปที่ 30 การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าของโปรแกรมโมเอะคาเดนรูม (Moekaden Room) ด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite)

จากการทดลองด้วยโปรแกรมการจำลองแบบเสมือนที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว การทดลองต่อมาได้ทำการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าจริงคือ บอร์ดตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่ถูกติดตั้งโปรโตคอลเอคโคเน็ตไลท์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ชุดคำสั่งโปรโตคอลเอคโคเน็ตไลท์ ที่ส่งไปยังบอร์ดตัวอย่าง สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้ เช่น การเปิด/ปิด และการปรับทิศทางลมทั้งแนวตั้งแนวนอน เป็นต้น รูปที่ 31 แสดงบอร์ดตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่รองรับการสื่อสารด้วยโปรโตคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite) และรูปที่ 32 แสดงการควบคุมเปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศบนบอร์ดด้วยโปรโตคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite)



รูปที่ 31 บอร์ดตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่รองรับการสื่อสารด้วยโปรโตคอลเอคโคเน็ตไลท์ (ECHONET Lite)



รูปที่ 32 การควบคุมเปิด/ปิด เครื่องปรับอากาศบนบอร์ดด้วยโพรโทคอลเอคโคเน็ต ไลท์ (ECHONET Lite)

#### 4.3 การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย

การทดลองหัวข้อที่สามนี้จะนำชุดข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในบ้านมาทำนายพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย โดยสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยชุดข้อมูลสมมติ และการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยชุดข้อมูลจริง

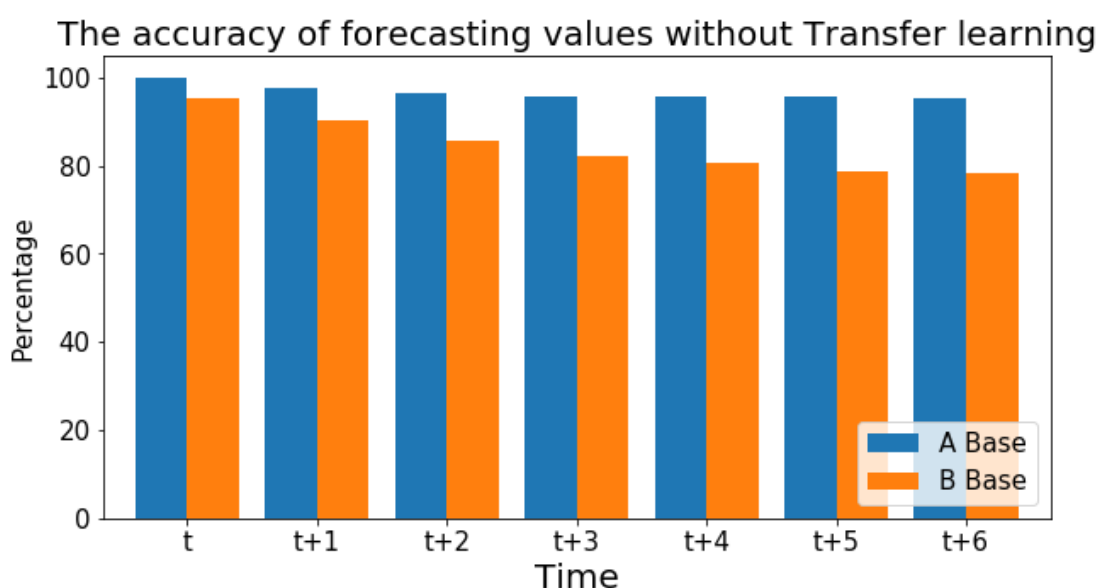
##### 4.3.1 การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยชุดข้อมูลสมมติ

การทดลองนี้จะนำชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.1 (ชุดข้อมูล A และ B) มาทำการคาดเดาพฤติกรรมการเข้าออกของผู้อยู่อาศัย ซึ่งประกอบด้วยการทดลอง 2 ส่วนคือ การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยปราศจากการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน

##### การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยปราศจากการเรียนรู้แบบถ่ายโอน

การทดลองแรก โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกสอนด้วยข้อมูลพฤติกรรมจากชุดข้อมูล A เพียงอย่างเดียวเท่านั้น และนำข้อมูลทดสอบจากชุดข้อมูล A กับ B มาทดสอบประสิทธิภาพของการ

พยากรณ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าพยากรณ์ที่ได้จากข้อมูลทดสอบ A มีความถูกต้อง และแม่นยำในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ที่มาจากข้อมูลทดสอบ B เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมถูกสอนด้วยข้อมูลสอนของพฤติกรรม A อย่างเดียว เมื่อนำข้อมูลทดสอบของพฤติกรรม B มาให้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายพฤติกรรมการเข้าออกห้องจึงส่งผลให้คำตอบมีความถูกต้อง และแม่นยำลดลง อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบทั้งชุดข้อมูล A และ B จะลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับเวลาที่ไกลออกไป ดังรูปที่ 33 และตารางที่ 9



รูปที่ 33 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ระหว่างข้อมูลทดสอบ A และ B ที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวเท่านั้น

