

กลยุทธ์การจัดสรรแบบเหมาะสมที่สุดของการผลิตพลังงานร่วมที่มีตัวกักเก็บพลังงานความร้อนและ  
แบตเตอรี่สำหรับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลด  
ไฟฟ้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Optimal Dispatch Strategy of Cogeneration with Thermal and Battery Energy  
Storage for Building Energy Management System Subject to Load Demand  
Uncertainty



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 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

กลยุทธ์การจัดสรรแบบเหมาะที่สุดของการผลิตพลังงานร่วม  
ที่มีตัวกักเก็บพลังงานความร้อนและแบตเตอรี่สำหรับระบบ  
จัดการพลังงานภายในอาคารภายใต้ความไม่แน่นอนของ  
ความต้องการโหลดไฟฟ้า

โดย

น.ส. परिชาติดา ไตรรัตน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรณเจตพงศ์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรณเจตพงศ์ชัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ธนกร เจณณวาสิน)

ปะริชาดา ไตรรัตน์ : กลยุทธ์การจัดสรรแบบเหมาะที่สุดของการผลิตพลังงานร่วมที่มีตัวกักเก็บพลังงานความร้อนและแบตเตอรี่สำหรับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า. ( Optimal Dispatch Strategy of Cogeneration with Thermal and Battery Energy Storage for Building Energy Management System Subject to Load Demand Uncertainty) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานแบบเหมาะที่สุดของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ที่มีกำลังสำรองพร้อมจ่าย ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน และตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ซึ่งกำหนดเป็นรูปแบบการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะที่สุดตามลำดับ การจัดสรรพลังงานอาศัยการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าในการวางแผนเพื่อปรับกลยุทธ์ การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วย 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองสำหรับวันทำการ และแบบจำลองสำหรับวันสุดสัปดาห์ หลังจากนั้น เรานำเสนอแนวทางการออกแบบขนาดตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสม เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร การทดลองเชิงตัวเลขอาศัยข้อมูลห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่แห่งหนึ่งที่มีขนาดความต้องการโหลดไฟฟ้าสูงสุด 24 เมกะวัตต์ พบว่า ขนาดตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง จะให้ต้นทุนการดำเนินการรวมมีค่าต่ำสุด เมื่อทดลองกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่เสนอใหม่ และเปรียบเทียบกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า ซึ่งไม่มีกำลังสำรองพร้อมจ่าย และตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ พบว่า ระบบที่เสนอใหม่มีต้นทุนการดำเนินการรวมลดลงร้อยละ 9.68 และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมลดลงร้อยละ 0.25 สำหรับกรณีที่มีความไม่แน่นอน และต้นทุนการดำเนินการรวมลดลงร้อยละ 1.26 สำหรับกรณีที่ระบุ จะสังเกตว่า ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ เราพิจารณาการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวม กับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม เรานำเสนอการทำให้เป็นบรรทัดฐานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และกำหนดฟังก์ชันอเนกประสงค์ เป็นผลรวมเชิงเส้นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสอง เมื่อทดลองเชิงตัวเลขพบว่าความสัมพันธ์มีรูปแบบเป็นสมรรถนะการแลกเปลี่ยน กล่าวคือ เมื่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมมีค่าต่ำที่สุด ต้นทุนการดำเนินการรวมจะมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่เมื่อต้นทุนการดำเนินการรวมมีค่าต่ำที่สุด การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจะมีค่าสูงที่สุด ผลลัพธ์นี้ช่วยให้เลือกจุดทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารได้ รวมไปถึงวิเคราะห์การไหลของพลังงานสำหรับการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะที่สุด ผลการทดลองเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.9 ระบบที่เสนอใหม่มีต้นทุนการดำเนินการรวมลดลงร้อยละ 7.33 แต่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.27

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6370399421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Optimal dispatch, Building Energy Management System (BEMS), load demand uncertainty, load forecasting

Parichada Trairat : Optimal Dispatch Strategy of Cogeneration with Thermal and Battery Energy Storage for Building Energy Management System Subject to Load Demand Uncertainty. Advisor: Prof. DAVID BANJERDPONGCHAI, Ph.D.

This thesis presents an optimal dispatch strategy of cogeneration with spinning reserve, thermal energy storage, and battery energy storage (BES) for building energy management system (BEMS) subject to load demand uncertainty of the large shopping mall. The objective is to reduce the total operating cost (TOC) and total carbon dioxide emissions (TCOE) which are formulated as economic optimal operation and environmental optimal operation, respectively. BEMS employs the predicted load demands for planning and adjusting the strategy. Load prediction utilizes artificial neural networks which consist of two models, namely, the weekday model and the weekend model. Thereafter, we propose a design for the optimal capacity of BES for BEMS. Numerical experiments are based on the large shopping mall with a rated power of 24 MW. We find that a BES storage of 4.2 megawatt hours gives the minimum TOC. When comparing the proposed BEMS to the previous BEMS with no spinning reserve and BES, we find that the proposed BEMS reduces TOC by 9.68% and reduces TCOE by 0.25% for uncertainty case. Moreover, it reduces TOC by 1.26% for nominal case. BES is applied to the BEMS reduces the purchase of electricity from the power grid. In addition, we consider the multi-objective function to realize the relationship between TOC and TCOE. We propose the normalization for TOC and TCOE and define the multi-objective function as a linear combination of normalized TOC and normalized TCOE. The numerical results reveal the relationship as trade-off performance. In particular, when TCOE is minimum, TOC becomes maximum. On the other hand, when TOC is minimum, TCOE becomes maximum. The relationship helps us to select the operating point of BEMS as well as power flow analysis for multi-objective function. The numerical results show that when the weighting factor is equal to 0.9, the proposed BEMS decreases TOC by 7.33% but increases TCOE by 4.27%.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจากศาสตราจารย์เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ วงศ์สายสุวรรณ และอาจารย์ธนกร เจณณวาสิน สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และกรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณเก็บศิริ มนุศิลป์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านเทคนิค และให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยทำให้สามารถดำเนินงานได้อย่างถูกต้อง

ขอขอบคุณ ครอบครัวที่ได้อบรมสั่งสอน และคอยสนับสนุน ไม่ว่าจะเป็นด้านการศึกษา การมอบความรัก ความเมตตา ความเชื่อใจ และเป็นกำลังใจที่สำคัญ ที่ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงานและคณาจารย์ทุกท่าน ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม รวมไปถึงภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ แบ่งปันความรู้ ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์และศึกษาเพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปะริชาดา ไตรรัตน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
รายการสัญลักษณ์.....	ฐ
รายการคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ทบทวนวรรณกรรม.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 วิธีการดำเนินการ.....	4
1.6 ผลที่ได้รับ.....	4
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน.....	6
2.1 การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า.....	6
2.2 แบบจำลองความไม่แน่นอน.....	8
2.3 ระบบการจัดการพลังงานภายในอาคาร.....	8
บทที่ 3 การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า.....	11

3.1	แบบจำลองการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า.....	11
3.1.1	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม.....	13
3.1.2	แบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว.....	15
3.1.3	แบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ.....	16
3.1.4	การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน.....	18
3.2	ความไม่แน่นอนของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า.....	19
3.3	สรุป.....	21
บทที่ 4	การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	22
4.1	คำอธิบายระบบ.....	22
4.2	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	23
4.2.1	การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	24
4.2.2	การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	25
4.2.3	ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน.....	25
4.2.4	ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่.....	26
4.2.5	กำลังสำรองพร้อมจ่าย.....	26
4.3	กลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงาน.....	27
4.3.1	กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้า.....	27
4.3.2	กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานความเย็น.....	30
4.4	ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น.....	31
4.5	การออกแบบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสม.....	32
4.5.1	การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	32
4.5.2	การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	33
4.6	ผลการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	38
4.6.1	การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	39



4.6.2 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	41
4.6.3 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	46
4.6.4 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	49
4.7 สรุป .....	54
บทที่ 5 การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด .....	55
5.1 คำอธิบายระบบ .....	55
5.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	55
5.2.1 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด .....	56
5.2.2 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	56
5.3 การทำให้เป็นบรรทัดฐาน .....	56
5.4 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน.....	58
5.4.1 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้า .....	58
5.4.2 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานความเย็น .....	59
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม .....	59
5.6 ผลลัพธ์การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด.....	63
5.7 สรุป .....	69
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	70
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	72
เอกสารอ้างอิง .....	73
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	85

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สัญญาณขาเข้าแบบจำลองการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า.....	12
ตารางที่ 3.2 ผลลัพธ์จากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า.....	18
ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรเสริมของระบบ.....	35
ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้าและระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ.....	39
ตารางที่ 4.3 ต้นทุนการดำเนินการรวม ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	40
ตารางที่ 4.4 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	42
ตารางที่ 4.5 ความแตกต่างระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้าและระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ กรณีที่ระบุ.....	47
ตารางที่ 4.6 ต้นทุนการดำเนินการรวม กรณีที่ระบุ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	47
ตารางที่ 4.7 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม กรณีที่ระบุ ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด.....	49
ตารางที่ 5.1 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในการทำให้เป็นบรรทัดฐาน.....	57
ตารางที่ 5.2 ต้นทุนการดำเนินการรวม การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม บรรทัดฐาน ต้นทุนการดำเนินการรวม และบรรทัดฐานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักต่าง ๆ .....	61
ตารางที่ 5.3 ต้นทุนการดำเนินการรวมที่ตัวถ่วงน้ำหนัก 0.9 .....	63
ตารางที่ 5.4 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนัก 0.9 .....	64

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1	แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวันทำการ..... 13
รูปที่ 3.2	แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวันหยุดสุดสัปดาห์..... 14
รูปที่ 3.3	โหนดไฟฟ้าจริงและโหนดไฟฟ้าจากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาท เทียม..... 14
รูปที่ 3.4	แบบจำลองโครงสร้างของแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว..... 15
รูปที่ 3.5	โหนดไฟฟ้าจริงและโหนดไฟฟ้าจากการทำนายโดยแบบจำลองความจำระยะสั้น ระยะยาว..... 16
รูปที่ 3.6	แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ..... 17
รูปที่ 3.7	โหนดไฟฟ้าจริงและโหนดไฟฟ้าจากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่าย ประสาทสังวัตนาการ..... 17
รูปที่ 3.8	แผนภาพกล่องของความแตกต่างระหว่างค่าโหนดไฟฟ้าจริงและโหนดไฟฟ้าจาก การทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม..... 19
รูปที่ 3.9	ชุดค่าคลาดเคลื่อนเร็วที่สุด..... 20
รูปที่ 3.10	ความไม่แน่นอนของการทำนายความต้องการโหนดไฟฟ้า..... 21
รูปที่ 4.1	ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ..... 23
รูปที่ 4.2	การเปรียบเทียบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และต้นทุนการ ดำเนินการรวม..... 33
รูปที่ 4.3	การเปรียบเทียบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์รวม..... 34
รูปที่ 4.4	การไหลของพลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และ ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิง เศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด..... 43
รูปที่ 4.5	การไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบ จัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด..... 43

รูปที่ 4.6	การไหลของพลังงานความเย็นของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิง เศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	44
รูปที่ 4.7	การไหลของพลังงานความร้อนสำหรับ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม ของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสม ที่ที่สุด.....	44
รูปที่ 4.8	สถานะประจุกสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อนของระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	45
รูปที่ 4.9	สถานะประจุกสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การ ดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	45
รูปที่ 4.10	การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การ ดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด.....	46
รูปที่ 4.11	การไหลของพลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และ ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิง เศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	50
รูปที่ 4.12	การไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบ จัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	50
รูปที่ 4.13	การไหลของพลังงานความเย็นของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิง เศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุดกรณีที่ระบุ.....	51
รูปที่ 4.14	การไหลของพลังงานความร้อนสำหรับ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม ของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	51

รูปที่ 4.15	สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อนของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	52
รูปที่ 4.16	สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	52
รูปที่ 4.17	การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ.....	53
รูปที่ 5.1	สมรรถนะการแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม.....	62
รูปที่ 5.2	สมรรถนะการแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม (ขยาย).....	62
รูปที่ 5.3	การไหลของพลังงานไฟฟ้าที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 .....	66
รูปที่ 5.4	การไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1.....	66
รูปที่ 5.5	การไหลของพลังงานความเย็นที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 .....	67
รูปที่ 5.6	การไหลของพลังงานความร้อนสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 .....	67
รูปที่ 5.7	สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อนที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 .....	68
รูปที่ 5.8	สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 .....	68
รูปที่ 5.9	การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 .....	69

### รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$U_k$	โหลดไฟฟ้าจริง
$\hat{U}_k$	โหลดไฟฟ้าจากการทำนาย
$\Delta U_k$	ความแตกต่างระหว่างโหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย
$\Delta U_{k,max}$	ความแตกต่างระหว่างโหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนายที่เร็วที่สุด
$\hat{U}_{wc,k}$	โหลดไฟฟ้าจากการทำนายภายใต้ความไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้า
$C_k$	โหลดความเย็น
$p_k$	ราคาในการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า
$q_k$	ราคาในการขายไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้า
$C_{AB}$	ค่าดำเนินการของหม้อต้มน้ำเสริม
$d_{PG}$	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า
$\Delta t$	ช่วงเวลา
$C_{CHP}$	ค่าดำเนินการของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
$n$	จำนวนช่วงเวลาในหนึ่งวัน
$d$	จำนวนของวัน
$EF_{CHP}$	ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
$EF_{AB}$	ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหม้อต้มน้ำเสริม
$GEF$	ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโครงข่ายไฟฟ้า
$\eta_{AB}$	ค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำเสริม

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$\epsilon$	ประสิทธิภาพการชาร์จของตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
$\delta$	ประสิทธิภาพการดิสชาร์จของตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
$R_1$	อัตราการชาร์จพลังงานความร้อน
$R_2$	อัตราการดิสชาร์จพลังงานความร้อน
$\mu$	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
$S_{min}$	ความจุต่ำสุดของตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
$S_{max}$	ความจุสูงสุดของตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
$d_{sc}$	อัตราการชาร์จของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$d_{sd}$	อัตราการดิสชาร์จของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$\eta_c$	ประสิทธิภาพการชาร์จของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$\eta_i$	ประสิทธิภาพของตัวหมกผัน
$B_{min}$	ความจุต่ำสุดของของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$B_{max}$	ความจุสูงสุดของของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$P_{CHP,min}$	กำลังผลิตต่ำสุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
$P_{CHP,max}$	กำลังผลิตสูงสุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
$P2H$	อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน
$R_{CHP}$	อัตราการเปลี่ยนแปลงของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
$CP_{AC,min}$	กำลังผลิตต่ำสุดของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
$CP_{AC,max}$	กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
$COP_{AC}$	ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
$H_{AB,min}$	กำลังผลิตต่ำสุดของหม้อต้มน้ำเสริม

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$H_{AB,max}$	กำลังผลิตสูงสุดของหม้อต้มน้ำเสริม
$X_1$	พลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไปยังโหลด
$X_2$	พลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไปยังโครงข่ายไฟฟ้า
$X_3$	พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าไปยังโหลด
$X_4$	พลังงานความร้อนจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไปยังเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
$X_5$	พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
$X_6$	พลังงานความร้อนจากหม้อต้มน้ำเสริมไปยังเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
$X_7$	พลังงานความเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมไปยังโหลดความเย็น
$X_8$	พลังงานความร้อนจากตัวกักเก็บพลังงานความร้อนไปยังเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
$X_9$	สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
$X_{10}$	พลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไปยังตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$X_{11}$	พลังงานไฟฟ้าจากตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ไปยังโหลด
$X_{12}$	สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$X_{13}$	พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าไปยังตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$X_{14}$	พลังงานไฟฟ้าจากตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ไปยังโครงข่ายไฟฟ้า
$X_{15}$	พลังงานไฟฟ้าจากกำลังสำรองพร้อมจ่ายไปยังโหลด



สัญลักษณ์	คำอธิบาย
JTOC	บรรทัดฐานของต้นทุนการดำเนินการรวม
JTCOE	บรรทัดฐานของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม
$\alpha$	ตัวถ่วงน้ำหนัก



## รายการคำย่อ

ตัวย่อ	คำอธิบาย
AB	หม้อต้มน้ำเสริม
AC	เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม
ANN	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
BEMS	ระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร
BES	ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
CHP	การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
CNN	แบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ
LSTM	แบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว
SOC	สถานะประจุ
SR	กำลังสำรองพร้อมจ่าย
TCOE	การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม
TES	ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน
TOC	ต้นทุนการดำเนินการรวม

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการนำระบบจัดการพลังงาน (Energy management system) มาใช้เพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยในการจัดสรรพลังงาน รวมไปถึงบริหารจัดการพลังงานภายในอาคาร (Building energy management system) ซึ่งช่วยในการควบคุม และจัดสรรพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยไม่เพียงแต่จัดสรรควบคุมพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงรูปแบบพลังงานอื่น ๆ ด้วย เช่น พลังงานความร้อนและพลังงานความเย็น เป็นต้น โดยระบบจัดการพลังงานนั้น ยังสามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารสามารถใช้ร่วมกับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม (Cogeneration or combined heat and power) หรือระบบกักเก็บพลังงานได้ (Energy storage system) เพื่อให้ระบบมีศักยภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น

สำหรับการผลิตและการจัดสรรพลังงานนั้น เพื่อการจัดการที่ดีขึ้นสามารถวางแผนไว้ล่วงหน้าได้ โดยการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า (Load demand forecast) โดยจะนำเข้ามาใช้เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความต้องการโหลดไฟฟ้า และเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายและความต้องการโหลดไฟฟ้าจริง ความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาการจัดการจัดสรรพลังงานล่วงหน้าได้ และยังสามารถช่วยในการลดต้นทุนการดำเนินการรวม (Total operating cost) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม (Total carbon dioxide emission) ของระบบจัดการพลังงานได้

ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้มุ่งเน้นถึงการลดต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ให้มีค่าต่ำที่สุด โดยส่วนประกอบที่สำคัญของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ประกอบไปด้วย การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม, หม้อต้มน้ำเสริม (Auxiliary boiler) เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม (Absorption chiller), ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน (Thermal energy storage) ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery energy storage) และกำลังสำรองพร้อมจ่าย (Spinning reserve) และหากกลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงาน โดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อลดต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร

## 1.2 ทบทวนวรรณกรรม

มีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ทำงานร่วมกับ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและหากกลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงานที่เหมาะสมมากที่สุด [1] ได้นำเสนอแบบจำลองที่มีการบูรณาการร่วมกันระหว่าง การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม พลังงานแสงอาทิตย์ และแหล่งกำเนิดพลังงานแบบใช้แล้วหมดไป โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลด ต้นทุนของอาคารพาณิชย์ นอกจากนี้ยังมีการวางแผนการลงทุน และกลยุทธ์ของระบบอย่างเหมาะสมอีกด้วย [2] ได้นำเสนอกกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ร่วมกับตัวกักเก็บพลังงานความร้อน โดยตัวกักเก็บพลังงานความร้อนนั้น จะเก็บพลังงานความร้อน เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม และนำมาใช้ในการ จ่ายโหลดความเย็น โดยมุ่งเน้นให้ได้ผลลัพธ์คือลดต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์รวม

นอกจากนั้น ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบจัดการพลังงาน ที่นำความไม่แน่นอนจากปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น มาเป็นเงื่อนไขในการหากกลยุทธ์แบบเหมาะสมที่สุด [3] ได้ทำนายความต้องการ โหลดไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) สำหรับวางแผนการจัดสรร พลังงานภายในที่อยู่อาศัย เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของบ้านอัจฉริยะ (Smart house) โดย ศึกษาความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (Demand forecast error) เพื่อปรับกลยุทธ์เมื่อความ ต้องการโหลดไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงมีการเปลี่ยนแปลง แตกต่างจากที่ทำนายเอาไว้ [4] นำเสนอ แผนกลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน เพื่อจัดตารางเวลาการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ของระบบ พลังงานที่รวมแบตเตอรี่ (Battery-integrated energy system) พฤติกรรมที่ไม่แน่นอนของโหลด ไฟฟ้าได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อให้พบกลยุทธ์ที่เหมาะสม โดยใช้คุณสมบัติของแบตเตอรี่และ พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบในการพิจารณา ระบบจัดการพลังงานแบบคงทน (Robust energy management system) เป็นอีกหนึ่งระบบจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพเมื่อมีความไม่แน่นอน ภายในระบบ เนื่องจากการคำนึงถึงความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น [5] เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการใช้ พลังงานหมุนเวียนภายในไมโครกริด ระบบจัดการพลังงานแบบคงทนได้ถูกนำมาปรับใช้งาน เพื่อ จัดการกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากพลังงานหมุนเวียน โดยนำเสนอกลยุทธ์ที่ช่วยลดต้นทุน โดยใช้ การย่อยปัญหาแบบคู่ (The dual decomposition) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาในการหาค่าที่ เหมาะสมที่สุด [6] นำเสนอวิธีการในการจัดตารางที่เหมาะสมสำหรับไมโครกริดที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับ โครงข่ายไฟฟ้าหลัก โดยคำนึงถึงค่าความผิดพลาดจากการทำนายการผลิตพลังงานของพลังงาน แสงอาทิตย์ พลังงานลม รวมไปถึงความต้องการโหลดไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ โดยได้นำเสนอ ระบบจัดการพลังงานที่มีประหยัลดค่าใช้จ่าย และความเสถียร และใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยกำหนดการ

พลวัต (Dynamic programming) ร่วมกับ วิธีต้นทุนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเท่ากัน (Equal incremental fuel cost method)

จากความไม่แน่นอนจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบที่สนใจ และเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยาก เช่น พลังงานหมุนเวียน ความต้องการโหลดไฟฟ้า การรับมือกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจึงมีความสำคัญ ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนต่าง ๆ ที่เกิดจากความไม่แน่นอนเหล่านี้ได้ ผู้วิจัยจึงพิจารณาความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยมีการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวางแผนเพื่อจัดสรรพลังงาน และหากกลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงานแบบเหมาะสมที่สุด ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่าย เพื่อช่วยลดต้นทุนและสามารถยืนด้วยตนเองได้ (Stand-alone) โดยนำเข้าพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าน้อยที่สุด และได้กลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงานแบบเหมาะสมที่สุด

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า และวิเคราะห์ผลของความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า
2. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้ข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้าของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ จำนวน 28 วัน ในการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า
2. ทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว (Long-short term memory model) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ (Convolutional neural network model)
3. วิเคราะห์ผลของความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อสร้างชุดข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้าภายใต้ความไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้า โดยความไม่แน่นอนถูกจำลองในรูปแบบของความไม่แน่นอนเชิงการบวก (Additive uncertainty model)

4. องค์กรประกอบทางกายภาพทั้งหมดภายในระบบประมาณให้ว่าเป็นเชิงเส้น ละเลยการสูญเสียภายใน พัฒนาและแก้ปัญหาการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะที่สุด โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming)
5. นำเสนอผลลัพธ์การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะที่สุด ด้วยข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้า และโหลดความเย็นของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ จำนวน 7 วัน

### 1.5 วิธีการดำเนินการ

1. ทบทวนวรรณกรรม และศึกษาการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า ระบบจัดการพลังงานแบบคงทน ระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร
2. ทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า วิเคราะห์ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า และสร้างชุดของความต้องการโหลดไฟฟ้าสำหรับวางแผนการจัดสรรพลังงานล่วงหน้า
3. กำหนดปัญหาในแง่ของการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม โดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม
4. ประยุกต์การออกแบบกลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน กับความต้องการโหลดไฟฟ้าและโหลดความเย็นของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่
5. จำลองระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร และเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ

### 1.6 ผลที่ได้รับ

1. กลยุทธ์การจัดสรรแบบเหมาะที่สุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมเมื่อมีตัวกักเก็บพลังงานความร้อนและตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในระบบ ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อแสดงประสิทธิภาพของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ

### 1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์จะแบ่งออกเป็น 6 บท โดยจะแบ่งเนื้อหาออกมาดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญ ทบทวนวรรณกรรม วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย วิธีการดำเนินการ และผลที่ได้รับ บทที่ 2 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 จะอธิบายถึงการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า บทที่ 4 จะกล่าวถึง การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด วิธีการในการหากลยุทธ์การจัดสรรพลังงานแบบเหมาะสมที่สุด ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง บทที่ 5 จะกล่าวถึงการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด และแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนการดำเนินการรวมและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม และบทที่ 6 จะกล่าวถึงบทสรุป และข้อเสนอแนะ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 2

### ความรู้พื้นฐาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า และส่วนประกอบภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ ได้แก่ การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า แบบจำลองความไม่แน่นอน และระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร

#### 2.1 การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า คือการจัดทำค่าทำนายหรือคาดคะเนความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดสรรในการจัดหาไฟฟ้า เพื่อให้มีไฟฟ้าใช้เพียงพอตลอดเวลา [4] รวมไปถึงเป็นกระบวนการสำคัญในการวางแผนอุตสาหกรรมไฟฟ้า และมีบทบาทสำคัญในการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการพัฒนาเศรษฐกิจ ชีวิตประจำวัน ดังนั้นความแม่นยำของการทำนายจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามความแม่นยำของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า มักจะไม่สามารถบรรลุผลลัพธ์ที่ต้องการได้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่ไม่แน่นอน และไม่สามารถควบคุมได้หลายอย่าง เช่น การพัฒนาทางเศรษฐกิจ นโยบายของประเทศ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า [17] หากแบ่งประเภทตามระยะเวลาของการคาดการณ์แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การคาดการณ์ระยะสั้น การคาดการณ์ระยะกลาง และการคาดการณ์ระยะยาว หรือมีนักวิจัยบางกลุ่มได้แบ่งระยะเวลาการคาดการณ์ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ การพยากรณ์ระยะยาว การพยากรณ์ระยะกลาง การพยากรณ์ระยะสั้น และการพยากรณ์ระยะสั้นมาก

1. การคาดการณ์ระยะยาว (Long-term load forecasting) มีระยะเวลามากกว่าหนึ่งปีถึง 20 ปีข้างหน้า การคาดการณ์ประเภทนี้เป็นพื้นฐานสำหรับการวางแผนเชิงกลยุทธ์ และพัฒนาระบบจ่ายไฟและการจ่ายไฟฟ้า
2. การคาดการณ์ระยะกลาง (Medium-term load forecasting) โดยปกติจะใช้เวลาหนึ่งสัปดาห์ถึงหนึ่งปี ซึ่งใช้สำหรับการจัดตารางการบำรุงรักษา และวางแผนการซื้อเชื้อเพลิง ตลอดจนการซื้อขายพลังงาน และการประเมินรายได้สำหรับระบบสาธารณูปโภค



3. การคาดการณ์ระยะสั้น (Short-term load forecasting) ใช้สำหรับช่วงเวลาตั้งแต่หนึ่งชั่วโมงถึงหนึ่งสัปดาห์ เป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการดำเนินงานของอรรถประโยชน์ในแต่ละวัน กำหนดเวลาในการผลิตและการส่งไฟฟ้า
4. การคาดการณ์ระยะสั้นมาก (Very short-term load forecasting) อยู่ในช่วงตั้งแต่ไม่กี่นาทีถึงหนึ่งชั่วโมงข้างหน้า และใช้สำหรับการควบคุมแบบเวลาจริง

แม้จะมีการพัฒนาวิธีการและแบบจำลองการคาดการณ์จำนวนมากเพื่อหาการทำนายที่แม่นยำ จาก [16] ได้แบ่งประเภทของแบบจำลองออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิธีการคาดการณ์แบบหลายปัจจัย (Multi-factor forecasting methods) และ วิธีการคาดการณ์อนุกรมเวลา (Time series forecasting methods) โดยวิธีการคาดการณ์แบบหลายปัจจัย จะมุ่งเน้นไปที่การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลที่แตกต่างกัน ในขณะที่วิธีการคาดการณ์อนุกรมเวลาจะขึ้นอยู่กับอนุกรมเวลาในอดีต ดังนั้น นักวิจัยจำนวนมากจึงหันมาใช้วิธีการคาดการณ์อนุกรมเวลา เพื่อคาดการณ์ความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงปัจจัยที่ซับซ้อน และไม่ใช้วัตถุประสงค์ที่อาจส่งผลกระทบต่อการสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ที่แม่นยำ โดยใช้วิธีการคาดการณ์แบบหลายปัจจัย ดังนั้นวิธีการคาดการณ์อนุกรมเวลาจึงง่าย และรวดเร็วกว่า ตัวอย่างแบบจำลองการคาดการณ์อนุกรมเวลาที่ใช้บ่อย และใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น แบบจำลองการถดถอยอัตโนมัติ (Autoregressive model) แบบจำลองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average model) แบบจำลองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบบูรณาการแบบถดถอยอัตโนมัติ (Auto regressive integrated moving average)

ในประเทศไทยเองก็ได้มีการใช้การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าในการวางแผนการพัฒนาไฟฟ้าของประเทศ การทำนายความต้องการไฟฟ้าสามารถทำนายค่าความต้องการโหลดสูงสุด หรือค่าความต้องการโหลดได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถทราบค่าความต้องการไฟฟ้าเพื่อวางแผนในการสร้างโครงข่าย ระบบของไฟฟ้า โดยการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า ใช้ในวางแผนการพัฒนาไฟฟ้าของประเทศ เพื่อวางแผนทิศทางเพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนขยายกำลังผลิตไฟฟ้า ระบบสายส่ง และระบบสายจำหน่าย ให้เพียงพอกับความต้องการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้ามีอยู่หลายอย่าง เช่น ข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้าในอดีต ฤดูกาล อุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่ได้นำมาใช้ในการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าของงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย ข้อมูลของความต้องการโหลดไฟฟ้าในอดีตของแต่ละวันในสัปดาห์ โดยแยกกลุ่มออกเป็นวันทำการและวันหยุดสุดสัปดาห์ ช่วงเวลาทุก 1 ชั่วโมงใน 1 วัน ตั้งแต่เวลา 00.00 น. - 23.00 น. โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยทำนายล่วงหน้าไป 1 ก้าว

## 2.2 แบบจำลองความไม่แน่นอน

การสร้างแบบจำลองความไม่แน่นอน (Uncertainty model) เป็นวิธีการทางสถิติที่มีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งช่วยให้สามารถระบุพารามิเตอร์หลักที่เกี่ยวข้องกับการสร้างข้อมูล เพื่อลดความไม่แน่นอนเกี่ยวกับค่าคาดการณ์ของข้อมูลนั้น แบบจำลองความไม่แน่นอนสามารถสร้างขึ้นได้หลายรูปแบบ เช่น แบบจำลองความไม่แน่นอนแบบความน่าจะเป็น แบบจำลองความไม่แน่นอนแบบความเป็นไปได้ หรือแบบจำลองความไม่แน่นอนแบบคงทน [8] ความไม่แน่นอนยังแสดงให้เห็นถึงค่าของความผิดพลาด และสามารถใช้ในบริบทของการตรวจสอบค่าความถูกต้องได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้จึงได้นำความไม่แน่นอนเข้ามาพิจารณาในการวางแผนกลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงานของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารด้วย โดยผลที่ได้จากความไม่แน่นอนคือการจัดการลดความเสี่ยงด้วยการปรับลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ การสร้างแบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ จะแสดงในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเลือกรูปแบบของแบบจำลองความไม่แน่นอนให้มีความเหมาะสมจึงมีความสำคัญ

แบบจำลองแบ่งออกเป็นหลายประเภท [18] ได้แบ่งประเภทของแบบจำลองความไม่แน่นอนออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองความไม่แน่นอนแบบความน่าจะเป็น (Possibilistic) แบบจำลองความไม่แน่นอนแบบความเป็นไปได้ (Probabilistic) แบบจำลองความไม่แน่นอนแบบคงทน (Robust optimization) แบบจำลองลูกผสมระหว่างแบบจำลองความไม่แน่นอนแบบความน่าจะเป็นและแบบจำลองความไม่แน่นอนแบบความเป็นไปได้ (Hybrid probabilistic and possibilistic) แบบจำลองการวิเคราะห์ฐานตามช่วงเวลา (Interval base analysis) และแบบจำลองทฤษฎีการตัดสินใจช่องว่างข้อมูล (Information gap decision theory)

## 2.3 ระบบการจัดการพลังงานภายในอาคาร

ระบบการจัดการพลังงาน หรือระบบบริหารจัดการพลังงาน คือระบบที่ช่วยในการบริหารจัดการการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด มีความเหมาะสม โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี และการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้ในการบริหาร โดยระบบจัดการพลังงานแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home energy management system) ระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร หรือระบบจัดการพลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม (Factory energy management system) โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเน้นที่ ระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร

ระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร คือระบบจัดการพลังงานที่ช่วยบริหารการใช้พลังงานภายในอาคาร เช่น ห้างสรรพสินค้า หรืออาคารสำนักงาน โดยระบบจัดการพลังงานจะมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ มีการรับข้อมูล ประมวลผล และการประสานงานกันระหว่างอุปกรณ์ โดยใช้ขีดจำกัดความสามารถของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบ และความ

ต้องการของผู้ใช้งาน ในบางระบบสามารถวิเคราะห์จุดที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานระหว่างระบบต่าง ๆ ตามที่ผู้ใช้งานกำหนด เช่น ต้องการควบคุมการทำงานให้มีค่าไฟฟ้าน้อยที่สุด

ส่วนประกอบหลักของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ประกอบไปด้วย ระบบตรวจวัดอัจฉริยะ (Smart meter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายในพื้นที่ของอาคาร โดยจะตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงาน ระบบสื่อสาร ทำหน้าที่เชื่อมโยง แลกเปลี่ยนข้อมูล และคำสั่งผ่านระบบต่าง ๆ โดยอาจจะใช้เป็นแบบมีสายหรือไร้สาย ระบบประมวลผล เมื่อได้รับข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงได้รับคำสั่งจากผู้ดูแลอาคาร ระบบประมวลผลจะวิเคราะห์ข้อมูลตามเงื่อนไขที่กำหนดและจะส่งการหรือแสดงผลการวิเคราะห์ให้ผู้เกี่ยวข้องได้รับทราบ ระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ เป็นต้น และระบบควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์สั่งการ ระบบจัดการพลังงานของอาคารจะต้องมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโครงข่ายไฟฟ้า ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบธรรมดา [6]

ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าพร้อม หม้อต้มน้ำเสริม เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่าย

1. การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าพร้อม คือเทคโนโลยีที่มีการผลิตไฟฟ้าและความร้อนพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตแบบทั่วไป โดยเป็นการใช้ประโยชน์จากทั้งพลังงานไฟฟ้า พลังงานกล และพลังงานความร้อนร่วมกัน จากแหล่งเชื้อเพลิงเพียงแหล่งเดียว โดยแบ่งประเภทตามลักษณะการผลิตได้ 2 ประเภทคือ วัฏจักรบน (Topping cycle) เป็นการผลิตที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าก่อน แล้วจึงนำความร้อนจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ต่อไป ประเภทที่สองคือ วัฏจักรล่าง (Bottom cycle) เป็นการผลิตที่ทำงานตามกระบวนการความร้อนก่อน แล้วจึงนำความร้อนจากกระบวนการไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการเลือกใช้ต้นกำลังของกำลังการผลิตรวมขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ โดยพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน (Power to heat ratio) ต้นกำลังที่นิยมใช้ ได้แก่ กังหันไอน้ำ กังหันก๊าซ และเครื่องยนต์สันดาปภายใน [22]
2. หม้อต้มน้ำเสริม มีหน้าที่ผลิตไอน้ำ เพื่อนำไปใช้ในงานทางด้านความร้อน หรือด้านกำลังการทำงาน โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้แก่ น้ำ เพื่อให้ได้ไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิที่ต้องการ

3. เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม เป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนจากแหล่งอื่น มาขับให้เครื่องทำความเย็นทำงาน โดยจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือก๊าซร้อน และเหมาะที่จะทำงานควบคู่ไปกับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม
4. ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานความร้อน โดยในปัจจุบัน มีหลายเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยให้สามารถเก็บพลังงานความร้อนได้ชั่วโมง วัน หรือ เดือน โดยตัวกักเก็บพลังงานความร้อนประเภทต่าง ๆ จะแตกต่างกันที่ขนาดของการกักเก็บ และวิธีการจัดเก็บที่ใช้ กระบวนการเก็บพลังงานความร้อนสามารถอธิบายได้เป็นสามขั้นตอน เรียกว่าวัฏจักร คือการชาร์จ การจัดเก็บ และการคายประจุ [23]
5. ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเก็บพลังงาน และนำมาใช้เมื่อมีความต้องการ โดยส่วนมาก ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มักใช้งานควบคู่กับพลังงานหมุนเวียน เพื่อกักเก็บพลังงานไว้ใช้เนื่องจากปัจจัยที่มีความจำกัด และมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนได้เป็นอย่างมาก
6. กำลังสำรองพร้อมจ่าย เป็นกำลังผลิตที่พร้อมใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ หรือสามารถสั่งเพิ่มได้ตามความต้องการ เพื่อรองรับกรณีเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีปัญหา หรือมีเหตุฉุกเฉิน เช่น มีโรงไฟฟ้าหยุดผลิต หรือการหยุดเพื่อซ่อมบำรุง กำลังสำรองพร้อมจ่ายจะช่วยให้มีไฟฟ้าใช้ต่อไปโดยไม่เกิดไฟฟ้าดับหรือกระแสไฟฟ้าดก

### บทที่ 3

#### การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

จากระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่พิจารณา ภายในอาคารประกอบไปด้วยความต้องการพลังงาน 2 ประเภท คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้า และความต้องการพลังงานความร้อน เพื่อวางแผนการจัดสรรพลังงานให้มีประสิทธิภาพ และดูแลแนวโน้มการใช้พลังงานภายในอาคาร การทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้ เพื่อวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า และสร้างชุดความต้องการโหลดไฟฟ้าภายใต้ความไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในกลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน โดยใช้แบบจำลองในการทำนายทั้งหมด 3 แบบจำลอง

#### 3.1 แบบจำลองการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

ในการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ ถูกเลือกนำมาใช้เพื่อทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าล่วงหน้า โดยทำการทำนายล่วงหน้าจำนวน 1 ก้าว โดยความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย แสดงด้วยสมการต่อไปนี้

$$\hat{U}_k = U_k + \Delta U_k \quad (3.1)$$

เมื่อ

$\hat{U}_k$	คือ โหลดไฟฟ้าจากการทำนาย
$U_k$	คือ โหลดไฟฟ้าจริง
$\Delta U_k$	คือ ความแตกต่างระหว่างโหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย

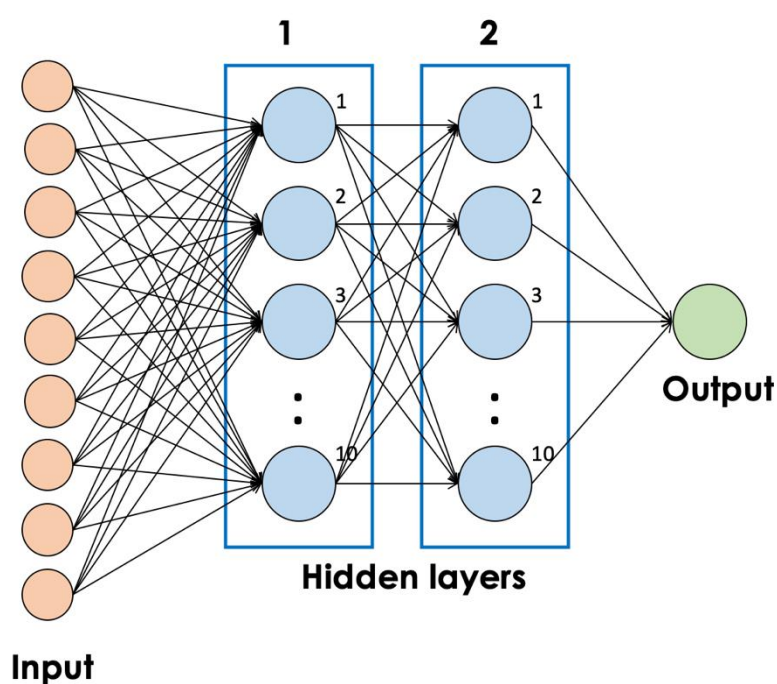
ข้อมูลที่ใช้ในการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าคือ ชุดข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้าของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ในหน่วยเมกะวัตต์ ราย 1 ชั่วโมง ในเดือนมิถุนายน จำนวนทั้งหมด 28 วัน โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดของวันทำการและชุดของวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยข้อมูลสำหรับการฝึกอบรม (Training set) และข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing set) มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 75 และร้อยละ 25 ของชุดข้อมูลตามลำดับ สำหรับวันทำการชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอบรม และการทดสอบเท่ากับ 15 วันและ 5 วัน ตามลำดับ สำหรับวันหยุดสุดสัปดาห์ ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอบรม และการทดสอบเท่ากับ 6 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ โดยมีสัญญาณขาเข้า (Input) 9 ชุด แสดงดังตารางที่ 3.1 และสัญญาณขาออก (Output) คือความต้องการโหลดไฟฟ้าใน 1 ก้าวถัดไป

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

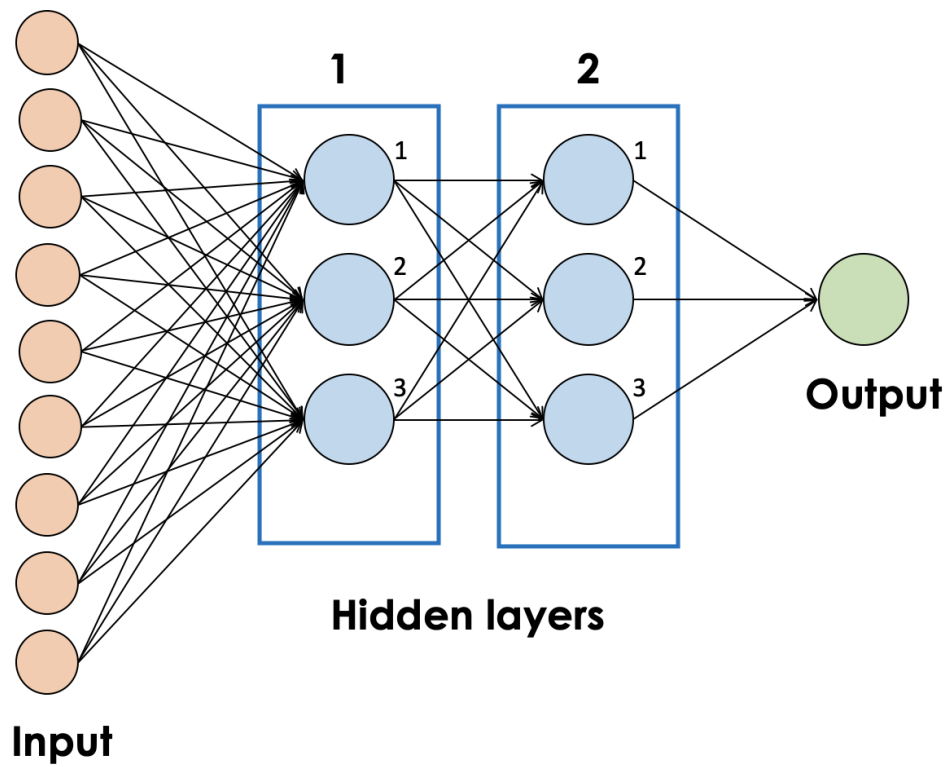
ชุดสัญญาณขาเข้า	จำนวนค่า	
	วันทำการ	วันหยุดสุดสัปดาห์
ความต้องการโหลดไฟฟ้า	360	144
ความต้องการโหลดไฟฟ้าย้อนหลัง 1 ชั่วโมง	360	144
ความต้องการโหลดไฟฟ้าย้อนหลัง 2 ชั่วโมง	360	144
ความต้องการโหลดไฟฟ้าย้อนหลัง 3 ชั่วโมง	360	144
ความต้องการโหลดไฟฟ้าย้อนหลัง 4 ชั่วโมง	360	144
โหลดไฟฟ้าในชั่วโมงเดียวกันของวันก่อนหน้า	360	144
โหลดไฟฟ้าในชั่วโมงเดียวกันของสัปดาห์ก่อนหน้า	360	144
ชั่วโมงของวัน	[1-24]	[1-24]
วันของสัปดาห์	[1-5]	[1-2]

### 3.1.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

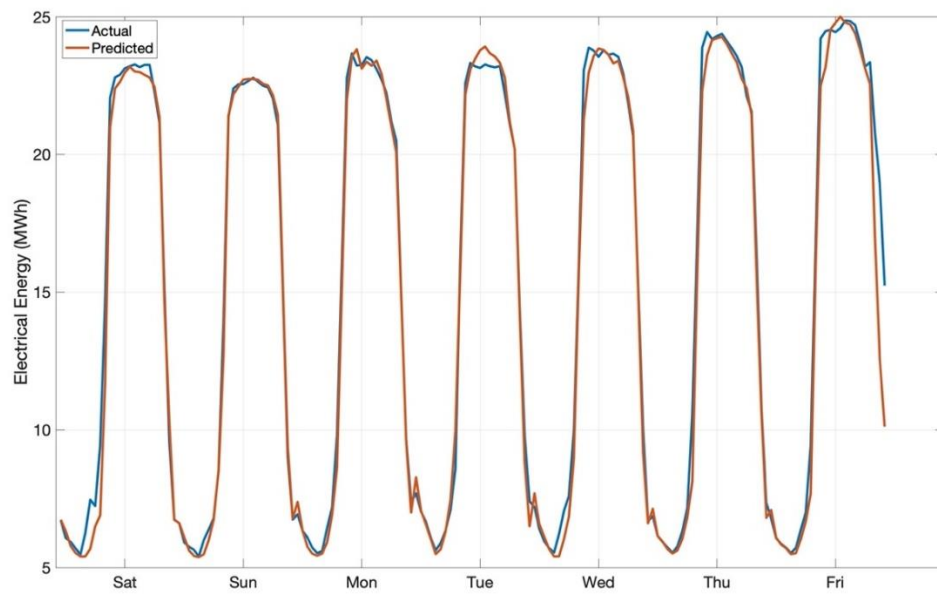
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเลียนแบบระบบประสาทชีวภาพขั้นพื้นฐาน โดยองค์ประกอบสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียมคือ เซลล์ประสาท (Neurons) ที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมาก [19] โดยสามขั้นตอนหลักสำหรับการออกแบบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม คือ ระบุตัวแปรสัญญาณขาเข้าที่เหมาะสม ตั้งค่าโครงสร้างเครือข่าย และออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithm) การฝึกอบรมที่ให้ประสิทธิภาพการทำนายที่ดีที่สุด [3] โครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ ประกอบไปด้วย สัญญาณขาเข้าทั้งหมด 9 ชุด ดังตารางที่ 3.1 โดยข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการฝึกอบรม โดยโครงสร้างของชั้นซ่อน (Hidden layer) จำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นซ่อนมีเซลล์ประสาท 10 หน่วย และ 3 หน่วย ตามลำดับ และสอนด้วยขั้นตอนวิธีแบบเบย์เซียน (Bayesian regularization backpropagation) แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวันทำการ วันหยุดสุดสัปดาห์ และภาพแสดงระหว่างโหลดไฟฟ้าจริง และโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย แสดงในรูปที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวันทำการ



รูปที่ 1.2 แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวันหยุดสุดสัปดาห์

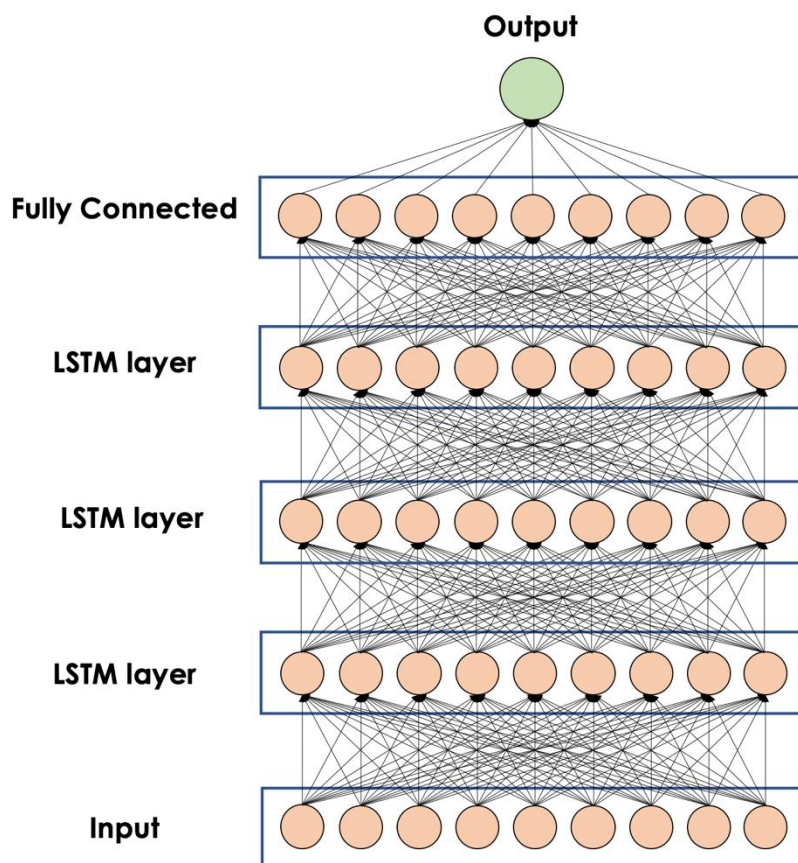


รูปที่ 3.3 โหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

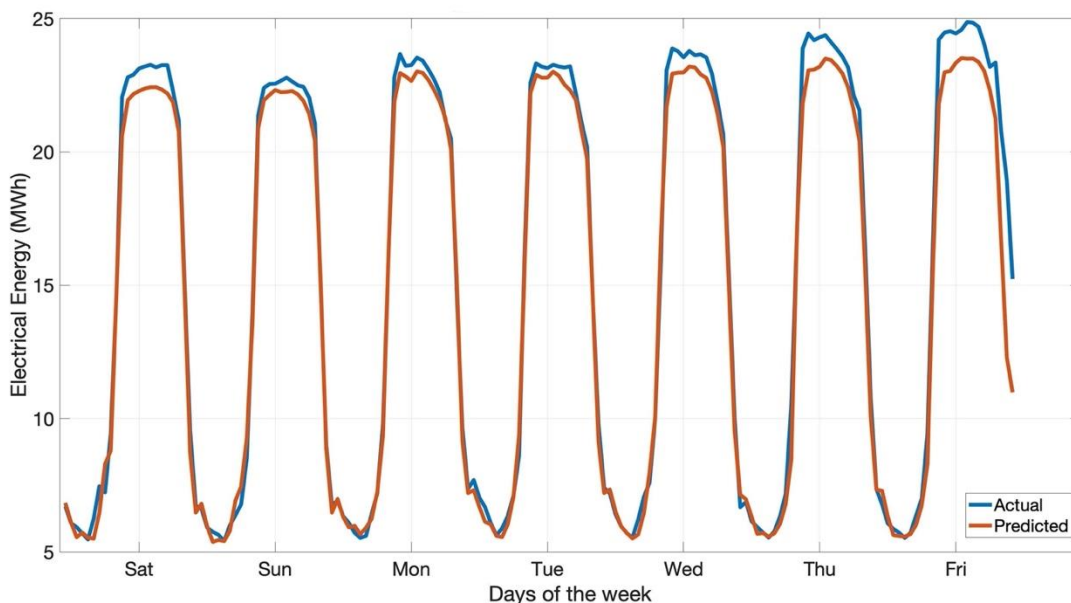


### 3.1.2 แบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว

ความทรงจำระยะสั้นระยะยาว เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบหนึ่งที่ถูกออกแบบมาเพื่อประมวลผลแบบลำดับ ซึ่งจัดเป็นประเภทโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent neural network) เนื่องจากมีการนำสัญญาณขาออกวนกลับมาใช้ในการประมวลผล โดยแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาวมีส่วนของความจำเพิ่มที่มีประสิทธิภาพในการตัดสินใจสำหรับการอ่าน เขียน และลบเข้ามา [20] สำหรับแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาวที่นำเสนอ ประกอบไปด้วย สัญญาณขาเข้า 9 ชุด ดังตารางที่ 3.1 โดยกำหนดให้เป็นลำดับชั้น (Sequence input layer) ชั้นความจำระยะสั้นระยะยาว (LSTM layer) จำนวน 3 ชั้น ชั้นเชื่อมต่ออย่างเต็มที่ (Fully connected layer) และชั้นสัญญาณขาออกแบบถดถอย (Regression output layer) โดยใช้ตัวเลือกการฝึกอบรมแบบการประเมินช่วงเวลาแบบปรับได้ (Adaptive moment estimation) แบบจำลองโครงสร้างของแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว และภาพแสดงโหนดไฟฟ้าจริงและโหนดไฟฟ้าจากการทำนาย แสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



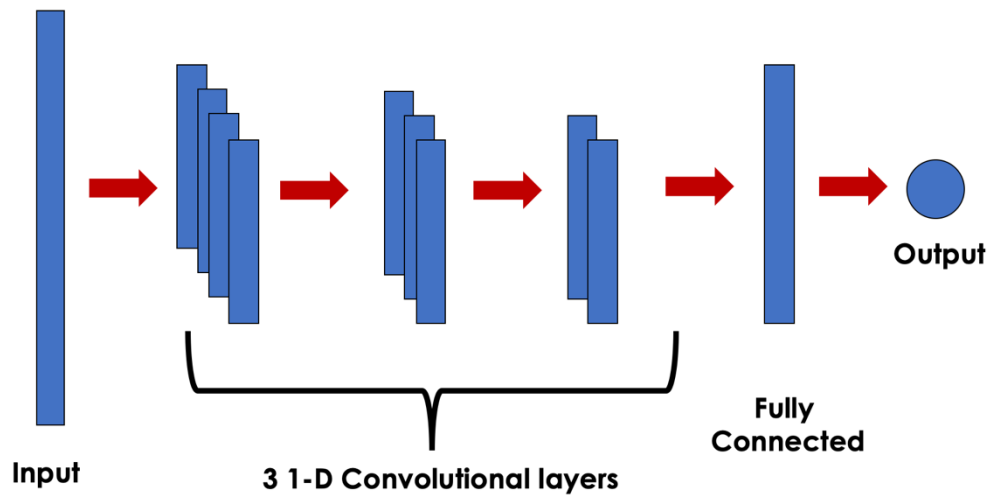
รูปที่ 3.4 แบบจำลองโครงสร้างของแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว



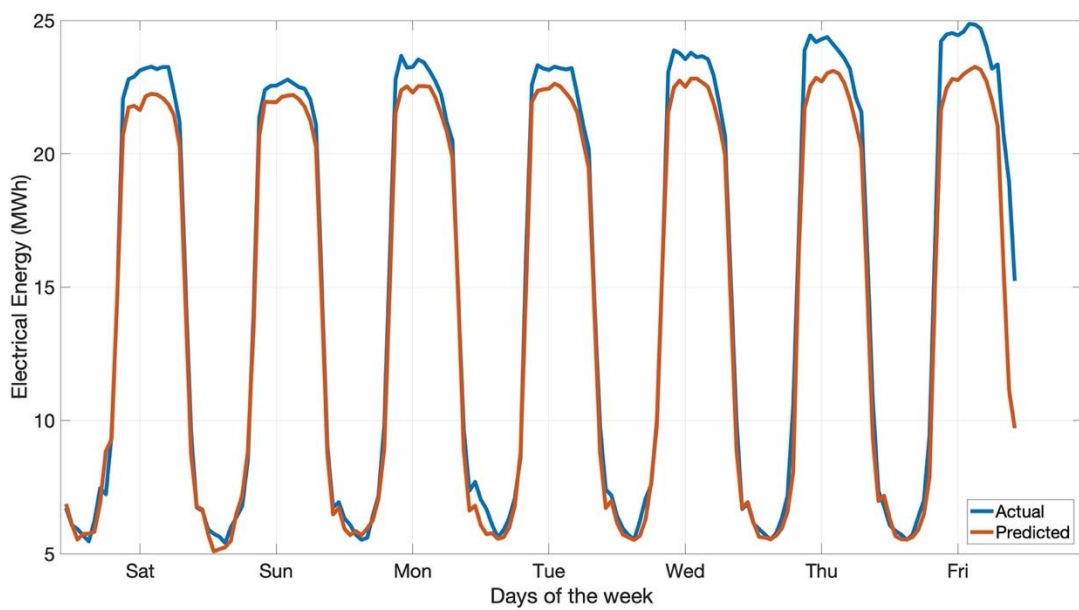
รูปที่ 3.5 โหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนายโดยแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว

### 3.1.3 แบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ

สำหรับแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ เป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่ง โดยจำลองการมองเห็นของมนุษย์และแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อย และนำกลุ่มของพื้นที่ย่อยนั้นมาผสมกัน เพื่อประมวลผล โดยส่วนประกอบสำคัญของแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ คือ ตัวกรอง (Filter) โดยตัวกรองมีคุณสมบัติในการช่วยดึงคุณลักษณะที่สนใจออกมา โดยทั่วไปตัวกรอง 1 อันสามารถดึงคุณลักษณะได้ 1 ชนิด โดยแบบจำลองนี้สามารถทำได้ตั้งแต่ 1 มิติ ไปจนถึงหลายมิติ [21] แบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการที่ได้นำเสนอ มีโครงสร้างประกอบไปด้วย สัญญาณขาเข้า 9 ชุด ดังตาราง 3.1 ขนาดและจำนวนของตัวกรอง คือ 5 และ 150 ตามลำดับ แถวลำดับชั้นประกอบไปด้วย ชั้นสังวัตนาการหนึ่งมิติ จำนวน 3 ชั้น ชั้นเชื่อมต่ออย่างเต็มที่ และสัญญาณขาออก และใช้ตัวเล็อกการฝึกอบรมแบบการประเมินช่วงเวลาแบบปรับได้ แบบจำลองโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ และภาพแสดงโหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย แสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แบบจำลองโครงสร้างของโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ



รูปที่ 3.7 โหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนายโดย  
แบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ

### 3.1.4 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

1. ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error) ค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย เป็นการวัดความแม่นยำในการทำนายของวิธีการทำนายทางสถิติ โดยจะแสดงความแม่นยำเป็นอัตราส่วนที่กำหนดโดยสมการต่อไปนี้

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{U_k - \hat{U}_k}{U_k} \right| \quad (3.2)$$

2. ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error) ค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยคือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าตัวอย่างหรือค่าประชากรที่ใช้บ่อยซึ่งคาดการณ์โดยแบบจำลองหรือตัวประมาณค่าและค่าที่สังเกตได้ กำหนดโดยสมการต่อไปนี้

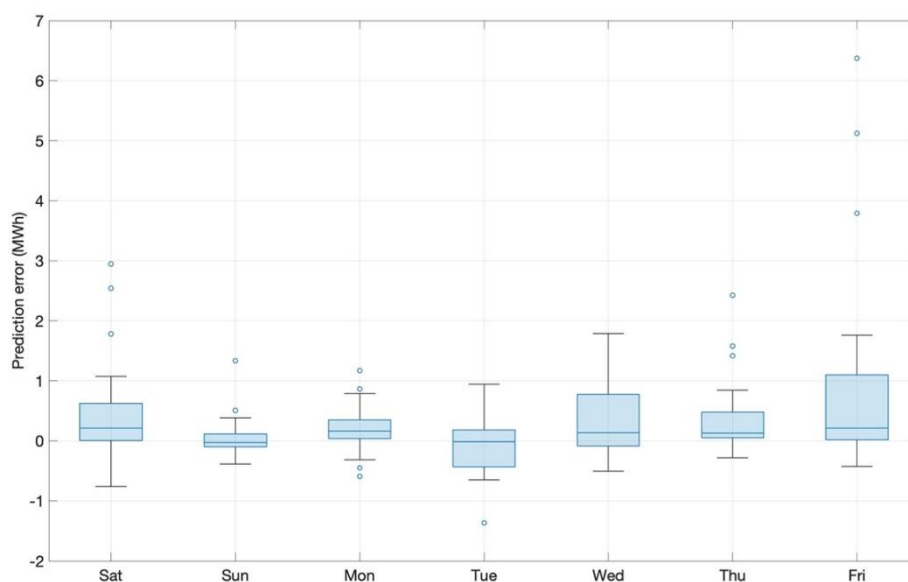
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\hat{U}_k - U_k)^2}{n}} \quad (3.3)$$

ผลจากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าใช้ดัชนีของค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยเป็นตัวชี้วัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ผลของค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองทั้งสาม แสดงในตารางต่อไปนี้

จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY  
ตารางที่ 3.2 ผลลัพธ์จากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

ดัชนี	โครงข่ายประสาทเทียม	ความจำระยะสั้นระยะยาว	โครงข่ายประสาทสังวัตนาการ
วันทำการ			
MAPE	3.93	4.21	5.95
RMSE	1.01	1.09	1.38
วันหยุดสุดสัปดาห์			
MAPE	3.75	3.92	4.44
RMSE	0.72	0.59	0.72

จากตารางที่ 3.2 จะพบว่าค่าดัชนีชี้วัดความคลาดเคลื่อนของโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันมีภาพรวมของค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ ดังนั้น แบบจำลองโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชันจะถูกนำมาดำเนินการในการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า ค่าของความต้องการโหลดไฟฟ้าจริงและความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชัน แสดงในรูปที่ 3.3 และแผนภาพกล่องของความแตกต่างระหว่างค่าโหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพกล่องของความแตกต่างระหว่างค่าโหลดไฟฟ้าจริงและโหลดไฟฟ้าจากการทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชัน

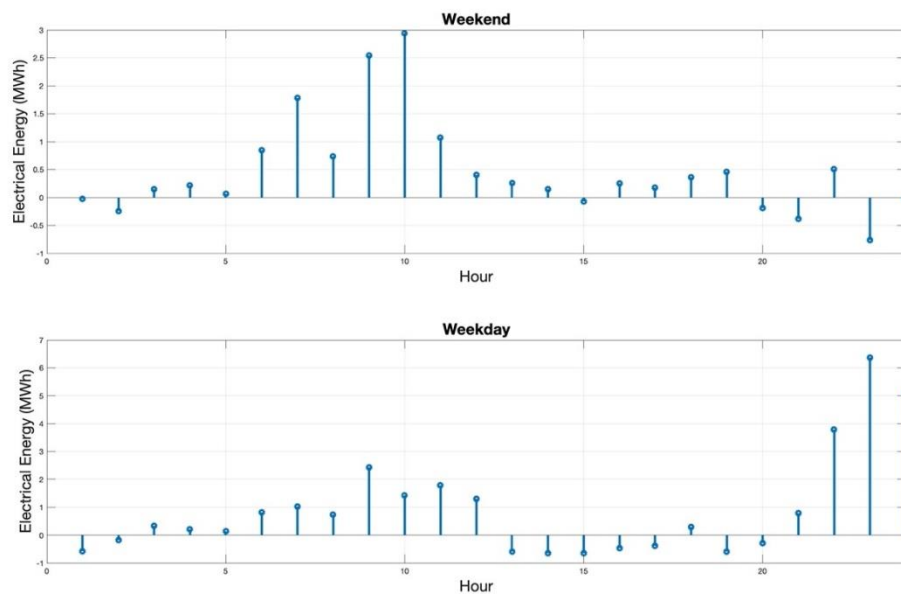
### 3.2 ความไม่แน่นอนของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

หลังจากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทยูนิฟิเคชัน เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความต้องการโหลดไฟฟ้าจริง และความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย เพื่อสร้างความไม่แน่นอนของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า ค่าความคลาดเคลื่อนเลวที่สุด (Worst case error) ได้ถูกกำหนดขึ้น นิยามด้วย ค่าคลาดเคลื่อนสูงสุดของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า ของวันทำการหรือวันหยุดสุดสัปดาห์สำหรับแต่ละช่วงเวลา ( $k = 0, 1, 2, \dots, 23$ ) แทนด้วย  $\Delta U_{k,max}$  ชุดค่าคลาดเคลื่อนเลวที่สุดแสดงในรูปที่ 3.9

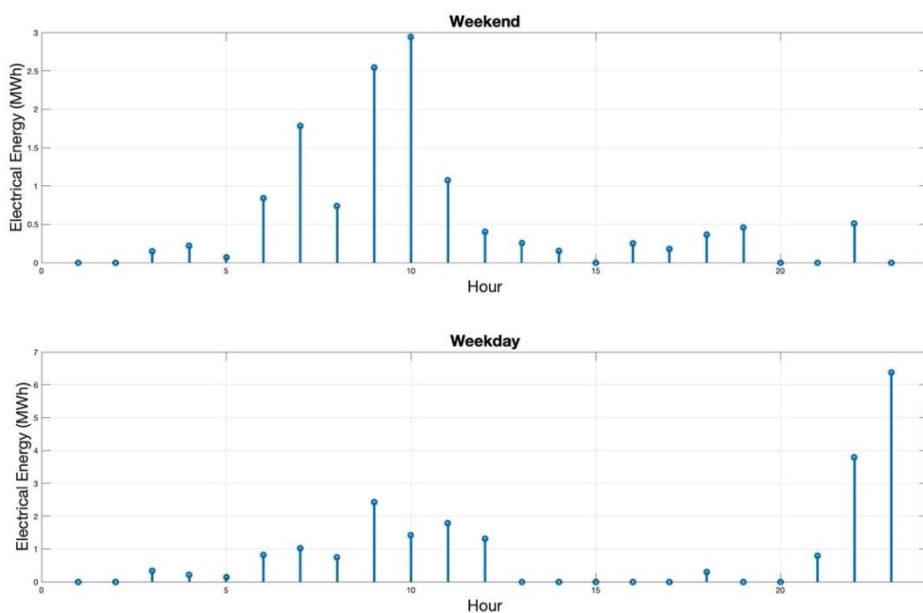
เพื่อวางแผนการจัดสรรพลังงาน โดยสำรองกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการพลังงานไฟฟ้า และรักษาสมดุลระหว่างการผลิตและการใช้ไฟฟ้า ภายในความไม่แน่นอน ประกอบไปด้วยค่าความคลาดเคลื่อนเร็วที่สุดระหว่างความต้องการโหลดไฟฟ้าจริง และความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายในแต่ละช่วงเวลา โดยจะพิจารณาความคลาดเคลื่อนเร็วที่สุดด้านบวก สำหรับกรณีที่ความคลาดเคลื่อนเร็วที่สุดอยู่ด้านลบ จะกำหนดความไม่แน่นอนมีค่าเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10

เมื่อได้จัดทำชุดของความไม่แน่นอนจากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าแล้ว ชุดความไม่แน่นอนนั้นจะถูกนำมาพิจารณาในชุดความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย เพื่อสร้างชุดความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า แทนด้วย  $\hat{U}_{wc,k}$  เพื่อวางแผนในกลยุทธ์สำหรับจัดสรรพลังงาน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\hat{U}_{wc,k} = U_k + \Delta U_{k,max} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.9 ชุดค่าคลาดเคลื่อนเร็วที่สุด



รูปที่ 3.10 ความไม่แน่นอนของการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า

### 3.3 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว และแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการทำนายออกมาแม่นยำมากที่สุด จากการวัดค่าความคลาดเคลื่อนโดยค่าคลาดเคลื่อนร้อยละสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ย ผลจากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในการสร้างชุดข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้า ร่วมกับความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า โดยการหาค่าผิดพลาดที่เลวที่สุดมาปรับปรุงข้อมูล เพื่อได้ชุดความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวางแผนในการจัดสรรพลังงานในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร

## บทที่ 4

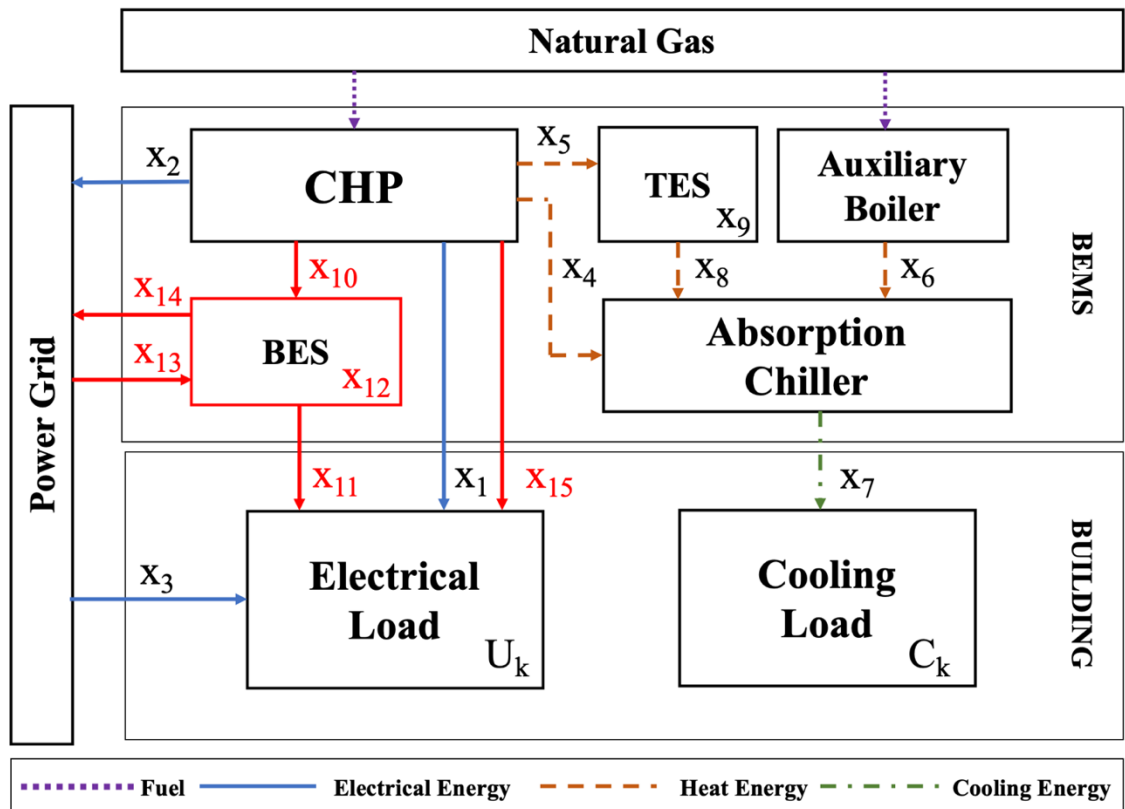
### การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

#### 4.1 คำอธิบายระบบ

ระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วย การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม หม้อต้มน้ำเสริม เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ กำลังสำรองพร้อมจ่าย และระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งทั้งหมดเป็นส่วนในการผลิตพลังงานเพื่อจัดสรร สำหรับความต้องการโหลดภายในอาคาร ซึ่งมีสองประเภท นั่นคือ พลังงานไฟฟ้า (Electrical load) และ พลังงานความเย็น (Cooling load) การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมเป็นองค์ประกอบหลักที่จ่ายพลังงานให้กับความต้องการเหล่านั้น โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนพร้อมกัน ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่าย ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่ายจะทำงานเมื่อเกิดความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดเกิดขึ้น และมีโครงข่ายไฟฟ้าที่จะช่วยป้องกันกรณีมีการขาดแคลนไฟฟ้า นอกจากนี้การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมยังทำกำไรจากการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้า

ในขณะเดียวกัน เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมเป็นองค์ประกอบที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานความเย็นเพื่อจ่ายให้กับความต้องการโหลดความเย็นภายในอาคาร เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมได้รับพลังงานความร้อนจาก การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม หม้อต้มน้ำเสริม และตัวกักเก็บพลังงานความร้อน เนื่องจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมคือการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนพร้อมกัน เมื่อเกิดพลังงานความร้อนที่มากเกินไประหว่างการทำงาน พลังงานส่วนเกินเหล่านั้นจะถูกซาร์จไปที่ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน เพื่อนำไปใช้ในระบบต่อไป โดยทั่วไปการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตและจัดสรรพลังงานความร้อน และจะร่วมกับตัวกักเก็บพลังงานความร้อน และหม้อต้มน้ำเสริม เพื่อจัดหาพลังงานความร้อนให้เพียงพอต่อความต้องการโหลดความเย็น แผนภาพของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ แสดงดังรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.2 ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ

#### 4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ถูกกำหนดเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบเหมาะที่สุดสำหรับการจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยแบ่งออกเป็น การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะที่สุด วัตถุประสงค์ทั้งสองอยู่ภายใต้เงื่อนไขการจัดสรรพลังงาน นั่นคือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน กลยุทธ์การจัดสรรเหล่านี้มีเงื่อนไขบังคับขององค์ประกอบทั้งหมดในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร องค์ประกอบทางกายภาพทั้งหมดจะถูกประมาณให้เป็นเชิงเส้น และละเลยการสูญเสียภายใน และมีการกำหนดปัญหาและเงื่อนไขบังคับขึ้นเพื่อให้ผลลัพธ์มีขอบเขต ข้อจำกัดหรือคุณสมบัติตามที่ต้องการ และยังช่วยกำหนดทิศทางของปัญหาว่าควรจะเป็นอย่างไร

#### 4.2.1 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด

การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กำหนดให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ต้นทุนการดำเนินการรวม โดยต้นทุนการดำเนินการรวมคือค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน (Energy cost) รวมกับค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า โดยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับ การซื้อพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าที่มากที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์คือการลดต้นทุนการดำเนินการรวมให้มีค่าน้อยที่สุด

$$TOC = EC + DCC \quad (4.1)$$

$$EC = \sum_{k=1}^{n \times d} C_{CHP} (x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}) + p_k (x_{3,k} + x_{13,k}) - q_k (x_{2,k} + x_{14,k}) + C_{AB} x_{6,k} \quad (4.2)$$

$$DCC = \frac{d_{PG}}{\Delta t} \max_{h=1, \dots, n \times d} x_{3,k} \quad (4.3)$$