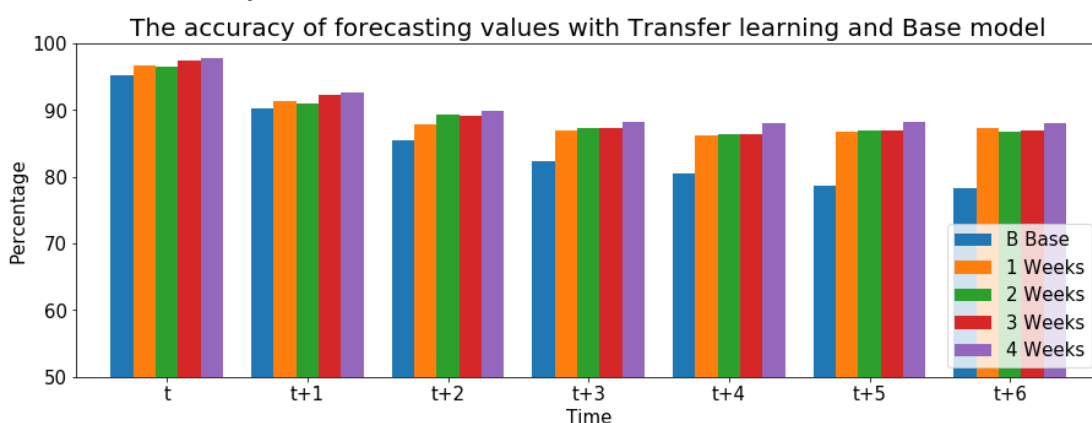
ตารางที่ 9 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ระหว่างข้อมูลทดสอบ A และ B ที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวเท่านั้น

Model	t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6
A Base	99.583	97.656	96.421	95.643	95.565	95.565	95.237
B Base	95.262	90.297	85.534	82.384	80.494	78.579	78.327

### การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน

การทดลองต่อมา จะนำการเรียนรู้แบบถ่ายโอนมาปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลสอนของชุดข้อมูล A ที่ถูกสอนในการทดลองก่อนหน้านี้เป็นฐานความรู้ และนำข้อมูล B มาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม โดยการทดลองนี้จะนำข้อมูล B ลักษณะรายสัปดาห์มาสอนแก่โครงข่าย

ประสาทเทียม และสังเกตดูความเปลี่ยนแปลงของค่าพยากรณ์ในแต่ละเวลา จากการทดลองนี้พบว่า เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมถูกสอนด้วยข้อมูล B ส่งผลให้มีค่าพยากรณ์ที่แม่นยำมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์จากการทดลองก่อนหน้านี้ และค่าพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมถูกสอนด้วยปริมาณของข้อมูล B ที่มากขึ้นตามลำดับ รูปที่ 34 และตารางที่ 10 แสดงค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)



รูปที่ 34 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

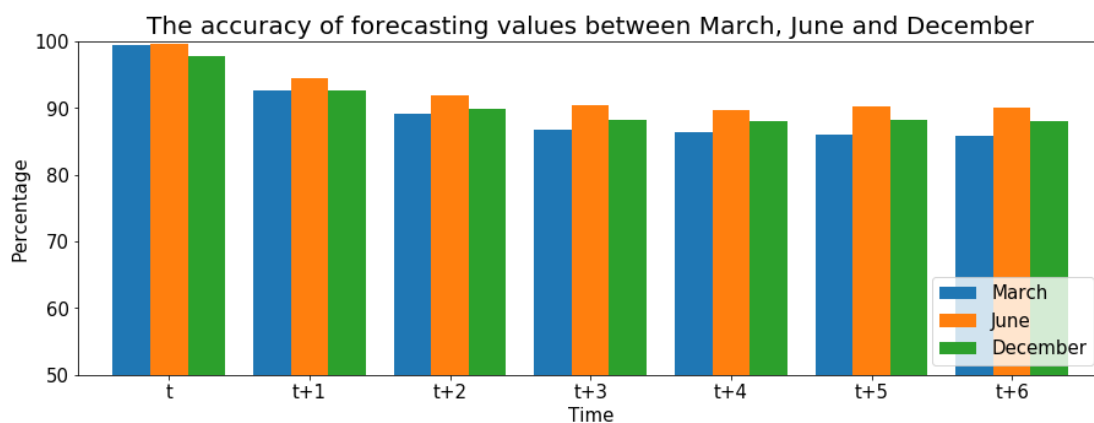
ตารางที่ 10 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

Model	t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6
B Baseline	95.262	90.297	85.534	82.384	80.494	78.579	78.327
1 Weeks	96.673	91.331	87.802	86.925	86.290	86.824	87.374
2 Weeks	96.573	91.028	89.315	87.298	86.366	86.895	86.794
3 Weeks	97.379	92.288	89.138	87.223	86.467	86.946	86.971
4 Weeks	97.833	92.666	89.819	88.231	88.105	88.206	87.954

การทดลองสุดท้ายคือ การทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน โดยใช้ข้อมูลทดสอบใหม่ของชุดข้อมูล B จำนวน 3 เดือน ได้แก่ เดือนธันวาคม เดือนมีนาคม และเดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ยังไม่เคยสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียมมา ทำนายพฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ค่าพยากรณ์ที่ได้รับจากข้อมูลทดสอบใหม่ทั้งสามเดือนมีความแม่นยำใกล้เคียงกัน รูปที่ 35 และตารางที่ 11 แสดงค่าความ



ถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคมที่  
 โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)



รูปที่ 35 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน และ  
 เดือนธันวาคมที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

ตารางที่ 11 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลทดสอบ B ในเดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน  
 และเดือนธันวาคมที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer  
 Learning)

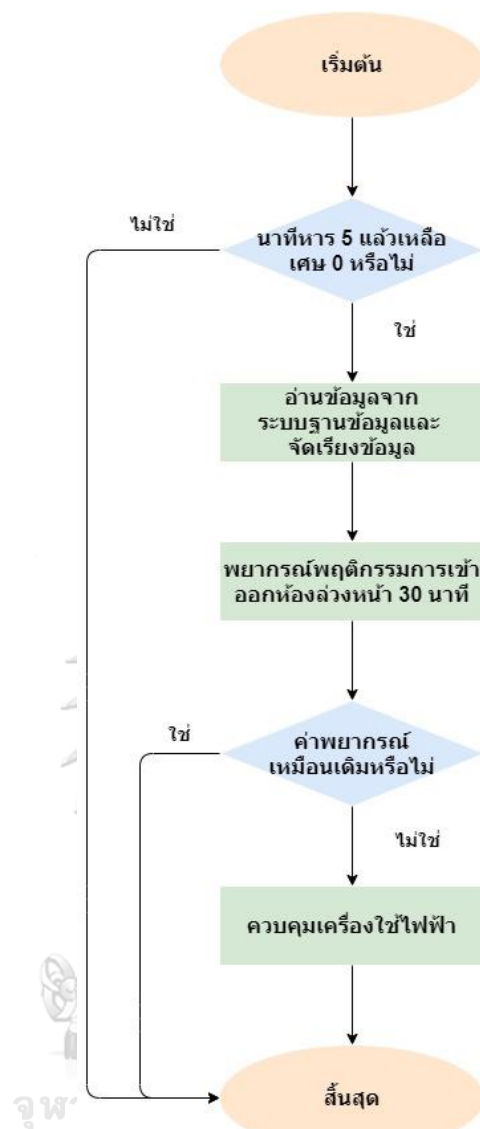
Model	t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6
March	99.471	92.591	89.062	86.794	86.391	85.988	85.887
June	99.635	94.557	91.953	90.521	89.746	90.234	90.038
December	97.833	92.666	89.819	88.231	88.105	88.206	87.954

จากการทดลองหัวข้อ 4.3.1 สามารถกล่าวได้ว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้  
 พฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยได้เพียงพฤติกรรมเดิมนั้น เมื่อนำพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยใหม่มาให้  
 โครงข่ายประสาทเทียมคาดเดาพฤติกรรมการเข้าออกห้อง ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความถูกต้อง และความ  
 แม่นยำลดลง ดังนั้นการปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอนจะสามารถช่วย  
 เพิ่มประสิทธิภาพแก่การพยากรณ์การเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยใหม่ด้วยการใช้ข้อมูลที่ถูกสอนแล้ว  
 จากผู้อยู่อาศัยเดิมเป็นฐานความรู้ และเพิ่มเติมข้อมูลใหม่ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้  
 บ่งชี้ว่า เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ข้อมูลใหม่ หรือพฤติกรรมใหม่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความ  
 ถูกต้อง และความแม่นยำของค่าพยากรณ์สูงขึ้นด้วยตามลำดับ โดยค่าความถูกต้องของการพยากรณ์  
 สูงกว่า 80% ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการประเมินผลที่ 1.3.4 อย่างไรก็ตาม การทดลองที่กล่าวมา

ข้างต้นได้นำชุดข้อมูลสมมุติทั้งชุดข้อมูล A และ B มาพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยจึงมีความถูกต้อง และแม่นยำค่อนข้างสูง เนื่องจากชุดข้อมูลทั้งสองมีความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ โดยความแปรปรวนหมายถึง ช่วงเวลาการเข้าห้อง หรือการออกจากห้อง มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งความเป็นจริง ผู้อยู่อาศัยแต่ละคนมีพฤติกรรมแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในการทดลองหวัข้อถัดไป การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยจะนำข้อมูลจริง ซึ่งถูกเก็บบันทึกในระบบจัดเก็บฐานข้อมูลมาทำนายหาผลลัพธ์ และใช้ในการเรียนรู้แบบถ่ายโอน

#### 4.3.2 การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยชุดข้อมูลจริง

การทดลองนี้จะนำชุดข้อมูลที่ถูกบันทึกในระบบจัดเก็บฐานข้อมูล มาทำการทำนายพฤติกรรมการเข้าออกของผู้อยู่อาศัย และใช้ในการเรียนรู้แบบถ่ายโอน ซึ่งการทดลองหวัข้อนี้ประกอบด้วย 2 การทดลองคือ การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยปราศจากการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน โดยขั้นตอนการนำชุดข้อมูลจากระบบจัดเก็บฐานข้อมูล เพื่อนำมาพยากรณ์ และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า ถูกอธิบายด้วยแผนภาพตามรูปที่ 36 ส่วนขั้นตอนการเรียนรู้แบบถ่ายโอน จะถูกนำเสนอตามรูปที่ 37

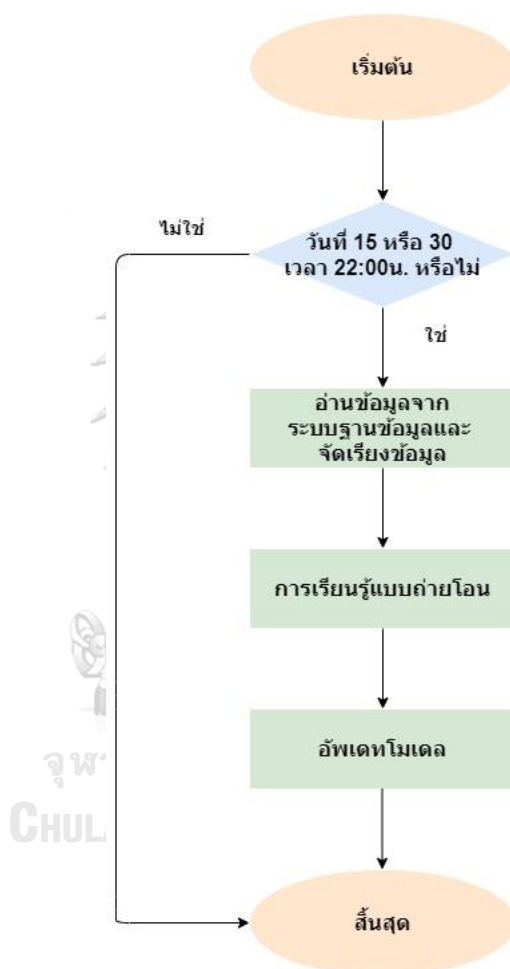


รูปที่ 36 ขั้นตอนการพยากรณ์พฤติกรรม การเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยข้อมูลจริง