เมื่อ

$x_{i,k}$	คือ การไหลของพลังงาน ดังรูปที่ 1
$C_{CHP}$	คือ ค่าดำเนินการของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)
$C_{AB}$	คือ ค่าดำเนินการของหม้อต้มน้ำเสริม (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)
$p_k$	คือ ราคาในการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า
$q_k$	คือ ราคาในการขายไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้า
$d_{PG}$	คือ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า
$\Delta t$	คือ ช่วงเวลา
$n$	คือ จำนวนช่วงเวลาในหนึ่งวัน
$d$	คือ จำนวนของวัน

#### 4.2.2 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด กำหนดให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม โดยคำนวณจากค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต และจัดสรรพลังงานขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบ โดยจุดประสงค์เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบให้มีค่าน้อยที่สุด

$$\begin{aligned} \text{TCOE} = & \text{EF}_{\text{CHP}}(x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}) + \text{GEF}x_{3,k} \\ & + \frac{\text{EF}_{\text{AB}}}{\eta_{\text{AB}}}x_{6,k} \end{aligned} \quad (4.4)$$

เมื่อ

$\text{EF}_{\text{CHP}}$	คือ ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม (ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เมกะวัตต์ชั่วโมง)
$\text{EF}_{\text{AB}}$	คือ ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหม้อต้มน้ำเสริม (ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เมกะวัตต์ชั่วโมง)
$\text{GEF}$	คือ ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโครงข่ายไฟฟ้า (ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เมกะวัตต์ชั่วโมง)
$\eta_{\text{AB}}$	คือ ค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำเสริม

#### 4.2.3 ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน ณ มหาวิทยาลัย

ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน คืออุปกรณ์ในการกักเก็บความร้อนชั่วคราว เพื่อนำไปใช้ในภายหลัง เงื่อนไขบังคับของตัวกักเก็บพลังงานความร้อนประกอบด้วย อัตราการชาร์จและดิชาร์จ สถานะประจุ (State of charge) และขอบเขตระหว่างความจุขั้นต่ำและความจุสูงสุด

$$\epsilon x_{5,k} \leq R_1 \quad (4.5)$$

$$\frac{1}{\delta} x_{8,k} \leq R_2 \quad (4.6)$$

$$x_{9,k} = \text{init}(1 - \mu)^k + \sum_{j=1}^k \left[ (\epsilon x_{5,j}) - \left( \frac{1}{\delta} x_{8,j} \right) \right] (1 - \mu)^{k-j+1} \quad (4.7)$$

$$S_{\min} \leq x_{9,k} \leq S_{\max} \quad (4.8)$$

#### 4.2.4 ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เป็นการกักเก็บพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าชั่วคราว เพื่อนำมาใช้ในภายหลัง เงื่อนไขบังคับของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ประกอบด้วย อัตราการชาร์จและดิสชาร์จ สถานะประจุ และขอบเขตระหว่างความจุขั้นต่ำและความจุสูงสุด

$$0 \leq x_{10,k} + x_{13,k} \leq d_{sc} \quad (4.9)$$

$$0 \leq x_{11,k} + x_{14,k} \leq d_{sd} \quad (4.10)$$

$$x_{12,k} = x_{12,k-1} + \eta_c \eta_i (x_{10,k} + x_{13,k}) - \frac{(x_{11,k} + x_{14,k})}{\eta_c \eta_i} \quad (4.11)$$

$$B_{\min} \leq x_{12,k} \leq B_{\max} \quad (4.12)$$

#### 4.2.5 กำลังสำรองพร้อมจ่าย

กำลังสำรองพร้อมจ่าย คือพลังงานที่มาจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมเพื่อรองรับความไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้า โดยมีข้อจำกัดคือไม่เกินกำลังการผลิตสูงสุดที่การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมสามารถผลิตได้ในหนึ่งช่วงเวลา การทำงานของกำลังสำรองพร้อมจ่ายแสดงดังต่อไปนี้ เมื่อเวลาน้อยกว่าชั่วโมงที่ 4 กำลังสำรองพร้อมจ่ายจะรองรับส่วนที่ไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้า และหากเวลาเกินจากช่วง 4 ชั่วโมงแรก กำลังสำรองพร้อมจ่ายจะทำงานร่วมกับแบตเตอรี่เพื่อรองรับความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า

$$P_{\text{CHP,min}} \Delta t \leq x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k} \leq P_{\text{CHP,max}} \Delta t \quad (4.13)$$

$$\frac{x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}}{x_{4,k} + x_{5,k}} = P2H \quad (4.14)$$

$$\left| (x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}) - (x_{1,k-1} + x_{2,k-1} + x_{10,k-1} + x_{14,k-1} + x_{15,k-1}) \right| \leq R_{\text{CHP}} \quad (4.15)$$

### 4.3 กลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงาน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด มีเงื่อนไขบังคับที่เหมือนกัน และเนื่องจากความต้องการพลังงานภายในอาคารมี 2 ประเภทตามที่พิจารณา ดังนั้น กลยุทธ์การจัดสรรสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามประเภทของพลังงานที่จ่ายให้กับความต้องการ นั่นคือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความเย็น

#### 4.3.1 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้า

สำหรับกลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงานไฟฟ้า ชุดของความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย จะถูกนำมาวางแผนในการจัดสรรพลังงาน โดยถูกแบ่งออกเป็น 4 กรณี ขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า ( $\hat{U}_{wc,k}$ ) โดยมีการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมเป็นส่วนประกอบหลักในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้า กรณีแรกคือเมื่อไม่มีความต้องการโหลดไฟฟ้า อุปกรณ์ในระบบจะไม่มีการจัดสรรพลังงาน กรณีที่สองเมื่อค่าความต้องการจริง ( $U_k$ ) มีค่าน้อยกว่าค่าที่ทำนายไว้ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ จะทำงานร่วมกันในการจ่ายพลังงานให้กับความต้องการเหล่านั้น กรณีที่สามความต้องการจริงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ทำนายไว้ และน้อยกว่ากำลังการผลิตสูงสุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับความต้องการตามค่าที่ได้ทำนายเอาไว้ ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่ายจะช่วยรองรับส่วนของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น และกรณีสุดท้าย ความต้องการจริงมีค่าน้อยกว่าค่าที่ทำนายไว้ และมากกว่ากำลังการผลิตสูงสุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับความต้องการตามค่าที่ได้ทำนายเอาไว้ ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ กำลังสำรองพร้อมจ่าย และการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายจะช่วยรองรับส่วนของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น สำหรับการทำงานของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะชาร์จพลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมในช่วงสี่ชั่วโมงแรกของวัน และจะจ่ายพลังงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง โดยกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้าแสดงดังต่อไปนี้

If  $U_k = 0$ , then

$$x_{1,k} = x_{10,k} = x_{14,k} = x_{4,k} = x_{5,k} = 0$$

elseif  $U_k \leq \hat{U}_{wc,k} \ \&\& \ U_k \leq P_{\text{CHP,max}}$  , then

$$P_{\text{CHP,min}}\Delta t \leq x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} \leq P_{\text{CHP,max}}\Delta t$$

$$\frac{x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k}}{x_{4,k} + x_{5,k}} = P2H$$

$$|(x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k}) - (x_{1,k-1} + x_{2,k-1} + x_{10,k-1})| \leq R_{\text{CHP}}$$

$$x_{12,k} = x_{12,k-1} + \eta_c \eta_i (x_{10,k} + x_{13,k}) - \frac{(x_{11,k} + x_{14,k})}{\eta_c \eta_i}$$

$$S_{\text{min}} \leq x_{12,k} \leq S_{\text{max}}$$

if  $k \leq 4$ , then

$$x_{1,k} \leq U_k$$

$$x_{10,k} \leq d_{sc}$$

$$0 \leq x_{10,k} \leq d_{sc}$$

else

$$x_{1,k} + x_{11,k} \leq U_k$$

end.

elseif  $U_k > \hat{U}_{wc,k} \ \&\& \ U_k < P_{\text{CHP,max}}$ , then

$$P_{\text{CHP,min}}\Delta t \leq x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k} \leq P_{\text{CHP,max}}\Delta t$$

$$\frac{x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}}{x_{4,k} + x_{5,k}} = P2H$$

$$|(x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}) - (x_{1,k-1} + x_{2,k-1} + x_{10,k-1} + x_{14,k-1} + x_{15,k-1})| \leq R_{\text{CHP}}$$

$$x_{12,k} = x_{12,k-1} + \eta_c \eta_i (x_{10,k} + x_{13,k}) - \frac{(x_{11,k} + x_{14,k})}{\eta_c \eta_i}$$

$$S_{\text{min}} \leq x_{12,k} \leq S_{\text{max}}$$

if  $k \leq 4$ , then

$$x_{1,k} \leq \hat{U}_{wc,k}$$

$$x_{15,k} = U_k - \hat{U}_{wc,k}$$

$$x_{10,k} \leq d_{sc}$$

$$0 \leq x_{10,k} \leq d_{sc}$$

else

$$x_{1,k} \leq \hat{U}_{wc,k}$$

$$x_{11,k} + x_{15,k} = U_k - \hat{U}_{wc,k}$$

end.

else

$$P_{\text{CHP,min}} \Delta t \leq x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k} \leq P_{\text{CHP,max}} \Delta t$$

$$\frac{x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}}{x_{4,k} + x_{5,k}} = P2H$$

$$\begin{aligned} & |(x_{1,k} + x_{2,k} + x_{10,k} + x_{15,k}) - (x_{1,k-1} + x_{2,k-1} + x_{10,k-1} + x_{14,k-1} + x_{15,k-1})| \\ & \leq R_{\text{CHP}} \end{aligned}$$

$$x_{12,k} = x_{12,k-1} + \eta_c \eta_i (x_{10,k} + x_{13,k}) - \frac{(x_{11,k} + x_{14,k})}{\eta_c \eta_i}$$

$$S_{\text{min}} \leq x_{12,k} \leq S_{\text{max}}$$

if  $k \leq 4$ , then

$$x_{1,k} \leq \hat{U}_{wc,k}$$

$$x_{15,k} = U_k - \hat{U}_{wc,k}$$

else

$$x_{1,k} \leq \hat{U}_{wc,k}$$

$$x_{3,k} + x_{11,k} + x_{15,k} = U_k - \hat{U}_{wc,k}$$

end.

#### 4.3.2 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานความเย็น

สำหรับกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานความเย็นจะถูกแบ่งออกเป็น 4 กรณีเช่นเดียวกันกับกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้า โดยส่วนประกอบหลักของการจัดสรรพลังงานความเย็นประกอบไปด้วยการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม หม้อต้มน้ำเสริม เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน อุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นส่วนในการจ่ายพลังงานให้กับโหลดความเย็นภายในอาคาร โดยกรณีแรกคือไม่มีความต้องการพลังงานความเย็น กรณีที่สองคือความต้องการพลังงานความเย็นน้อยกว่าค่าต่ำสุดในการดำเนินการของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานความร้อนจะทำงานร่วมกันในการจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมจะทำงานที่ค่าขั้นต่ำของพิกัดเครื่อง กรณีที่สามความต้องการพลังงานความเย็นมากกว่าค่าขั้นต่ำในการดำเนินการของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม และการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมสามารถจ่ายพลังงานความร้อนได้อย่างเพียงพอ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานความร้อนจะทำงานร่วมกันในการจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม และกรณีสุดท้าย การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไม่สามารถจ่ายพลังงานความร้อนได้เพียงพอ ตัวกักเก็บพลังงานความร้อนและหม้อต้มน้ำเสริม จะทำงานร่วมกับเพื่อจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม โดยมีกลยุทธ์ในการจัดสรร ดังต่อไปนี้ [1]

If  $C_k = 0$  , then

$$x_{4,k} = x_{6,k} = x_{7,k} = x_{8,k} = 0$$

$$x_{9,k} = (x_{9,k-1} + x_{5,k})(1 - \mu)$$

$$\varepsilon x_{5,k} \leq R_1 \Delta t$$

elseif  $C_k \leq CP_{AC,min} \Delta t$  , then

$$(x_{4,k} + x_{8,k}) COP_{AC} = x_{7,k}$$

$$\frac{1}{\delta} x_{8,k} \leq R_2 \Delta t$$

$$x_{9,k} = (x_{9,k-1} + x_{8,k})(1 - \mu)$$

$$x_{5,k} = x_{6,k} = 0$$

$$x_{7,k} = CP_{AC,min} \Delta t$$

elseif  $C_k \leq \frac{P_{CHP,max} \Delta t}{P_{2H}} COP_{AC} \Delta t$  , then



$$\begin{aligned}
 (x_{4,k} + x_{8,k})\text{COP}_{AC} &= x_{7,k} \\
 \frac{1}{\delta}x_{8,k} &\leq R_2\Delta t \\
 x_{9,k} &= (x_{9,k-1} + x_{8,k})(1 - \mu) \\
 x_{5,k} &= x_{6,k} = 0 \\
 x_{7,k} &= \min\left(C_k \frac{P_{\text{CHP,max}}\Delta t}{P2H} \text{COP}_{AC}\right)
 \end{aligned}$$

else

$$\begin{aligned}
 (x_{4,k} + x_{6,k} + x_{8,k})\text{COP}_{AC} &= x_{7,k} \\
 \frac{1}{\delta}x_{8,k} &\leq R_2\Delta t \\
 x_{9,k} &= (x_{9,k-1} + x_{8,k})(1 - \mu) \\
 H_{AB,\min}\Delta t &\leq x_{6,k} \leq H_{AB,\max}\Delta t \\
 x_{5,k} &= 0 \\
 x_{7,k} &= \min\left(C_k, C_{AC,\max} \left(\frac{P_{\text{CHP,max}}\Delta t}{P2H} + H_{AB,\max}\Delta t\right) \text{COP}_{AC}\right)
 \end{aligned}$$

end.

#### 4.4 ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น

ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ที่พิจารณา เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization problem) โดยการดำเนินการแบบเหมาะที่สุด จะถูกกำหนดเป็นโปรแกรมเชิงเส้น โดยการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า และเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับ โดยแสดงโปรแกรมเชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 &\text{minimize} && c^T x \\
 &\text{subject to} && A_{eq}x = B_{eq} \\
 & && C_{ineq}x = D_{ineq} \\
 & && x \geq 0
 \end{aligned}$$

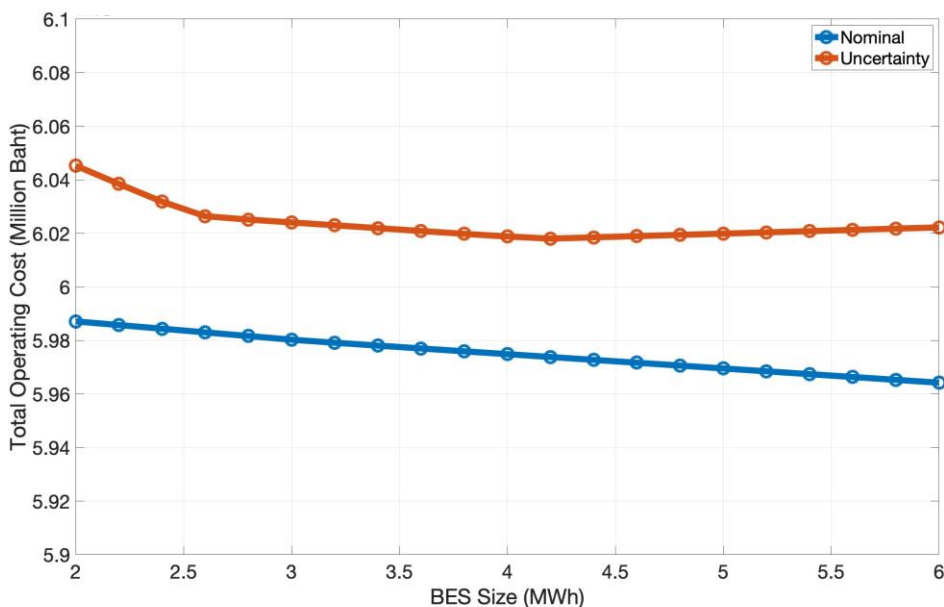
ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดถูกกำหนดให้เป็นการพิจารณาปัญหาในการหาค่าต่ำสุด (Minimization problem) ภายใต้เงื่อนไขบังคับ โดยเงื่อนไขบังคับขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคารจะอยู่ในรูปของสมการและอสมการเพื่อกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย เพื่อได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด

#### 4.5 การออกแบบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

การออกแบบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสม สำหรับระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า การออกแบบสามารถช่วยให้เลือกขนาดของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในการใช้งานที่เหมาะสม หรือขนาดที่ต้องการใช้งานได้ โดยคำนึงถึงการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกขนาดที่ต้องการใช้ได้ตรงจุดประสงค์ที่ต้องการ

##### 4.5.1 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด

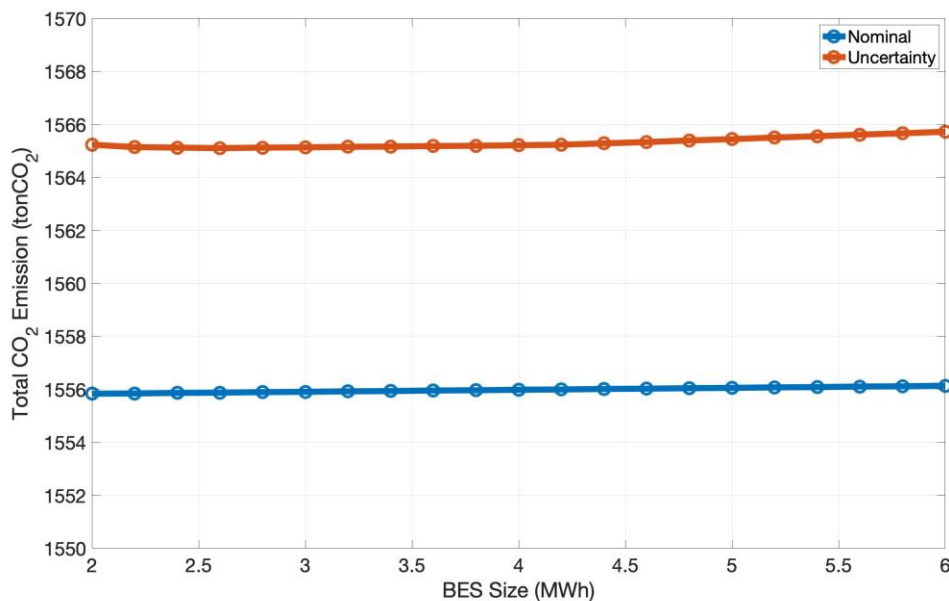
เพื่อหาขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสม โดยพิจารณาการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง ถึง 6 เมกะวัตต์ชั่วโมง โดยใช้กลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน 4.2.1 และ 4.2.2 เพื่อหาผลลัพธ์ของต้นทุนการดำเนินการรวมที่มีค่าน้อยที่สุด จากรูปที่ 4.2 จะพบว่า ขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีต้นทุนการดำเนินการรวมที่น้อยที่สุดคือ ขนาด 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง โดยมีต้นทุนการดำเนินการรวมเท่ากับ 6,018,029 บาท



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่  
และต้นทุนการดำเนินการรวม

#### 4.5.2 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

การหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด จะพิจารณาหาขนาดที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด โดยใช้กลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน เช่นเดียวกันกับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด แสดงใน 4.2.1 และ 4.2.2 จากรูปที่ 4.3 ขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่น้อยที่สุดคือ ขนาด 2.5 เมกะวัตต์ชั่วโมง โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมเท่ากับ 1,565.11 ตันคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม

จากการทดลองปรับขนาดของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อหาการดำเนินงานเชิงเศรษฐกิจแบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ผู้จัดทำได้เลือกตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง มาใช้งานในระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ เนื่องจากขนาดดังกล่าว ได้ให้ค่าต้นทุนการดำเนินการรวมที่มีค่าน้อยที่สุด และมีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมแตกต่างจากค่าน้อยที่สุดเพียงเล็กน้อย ค่าตัวแปรเสริมของระบบที่ใช้ในการหาผลลัพธ์ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรเสริมของระบบ

	คำอธิบาย	สัญลักษณ์	ค่า
CHP	Rated power (MW)	-	24
	Electrical energy efficiency (%)	$\eta_{\text{CHP,EE}}$	33.9
	Power-to-heat ratio	P2H	0.9244
	Maximum power production (MW)	$P_{\text{CHP,max}}$	24
	Minimum power production (MW)	$P_{\text{CHP,min}}$	4.8
	Electrical energy ramp rate (MW)	$R_{\text{CHP}}$	24
	CO <sub>2</sub> emission factor (tCO <sub>2</sub> /MWh)	$EF_{\text{CHP}}$	0.5349
Auxiliary boiler	Rated heat power (MW)	-	13.1882
	Efficiency (%)	$\eta_{\text{AB}}$	75
	Maximum heat production (MW)	$HP_{\text{AB,max}}$	13.1882
	Minimum heat production (MW)	$HP_{\text{AB,min}}$	2.6327
	CO <sub>2</sub> emission factor from natural gas combustion (tCO <sub>2</sub> /MWh)	$EF_{\text{AB}}$	0.181

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ค่าตัวแปรเสริมของระบบ

	คำอธิบาย	สัญกรณ์	ค่า
Absorption chiller	Rated cooling power	-	42.2
	Coefficient of performance	$COP_{AC}$	1.1
	Maximum cooling production (MW)	$CP_{AC,max}$	42.2
	Minimum cooling production (MW)	$CP_{AC,min}$	8.44
Thermal Energy Storage	Rated heat power (MW)	-	50
	Heat charge rate (MW)	R1	15
	Heat discharge rate (MW)	R2	15
	Charging efficiency	$\epsilon$	0.95
	Discharging efficiency	$\delta$	0.95
	Loss coefficient	$\mu$	0.001
	Initial heat energy in TES (MW)	init	0-10
	Maximum heat storage (MW)	$S_{max}$	50
	Minimum heat storage (MW)	$S_{min}$	5

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ค่าตัวแปรเสริมของระบบ

คำอธิบาย		สัญกรณ์	ค่า
Battery Energy Storage	Charging efficiency	$\eta_c$	0.9
	Discharging efficiency	$\eta_d$	0.9
	Charge rate	$d_{sc}$	1.05
	Discharge rate	$d_{sd}$	1.05
	Inverter efficiency	$\eta_i$	1
	Max capacity (MWh)	-	4.2
	Initial energy in BES (MW)	init_b	0.84
	Maximum BES storage (MW)	$B_{max}$	3.78
	Minimum BES storage (MW)	$B_{min}$	0

#### 4.6 ผลการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

ผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า [1] ซึ่งไม่มี แบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่าย กับระบบจัดการพลังงานที่ได้นำเสนอ โดยใช้ข้อมูล ของความต้องการโหลดไฟฟ้าและความต้องการโหลดความเย็นจำนวน 28 วัน ของห้างสรรพสินค้า ขนาดใหญ่ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร และแสดงผลการจัดสรรพลังงานเป็นจำนวน 7 วัน ด้วยเวลาสุ่ม ตัวอย่าง (Sampling time) เท่ากับ 1 ชั่วโมง โดยการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมมีขนาด 24 เมกะวัตต์ชั่วโมง สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp rate) และขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า (Rated power) มีขนาดเท่ากับ 24 เมกะวัตต์ เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม 12000-TR และ 45-MMBtu/ ชั่วโมง สำหรับหม้อต้มน้ำเสริม และระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง โดยมีอัตราการชาร์จและดิสชาร์จเป็นร้อยละ 25 ของความจุ สถานะประจุเริ่มต้นและสถานะสุดท้าย ของวัน ถูกกำหนดไว้ที่ร้อยละ 20 ของความจุ และประสิทธิภาพของการชาร์จและดิสชาร์จเท่ากับ 0.9 ราคาของการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าของกำลังสำรองพร้อมจ่าย และราคาของการชาร์จพลังงานไปที่ตัว กักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมเท่ากับ 2,210 บาท/เมกะ วัตต์ชั่วโมง โดยเชื้อเพลิงจะใช้ก๊าซธรรมชาติ และใช้ราคาเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติในการทดลอง โดย เท่ากับ 0.6979 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับราคาค่าไฟฟ้าจะคิดตามอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของ การใช้ (Time of use tariff) ซึ่งเป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงที่ค่าไฟฟ้ามีราคาสูง เนื่องจากประเทศมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง และช่วงที่ค่าไฟฟ้า มีราคาต่ำ เนื่องจากประเทศมีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ โดยการเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบกับระบบ จัดการพลังงานภายในอาคารแบบก่อนหน้าที่ไม่มีตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรอง พร้อมจ่าย ทั้งนี้เมื่อมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น กำหนดให้ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารรองรับ ความไม่แน่นอนด้วยการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า [1] และนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนการ ดำเนินการรวมภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อม