ขั้นตอนการพยากรณ์พฤติกรรม การเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยข้อมูลจริง เพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- ระบบจะตรวจสอบเงื่อนไขว่า “ถ้าเวลาในหน่วยนาที่ถูกรวดด้วย 5 แล้วมีเศษเท่ากับ 0 จะทำการเตรียมข้อมูล” ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ระบบจะทำการเตรียมข้อมูลเข้าสำหรับการพยากรณ์ด้วยการดึงข้อมูลจากระบบจัดเก็บฐานข้อมูล และจัดเรียงข้อมูลย้อนหลัง 30 นาที (6 จุด) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะสิ้นสุดการทำงาน
- ข้อมูลที่ถูกจัดเตรียมจะถูกนำไปทำนายพฤติกรรม การเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยผ่านโครงข่ายประสาทเทียม

- ค่าพยากรณ์ก่อนหน้า กับค่าพยากรณ์ ณ เวลาปัจจุบันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกันโดยมีเงื่อนไขว่า “ถ้าค่าพยากรณ์ทั้งสองเหมือนกันจะสิ้นสุดการทำงาน แต่ถ้าค่าพยากรณ์ทั้งสองแตกต่างกันจะทำการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า” ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่าพยากรณ์ก่อนหน้ามีค่าเท่ากับ 1 แต่ค่าพยากรณ์ ณ เวลาปัจจุบันเท่ากับ 0 ระบบจะทำการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติ



รูปที่ 37 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลจริง

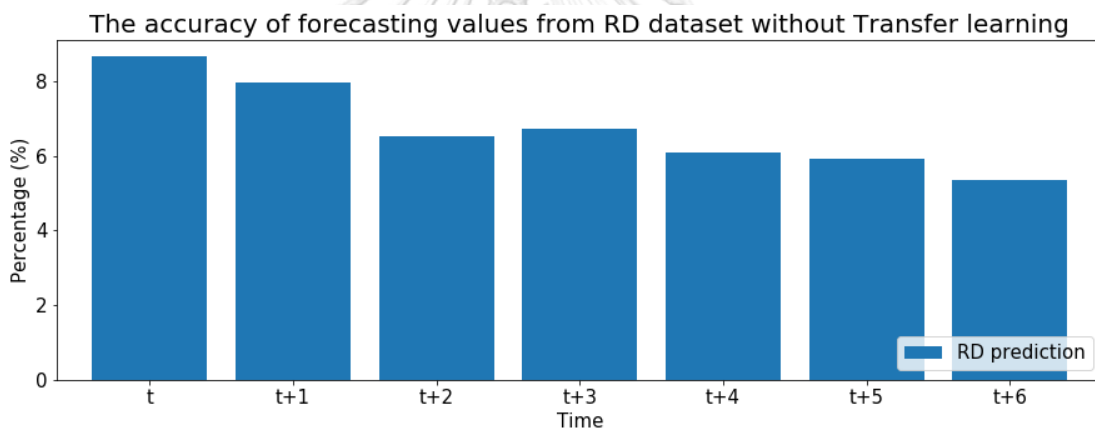
ขั้นตอนการเรียนรู้แบบถ่ายโอน และปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลจริง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- ระบบจะตรวจสอบเงื่อนไขว่า “ถ้าวันที่เท่ากับ 15 หรือ 30 และเวลาเท่ากับ 22:00น. จะทำการเตรียมข้อมูล” ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ระบบจะทำการเตรียมข้อมูลสำหรับการเรียนรู้แบบถ่ายโอน ในทางตรงกันข้าม ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะสิ้นสุดการทำงาน

- ข้อมูลที่ถูกจัดเตรียมจะนำมาถ่ายโอน หรือสอนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเข้าใจพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยใหม่มากขึ้น
- โครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกถ่ายโอนข้อมูลแล้วจะถูกอัปเดต และนำไปพยากรณ์พฤติกรรม การเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยจนกว่าการถ่ายโอนจะเกิดขึ้นอีกครั้ง

### การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยปราศจากการเรียนรู้แบบถ่ายโอน

การทดลองแรก โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกสอนด้วยข้อมูลพฤติกรรมจากข้อมูล A เพียงอย่างเดียวเท่านั้น และนำข้อมูลทดสอบจากชุดข้อมูลจริงมาทดสอบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าพยากรณ์ที่ได้จากข้อมูลทดสอบจริงมีความถูกต้อง และแม่นยำ อยู่ในระดับต่ำมาก ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้อง และแม่นยำของค่าพยากรณ์ที่มาจากชุดข้อมูลจริง จะลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับเวลาที่ไกลออกไป ดังรูปที่ 38 และตารางที่ 12



รูปที่ 38 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวนั้น

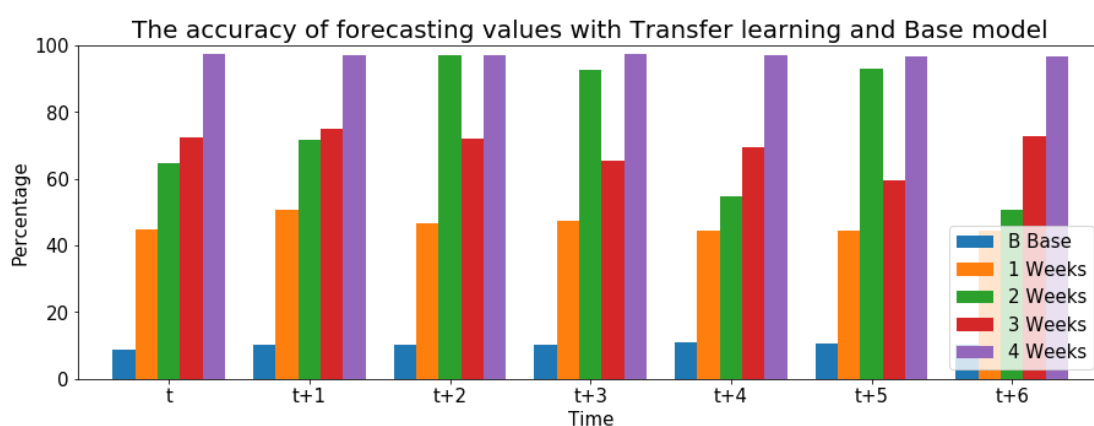
ตารางที่ 12 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่ถูกทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถูกสอนด้วยข้อมูลสอน A อย่างเดียวนั้น

Model	t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6
B Base	8.582	7.782	6.324	6.578	6.013	5.960	5.760

### การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัยด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน

การทดลองต่อมา เป็นการนำการเรียนรู้แบบถ่ายโอนมาปรับปรุงโครงข่ายประสาทเทียม และใช้ข้อมูลสอนของชุดข้อมูล A ที่ถูกสอนในการทดลองก่อนหน้านี้เป็นฐานความรู้ และนำข้อมูลจริง

บางส่วนมาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม โดยการทดลองนี้จะนำข้อมูลจริงลักษณะรายสัปดาห์มาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม และสังเกตดูความเปลี่ยนแปลงของค่าพยากรณ์ จากการทดลองนี้พบว่า เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกสอนด้วยข้อมูลจริงจะมีค่าพยากรณ์ที่แม่นยำมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองก่อนหน้านี้ และค่าพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมถูกสอนด้วยข้อมูลจริงที่มากขึ้นตามลำดับ รูปที่ 39 และตารางที่ 13 แสดงค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)



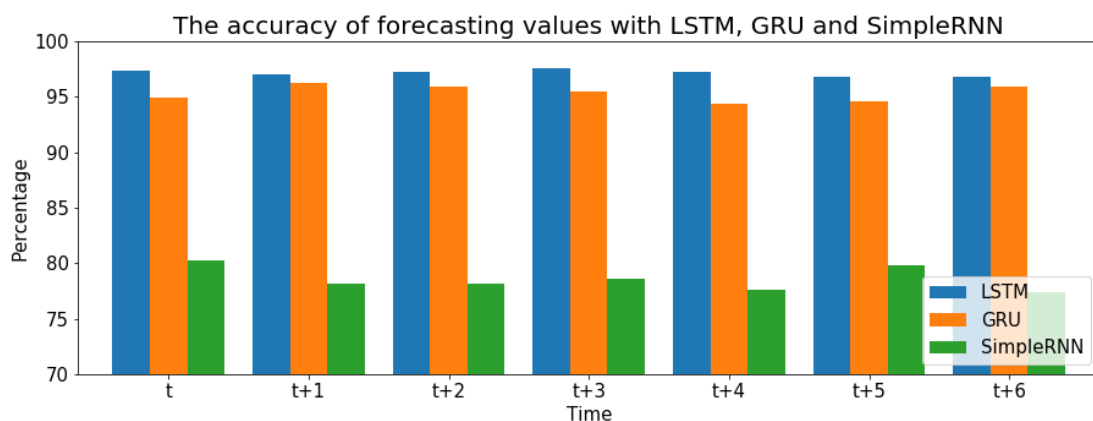
รูปที่ 39 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

ตารางที่ 13 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่โครงข่ายประสาทเทียมถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

Model	t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6
B Baseline	8.582	7.782	6.324	6.578	6.013	5.960	5.760
1 Weeks	44.963	50.746	46.828	47.388	44.591	44.594	44.403
2 Weeks	64.739	71.642	97.201	92.724	54.664	93.097	50.563
3 Weeks	72.388	75.032	72.201	65.485	69.403	59.515	72.761
4 Weeks	97.388	97.015	97.201	97.575	97.201	96.828	96.828

การทดลองสุดท้ายเป็นการนำอัลกอริทึมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แอลเอสทีเอ็ม จีอายู และซิมเพิลอาร์เอ็นเอ็น ที่ถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอนมาพยากรณ์พฤติกรรมทางเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย และเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพยากรณ์ในแต่ละช่วงเวลา โดยโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสามอัลกอริทึมจะถูกสอนด้วยข้อมูลใหม่เป็นระยะเวลา

1 เดือน ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลเอสทีเอ็มให้ค่าความแม่นยำ และถูกต้องสูงสุดทุกช่วงเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมอื่น โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความแม่นยำรองลงมาคือ โครงข่ายประสาทเทียมจีโออายุ และซิมเพิลอาร์เอ็นเอ็น ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 40 และตารางที่ 14



รูปที่ 40 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่มาจากโครงข่ายประสาทเทียม LSTM, GRU และ SimpleRNN ซึ่งถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

ตารางที่ 14 ค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์ของข้อมูลจริงที่มาจากโครงข่ายประสาทเทียม LSTM, GRU และ SimpleRNN ซึ่งถูกปรับปรุงด้วยการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning)