ความแตกต่างระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัด การพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอ แสดงในตารางที่ 4.2 โดยเมื่อมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นระบบ จัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้าจะรองรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นด้วยการซื้อพลังงานจาก โครงข่ายไฟฟ้ามาเพื่อจ่าย ในขณะที่ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอจะรองรับความไม่แน่นอนด้วยตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่าย



ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า  
และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ

องค์ประกอบภายในระบบ	ระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารก่อนหน้า	ระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารที่นำเสนอ
การผลิตพลังงานความร้อนและ ไฟฟ้าร่วม	✓	✓
เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม	✓	✓
หม้อต้มน้ำเสริม	✓	✓
ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน	✓	✓
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	-	✓
กำลังสำรองพร้อมจ่าย	-	✓

#### 4.6.1 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด

ต้นทุนการดำเนินการรวม คือจำนวนเงินที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ ในการจัดสรรพลังงาน โดยประกอบไปด้วยค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวม ได้ร้อยละ 9.68 สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยจำนวนเงินที่ลดลงเมื่อดูเจาะจงไปที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร การจ่ายความต้องการโหลดไฟฟ้าด้วยตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ลดการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย และลดค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนการดำเนินการรวม ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กลยุทธ์ก่อนหน้า	กลยุทธ์ที่นำเสนอ	ร้อยละการปรับปรุง
ต้นทุนการดำเนินการรวม (บาท)	6,662,941	6,018,029	9.68
<b>ต้นทุนการดำเนินการรวมแบ่งตามอุปกรณ์</b>			
การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม (บาท)	5,426,078	5,443,426	-0.32
หม้อต้มน้ำเสริม (บาท)	474,893	474,893	0
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (บาท)	0	48,731	N/A
โครงข่ายไฟฟ้า (บาท)	761,970	0	100
กำลังสำรองพร้อมจ่าย (บาท)	0	99,711	N/A

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงการไหลของพลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด โดยมีการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมเป็นอุปกรณ์หลักในการจ่ายพลังงานให้กับความต้องการ จะพบว่าเมื่อมีความไม่แน่นอนของความต้องการเกิดขึ้น ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ มีตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่าย ในการตอบสนองความไม่แน่นอน ในขณะที่ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารแบบก่อนหน้าจะซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้ามาเพื่อรองรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานไฟฟ้าและค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ทำให้ต้นทุนของการดำเนินการรวมมีค่าสูงเพิ่มมากขึ้น รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงการไหลของพลังงานของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมใน 1 วัน โดยการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมจะทำการผลิตพลังงานตามที่ได้ทำการวางแผนการจัดสรรพลังงานไว้ตามการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า และในช่วงที่มีความต้องการต่ำ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมจะซาร์จพลังงานไปยังตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในช่วงที่มีความต้องการสูง และมีการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้าควบคู่ไปด้วยเพื่อทำกำไร รูปที่ 4.6 แสดงการไหลของพลังงานความร้อน ของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด เช่นเดียวกับพลังงานไฟฟ้า การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมเป็นอุปกรณ์หลักในการผลิตพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม เพื่อมาตอบสนองความต้องการโหลดความ

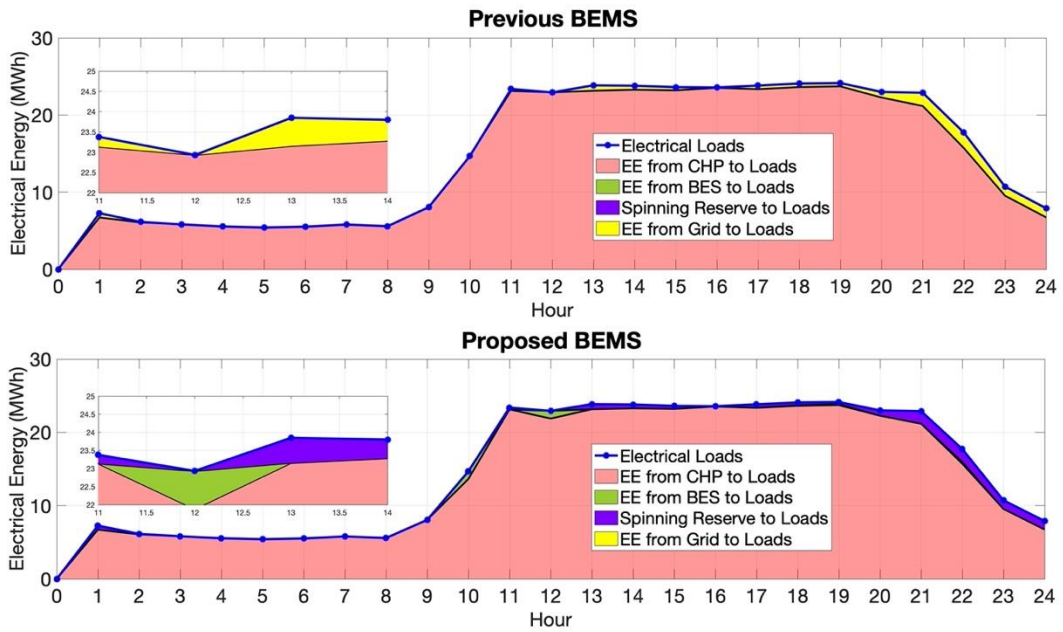
เย็น และมีพลังงานความร้อนจากหม้อต้มน้ำเสริม และตัวกักเก็บพลังงานความร้อน ช่วยในการตอบสนองในช่วงที่มีความต้องการมาก ดังรูปที่ 4.7 แสดงการไหลของพลังงานความร้อนของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมซึ่งมีความสัมพันธ์ภายใต้ อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนส่วนมากที่ผลิตได้จะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนด้วยเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม โดยที่พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตพลังงานของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมในช่วงที่มีความต้องการต่ำ จะถูกเก็บไว้ที่ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน เพื่อใช้ต่อไปในภายหลัง ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงสถานะประจุของตัวกักเก็บพลังงานความร้อน โดยในช่วงแรก ความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะถูกชาร์จเข้ามาเก็บภายในตัวกักเก็บพลังงานความร้อน และจะนำไปใช้ในการช่วยจ่ายพลังงานความร้อนในช่วงที่มีความต้องการสูง สำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะชาร์จพลังงานจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมเข้ามาเก็บไว้ในช่วงที่มีความต้องการต่ำ และจะตอบสนองต่อความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงร่วมกับกำลังสำรองพร้อมจ่าย โดยสถานะประจุของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ แสดงในรูปที่ 4.9 และในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า โดยระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ นั้น ไม่มีการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า

#### 4.6.2 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

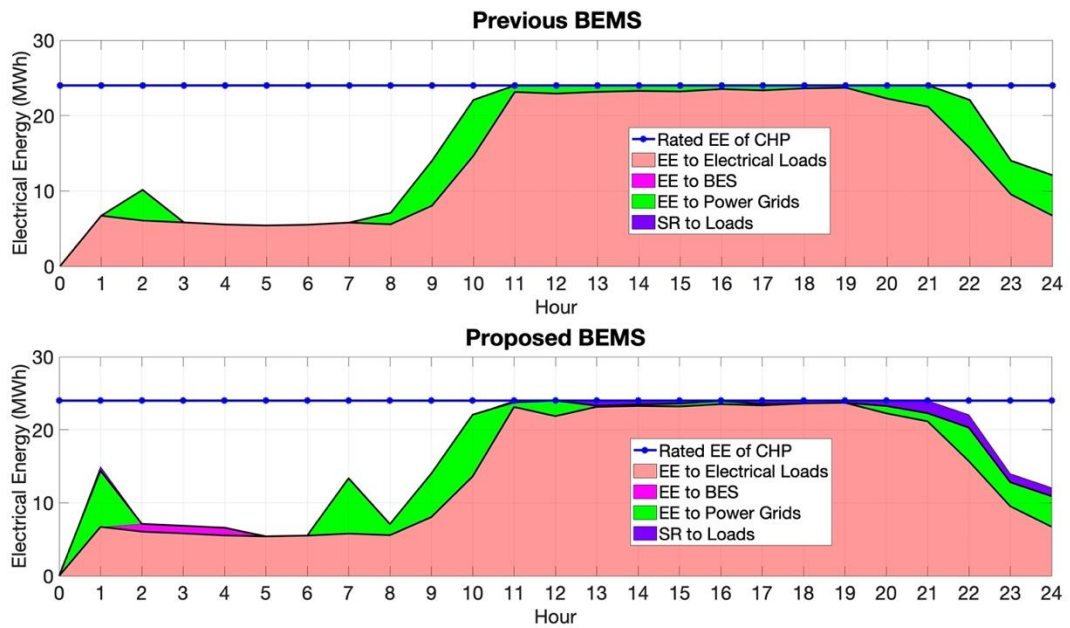
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม คือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการต่าง ๆ ในการจัดสรรพลังงาน โดยประกอบไปด้วยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดสรรพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า การจัดสรรพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมได้ร้อยละ 0.25 สำหรับการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยจำนวนเงินที่ลดลงเมื่อดูเจาะจงไปที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร การจัดสรรความต้องการโหลดไฟฟ้าด้วยตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าอีกด้วย

ตารางที่ 4.4 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม  
ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

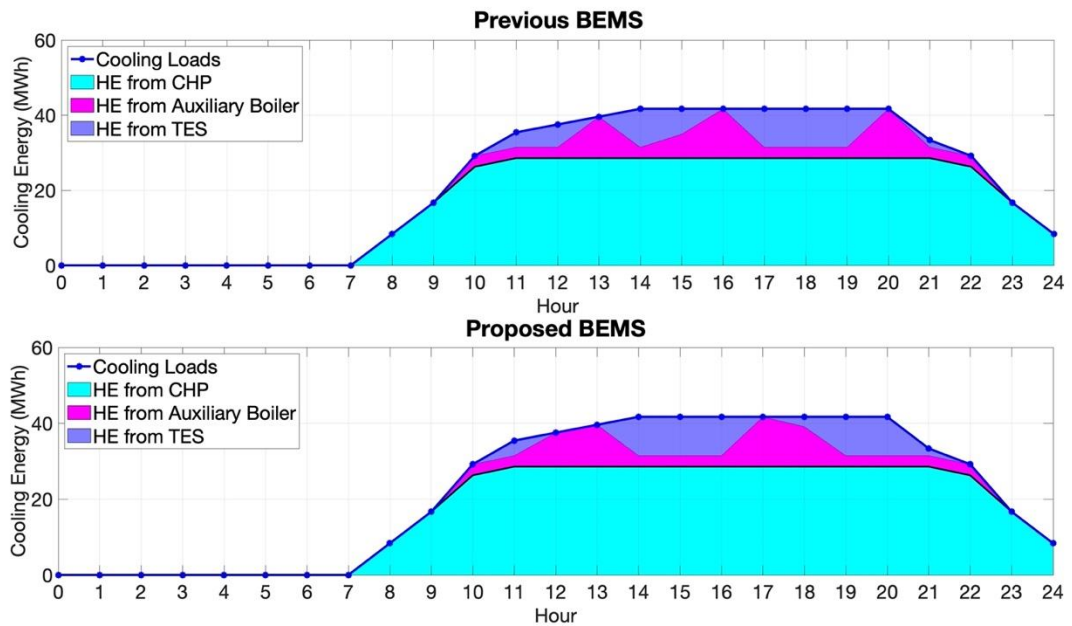
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กลยุทธ์ก่อนหน้า	กลยุทธ์ที่นำเสนอ	ร้อยละการปรับปรุง
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	1,569	1,565	0.25
<b>การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมแบ่งตามอุปกรณ์</b>			
การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	1,360	1,381	-1.54
หม้อต้มน้ำเสริม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	162	162	0
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	0	12	N/A
โครงข่ายไฟฟ้า (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	31	0	100
กำลังสำรองพร้อมจ่าย (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	0	23	N/A



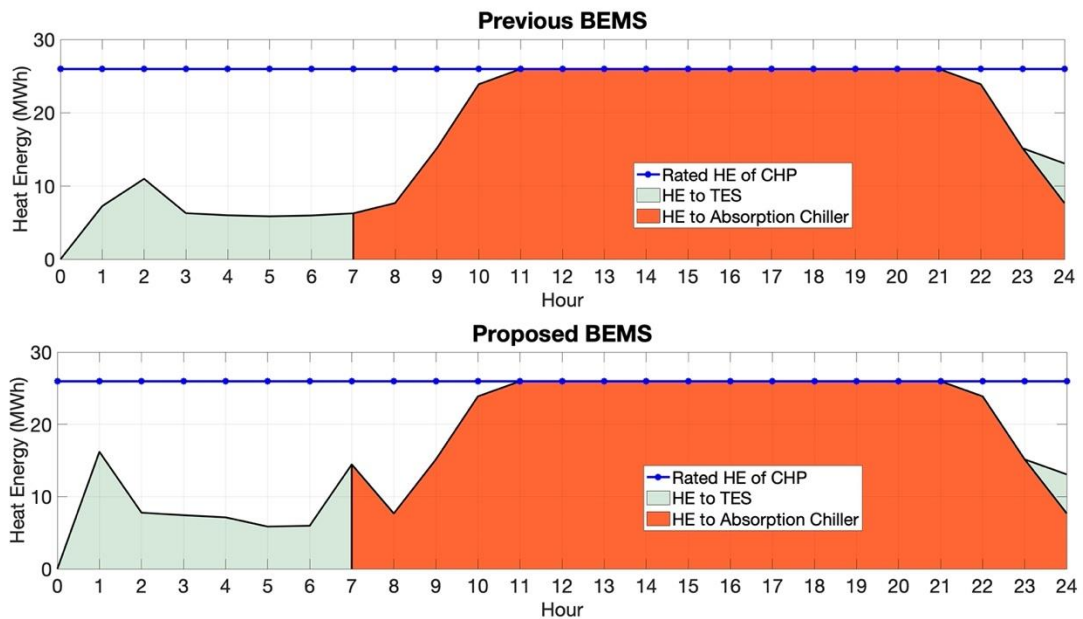
รูปที่ 4.4 การไหลของพลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด



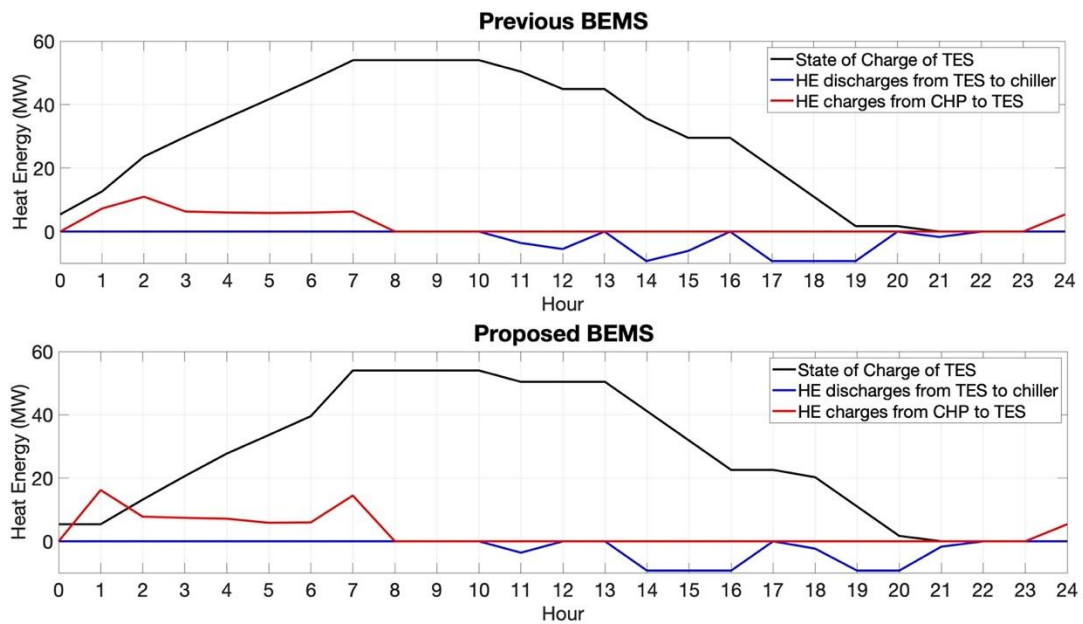
รูปที่ 4.5 การไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด



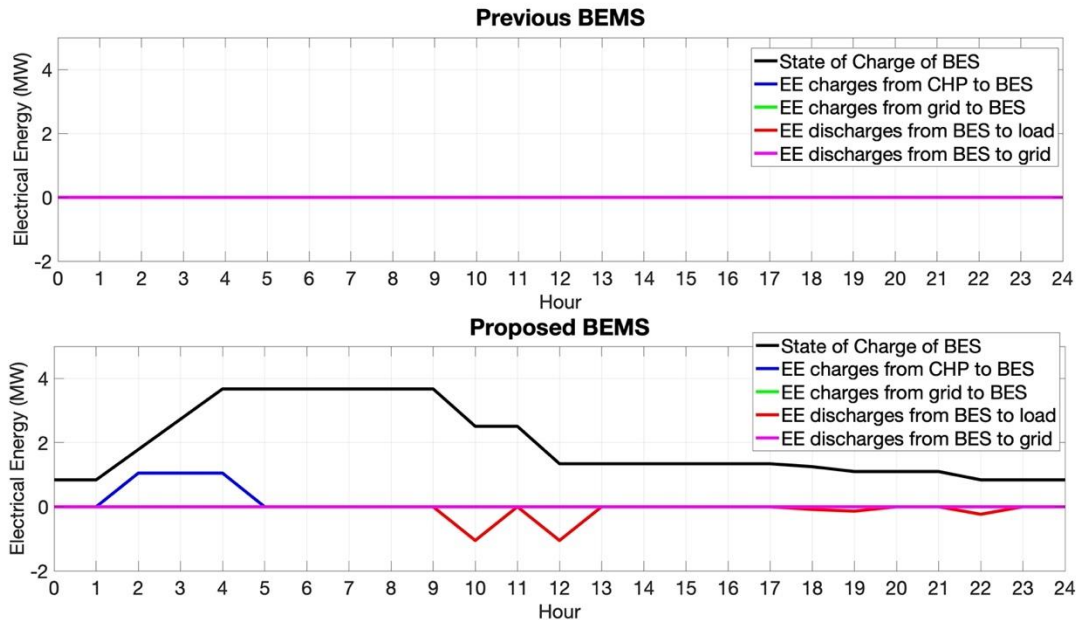
รูปที่ 4.6 การไหลของพลังงานความร้อนของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด



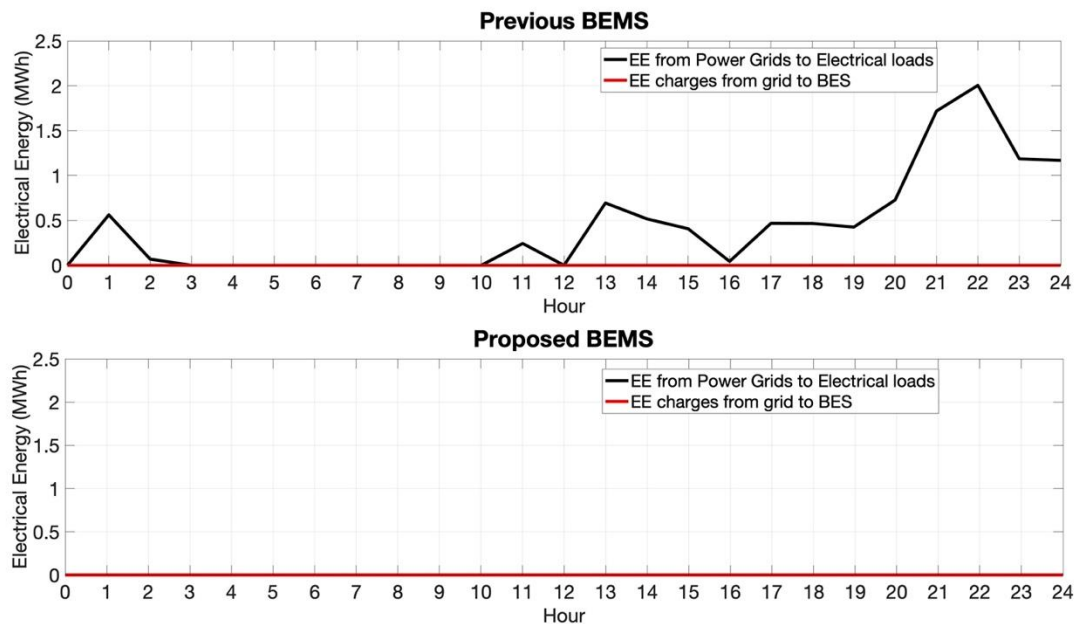
รูปที่ 4.7 การไหลของพลังงานความร้อนสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.8 สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อนของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ แบบเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.9 สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของระบบจัดการพลังงานภายใน อาคารหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ แบบเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.10 การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด

#### 4.6.3 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ

สำหรับกรณีที่ระบุ (Nominal case) คือ กรณีที่ระบบจัดการพลังงานจะดำเนินการจัดสรรพลังงานโดยใช้ความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย โดยระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้าจะจ่ายพลังงานให้กับความต้องการพลังงานโดยการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตและจัดสรรพลังงาน และซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า ในขณะที่ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอจะจ่ายพลังงานให้กับความต้องการพลังงานโดยการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ความแตกต่างระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอ กรณีที่ระบุ แสดงในตารางที่ 4.5

ต้นทุนการดำเนินการรวมของกรณีที่ระบุ แสดงในตารางที่ 4.6 จากตารางจะพบว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 1.26 สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด โดยเมื่อดูค่าใช้จ่ายของแต่ละอุปกรณ์จะพบว่า ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สามารถลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า และรองรับความต้องการพลังงานด้วยตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งช่วยลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าได้



ตารางที่ 4.5 ความแตกต่างระหว่างระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า  
และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ กรณีที่ระบุ

องค์ประกอบภายในระบบ	ระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารก่อนหน้า	ระบบจัดการพลังงาน ภายในอาคารที่นำเสนอ
การผลิตพลังงานความร้อนและ ไฟฟ้ารวม	✓	✓
เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม	✓	✓
หม้อต้มน้ำเสริม	✓	✓
ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน	✓	✓
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	-	✓
กำลังสำรองพร้อมจ่าย	-	-

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนการดำเนินการรวม ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด  
กรณีที่ระบุ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กลยุทธ์ก่อนหน้า	กลยุทธ์ที่นำเสนอ	ร้อยละการ ปรับปรุง
ต้นทุนการดำเนินการรวม (บาท)	6,050,087	5,973,810	1.26
<b>ต้นทุนการดำเนินการรวมแบ่งตามอุปกรณ์</b>			
การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม (บาท)	5,467,972	5,474,081	-0.11
หม้อต้มน้ำเสริม (บาท)	474,893	474,893	0
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (บาท)	0	48,731	N/A
โครงข่ายไฟฟ้า (บาท)	107,221	24,836	76.84

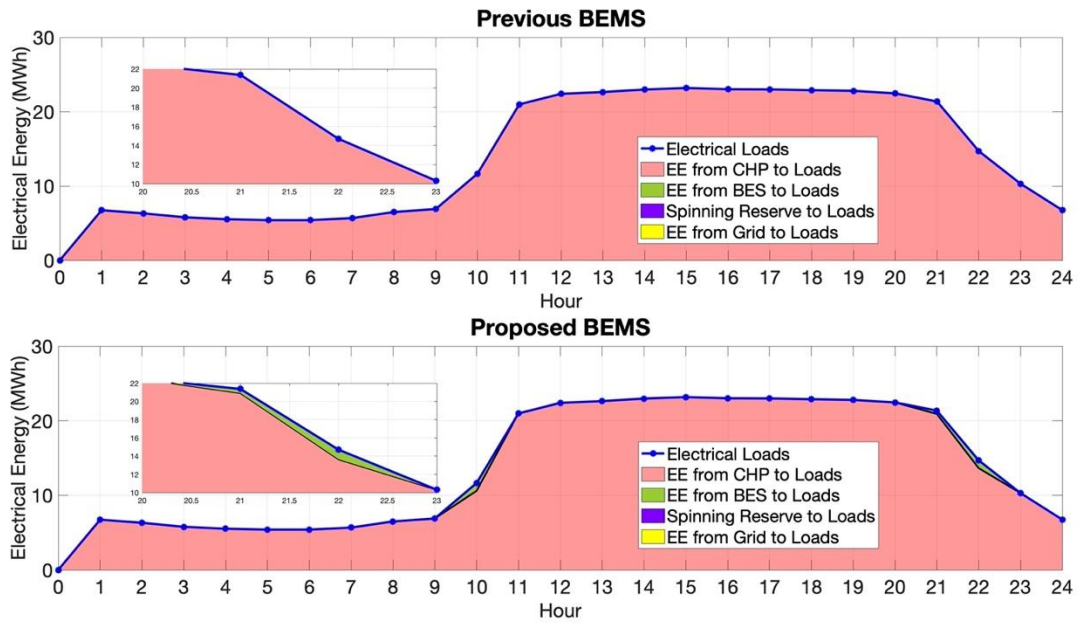
รูปที่ 4.11 แสดงการไหลของพลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในกรณีที่ระบุ สำหรับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอจะจ่ายพลังงานให้กับความต้องการโหลดไฟฟ้าด้วยการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในขณะที่ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้าจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยกำลังการผลิตร่วมและการซื้อจากโครงข่ายไฟฟ้า รูปที่ 4.12 แสดงการไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในกรณีที่ระบุจะเห็นว่าในช่วงที่ระบบมีความต้องการโหลดไฟฟ้าต่ำ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะชาร์จพลังงานไปที่ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อใช้รองรับความต้องการโหลดไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการโหลดไฟฟ้าสูง รูปที่ 4.13 แสดงการไหลของพลังงานความเย็นของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในกรณีที่ระบุ ซึ่งทั้งสองระบบจัดการพลังงานภายในอาคารมีการไหลของพลังงานความเย็นไม่แตกต่างกันมากนัก รูปที่ 4.14 แสดงการไหลของพลังงานความร้อนสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในกรณีที่ระบุ จะพบว่าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอจะชาร์จไปยังตัวกักเก็บพลังงานความร้อนมากกว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า ซึ่งสถานะประจุของตัวกักเก็บพลังงานความร้อนจะแสดงในรูปที่ 4.15 และสำหรับสถานะประจุของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ จะแสดงในภาพที่ 4.16 โดยแสดงให้เห็นว่าในระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้แนะนำจะมีการชาร์จพลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ เพื่อนำไปใช้ในการจัดสรรให้กับโหลดไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง และรูปที่ 4.17 แสดงการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในกรณีที่ระบุ โดยระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอไม่มีการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า ในขณะที่ในระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้ามีการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไม่สามารถจ่ายให้กับความต้องการพลังงานได้เพียงพอ