Model	t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6
LSTM	97.388	97.015	97.201	97.575	97.201	96.828	96.828
GRU	94.963	96.269	95.896	95.522	94.403	94.592	95.896
SimpleRNN	80.224	78.172	78.172	78.545	77.612	79.851	77.425

จากการทดลองหัวข้อ 4.3.2 สามารถกล่าวได้ว่า เมื่อนำข้อมูลทดสอบจากชุดข้อมูลจริงมาทำนายพฤติกรรมกรเข้าออกห้องด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกสอนด้วยชุดข้อมูล A เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ความถูกต้อง และความแม่นยำของค่าพยากรณ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อนำข้อมูลจริงบางส่วนมาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม หรือการเรียนรู้แบบถ่ายโอน เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ และสามารถเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยใหม่จึงทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากขึ้นตามปริมาณของข้อมูลที่น่ามาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียม โดยค่าความถูกต้องของการพยากรณ์สูงกว่า 80% ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการประเมินผลที่ 1.3.4 อย่างไรก็ตาม จะสังเกตว่าการทดลองส่วนนี้มีผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากชุดข้อมูลจริงมีความ

แปรปรวนค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลสมมุติ โดยความแปรปรวนหมายถึง พฤติกรรมการเข้า หรือออกจากห้องที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา รวมถึงข้อมูลสภาพอากาศภายในบ้านที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเช่นกัน สิ่งเหล่านี้มีผลต่อโครงข่ายประสาทยุติกรรมสำหรับการพยากรณ์ พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย

จากการทดลองหัวข้อที่ 4.3.1 และ 4.3.2 พบว่า การพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย สามารถใช้เป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อช่วยควบคุมการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติ ในกรณีที่ไม่มีจำเป็นต้องมีการใช้งาน ทั้งในกรณีที่ไม่มีผู้ใช้งานหรือผู้อยู่อาศัย และในกรณีที่ผู้ใช้งานหลงลืมไม่ได้ทำการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้น ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากการควบคุมการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่ได้ใช้งาน สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนต่างที่ไม่จำเป็น และนำมาซึ่งการลดภาระค่าใช้จ่ายภายในบ้านแก่ผู้อยู่อาศัยได้ โดยสามารถยกตัวอย่างพฤติกรรม เช่น ถ้าผู้อยู่อาศัยอยู่ในห้องตั้งแต่เวลา 08:00น. และออกจากห้องในช่วงเย็นวันศุกร์ที่เวลา 17:00น. โดยไม่ได้ปิดเครื่องปรับอากาศภายในห้อง จำนวน 1 ตัว เนื่องจากเร่งรีบหรือหลงลืม และเมื่อกลับมาถึงห้องในเช้าวันจันทร์ที่เวลา 08:00น. เท่ากับว่ามีการเปิดเครื่องปรับอากาศทั้งสิ้น 72 ชั่วโมง โดยที่มีเพียงแค่ 9 ชั่วโมงเท่านั้นที่เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย คิดเป็นจำนวน 4.261 หน่วย และสามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13.842 บาท ในขณะที่ การเปิดเครื่องปรับอากาศทิ้งไว้โดยไม่จำเป็นถึง 63 ชั่วโมง เป็นผลให้เกิดการสูญเสียการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นถึงจำนวน 32.130 หน่วย ซึ่งคำนวณเป็นเงินได้ถึง 104.370 บาท อย่างไรก็ตาม ถ้าห้องที่กล่าวมา มีการติดตั้งระบบบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้าน หลังจากที่มีผู้อยู่อาศัยออกไปแล้ว และระบบพยากรณ์ว่า ไม่มีใครกลับเข้ามาในห้องอีก 30 นาที ระบบจะส่งคำสั่ง เพื่อทำการปิดเครื่องปรับอากาศอย่างอัตโนมัติ เป็นผลให้สามารถจำกัดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย ช่วยควบคุมภาระค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้

$$U (\text{Unit}) = \sum_{i=1}^N P_i(\text{kw}) \times H_i(\text{hr})$$

$$M (\text{Baht}) = U (\text{Unit}) \times T(\text{Baht/unit})$$

$N$  = จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า

$U$  = จำนวนยูนิตรวม

$P_i$  = กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า  $i$  เครื่อง



$H_i$  = จำนวนชั่วโมงทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า  $i$  เครื่อง

$M$  = ค่าบริการสำหรับการใช้ไฟฟ้า

$T$  = ค่าบริการต่อหน่วย

จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วนตามการทดลองที่จัดทำขึ้น ได้แก่ การเปรียบเทียบค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านระหว่างเซ็นเซอร์โหนด กับมิเตอร์ปัจจุบัน การทดสอบการทำงานในแต่ละส่วนของระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้าน และการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย ซึ่งมีผลสรุปการทดลอง ดังนี้

- เมื่อนำค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้าน ซึ่งถูกตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์โหนด และมิเตอร์ปัจจุบัน มาเปรียบเทียบกันพบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถยอมรับได้ โดยที่อุปกรณ์เซ็นเซอร์โหนดมีอัตราการราคาต่ำกว่า ดังนั้นเซ็นเซอร์โหนดจึงสามารถเลือกใช้เซ็นเซอร์ประเภทต่างๆ ที่มีราคาไม่สูงได้ เพื่อนำมาใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อม และยังเป็นการลดต้นทุนสำหรับระบบการบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้าน
- การทดสอบระบบการบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านพบว่า ทุกส่วนในระบบซึ่งประกอบด้วย ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน ระบบจัดเก็บฐานข้อมูล และระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถทำงานตามคำสั่งได้เป็นอย่างดี โดยมีรายละเอียด ดังนี้
  - ระบบตรวจวัดสามารถส่งค่าสภาพแวดล้อมภายในบ้านจากบอร์ดควบคุมไปยังบอร์ดควบคุมหลักผ่านโปรโตคอลเอ็มคิวทีที และบันทึกค่าเหล่านี้ที่ระบบจัดเก็บฐานข้อมูลทุก 5 นาที เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้อยู่อาศัย และขั้นตอนของการเรียนรู้แบบถ่ายโอน
  - ชุดคำสั่งของโปรโตคอลเอคโคเน็ต ไลท์ สามารถสั่งการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทั้งในโปรแกรมเสมือนที่เรียกว่า โมเอะคาเดนรุม และบอร์ดตัวอย่างเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งโปรโตคอลเอคโคเน็ต ไลท์ โดยชุดคำสั่งที่นำมาใช้ทดสอบ ได้แก่ การเปิด/ปิด การปรับโหมดการทำงาน การปรับอุณหภูมิ รวมถึงการปรับทิศทางของลมที่ปล่อยออกมาจากเครื่องปรับอากาศ
- การนำข้อมูลใหม่ หรือพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยใหม่มาทำนายพฤติกรรมการเข้าออกห้องด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกสอนจากข้อมูลพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยเดิม ทำให้ความถูกต้อง และความแม่นยำของผลลัพธ์ลดลงอย่างมาก ดังนั้นการเรียนรู้แบบถ่ายโอนจึงถูกนำมาใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการนำข้อมูลเดิมที่ถูกสอนแล้วเป็นฐานความรู้ และนำข้อมูล

ใหม่มาสอนโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้เข้าใจ และสามารถคาดเดาพฤติกรรมของผู้ใช้อาศัยใหม่ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น เมื่อจำนวนของข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ การเรียนรู้แบบถ่ายโอนจะช่วยลดปริมาณของข้อมูลที่นำมาสอนแก่โครงข่ายประสาทเทียมแล้ว เทคนิคนี้ยังสามารถช่วยลดเวลาสำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมอีกด้วย

- เมื่อระบบบริหารจัดการทรัพยากรภายในบ้านถูกติดตั้งภายในบ้าน หรือที่พักของผู้ใช้อาศัย ระบบจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาศัย และลดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นทั้งจากกรณีการลงลิ้มปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า และเมื่อผู้ใช้อาศัยออกไปข้างนอกห้องหรือไม่อยู่ห้อง โดยระบบจะพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้ใช้อาศัย และนำค่าพยากรณ์ไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านอย่างอัตโนมัติ

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำองค์ความรู้ และเทคโนโลยีในปัจจุบันมาสร้างต้นแบบระบบบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านที่มีราคาไม่สูง โดยระบบสามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อม เพื่อนำมาพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้ใช้อาศัย และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ผู้ใช้อาศัยลงลิ้มปิดเครื่องปรับอากาศ ขณะที่ไม่อยู่ห้องจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น และลดค่าใช้จ่ายภายในบ้านด้วย การทำงานของระบบถูกวัดประสิทธิภาพด้วยตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ กับค่าจริง ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถทำงานอยู่ในระดับค่อนข้างดี อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก่

- การจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมลงระบบฐานข้อมูลมีความแตกต่างกันในหน่วยวินาที ส่งผลให้ไม่สามารถจัดเรียงข้อมูลก่อนนำไปทำการพยากรณ์พฤติกรรมการเข้าออกห้องของผู้ใช้อาศัย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาด้วยการปรับหน่วยวินาทีของข้อมูลทั้งหมดให้เท่ากัน เพื่อให้สามารถจัดเรียงข้อมูลได้
- การจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมลงระบบฐานข้อมูล ซึ่งถูกติดตั้งบนบอร์ดควบคุมหลัก หรือ ราชเบอร์รี่พายสาม เมื่อมีการจัดเก็บข้อมูลที่เพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลาหนึ่ง การ์ดหน่วยความจำ

จัดเก็บข้อมูล (Secure Digital Card: SD Card) จะไม่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นในอนาคตได้ เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่การจัดเก็บข้อมูล

- การเชื่อมต่ออุปกรณ์บนเซ็นเซอร์โหนดที่มีการใช้สายไฟจัมเปอร์มีความเสี่ยงที่จะเกิดการส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจากสายไฟจัมเปอร์มีลักษณะไม่คงทน และอาจทำให้เกิดการบิดงอ ซึ่งส่งผลให้การเชื่อมต่อของอุปกรณ์เกิดความไม่เสถียร

## 5.2 งานที่ควรทำต่อในอนาคต

5.2.1 การบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมลงระบบจัดเก็บฐานข้อมูลที่ถูกติดตั้งบนบอร์ดควบคุมหลัก หรือราสเบอร์รี่พายสาม ลงในการ์ดหน่วยความจำจัดเก็บข้อมูล ซึ่งมีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่สำหรับการเก็บข้อมูล เมื่อพื้นที่ของการ์ดหน่วยความจำเต็มจะไม่สามารถบันทึกค่าสภาพแวดล้อมได้ ดังนั้นระบบจัดการฐานข้อมูลอาจจะถูกปรับปรุง และพัฒนาให้สามารถบันทึกข้อมูลบนระบบคลาวด์ เพื่อเพิ่มความจุสำหรับการบันทึกข้อมูล และลดภาระของการทำงานของบอร์ดควบคุมหลัก อย่างไรก็ตาม การเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์อาจต้องเสียค่าบริการสำหรับการจัดการ และดูแลข้อมูล