#### 4.6.4 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ

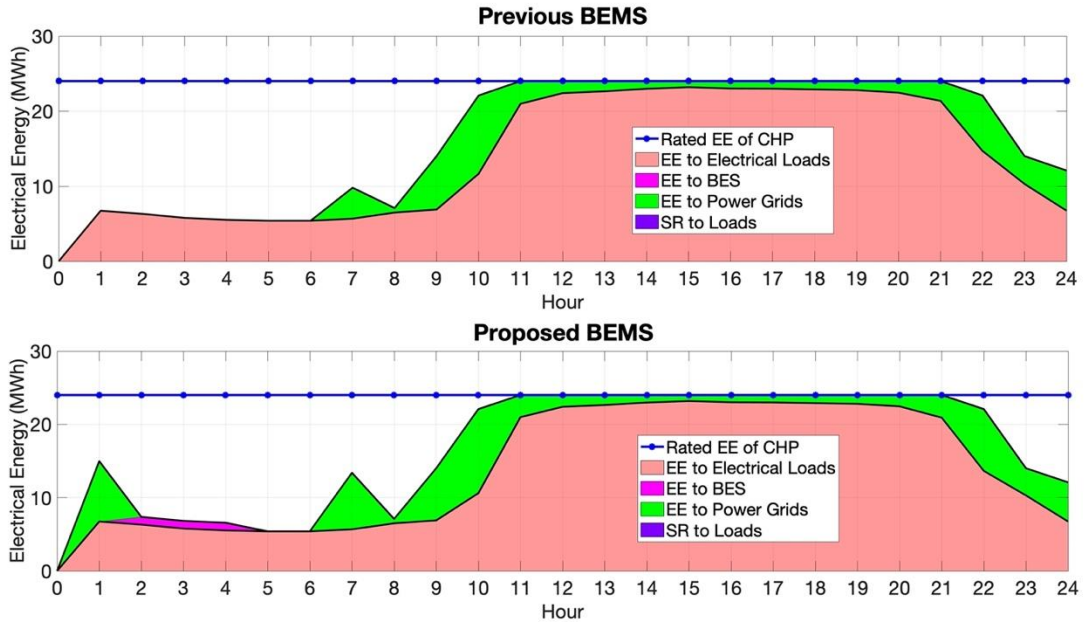
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม คือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการต่าง ๆ ในการจัดสรรพลังงาน โดยประกอบไปด้วยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดสรรพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า การจัดสรรพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถเพิ่มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมร้อยละ 0.71 สำหรับการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยเมื่อดูเจาะจงไปที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร การจ่ายความต้องการโหลดไฟฟ้าด้วยตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ช่วยลดการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 4.7 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม กรณีที่ระบุ  
ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

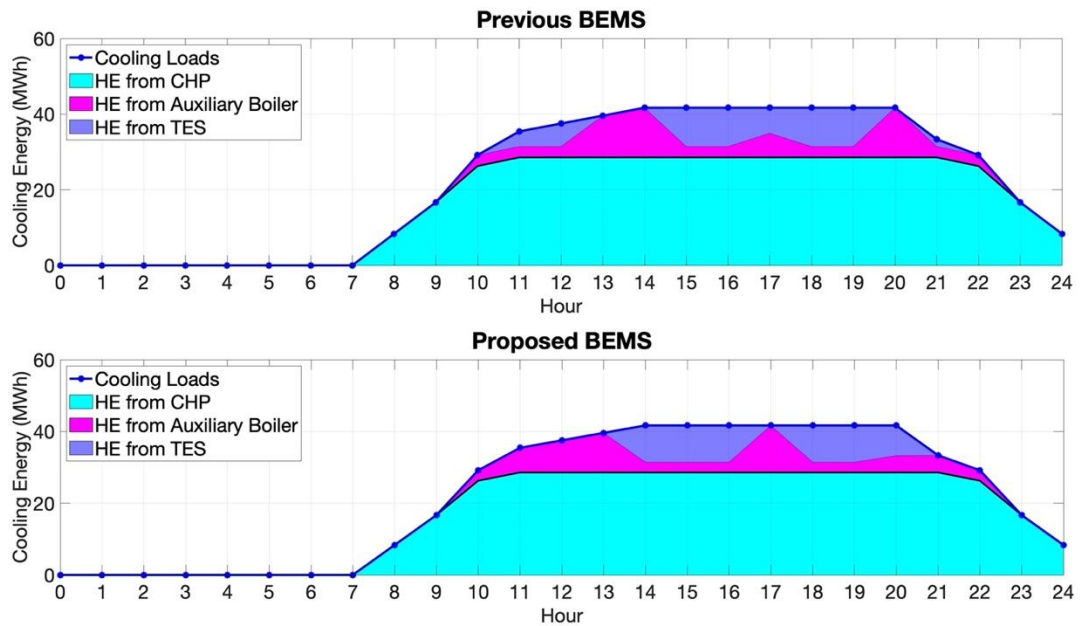
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กลยุทธ์ก่อนหน้า	กลยุทธ์ที่นำเสนอ	ร้อยละการปรับปรุง
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	1,545	1,556	-0.71
<b>การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมแบ่งตามอุปกรณ์</b>			
การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้า รวม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	1,339	1,383	-3.30
หม้อต้มน้ำเสริม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	163	172	-4.91
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	0	12	N/A
โครงข่ายไฟฟ้า (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	3	1	66.67



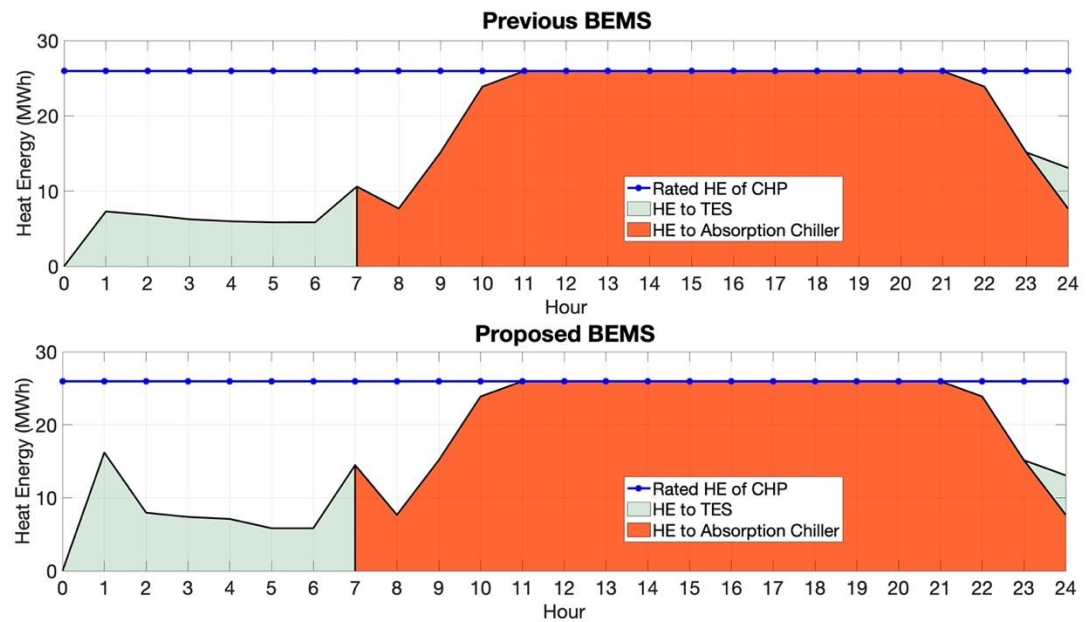
รูปที่ 4.11 การไหลของพลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ



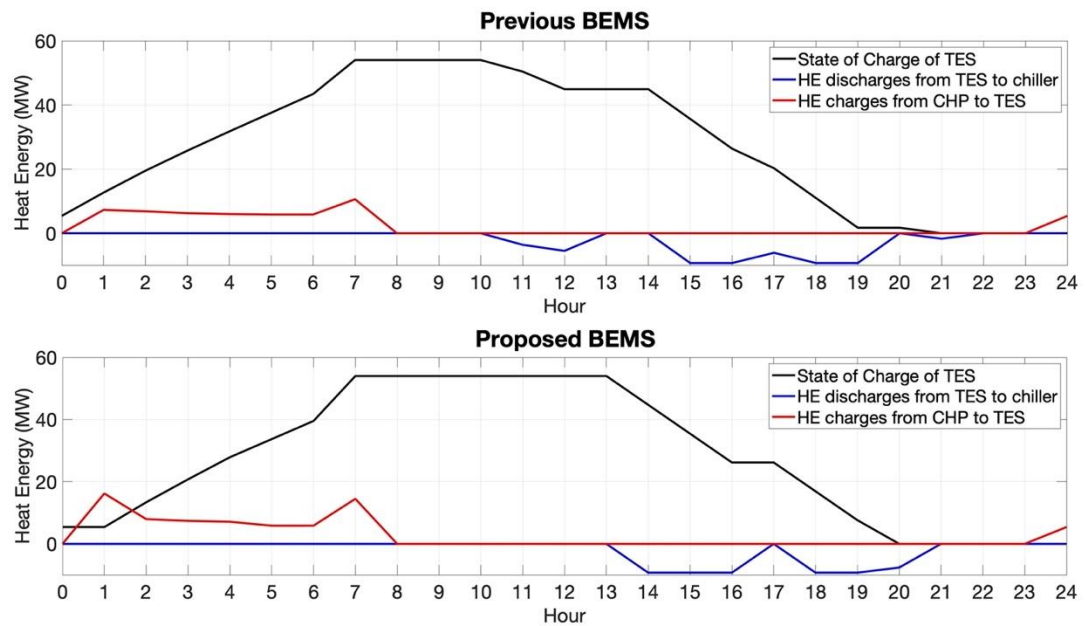
รูปที่ 4.12 การไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ



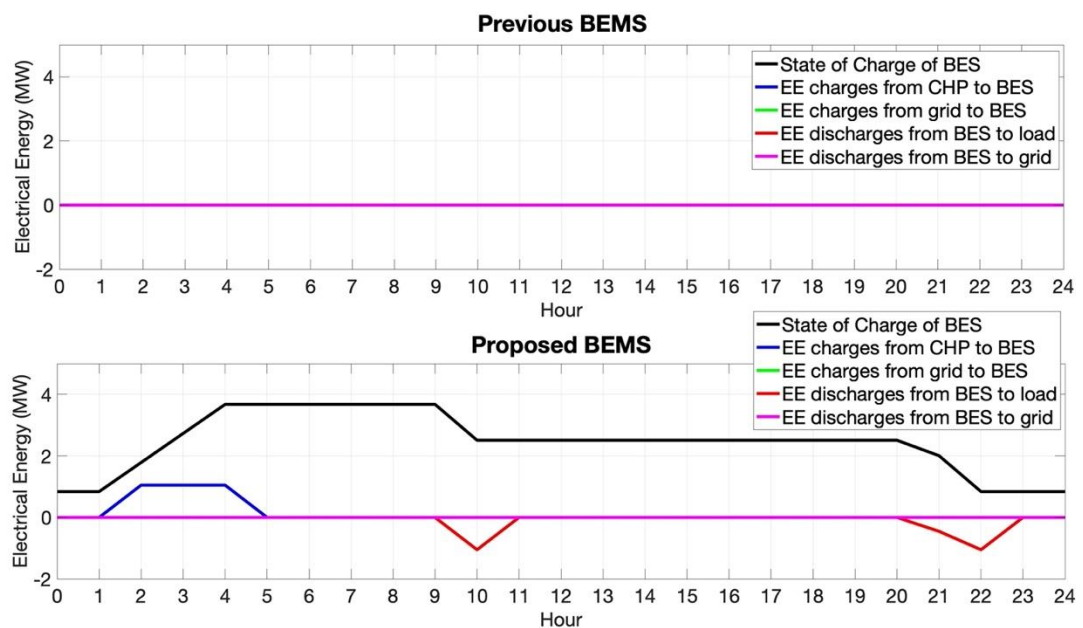
รูปที่ 4.13 การไหลของพลังงานความเย็นของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ



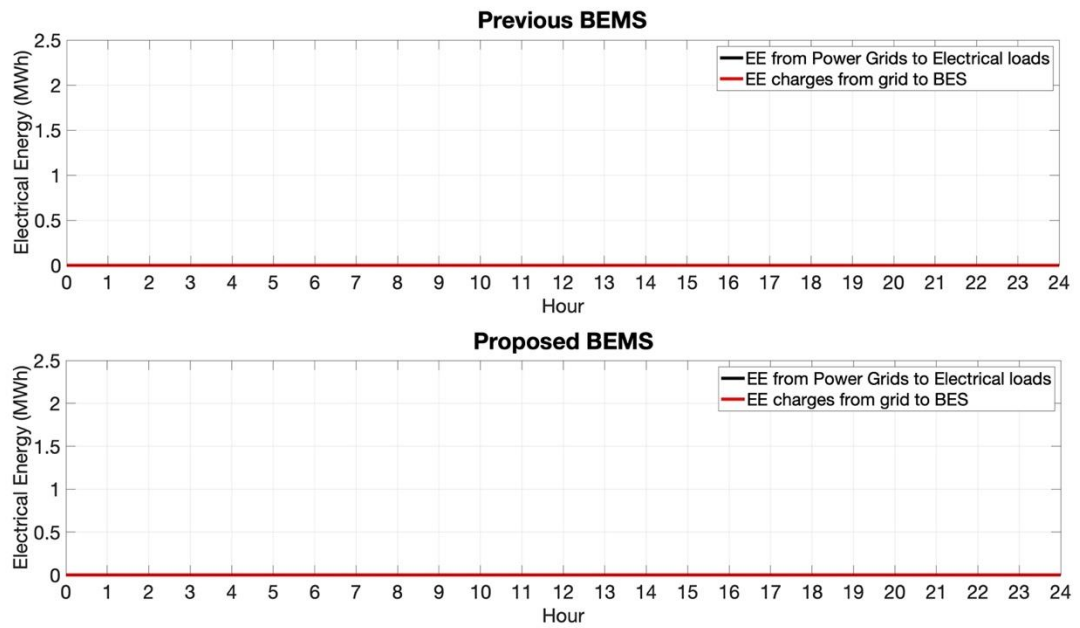
รูปที่ 4.14 การไหลของพลังงานความร้อนสำหรับ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ



รูปที่ 4.15 สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อนของระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ



รูปที่ 4.16 สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของระบบจัดการพลังงานภายใน อาคารหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ แบบเหมาะสมที่สุดกรณีที่ระบุ



รูปที่ 4.17 การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า และระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด กรณีที่ระบุ

#### 4.7 สรุป

ในบทที่ 4 นำเสนอการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาสองวัตถุประสงค์คือ ต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม โดยกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามความต้องการโหลดภายในอาคาร คือพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความเย็น โดยภายในระบบจัดการพลังงาน มีการใช้ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง และตัวกักเก็บพลังงานความร้อน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีความไม่แน่นอน และกรณีที่ระบุ จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์ที่ได้นำเสนอให้ผลลัพธ์การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้านี้ที่ไม่มีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่าย

ผลลัพธ์จากการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่า ระบบจัดการพลังงานที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 9.68 และ 1.26 สำหรับกรณีที่มีความไม่แน่นอนและกรณีที่ระบุ ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมร้อยละ 1.26 สำหรับกรณีที่มีความไม่แน่นอน แต่เพิ่มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมร้อยละ 0.71 สำหรับกรณีที่ระบุ ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวมภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอได้มีการติดตั้งตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพิ่มเข้าไปในระบบ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวม เนื่องจากช่วยลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า ทำให้ช่วยลดค่าพลังงานและค่าความต้องการไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้านี้ ในขณะเดียวกัน ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอ ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นการช่วยลดการปล่อยมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม



## บทที่ 5

### การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด

ในบทนี้จะนำเสนอ การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด (Multi-objective optimal operation) จากกลยุทธ์การจัดสรรแบบเหมาะสมที่สุดในบทที่ 4 จะพบว่ามี 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันอยู่ คือ การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ทั้งสอง การดำเนินงานอเนกประสงค์จึงถูกนำมาใช้ โดยความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ทั้งสองจะแสดงด้วยค่าปัจจัยการถ่วงน้ำหนัก (Weighting factor) แทนด้วย  $\alpha$  โดยทำการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีความไม่แน่นอน และกรณีที่ระบุ

#### 5.1 คำอธิบายระบบ

ระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วย การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม หม้อต้มน้ำเสริมเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม ตัวกักเก็บพลังงานความร้อน ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ กำลังสำรองพร้อมจ่าย และระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยความต้องการโหลดภายในอาคารประกอบไปด้วย โหลดไฟฟ้า และโหลดความเย็น อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผลิตและจัดสรรพลังงานหลักคือ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม โดยผลิตทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนไปพร้อมกัน รวมทั้งซาร์จพลังงานไฟฟ้าไปที่ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ด้วย เมื่อเกิดความไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้าเกิดขึ้น ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะทำงานร่วมกันกำลังสำรองพร้อมจ่ายเพื่อรองรับความไม่แน่นอน การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมมีการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อทำกำไร และพลังงานความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะถูกซาร์จไปเก็บที่ตัวกักเก็บพลังงานความร้อนเพื่อใช้ต่อไปในภายหน้า

#### 5.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

จากการทดลองในบทที่ 4 วัตถุประสงค์ประกอบไปด้วย การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด และนำทั้งสองวัตถุประสงค์มาพิจารณาร่วมกันเพื่อหาความสัมพันธ์ และวิเคราะห์การไหลของพลังงาน

### 5.2.1 การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด

การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด มีวัตถุประสงค์คือการลดต้นทุนการดำเนินการรวมให้มีค่าน้อยที่สุด โดยสามารถหาได้จากค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน รวมกับค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า โดยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าที่มากที่สุด ดังสมการที่ 4.1 – 4.3

### 5.2.2 การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด

การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด มีวัตถุประสงค์คือการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมให้มีค่าน้อยที่สุด โดยรวมค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบจัดการพลังงานภายในอาคาร ดังสมการที่ 4.4

## 5.3 การทำให้เป็นบรรทัดฐาน

การทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) เป็นการทำให้ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน เพื่อให้มีความเป็นมาตรฐาน และสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่เกิดความซับซ้อน โดยวิธีที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้คือ การทำให้เป็นบรรทัดฐานด้วยค่าต่ำสุดและสูงสุด (Min-max normalization) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อทำข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน โดยที่ค่าต่ำสุดจะถูกแปลงให้มีค่าเป็น 0 และค่าสูงสุดจะถูกแปลงให้มีค่าเป็น 1 และค่าอื่น ๆ จะถูกแปลงเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 วัตถุประสงค์ทั้งสองจะถูกปรับให้อยู่ในรูปแบบบรรทัดฐาน สำหรับบรรทัดฐานของต้นทุนการดำเนินการรวมแทนด้วย  $J_{TOC}$  และสำหรับบรรทัดฐานของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมแทนด้วย  $J_{TCOE}$  โดยแสดงเป็นสมการดังนี้

$$J_{TOC} = \frac{TOC - TOC_{\min}}{TOC_{\max} - TOC_{\min}} \quad (5.1)$$

$$J_{TCOE} = \frac{TCOE - TCOE_{\min}}{TCOE_{\max} - TCOE_{\min}} \quad (5.2)$$

โดย  $TOC_{\min}$  คือต้นทุนการดำเนินการรวมที่มีค่าต่ำที่สุด  $TOC_{\max}$  คือต้นทุนการดำเนินการรวมที่มีค่าสูงที่สุด  $TCOE_{\min}$  คือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่มีค่าต่ำที่สุด และ  $TCOE_{\max}$  คือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่มีค่าสูงที่สุด และจากบรรทัดฐานของต้นทุน

การดำเนินการรวม และบรรทัดฐานของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมนำมารวมเป็นฟังก์ชันอเนกประสงค์แทนด้วย  $J$  ได้ดังนี้

$$J = (1 - \alpha)J_{\text{TOC}} + \alpha J_{\text{TcoE}} \quad (5.3)$$

โดยตัวถ่วงน้ำหนัก  $\alpha$  มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อแสดงค่าน้ำหนักระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม และตัวถ่วงน้ำหนักมีขนาดขึ้นเท่ากับ 0.1 โดยกรณีที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0 คือกรณีที่พิจารณาการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 คือกรณีที่พิจารณาการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด และจากสมการที่ 5.3 สามารถเขียนปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับฟังก์ชันอเนกประสงค์ได้ดังนี้

minimize  $J$   
subject to 4.1 – 4.4

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่มีความไม่แน่นอน และกรณีที่ระบุ ในกรณีแรกคือ กรณีที่มีความไม่แน่นอน การจัดสรรพลังงานอาศัยความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายภายใต้ความไม่แน่นอนของโหลดไฟฟ้า และกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานในบทที่ 4 ค่าต่ำสุดของต้นทุนการดำเนินการรวม คือ ผลลัพธ์ของต้นทุนจากการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ค่าต่ำสุดของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมคือผลลัพธ์จากการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ในขณะที่ค่าสูงสุดของต้นทุนการดำเนินการรวมคือผลลัพธ์ของต้นทุนจากการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด และค่าสูงสุดของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม คือผลลัพธ์ของการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในทำนองเดียวกัน กรณีที่สองคือกรณีที่ระบุ การจัดสรรพลังงานอาศัยความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย ค่าต่ำสุดของต้นทุนการดำเนินการรวมคือ ผลลัพธ์ต้นทุนจากการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ค่าต่ำสุดของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม คือ ผลลัพธ์จากการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ค่าสูงสุดของต้นทุนการดำเนินการรวม คือ ผลลัพธ์ต้นทุนจากการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ค่าสูงสุดของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมคือผลลัพธ์ของการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และทำให้เป็นบรรทัดฐานตามสมการที่ 5.1 และ 5.2 ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในการทำให้เป็นบรรทัดฐานของทั้งสองกรณี

ตารางที่ 5.1 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในการทำให้เป็นบรรทัดฐาน

ค่าสถิติ	กรณีที่มีความไม่แน่นอน		กรณีที่ระบุ	
	TOC (Baht)	TCOE (tonCO <sub>2</sub> )	TOC (Baht)	TCOE (tonCO <sub>2</sub> )
ค่าต่ำสุด	6,018,029	1,565	5,973,810	1,556
ค่าสูงสุด	6,333,777	1,658	6,461,918	1,659

#### 5.4 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงาน

เพื่อการวางแผนการจัดสรรพลังงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานภายในอาคาร ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนตามประเภทของความต้องการพลังงานภายในอาคาร คือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน

##### 5.4.1 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้า

กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 4 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองในบทที่ 4 คือ กรณีแรกคือไม่มีความต้องการโหลดไฟฟ้า กรณีที่สองคือความต้องการโหลดไฟฟ้าจริงน้อยกว่าความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย กรณีที่สามคือความต้องการโหลดไฟฟ้าจริงมากกว่าความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย และน้อยกว่ากำลังสูงสุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม และกรณีที่สี่คือความต้องการโหลดไฟฟ้าจริงมากกว่าความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนาย และมากกว่ากำลังสูงสุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม โดยอุปกรณ์หลักในการผลิตและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับความต้องการโหลดคือ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม และเมื่อมีความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้าเกิดขึ้น ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่ายจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อรองรับกับความไม่แน่นอนนั้น และหากเกิดกรณีที่เลวร้ายที่สุดเมื่อการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่ายไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับความต้องการได้เพียงพอ ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารจะทำการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้ามาเพื่อตอบสนองความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น

#### 5.4.2 กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานความเย็น

กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานความเย็นถูกแบ่งเป็น 4 กรณี เช่นเดียวกับการทดลองในบทที่ 4 คือกรณีแรกคือไม่มีความต้องการพลังงานความเย็น กรณีที่สองคือความต้องการพลังงานความเย็นน้อยกว่าค่าต่ำสุดในการดำเนินการของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานความร้อนจะทำงานร่วมกันในการจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมจะทำงานที่ค่าขั้นต่ำของพิกัดเครื่อง กรณีที่สามคือความต้องการพลังงานความเย็นมากกว่าค่าขั้นต่ำในการดำเนินการของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม และการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมสามารถจ่ายพลังงานความร้อนได้อย่างเพียงพอ การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมและตัวกักเก็บพลังงานความร้อนจะทำงานร่วมกันในการจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม และกรณีที่สี่การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมไม่สามารถจ่ายพลังงานความร้อนได้เพียงพอ ตัวกักเก็บพลังงานความร้อนและหม้อต้มน้ำเสริม จะทำงานร่วมกันเพื่อจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึม

#### 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม

จากการทดลองใช้กลยุทธ์การจัดสรรพลังงานแบบเหมาะสมที่สุด สำหรับวัตถุประสงค์เชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงสิ่งแวดล้อม ของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่มีตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง และทำการถ่วงน้ำหนักด้วยตัวถ่วงน้ำหนักตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยเพิ่มลำดับชั้นที่ละ 0.1 โดยเมื่อตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0 จะพิจารณาเฉพาะการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด ในขณะที่ที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1 จะพิจารณาเฉพาะการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด และแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี กรณีแรกคือกรณีที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งใช้ความต้องการโหลดไฟฟ้าจากการทำนายภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้าในการวางแผนจัดสรรพลังงาน และกรณีที่สองคือกรณีที่ระบุ ซึ่งใช้โหลดไฟฟ้าจากการทำนายในการจัดสรรพลังงาน

ผลลัพธ์ของต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ได้จากการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุดที่แต่ละตัวถ่วงน้ำหนัก จะถูกนำมาทำให้อยู่ในบรรทัดฐาน โดยใช้หลักการของการทำให้เป็นบรรทัดฐานด้วยค่าต่ำสุดและสูงสุด ดังสมการที่ 5.1 และ 5.2 โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดดังตารางที่ 5.1 ต้นทุนการดำเนินการรวม การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม บรรทัดฐานต้นทุนการดำเนินการรวม และบรรทัดฐานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ที่ตัวถ่วงน้ำหนักต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5.2

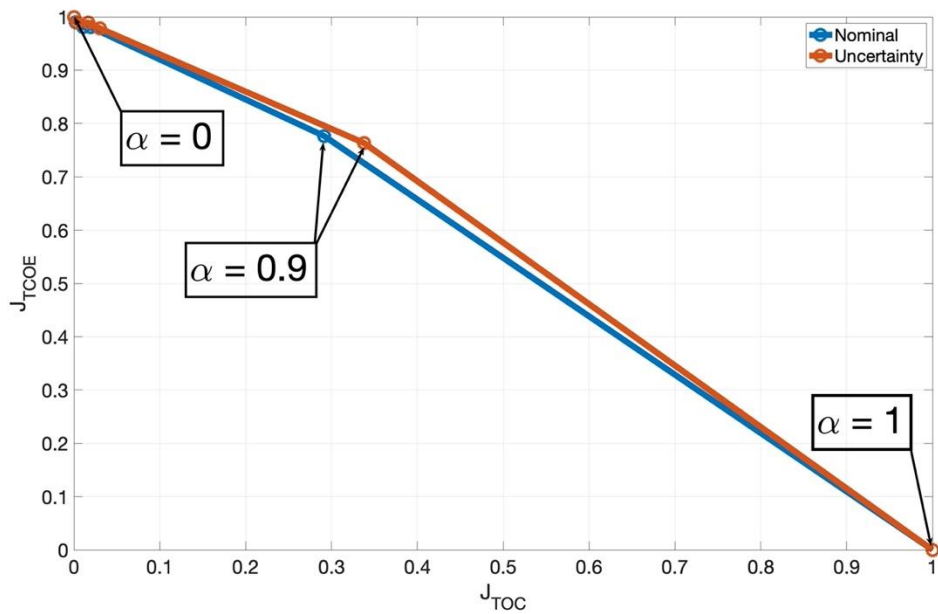
เมื่อทำบรรทัดฐานสำหรับต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักต่าง ๆ พบว่า ที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0 บรรทัดฐานของต้นทุนการดำเนินการ

รวมมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งต้นทุนการดำเนินการรวมจะมีค่าต่ำที่สุด และค่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนถึงที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ต้นทุนการดำเนินการรวมจะมีค่าสูงที่สุด และมีบรรทัดฐานของต้นทุนการดำเนินการรวมเท่ากับ 1 สำหรับทั้งกรณีที่มีความไม่แน่นอน และกรณีที่ระบุ ในขณะที่บรรทัดฐานของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0 บรรทัดฐานของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจะมีค่าสูงที่สุด และค่าจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนถึงที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมจะมีค่าต่ำที่สุด และมีบรรทัดฐานเท่ากับ 0 สำหรับทั้งกรณีที่มีความไม่แน่นอน และกรณีที่ระบุ โดยสมรรถนะการแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม แสดงในรูปที่ 5.1 และภาพขยาย ในรูปที่ 5.2

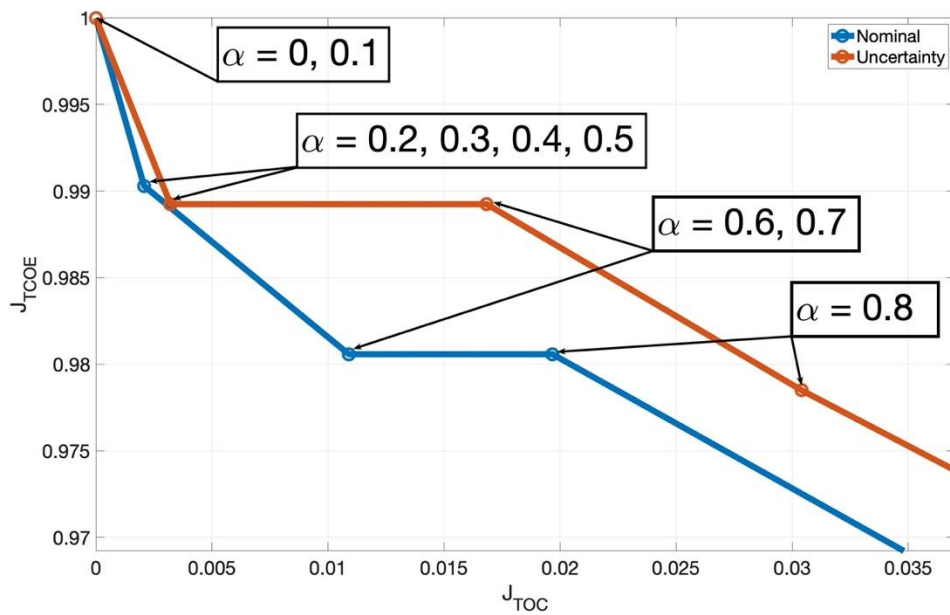
ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม สามารถช่วยในการตัดสินใจในการเลือกจุดในการทำงานของระบบได้ เช่น สามารถเลือกจุดการทำงานที่ให้ต้นทุนการดำเนินการรวมที่มีค่าต่ำที่สุด เพื่อให้ได้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ต้องการ หรือเลือกจุดการทำงานที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ต้นทุนการดำเนินการรวมที่ต้องการ หรือสามารถเลือกจุดตามวัตถุประสงค์การใช้งานตามต้องการได้

ตารางที่ 5.2 ต้นทุนการดำเนินการรวม การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม  
 บรรทัดฐานต้นทุนการดำเนินการรวม และบรรทัดฐานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม  
 ที่ตัวถ่วงน้ำหนักต่าง ๆ

$\alpha$	กรณีที่มีความไม่แน่นอน				กรณีที่ระบุ			
	TOC (Baht)	$J_{\text{TOC}}$	TCOE (tonCO <sub>2</sub> )	$J_{\text{TCOE}}$	TOC (Baht)	$J_{\text{TOC}}$	TCOE (tonCO <sub>2</sub> )	$J_{\text{TCOE}}$
0	6,018,029	0.0000	1,658	1.0000	5,973,810	0.0000	1,659	1.0000
0.1	6,018,029	0.0000	1,658	1.0000	5,973,810	0.0000	1,659	1.0000
0.2	6,019,043	0.0032	1,657	0.9892	5,974,824	0.0021	1,658	0.9903
0.3	6,019,043	0.0032	1,657	0.9892	5,974,824	0.0021	1,658	0.9903
0.4	6,019,043	0.0032	1,657	0.9892	5,974,824	0.0021	1,658	0.9903
0.5	6,019,043	0.0032	1,657	0.9892	5,974,824	0.0021	1,658	0.9903
0.6	6,023,346	0.0168	1,657	0.9892	5,979,127	0.0109	1,657	0.9806
0.7	6,023,346	0.0168	1,657	0.9892	5,979,127	0.0109	1,657	0.9806
0.8	6,027,631	0.0304	1,656	0.9785	5,983,412	0.0197	1,657	0.9806
0.9	6,124,735	0.3379	1,636	0.7634	6,115,983	0.2913	1,636	0.7767
1	6,333,777	1.0000	1,565	0.0000	6,461,918	1.0000	1,556	0.0000



รูปที่ 5.1 สมรรถนะการแลกเปลี่ยนระหว่าง  
ต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม



รูปที่ 5.2 สมรรถนะการแลกเปลี่ยนระหว่าง  
ระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม (ขยาย)



## 5.6 ผลลัพธ์การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด

เมื่อคำนวณหาผลลัพธ์สำหรับการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์ของระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้เสนอใหม่ จะนำมาเปรียบเทียบกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้าซึ่งไม่มีตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่าย เรานำเสนอผลการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุดที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 เพื่อเป็นตัวอย่างและเปรียบเทียบกับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารก่อนหน้า โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ต้นทุนการดำเนินการรวม ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ดังแสดงในตารางที่ 5.4

จากตารางที่ 5.3 พบว่า การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด สามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 7.33 และร้อยละ 4.94 สำหรับตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1 ตามลำดับ จากตารางที่ 5.4 พบว่าการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด สำหรับตัวถ่วงน้ำหนัก 1 สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมร้อยละ 0.25 แต่สำหรับตัวถ่วงน้ำหนัก 0.9 เพิ่มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมร้อยละ 4.27 เมื่อดูผลลัพธ์แบ่งตามอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถช่วยลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าการใช้พลังงานและค่าความต้องการพลังงาน

ตารางที่ 5.3 ต้นทุนการดำเนินการรวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1

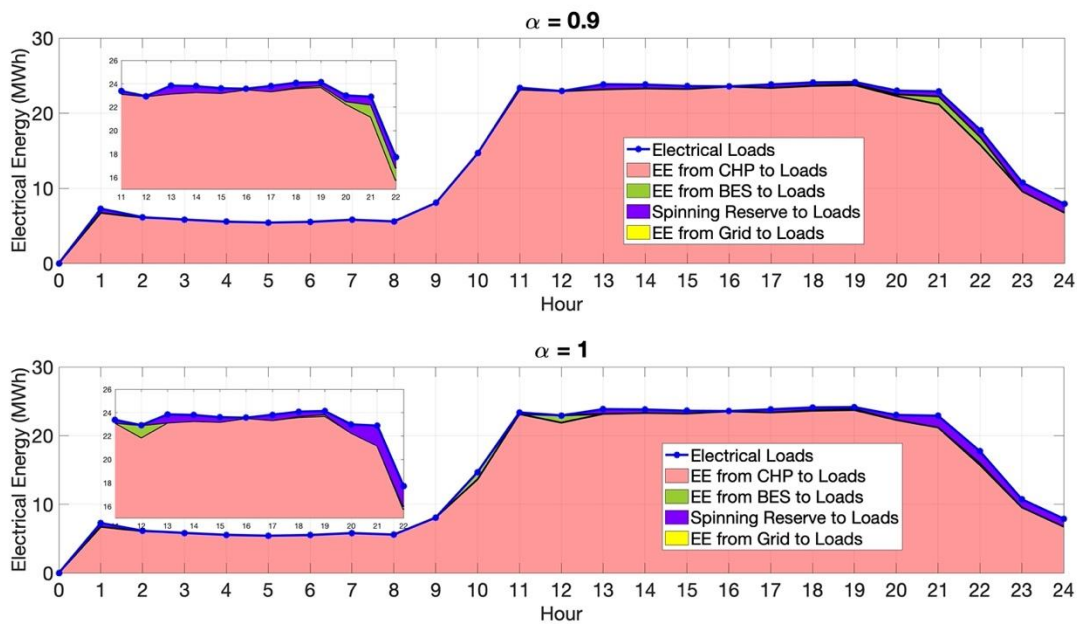
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กลยุทธ์ก่อนหน้า	ฟังก์ชันอเนกประสงค์		ร้อยละการปรับปรุง	
		$\alpha = 0.9$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.9$	$\alpha = 1$
ต้นทุนการดำเนินการรวม (บาท)	6,662,941	6,174,528	6,333,777	7.33	4.94
<b>ต้นทุนการดำเนินการรวมแบ่งตามอุปกรณ์</b>					
การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม (บาท)	5,426,078	5,418,901	5,481,719	0.13	-1.03
หม้อต้มน้ำเสริม (บาท)	474,893	571,756	755,313	-20.4	-59.05
ตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (บาท)	0	48,731	48,731	N/A	N/A
โครงข่ายไฟฟ้า (บาท)	761,970	0	0	100	100
กำลังสำรองพร้อมจ่าย (บาท)	0	85,347	96,744	N/A	N/A

ตารางที่ 5.4 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1

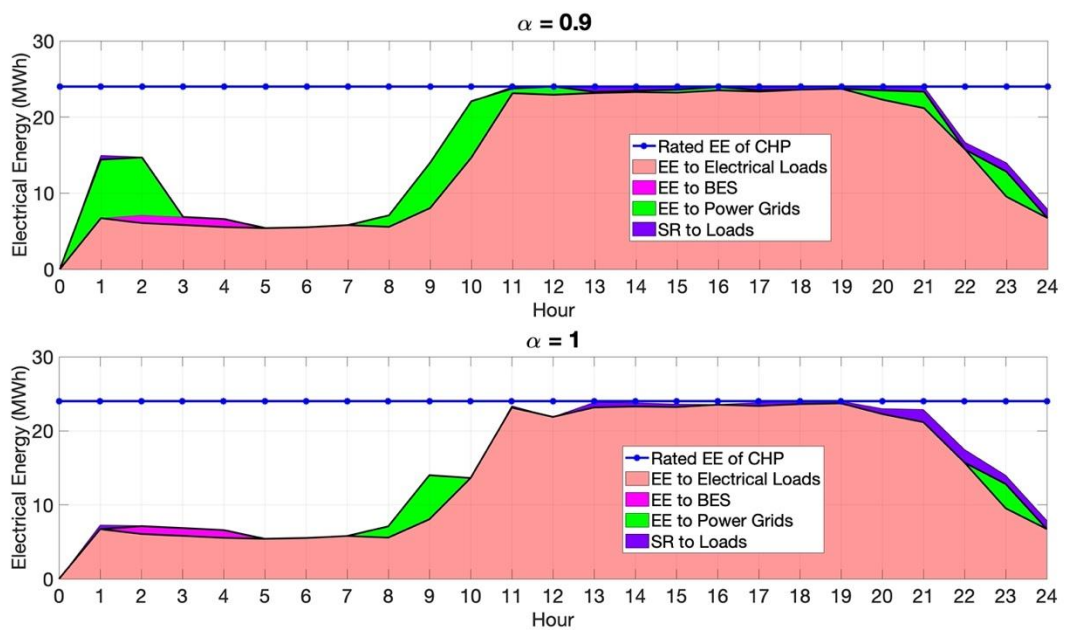
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	กลยุทธ์ ก่อนหน้า	ฟังก์ชันอเนกประสงค์ที่		ร้อยละการปรับปรุง	
		$\alpha = 0.9$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.9$	$\alpha = 1$
การปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์รวม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	1,569	1,636	1,565	-4.27	0.25
<b>การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมแบ่งตามอุปกรณ์</b>					
การผลิตพลังงานความร้อนและ ไฟฟ้ารวม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	1,360	1,481	1,381	-8.9	-1.58
หม้อต้มน้ำเสริม (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	162	122	162	24.7	0.16
ตัวกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	0	12	12	N/A	N/A
โครงข่ายไฟฟ้า (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	31	0	0	100	100
กำลังสำรองพร้อมจ่าย (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์)	0	21	23	N/A	N/A

ต่อไปเรานำเสนอการไหลของพลังงานสำหรับฟังก์ชันอเนกประสงค์ของกรณีที่มีความไม่แน่นอน ระบบจัดการพลังงานที่มีการนำตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่และกำลังสำรองพร้อมจ่ายมาปรับใช้นั้น สามารถรองรับความต้องการโหลดได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างการไหลของพลังงานต่าง ๆ โดยการแสดงตัวอย่างของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด 4.2 เมกะวัตต์ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบ 2 ตัวถ่วงน้ำหนัก คือที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ของกรณีที่มีความไม่แน่นอน

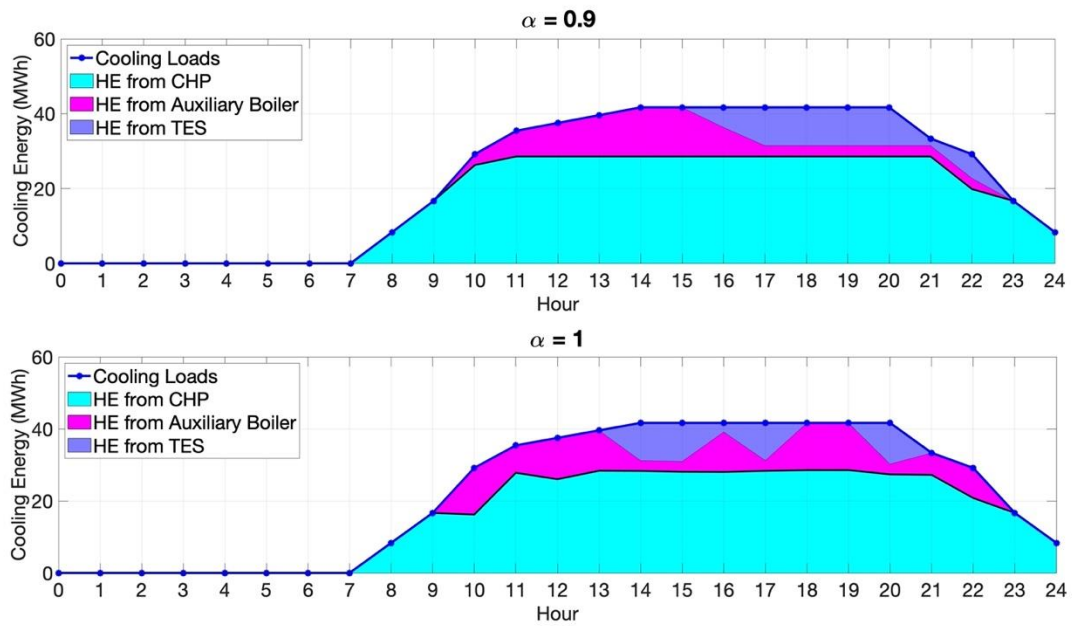
การไหลของพลังงานไฟฟ้าไปที่ความต้องการโหลดไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และกำลังสำรองพร้อมจ่ายสามารถรองรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี รูปที่ 5.4 แสดงการไหลของพลังงานของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม สำหรับฟังก์ชันอเนกประสงค์ ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารยังคงทำงานเพื่อตอบสนองต่อความต้องการโหลดได้เป็นอย่างดี มีการชาร์จพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ และสร้างกำไรจากการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการโหลดไฟฟ้าต่ำ และสังเกตเห็นว่า กรณีที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1 ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารจะพยายามดำเนินการ โดยคำนึงถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีย่าน้อยที่สุด ระบบจึงลดการขายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รูปที่ 5.5 แสดงการไหลของพลังงานความเย็น จะเห็นว่า ระบบกักเก็บพลังงานความร้อน สามารถช่วยลดการใช้หม้อต้มน้ำเสริมได้ และในกรณีที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1 ระบบจะนำพลังงานความร้อนจากหม้อต้มน้ำเสริมมาใช้ในบางช่วง ทดแทนการใช้ความร้อนจากการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม เนื่องจากหม้อต้มน้ำเสริมมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยกว่า รูปที่ 5.6 แสดงการไหลของพลังงานความร้อนของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 5.5 สำหรับกรณีที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมจะจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมน้อยกว่ากรณีที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 โดยสถานะประจุสำหรับระบบกักเก็บพลังงานความร้อนแสดงในรูปที่ 5.7 จะเห็นว่าพลังงานความร้อนเหลือทิ้งที่ได้นำมาเก็บไว้ ช่วยจ่ายพลังงานความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดซึมเพื่อจัดสรรพลังงานความเย็นได้ รูปที่ 5.8 แสดงสถานะประจุของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการช่วยรองรับความต้องการโหลดไฟฟ้าที่ไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น ซึ่งช่วยลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5.9



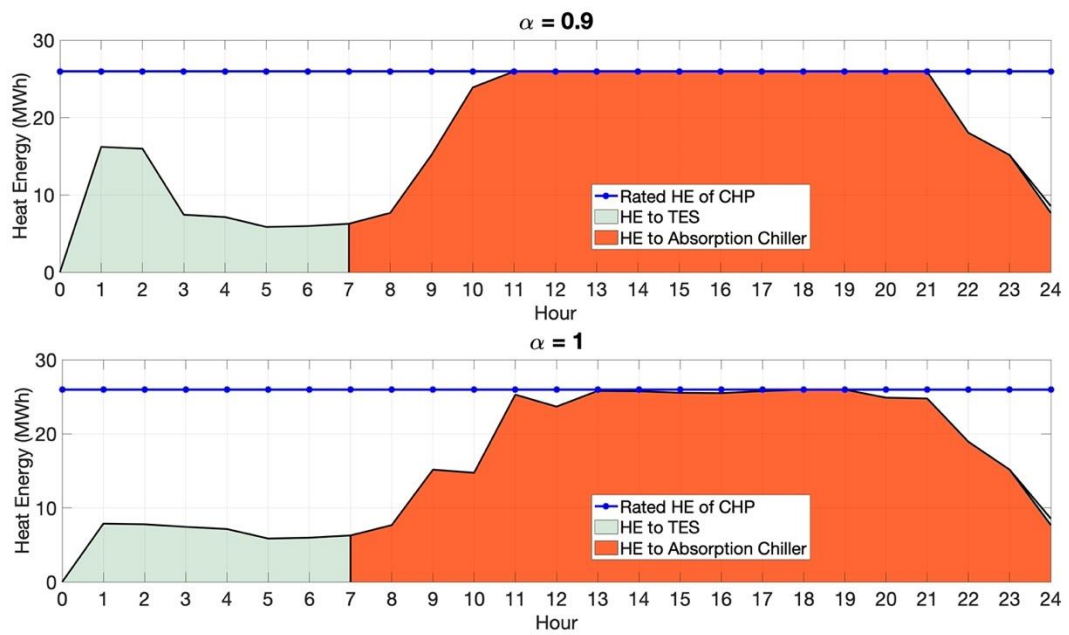
รูปที่ 5.3 การไหลของพลังงานไฟฟ้าที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1



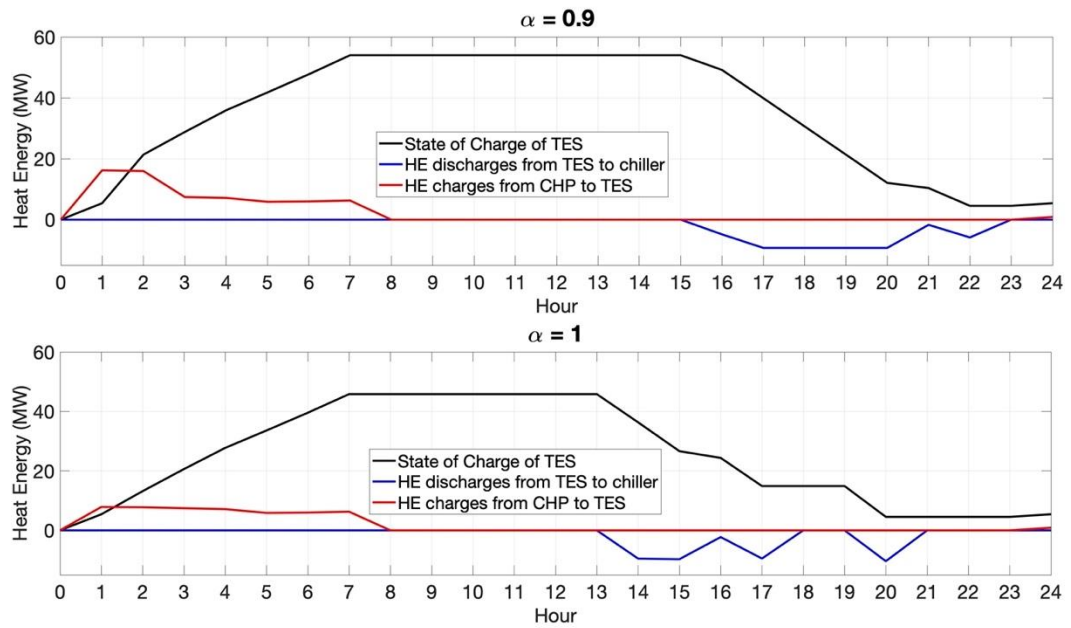
รูปที่ 5.4 การไหลของพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1



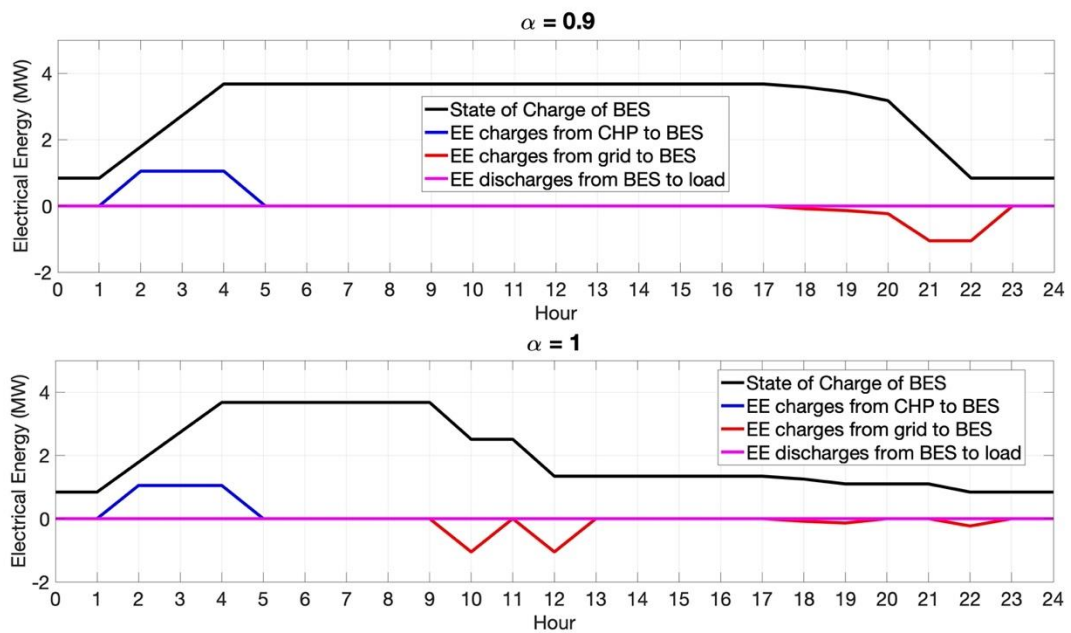
รูปที่ 5.5 การไหลของพลังงานความเย็นที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1



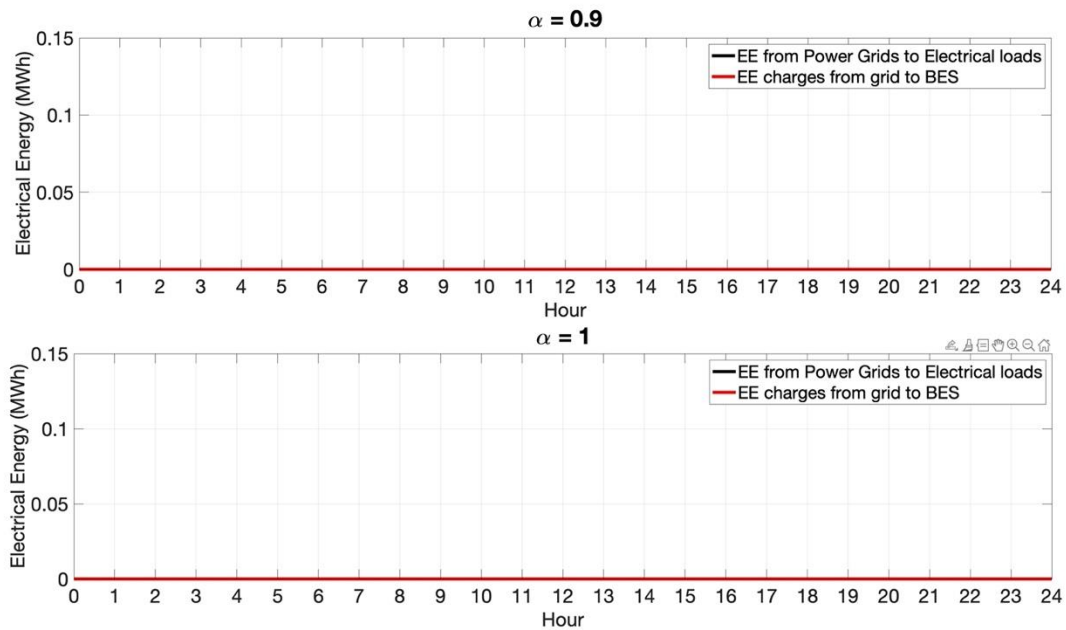
รูปที่ 5.6 การไหลของพลังงานความร้อนสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวมที่ตัวถ่วงน้ำหนัเท่ากับ 0.9 และ 1



รูปที่ 5.7 สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานความร้อนที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1



รูปที่ 5.8 สถานะประจุสำหรับตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1



รูปที่ 5.9 การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 และ 1

## 5.7 สรุป

ในบทที่ 5 แสดงผลการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองวัตถุประสงค์คือ ต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม โดยตัวถ่วงน้ำหนักที่ตัวถ่วงน้ำหนักระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ตัวถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0 จะได้ต้นทุนการดำเนินการรวมที่มีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมมีค่ามากที่สุด ในทางตรงกันข้าม ที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ต้นทุนการดำเนินการรวมจะมีค่ามากที่สุด ในขณะที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมมีค่าต่ำที่สุด โดยแสดงผลเป็นสมรรถนะการแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ในรูปของบรรทัดฐานโดยใช้วิธีการทำให้เป็นบรรทัดฐานด้วยค่าต่ำสุดและสูงสุด ในการวิเคราะห์การไหลของพลังงานแสดงให้เห็นว่า การดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุดสามารถตอบสนองความต้องการโหลดไฟฟ้าและโหลดความเย็นได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงแสดงผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการรวมและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 ซึ่งพบว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 7.33 แต่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.27 และแสดงผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการรวมและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ซึ่งพบว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 4.94 และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมร้อยละ 0.25

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอกลยุทธ์การจัดการจัดสรรแบบเหมาะสมที่สุดของการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมที่มีตัวกักเก็บพลังงานความร้อน และตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ สำหรับระบบจัดการพลังงานภายในอาคารภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อให้ได้การจัดสรรพลังงานแบบเหมาะสมที่สุด และมีต้นทุนการดำเนินการรวม และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม โดยได้แสดงตัวอย่างการสร้างชุดความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้า วิเคราะห์ความไม่แน่นอน และนำมาสร้างชุดของความต้องการโหลดไฟฟ้าภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการโหลดไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวางแผนและจัดสรรพลังงานล่วงหน้า และแสดงตัวอย่างของกลยุทธ์ในการจัดสรรพลังงานสำหรับพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความเย็น สำหรับห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่

ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอ ช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวมร้อยละ 9.68 ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมได้ร้อยละ 0.25 ภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด และเมื่อพิจารณากรณีที่ระบุ จะพบว่าระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 1.26 ภายใต้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด แต่สำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมภายใต้การดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอยังไม่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมได้ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.71 และผลลัพธ์เมื่อพิจารณาเจาะจงตามอุปกรณ์ต่าง ๆ พบว่า การติดตั้งตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เป็นส่วนสำคัญในการช่วยลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า

สำหรับการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสองวัตถุประสงค์ คือต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม รวมไปถึงวิเคราะห์การไหลของพลังงาน และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์ทั้งสอง ต้นทุนการดำเนินการรวมและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ได้ถูกจัดให้อยู่ในรูปผลรวมเชิงเส้นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสอง และจัดให้อยู่ในบรรทัดฐาน ปรับเปลี่ยนตัวถ่วงน้ำหนัก เพื่อหาความสัมพันธ์ และผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมรรถภาพการแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนการดำเนินการรวมกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม ซึ่งสามารถใช้ในการช่วยตัดสินใจเลือกจุดการทำงานของระบบได้ สำหรับการวิเคราะห์การไหลของพลังงาน พบว่าการดำเนินงานอเนกประสงค์แบบเหมาะสมที่สุด สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานได้อย่างครบถ้วน



รวมไปถึงสามารถลดการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งช่วยลดต้นทุนจากการลดค่าพลังงาน และค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยการแสดงผลที่ตัวถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.9 พบว่า ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ร้อยละ 7.33 แต่ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.27



## 6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. สำหรับการดำเนินงานความต้องการโหลดไฟฟ้า แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายนั้นสามารถพัฒนาโครงสร้างให้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย ซึ่งเมื่อความแม่นยำของการทำนายเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำผลลัพธ์จากการทำนายความต้องการโหลดไฟฟ้าไปใช้ในการวางแผนกลยุทธ์การจัดสรรพลังงานล่วงหน้าก็จะช่วยให้ระบบจัดการพลังงานภายในอาคารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. จากผลของการหากลยุทธ์จัดสรรแบบเหมาะสมที่สุด สำหรับการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด ในบางกรณีระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่นำเสนอยังไม่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมได้ ดังนั้นจึงสามารถพัฒนากลยุทธ์การจัดสรรพลังงานเพื่อให้สามารถตอบโจทย์ทั้งการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์แบบเหมาะสมที่สุด และการดำเนินงานเชิงสิ่งแวดล้อมแบบเหมาะสมที่สุด สำหรับทุกกรณี

3. เนื่องจากระบบจัดการพลังงานภายในอาคารที่ได้นำเสนอมีการติดตั้งตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เข้าไปในระบบ ดังนั้นควรเพิ่มการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการติดตั้ง เช่น การวิเคราะห์ต้นทุน ระยะเวลาคืนทุน รวมไปถึงวิเคราะห์วงจรชีวิตของตัวกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อคำนวณผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการลงทุนติดตั้ง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Safaei, F. Freire, A. Fausto, and C. H. Antunes, "A model for optimal energy planning of a commercial building integrating solar and cogeneration system," *Energy*, Elsevier, vol. 61, pp. 211–223, 2013.
- [2] K. Manusilp and D. Banjerdpongchai, "Optimal dispatch of cogeneration with thermal energy storage for Building Energy Management System," 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561376.
- [3] M.J. Sanjari et al., "Micro-generation dispatch in a smart residential multi-carrier energy system considering demand forecast error", *Energy Conversion and Management*, vol. 120, pp. 90-99, July 2016.
- [4] M.J. Sanjari and H. Karami, "Optimal control strategy of battery-integrated energy system considering load demand uncertainty," *Energy*, vol. 210, 118525, November 2020.
- [5] Y. Zhang, N. Gatsis and G. B. Giannakis, "Robust Energy Management for Microgrids With High-Penetration Renewables," in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no. 4, pp. 944-953, Oct. 2013, doi: 10.1109/TSTE.2013.2255135.
- [6] A. Sobu and G. Wu, "Dynamic optimal schedule management method for microgrid system considering forecast errors of renewable power generations," 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), 2012, pp. 1-6, doi: 10.1109/PowerCon.2012.6401287.
- [7] *Load forecast ต้นทาง ... การสร้างโรงไฟฟ้า*. Elibrary.eppo. (n.d.). Retrieved February 2, 2022, from [http://elibrary.eppo.go.th/upload/mod\\_book/preview-00193.pdf](http://elibrary.eppo.go.th/upload/mod_book/preview-00193.pdf)

- [8] *Using Uncertainty Modeling to Better Predict Demand*. (2022, January 6). Harvard Business Review. Retrieved February 2, 2022, from <https://hbr.org/2022/01/using-uncertainty-modeling-to-better-predict-demand>
- [9] ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร | *Building Energy Management System: BEMS*. แคตตาล็อกพลังงาน. Retrieved February 2, 2022, from <https://tgcpenergycatalogue.wordpress.com/2021/03/22/ระบบบริหารจัดการพลังงาน-2/>
- [10] ระบบกักเก็บพลังงาน. EPPO. (n.d.). Retrieved February 2, 2022, from <http://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/17421-news-241064-01>
- [11] Dietrich, B. (2020, April 15). *Spinning Reserve*. Energy Storage Association. <https://energystorage.org/spinning-reserve/>
- [12] "Fuel Prices in July 2019", Department of Mineral Fuels, Ministry of Energy, Thailand, Jul. 2019.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency and Combined Heat and Power Partnership (Dec. 2008). Catalog of การผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม Technologies [Online]. Available: [www.epa.gov/chp/documents/catalog\\_chptech\\_full.pdf](http://www.epa.gov/chp/documents/catalog_chptech_full.pdf).
- [14] R. Hashemi, "A Developed Offline Model for Optimal Operation of Combined Heating and Cooling and Power Systems", IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 24, no. 1, pp. 222-229, Mar. 2009.
- [15] T. Petkajee and D. Banjerdpongchai, "Design of Cogeneration and Analysis of Economic and Environmental Optimal Operations for Building Energy Management System", ECTI Trans. on Electrical Engineering, Electronics, and Communications, vol. 11, no. 2, pp. 79-94, August 2013.
- [16] Y. Lin, H. Luo, D. Wang, H. Guo, and K. Zhu, "An Ensemble Model Based on Machine Learning Methods and Data Preprocessing for Short-Term Electric Load Forecasting," Energies, vol. 10, no. 1186, 2017.

- [17] Hammad, Mahmoud A., Jereb, Borut, Rosi, Bojan and Dragan, Dejan. "Methods and Models for Electric Load Forecasting: A Comprehensive Review" *Logistics, Supply Chain, Sustainability and Global Challenges*, vol.11, no.1, 2020, pp.51-76. <https://doi.org/10.2478/jlst-2020-0004>
- [18] Zakaria, Firas B. Ismail, M.S. Hossain Lipu, M.A. Hannan. "Uncertainty models for stochastic optimization in renewable energy applications", *Renewable Energy*, vol.145, 2020, pp.1543-1571. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.081>.
- [19] Hitesh Chaudhari, Load Forecasting using ANN.
- [20] Tangruamsub, S. (2017, June 4). *Long Short-Term Memory (LSTM)*. <https://medium.com/@sinart.t/long-short-term-memory-lstm-e6cb23b494c6>
- [21] Dertat, A. (2017, November 8). *Applied Deep Learning - Part 4: Convolutional Neural Networks*. <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2>
- [22] ผึ้งทองดี ชาติชาย. (2013, September 6). *รูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม(Co-generation plant)*. GotoKnow. Retrieved June 23, 2022, from <https://www.gotoknow.org/posts/183558>
- [23] Dinçer, I. &. (2011). *Thermal energy storage systems and applications*. Hoboken, N.J.: Wiley.

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ภาคผนวก

### 1. โค้ดแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

```

clc
clear

%% Generate Predictor Matrix
%% Neural Network
% Construct the neural network.
trainFcn = 'trainbr';
hiddenLayer1Size = 10;
hiddenLayer2Size = 10;
net_wd = fitnet([hiddenLayer1Size hiddenLayer2Size], trainFcn);
% % Weekday
net_wd = train(net_wd, trainXweekday', trainYweekday');
%% Forecast using Neural Network Model
% Once the model is built, perform a forecast on the independent test set.
forecastLoadwd = sim(net_wd, testXweekday');
%% Compare Forecast Load and Actual Load
% Create a plot to compare the actual load and the predicted load as well
% as compute the forecast error. In addition to the visualization, quantify
% the performance of the forecaster using metrics such as mean absolute
% error (MAE), mean absolute percent error (MAPE) and daily peak forecast
% error.
% Weekday
errwd = testYweekday-forecastLoadwd;
errpctwd = abs(errwd)./testYweekday*100;
MAEwd = mean(abs(errwd));
MAPEwd = mean(errpctwd(~isinf(errpctwd)));
sqrewd = errwd.^2;
meanwd = mean(sqrewd);

```

```

RMSEwd = sqrt(meanwd);
fprintf('Mean Absolute Percent Error for Weekday (MAPE): %0.2f%% \n',MAPEwd)
fprintf('Root Mean Square Error for Weekday (MAPE): %0.2f%% \n', RMSEwd)
%% Generate Predictor Matrix
%% Neural Network
% Construct the neural network.
trainFcn = 'trainbr';
hiddenLayer1Size = 3;
hiddenLayer2Size = 3;
net_we = fitnet([hiddenLayer1Size hiddenLayer2Size], trainFcn);
% % Weekend
net_we = train(net_we, trainXweekend', trainYweekend');
%% Forecast using Neural Network Model
% Once the model is built, perform a forecast on the independent test set.
forecastLoadwe = sim(net_we, testXweekend');
% Weekend
errwe = testYweekend-forecastLoadwe;
errpctwe = abs(errwe)./testYweekend*100;
MAEwe = mean(abs(errwe));
MAPEwe = mean(errpctwe(~isinf(errpctwe)));
sqrewe = errwe.^2;
meanwe = mean(sqrewe);
RMSEwe = sqrt(meanwe);
fprintf('Mean Absolute Percent Error for Weekend (MAPE): %0.2f%% \n',MAPEwe)
fprintf('Root Mean Square Error for Weekend (MAPE): %0.2f%% \n', RMSEwe)

```

## 2. โค้ดแบบจำลองความจำระยะสั้นระยะยาว

```

%% Partition the training and test data
YTrain = trainYweekday';
XTrain = trainXweekday';
XTrain = num2cell(XTrain,1);

```



```

YTrain = num2cell(YTrain,1);
%% Define LSTM Network Architecture
numResponses = size(YTrain{1},1);
featureDimension = size(XTrain{1},1);
numHiddenUnits = 100;
layers = [ ...
    sequenceInputLayer(featureDimension)
    lstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','sequence')
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    dropoutLayer(0.005)
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    lstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','sequence')
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    dropoutLayer(0.005)
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    lstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','sequence')
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    dropoutLayer(0.005)
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    regressionLayer];
maxepochs = 250;
miniBatchSize = 1;
options = trainingOptions('adam', ...
    'MaxEpochs',maxepochs, ...
    'GradientThreshold',1, ...
    'InitialLearnRate',0.005, ...
    'LearnRateSchedule','piecewise', ...
    'LearnRateDropPeriod',125, ...
    'LearnRateDropFactor',0.2, ...
    'Verbose',0, ...
    'Plots','training-progress');

```

```

%% Train LSTM Network
net = trainNetwork(XTrain,YTrain,layers,options);

%% Test data
YTest =testYweekday';
XTest =testXweekday';
XTest = num2cell(XTest,1);
YTest = num2cell(YTest,1);
net = resetState(net);
YPred = predict(net,XTest);
YPred = (cell2mat(YPred(1:end, 1:end)));
YTest = (cell2mat(YTest(1:end, 1:end)));
%% Partition the training and test data
YTrain = trainYweekend';
XTrain = trainXweekend';
XTrain = num2cell(XTrain,1);
YTrain = num2cell(YTrain,1);
%% Define LSTM Network Architecture
miniBatchSize = 1;
numResponses = size(YTrain{1},1);
featureDimension = size(XTrain{1},1);
numHiddenUnits = 100;
layers = [ ...
    sequenceInputLayer(featureDimension)
    lstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','sequence')
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    dropoutLayer(0.005)
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    lstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','sequence')
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    dropoutLayer(0.005)
    fullyConnectedLayer(numResponses)

```

```

lstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','sequence')
fullyConnectedLayer(numResponses)
dropoutLayer(0.005)
fullyConnectedLayer(numResponses)
regressionLayer];
maxepochs = 250;
miniBatchSize = 1;
options = trainingOptions('adam', ...
    'MaxEpochs',maxepochs, ...
    'GradientThreshold',1, ...
    'InitialLearnRate',0.005, ...
    'LearnRateSchedule','piecewise', ...
    'LearnRateDropPeriod',125, ...
    'LearnRateDropFactor',0.2, ...
    'Verbose',0, ...
    'Plots','training-progress');
%% Train LSTM Network
net = trainNetwork(XTrain,YTrain,layers,options);
%% Test data
YTest =testYweekend';
XTest =testXweekend';
XTest = num2cell(XTest,1);
YTest = num2cell(YTest,1);
net = resetState(net);
YPred = predict(net,XTest);
YPred = (cell2mat(YPred(1:end, 1:end)));
YTest = (cell2mat(YTest(1:end, 1:end)))';

```

### 3. โค้ดแบบจำลองโครงข่ายประสาทสังวัตนาการ

```

%% Partition the training and test data
YTrain = trainYweekday';
YTrain = categorical(YTrain);
YTrain = num2cell(YTrain,1);
%%
XTrain = trainXweekday';
XTrain = num2cell(XTrain,1);
%% Define LSTM Network Architecture
numResponses = size(YTrain{1},1);
featureDimension = size(XTrain{1},1);
numHiddenUnits = 100;
numFilters = 150;
filterSize = 5;
%%
layers = [...
    sequencelInputLayer(featureDimension)
    convolution1dLayer(filterSize,numFilters,Padding=5)
    reluLayer
    globalMaxPooling1dLayer
    convolution1dLayer(filterSize,numFilters,Padding=5)
    reluLayer
    globalMaxPooling1dLayer
    convolution1dLayer(filterSize,numFilters,Padding=5)
    reluLayer
    globalMaxPooling1dLayer
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    softmaxLayer
    classificationLayer];
%%
maxepochs = 250;

```

```

miniBatchSize = 1;
options = trainingOptions('adam', ...
    'MaxEpochs',maxepochs, ...
    'GradientThreshold',1, ...
    'InitialLearnRate',0.005, ...
    'LearnRateSchedule','piecewise', ...
    'LearnRateDropPeriod',125, ...
    'LearnRateDropFactor',0.2, ...
    'Verbose',0, ...
    'Plots','training-progress');
%% Train Network
net = trainNetwork(XTrain,YTrain,layers,options);
%% Test data
YTest =testYweekday';
XTest =testXweekday';
XTest = num2cell(XTest,1);
YTest = num2cell(YTest,1);
net = resetState(net);
YPred = predict(net,XTest);
%% Partition the training and test data
YTrain = trainYweekday';
YTrain = categorical(YTrain);
YTrain = num2cell(YTrain,1);
%%
XTrain = trainXweekday';
XTrain = num2cell(XTrain,1);
%% Define LSTM Network Architecture
numResponses = size(YTrain{1},1);
featureDimension = size(XTrain{1},1);
numHiddenUnits = 100;
numFilters = 150;

```

```

filterSize = 5;
%%
layers = [...
    sequenceInputLayer(featureDimension)
    convolution1dLayer(filterSize,numFilters,Padding=5)
    reluLayer
    globalMaxPooling1dLayer
    fullyConnectedLayer(numResponses)
    softmaxLayer
    classificationLayer];
%%
maxepochs = 250;
miniBatchSize = 1;
options = trainingOptions('adam', ...
    'MaxEpochs',maxepochs, ...
    'GradientThreshold',1, ...
    'InitialLearnRate',0.005, ...
    'LearnRateSchedule','piecewise', ...
    'LearnRateDropPeriod',125, ...
    'LearnRateDropFactor',0.2, ...
    'Verbose',0, ...
    'Plots','training-progress');
%% Train Network
net = trainNetwork(XTrain,YTrain,layers,options);
%% Test data
YTest =testYweekday';
XTest =testXweekday';
XTest = num2cell(XTest,1);
YTest = num2cell(YTest,1);
net = resetState(net);
YPred = predict(net,XTest);

```

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ประชิดา ไตรรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	20 มกราคม 2541
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า เกียรตินิยมอันดับ 2
ที่อยู่ปัจจุบัน	341/1 ถ.ศรีสวัสดิ์ดำเนิน ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม
ผลงานตีพิมพ์	P. Trairat and D. Banjerdpongchai, "Optimal Dispatch of Cogeneration with Thermal and Battery Energy Storage for BEMS Subject to Load Demand Uncertainty," 2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ECTI-CON54298.2022.9795588.