5.2.2 เซ็นเซอร์โหนดที่นำมาตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้านมีลักษณะเป็นบอร์ดตัวอย่าง การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในโหนดใช้สายไฟจัมเปอร์ เพื่อความสะดวกต่องานวิจัย และการขนย้าย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยสายจัมเปอร์อาจไม่แน่นพอ ส่งผลให้การส่งข้อมูลมีความผิดพลาดในบางครั้ง ดังนั้น เซ็นเซอร์โหนดควรถูกออกแบบ และพัฒนาอย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดความคงทนในการนำไปใช้งาน พร้อมทั้งเกิดการดำเนินงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ เมื่อนำไปติดตั้งที่อยู่อาศัย หรือโรงงานอุตสาหกรรม

## บรรณานุกรม

1. Mr.Digital. *IoT กำลังจะเปลี่ยนโลก?* [Online]; Available from: <https://www.ops.go.th/main/index.php/knowledge-base/article-pr/655-iot-%E0%B8%81%E0%B8%B3%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%81.html>.
2. ผศ. ดร. ชัชชัย คุณบัว, *IoT สถาปัตยกรรมการสื่อสาร Internet of Things*. 2562, บริษัท วี.พรีนท์ (1991) จำกัด: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน).
3. ดร. กอบเกียรติ สระอุบล, *พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi*. 2561, บริษัท ด้านสุธาการพิมพ์ จำกัด: หสม สำนักพิมพ์ อินเตอร์มีเดีย.
4. IM2. การสื่อสารข้อมูล หมายถึง (*Data Communications*) ? [Online] 2017 September 18<sup>th</sup>, 2017; Available from: <https://www.im2market.com/2017/09/18/4557>.
5. ioxhop. *ESP32 เบื้องต้น :: บทที่ 7 การสื่อสารแบบอนุกรม*. [Online] 2017 2017; Available from: <https://www.ioxhop.com/article/68/esp32-%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%99-%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88-7-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1>.
6. กรมที่ดิน. *ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN Technology)*. [Online]; Available from: <https://www.dol.go.th/it/Pages/%E0%B8%82%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%20%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%20IT/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%82%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2-Wireless-LAN-Technology.aspx>.

7. Thongjor, N. *Machine Learning* คืออะไร? รู้จักประเภทต่างๆของ *Machine Learning*. [Online] 2559 7 สิงหาคม 2559; Available from: <https://www.babelcoder.com/blog/posts/machine-learning-introduction>.
8. Rakthong, N. *Supervised Vs Unsupervised Learning* (จะไหวหรือไม่ไหว!!). [Online] 2018 May 29<sup>th</sup>, 2018 Available from: <https://medium.com/@nattaponra/ml2-supervised-vs-unsupervised-learning-%E0%B8%88%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A7%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%A7-aae9aa6f142b>.
9. ปัสสิ่ไพ. *Machine Learning (ML)*. [Online] 2019 May 29<sup>th</sup>, 2019; Available from: <https://ilog.ai/machine-learning-ml/>.
10. mc.ai. ทำความรู้จักกับ *reinforcement learning*. [Online] 2018 November 13<sup>th</sup>, 2018; Available from: <https://mc.ai/ep-1%E2%80%8A-%E2%80%8Areinforcement-learning-%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%99/>.
11. Sarkar, D., R. Bali, and T. Ghosh, *Hands-On Transfer Learning with Python*. 2018.
12. Tangruamsub, S. *Long Short-Term Memory (LSTM)*. [Online] 2017 July 4<sup>th</sup>, 2017; Available from: <https://medium.com/@sinart.t/long-short-term-memory-lstm-e6cb23b494c6>.
13. Oinkina. *Understanding LSTM Networks*. [Online] 2015 August 27<sup>th</sup>, 2015; Available from: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>.
14. Aek), M.P.C.A. ระบบการจัดการฐานข้อมูล (*Database Management System : DBMS*). [Online] 2559 11 ธันวาคม 2559; Available from: <http://www.pongkorn.net/?article:194>.
15. บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด (สาขา 3). การใช้งาน *Node-RED* บน *Raspberry Pi*. [Online]; Available from: <http://www.eduthaieasyelec.com/16623242/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99-node-red-%E0%B8%9A%E0%B8%99-raspberry-pi>.

16. CONSORTIUM, E. *What is ECHONET?* [Online]; Available from: [https://echonet.jp/about\\_en/](https://echonet.jp/about_en/).
17. Sharma, A. *Confusion Matrix in Machine Learning*. Available from: <https://www.geeksforgeeks.org/confusion-matrix-machine-learning/>.
18. Ahmed, M.S., et al., *Artificial neural network based controller for home energy management considering demand response events*, in *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)*. 2016, IEEE: Putrajaya, Malaysia.
19. Mehr, H.D., H. Polat, and A. Cetin, *Resident activity recognition in smart homes by using artificial neural networks*, in *2016 4<sup>th</sup> International Istanbul Smart Grid Congress and Fair (ICSG)*. 2016, IEEE: Istanbul, Turkey.
20. Qolomany, B., et al., *Role of Deep LSTM Neural Networks And Wi-Fi Networks in Support of Occupancy Prediction in Smart Building*, in *2017 IEEE 19<sup>th</sup> International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 15<sup>th</sup> International Conference on Smart City; IEEE 3<sup>rd</sup> International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*. 2017, IEEE: Bangkok, Thailand.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายปิยพัทธ์ ลีรักษาเกียรติ
วัน เดือน ปี เกิด	12 กุมภาพันธ์ 2535
สถานที่เกิด	จันทบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	187 หมู่ 14 ตำบล คลองนารายณ์ อำเภอ เมือง จังหวัด จันทบุรี 22000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY