

อัลกอริทึมการควบคุมโหลดโดยตรงที่คำนึงถึงความสะดวกสบายสำหรับระบบการตอบสนองด้าน
โหลด



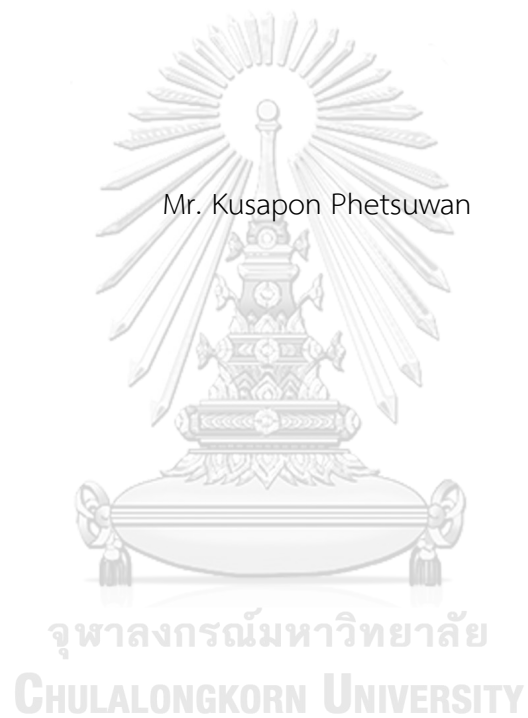
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Direct Load Control Algorithm Concerning Comfort for Demand Response

Mr. Kusapon Phetsuwan



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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อัลกอริทึมการควบคุมโหลดโดยตรงที่คำนึงถึงความ
สะดวกสบายสำหรับระบบการตอบสนองด้านโหลด

โดย

นายกุศภณ เพชรสุวรรณ

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัชย์ ชัยทัศน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลาธรรม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กฤษณะ เพชรสุวรรณ : อัลกอริทึมการควบคุมโหลดโดยตรงที่คำนึงถึงความสะดวกสบาย สำหรับระบบการตอบสนองด้านโหลด (A Direct Load Control Algorithm Concerning Comfort for Demand Response) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วันเฉลิม โปรา, 61 หน้า.

การควบคุมโหลดโดยตรงเป็นมาตรการหนึ่งของการตอบสนองด้านโหลดโดยทำการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าระยะไกลผ่านโครงข่ายสื่อสาร สำหรับประเทศไทยเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นเป้าหมายหลัก เนื่องจากมีการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงมากในช่วงฤดูร้อน ในหัวข้อนี้ได้ใช้เทคนิคการจัดลำดับการเปิดปิดโหลดสำหรับศูนย์การควบคุมโหลดในการควบคุมเครื่องปรับอากาศโดยการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศบางเครื่องซึ่งมีเป้าหมายสูงสุดคือให้ผู้ที่ถูกควบคุมยังคงรู้สึกสบายมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในงานนี้ได้มีการใช้การโปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหาออฟติไมเซชัน และพัฒนาอัลกอริทึมนี้ โดยทดสอบจากกลุ่มของเครื่องปรับอากาศจำลองจำนวน 2,000 เครื่อง (12,000 บีทียู/ชม. 500 เครื่อง; 18,000 บีทียู/ชม. 500 เครื่อง; 24,000 บีทียู/ชม. 1,000 เครื่อง) ในหลายสถานการณ์ เช่น วันที่อากาศปกติ หรือวันที่อากาศร้อนจัด พบว่าอัลกอริทึมนี้สามารถควบคุมไฟฟ้าให้ไม่เกินระดับกำลังที่กำหนดไว้ได้ และสามารถลดกำลังไฟฟ้าได้ 1) 500 กิโลวัตต์ โดยที่ผู้ที่ถูกควบคุมส่วนมากยังคงรู้สึกสบาย 2) 1,000 กิโลวัตต์ โดยที่ผู้ที่ถูกควบคุมยังคงรู้สึกสบายอยู่ 80-60% 3) 1,500 กิโลวัตต์ โดยที่ผู้ที่ถูกควบคุมยังคงรู้สึกสบายอยู่ 50-40%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5970113021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: DIRECT LOAD CONTROL / LOAD AGGREGATOR / LOAD SCHEDULING ALGORITHM / AIR CONDITIONER / THERMAL COMFORT

KUSAPON PHETSUWAN: A Direct Load Control Algorithm Concerning Comfort for Demand Response. ADVISOR: ASST. PROF. WANCHALERM PORA, Ph.D., 61 pp.

Direct Load Control is one of the demand response policies. It may control remote appliances via a telecommunication network. Air conditioners are its main targets since they consume lots of power in summer. In this work, a load scheduling technique for operating at a load aggregator is proposed. It selectively turns on/off some of air conditioners. The ultimate goal is that the customers are still in the comfort zone as much as possible. The optimization problem is solved by linear programming. The developed algorithm is implemented and tested by a group of 2,000 simulated air conditioners (500 ACs 12,000 BTU/h; 500 ACs 18,000 BTU/h; 1,000 ACs 24,000 BTU/h) in many conditions for example in regular climate or in very hot days. The developed algorithm is able to control and limit the electrical power not higher than a given level. It can decrease the power consumption in a very hot day more than 1) 500 kW, while most customers are still in comfort zone; 2) 1,000 kW, while 80-60% of customers are still in comfort zone and 3) 1,500 kW, while 50-40% of customers are still in comfort zone

Department: Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ของ ผศ.ดร. วันเฉลิม โปรา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน แนะนำแนวทาง ข้อคิดเห็น ในด้านวิชาการ ด้านเทคนิคการเขียนวิทยานิพนธ์ และด้านกำลังใจ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัย รวมถึงโอกาสที่ได้ให้ข้าพเจ้าเข้ามา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุรัชย์ ชัยทัศนีย์ และ รศ.ดร.เอกชัย ลีลาธรรม ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์ รวมถึงได้ให้ความเห็น ตรวจสอบ แก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา สำหรับกำลังใจที่สำคัญที่สุด ที่คอยเอาใจใส่ดูแลและเป็นที่ยกย่องที่สำคัญตลอดการศึกษา เพื่อนในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวมทุกคน ในการให้คำปรึกษา ในด้านวิชาการ และด้านกำลังใจ รวมถึงครอบครัวมากมายที่พบเจอ ที่ได้ให้กำลังใจ ข้อคิด และประสบการณ์มากมาย

ขอขอบพระคุณ หน่วยงานทั้งหมดของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทรัพยากร อุปกรณ์ และประสบการณ์ที่สำคัญ ในการศึกษาค้นคว้าวิจัย และขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช ทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา ตลอดการศึกษาภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ ถึงแม้ว่าจะได้รับการสนับสนุน และกำลังใจมากมาย แต่วิทยานิพนธ์นี้จะไม่มีความสำเร็จได้ ถ้าตนเองไม่ได้เริ่มทำ พยายาม อดทน และไม่ย่อท้อ ทำให้สามารถฝ่าฟันอุปสรรคที่สำคัญ สำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response).....	5
2.2 วัตถุประสงค์ของการตอบสนองด้านโหลด	5
2.3 ประเภทของการตอบสนองด้านโหลด	5
2.4 การตอบสนองด้านโหลดกับประเทศไทย.....	6
2.5 มาตรการควบคุมโหลดโดยตรง (Direct Load Control :DLC).....	7
2.6 มาตรการการควบคุมโหลดโดยตรงในประเทศไทย	9
2.7 ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า (Load Aggregator)	10
2.8 ความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort).....	11
2.9 ดัชนีตัวชี้วัดความสะดวกสบาย	13
2.10 ความสบายเชิงอุณหภูมิสำหรับคนไทย.....	15

2.11	เทคนิคการดำเนินการการจัดลำดับการเปิดปิดโหลด (Load Scheduling)	16
บทที่ 3	แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ	18
3.1	โมเดลเครื่องปรับอากาศ	18
3.1.1	การจำลองอุณหภูมิ	18
3.1.2	การจำลองความชื้นสัมพัทธ์	19
3.2	การทดลองโมเดลเครื่องปรับอากาศ	20
3.2.1	เครื่องปรับอากาศหนึ่งเครื่อง	20
3.2.2	กลุ่มเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก	24
3.2.3	กลุ่มเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่	25
3.2.4	สรุปผลการทดลอง	26
บทที่ 4	ขั้นตอนวิธี	27
4.1	ปัญหาถุงเป้ (Knapsack Problem)	27
4.2	ปัญหาถุงเป้น้อยที่สุด (Minimum Knapsack Problem)	28
4.3	ลำดับอัลกอริทึม	29
4.4	สมการต้นทุน	31
บทที่ 5	ผลการดำเนินการ	34
5.1	การดำเนินการควบคุมเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง	34
5.1.1	เครื่องปรับอากาศทำงานโดยไม่ถูกควบคุม	35
5.1.2	เครื่องปรับอากาศถูกควบคุมให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์	36
5.1.3	เครื่องปรับอากาศถูกควบคุมให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์	39
5.2	การดำเนินการควบคุมเครื่องปรับอากาศ 2,000 เครื่อง	41
5.2.1	สภาพอากาศปกติ	42
5.2.2	สภาพอากาศวันที่อากาศค่อนข้างร้อน	45

5.2.3 สภาพอากาศวันที่ร้อนจัด	48
5.2.4 สภาพอากาศวันที่แปรปรวน	51
5.3 สรุปผลการทดลอง	54
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินการ	55
6.1 ผลการทดสอบ	55
6.2 แนวโน้มการพัฒนาต่อ	55
รายการอ้างอิง	57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	61



สารบัญรูป

รูป 2-1 โครงสร้างของศูนย์รวมรวมโหนด โดยที่ศูนย์รวมรวมการลดการใช้ไฟฟ้าควบคุม เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านแต่ละหลัง	10
รูป 2-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยอยู่ภายในความสบายตาม ASHRAE 55-1992.....	12
รูป 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง PMV กับ PPD.....	15
รูป 3-1 โมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 บีทียู/ชั่วโมง.....	21
รูป 3-2 โมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 บีทียู/ชั่วโมง.....	22
รูป 3-3 โมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 บีทียู/ชั่วโมง.....	23
รูป 3-4 กราฟของโมเดลเครื่องปรับอากาศ 5 เครื่อง.....	25
รูป 3-5 กราฟโมเดลเครื่องปรับอากาศ 2,000 เครื่อง	26
รูป 4-1 ผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด.....	30
รูป 4-2 ผังการทำงานของการทำงาน.....	32
รูป 5-1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสถานการณ์สำหรับ 20 เครื่อง	35
รูป 5-2 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่องขณะที่ไม่ถูกควบคุม	35
รูป 5-3 การอยู่ภายในโซนความสบายของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะที่ยังไม่ถูกควบคุม	36
รูป 5-4 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์.....	37
รูป 5-5 คำสั่งการควบคุมของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์.....	38
รูป 5-6 การอยู่ในโซนความสบายของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์.....	38
รูป 5-7 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์.....	39

รูป 5-8 คำสั่งการควบคุมของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์.....	39
รูป 5-9 การอยู่ในโซนความสบายของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์.....	40
รูป 5-10 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศปกติ.....	42
รูป 5-11 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศปกติ โดยยังไม่ถูกควบคุม	42
รูป 5-12 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ โดยถูกควบคุมให้ลดลง 500 กิโลวัตต์.....	43
รูป 5-13 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์	43
รูป 5-14 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์	44
รูป 5-15 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน.....	45
รูป 5-16 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยยังไม่ถูกควบคุม.....	45
รูป 5-17 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 500 กิโลวัตต์.....	46
รูป 5-18 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์.....	46
รูป 5-19 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์.....	47
รูป 5-20 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศร้อนจัด.....	48
รูป 5-21 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศร้อนจัด โดยยังไม่ถูกควบคุม	48
รูป 5-22 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อนจัดโดยถูกควบคุมให้ลดลง 500 กิโลวัตต์.....	49
รูป 5-23 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อนจัดโดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์.....	49

รูป 5-24 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อนจัด โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์.....	50
รูป 5-25 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศแปรปรวน.....	51
รูป 5-26 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยยังไม่ถูกควบคุม.....	51
รูป 5-27 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์.....	52
รูป 5-28 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์.....	52
รูป 5-29 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 2,000 กิโลวัตต์.....	53



สารบัญตาราง

ตาราง 2-1 อัตราของศูนย์รวมรวมโหลด.....	10
ตาราง 2-2 ค่าดัชนีของความสบายเชิงอุณหภูมิ.....	13
ตาราง 3-1 ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 บีทียู/ชั่วโมง.....	21
ตาราง 3-2 ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 บีทียู/ชั่วโมง.....	22
ตาราง 3-3 ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 บีทียู/ชั่วโมง.....	23
ตาราง 4-1 ค่าถ่วงน้ำหนักของเครื่องปรับอากาศเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าต้นทุน (F_i).....	33
ตาราง 5-1 จำนวนเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภทของกลุ่มขนาดเล็ก.....	34
ตาราง 5-2 จำนวนเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภทของกลุ่มขนาดใหญ่.....	41
ตาราง 5-3 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ.....	44
ตาราง 5-4 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน.....	47
ตาราง 5-5 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อนจัด.....	50
ตาราง 5-6 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน.....	53
ตาราง 5-7 สรุปสถานะเครื่องปรับอากาศภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ จำนวน 2,000 เครื่อง.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิกฤตพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญของทุกประเทศ ประเทศไทยก็ได้ให้ความสำคัญในปัญหานี้อย่างมาก เนื่องจากปัญหานี้ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าโดยรวม การพัฒนาประเทศ และความอยู่ดีกินดีของประชาชนโดยรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถึงฤดูร้อน เพราะประเทศไทยมีภูมิอากาศร้อน จึงมีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณมากในระบบปรับอากาศ เพื่อที่จะทำให้อากาศภายในอาคารเย็นลง อาจส่งผลให้เกิดความต้องการ(การใช้ไฟฟ้า)สูงมาก จนกระทั่งระบบไฟฟ้าอาจขาดเสถียรภาพ และอาจก่อให้เกิดไฟฟ้าดับหาคณะระบบไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้ามีเพียงพอต่อความต้องการขณะนั้น การเกิดความต้องการสูงแปรผันตามอุณหภูมิซึ่งมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นทุกปี ทำให้การก่อสร้างโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา

ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่กล่าวข้างต้น จึงมีนโยบายเพื่อทำให้ วิธีแก้ปัญหาที่ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดความต้องการที่สูงเกินไปเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า ดำเนินการหนึ่งได้แก่การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) [1] หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง เช่นสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ก็ได้ให้ความสำคัญกับระบบนี้โดยได้มีการศึกษาการกำหนดนโยบายและการดำเนินการที่เกิดขึ้นแล้วในต่างประเทศ เพื่อที่จะนำมาปรับใช้ให้เข้ากับประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม ในต่างประเทศมีการกำหนดวิธีการการตอบสนองความต้องการการใช้ไฟฟ้าได้หลายแบบ วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม และทำได้สะดวกคือวิธีการควบคุมโหลดโดยตรง (Direct Load Control: DLC) [2]

การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยตรงเป็นมาตรการการตอบสนองเชิงโหลดด้านหนึ่ง โดยที่จะมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า หน่วยงานนี้เรียกว่าศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า (Load Aggregator) ซึ่งอาจจะเป็นหน่วยงานของรัฐหรือหน่วยงานเอกชน โดยทำหน้าที่โดยการรวบรวมเครื่องใช้ไฟฟ้าและทำสัญญากับผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อทำการลดกำลังไฟฟ้า ทำให้สามารถที่จะทำการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ในแต่ละศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจะมีตัวโหลดวิธีการลดที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การปรับสถานะอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ การปรับการเปิดปิดของระบบทำความร้อนของเครื่องทำน้ำอุ่น การลดกำลังไฟฟ้าแต่ละครั้งต้องลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายที่ได้ถูกส่งมาจากหน่วยงานที่ดำเนินการตอบสนองด้านโหลดอีกที ผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับเงินตอบแทนเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ายินยอมให้ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าควบคุม และมีอัตราค่า

ไฟฟ้าตามทีลตได้ขึ้นอยู่กัสัญญาที่ไ้เขียนไว้ก่อนหน้าี้กับศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้านอกจากที่ศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าจะทำการควบคุมการเปิดปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าแล้ว หน่วยงานนี้จะต้องทำหน้าที่ในการจัดสรรบริหารเงินค่าตอบแทนจากการที่ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าให้คุ้มค่า เงินที่ใช้ในการจัดการค่าตอบแทนนี้ได้มาจากหน่วยงานที่ดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด ที่สั่งการมาเพื่อทำการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแต่ละครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาที่ทำระหว่างศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าและหน่วยงานที่ดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด อีกที จุดมุ่งหมายสูงสุดในการจัดการโดยเฉพาอย่างยิ่งศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าที่เป็นหน่วยงานเอกชนแล้ว คือการทำกำไรจากการดำเนินการการตอบสนองด้านโหลดให้ได้สูงสุด กำไรที่ว่านี้ได้มากจากเงินที่ได้รับจากหน่วยงานที่ดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด หักกับเงินที่ต้องจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ทำการตอบสนองต่อการถูกควบคุม สิ่งที่ศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าดำเนินการไม่ใช่แค่จัดการบริหารจัดการเรื่องเงินให้ได้กำไรสูงสุดแล้วเท่านั้น รูปแบบการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเช่นกัน เนื่องจากการทำการควบคุมโดยตรงแต่ละครั้งส่งผลถึงความสะดวกสบายต่อการใช้ชีวิตในของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่นการปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศในวันที่อากาศร้อน การจัดการรูปแบบไม่ตี อาจส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ที่ถูกควบคุม และอาจส่งผลต่อการทำการตอบสนองด้านโหลดได้ในอนาคต

ปัญหาหลักของการดำเนินการการควบคุมโดยตรงที่เป็นปัญหาอย่างมากในการดำเนินการการควบคุมโหลดโดยตรง คือผลกระทบต่อลูกค้าที่ถูกดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด ภายใต้ศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าเนื่องจากว่า การดำเนินการประเภทนี้ ส่งผลผลกระทบต่อลูกค้าในด้านความสะดวกสบายโดยตรงและโหลดประเภทนี้ส่วนมากจะเป็นเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำน้ำร้อนที่เป็นอุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อความสะดวกสบายโดยตรง อีกทั้งโหลดประเภทนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก การที่ควบคุมที่ทำกำไรหรือลตให้ได้สูงสุดโดยที่ไม่คำนึงถึงความสะดวกสบายของผู้ใช้เลย อาจส่งผลผลกระทบต่อความร่วมมือของลูกค้าในครั้งต่อไปและระบบนี้จะถูกควบคุมได้มากอาจจะก่อให้เกิดความรู้สึกไม่เป็นส่วนตัวจากการถูกควบคุมเป็นลักษณะเชิงบังคับเนื่องจากไม่ได้เป็นผู้ควบคุมเอง จึงถือว่าเป็นผลกระทบอย่างมาก ในอนาคตอาจจะไม่มีผู้ที่ต้องการที่จะเข้าร่วมโครงการนี้ การออกแบบวิธีการดำเนินการ การหาแรงจูงใจทั้งในด้านเงินสนับสนุน และอุปกรณ์ จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงอย่างมาก

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้จัดทำไ้เห็นถึงปัญหาที่จะจัดการรูปแบบในการควบคุมภายในศูนย์จัดการของศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าโดยให้สามารถที่ตัดสินใจในการเลือกผู้ใช้ไฟฟ้าที่จะทำการควบคุมและศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายโดยที่ไ้ได้กำไรสูงสุดและศูนย์รวบรวมการลตการใช้ไฟฟ้าเป็นศูนย์ที่ทำการลดปริมาณการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศหรือระบบปรับอากาศโดยทำการควบคุมโดยตรง ระบบที่จะพัฒนานี้จะทำการหาวิธีหรือรูปแบบการควบคุมเครื่องปรับอากาศที่อยู่ภายใต้การควบคุมให้ไ้ได้ตามเป้าหมายของปริมาณการ

ลดการใช้ไฟฟ้า ณ เวลานั้น โดยจะใช้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำโดยที่ยังคำนึงถึงความสะดวกสบายของผู้ที่ใช้เครื่องปรับอากาศ เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วจะทำการส่งข้อมูลทำการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายใต้ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่องเพื่อให้สามารถลดได้ตามปริมาณที่คาดไว้และใช้ต้นทุนการจัดการต่ำที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมแบบควบคุมโหลดโดยตรงสำหรับศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า ที่สามารถตัดสินใจเลือกผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มหนึ่งที่จะถูกลดโหลดเครื่องปรับอากาศ ให้ได้กำลังที่ลดลงโดยรวมเป็นตามเป้าหมาย และคำนึงถึงความสะดวกสบายของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วย

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. มาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่ดำเนินการ เป็นแบบการควบคุมโหลดโดยตรง (Direct Load Control: DLC) เท่านั้น โดยเป็นลักษณะควบคุมการเปิด/ปิด ของโหลด
2. โหลดที่จะทำการลดจะเป็นเครื่องปรับอากาศจำลองเท่านั้น โดยจะเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีกำลัง 12,000 18,000 และ 24,000 บีทียู/ชั่วโมง จำนวน 500 500 และ 1,000 เครื่องตามลำดับ
3. รูปแบบและวิธีการในการดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด จะปฏิบัติตามมาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า ที่ได้มีการระบบเป็นการจำลองการทำงานของศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าโดยศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าที่จำลองจะต้องสามารถลดกำลังการใช้ไฟฟ้าได้อย่างน้อย 500 kW ร่างนโยบายในเบื้องต้นภายในประเทศไทย รวมถึงแนวโน้มในการที่จะดำเนินการ การควบคุมโหลดโดยตรง ในอนาคตเป็นหลัก
4. ทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองกลุ่มเครื่องปรับอากาศที่เปิดอยู่เป็นจำนวน 2,000 เครื่อง ให้สามารถลดหรือกำหนดค่าการใช้กำลังไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าที่กำหนด โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ตัดสินใจและสั่งการไปที่กลุ่มเครื่องปรับอากาศที่จำลองขึ้น แต่ละเครื่อง

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษานโยบาย ที่ได้มีร่างแผนแม่บทจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและแนวโน้มที่จะดำเนินการ รวมถึงมาตรการที่ได้ดำเนินการแล้วเกี่ยวกับการตอบสนองด้านโหลดแบบควบคุมโหลดโดยตรงภายในประเทศไทยและต่างประเทศ
2. พัฒนาและทดสอบแบบจำลองเครื่องปรับอากาศ และกลุ่มของเครื่องปรับอากาศภายใต้การทำงานของศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า
3. ออกแบบนโยบายของศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าถึงวิธีการควบคุมเครื่องปรับอากาศและรูปแบบและเงื่อนไขค่าชดเชยที่ต้องจ่ายคืน
4. ศึกษาและหาวิธีการตัดสินใจหรือรูปแบบในการควบคุมเครื่องปรับอากาศจากเอกสารงานวิจัย
5. พัฒนาโปรแกรมเพื่อจัดการการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด บนแบบจำลองศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าโดยอ้างอิงกับนโยบายที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับควบคุมแบบจำลองของกลุ่มเครื่องปรับอากาศ
6. ทดสอบโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้วโดยการจำลองภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน เช่น มีความต้องการลดกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เวลาที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่แตกต่างกัน เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยหลักการของการตอบสนองด้านโหลด นิยามของความสบาย อัลกอริทึมการจัดการโหลด โดยที่มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response)

การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) [2] คือมาตรการในการลดการใช้ไฟฟ้าแบบหนึ่ง โดยดำเนินการในฝั่งของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะทำการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของการใช้ไฟฟ้า เป้าหมายสูงสุดของการตอบสนองด้านโหลด คือการลดความต้องการของไฟฟ้าไม่ให้เกินกำลัง ณ ขณะนั้น จะสามารถทำให้ไม่เกิดการขาดแคลนของกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งได้ อย่างไรก็ตามวิธีการตอบสนองด้านโหลด จะดำเนินการในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ไม่ได้ดำเนินทุกช่วงเวลา

2.2 วัตถุประสงค์ของการตอบสนองด้านโหลด

1. ลดการเกิดความต้องการของไฟฟ้าสูงสุด ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งได้
2. ทำให้ระบบไฟฟ้า มีความคล่องตัวในการจัดการในเวลาฉุกเฉิน และเกิดความมั่นคงต่อระบบ
3. ลดต้นทุนการดำเนินการสร้างโรงไฟฟ้า เพื่อรองรับการเกิดความต้องการสูงสุด
4. สามารถกำหนดหรือทำนายการใช้ไฟฟ้าในเบื้องต้นได้ ทำให้สามารถบริหารในการจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 ประเภทของการตอบสนองด้านโหลด

สำหรับมาตรการการตอบสนองด้านโหลด มีหลายรูปแบบ โดยสามารถแบ่งประเภทได้เป็น 2 ประเภทคือ

Time/Price Based Demand Response

เป็นมาตรการที่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยการกำหนดอัตราของราคาค่าไฟฟ้าให้แปรผันไปตามช่วงเวลาที่กำหนด สามารถแบ่งได้เป็น

Time of Use (TOU) เป็นมาตรการที่กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างไปในแต่ละช่วงเวลา โดยจะแบ่งเป็นช่วง On peak และ Off peak

Real Time Pricing (RTP) มาตรการนี้จะกำหนดอัตราค่าไฟฟ้า ให้เปลี่ยนไปเป็นรายชั่วโมง โดยอาจจะเปลี่ยนไปตามต้นทุน ณ ขณะนั้น

Critical Peak Pricing (CPP) มาตรการนี้จะคล้ายกับ TOU แต่จะมีการเพิ่มช่วง Critical Peak ทำให้ ณ ช่วงเวลานั้น อัตราค่าไฟฟ้าจะมีราคาที่สูงมาก

Incentive Based Demand Response

เป็นมาตรการที่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมใช้ไฟฟ้า โดยการกำหนดปริมาณไฟฟ้าที่ลดได้ เพื่อแลกกับเงินตอบแทนตามสัญญาที่ได้ทำไว้ โดยอาจจะมีการลงโทษถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถลดได้ตามเป้าหมาย และสามารถแบ่งประเภทได้เป็น

Direct Load Control (DLC) เป็นมาตรการที่ทำการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าจะยอมให้ผู้ดำเนินการทำการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วม อาจจะเป็นเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำร้อน หรือระบบแสงสว่าง

Interruptible/Curtailment (I/C) มาตรการนี้กำหนดค่าตอบแทนให้ตามอัตราที่ได้ทำสัญญาไว้ โดยจะมีการกำหนดจำนวนครั้งที่จะเรียกในการขอลดการใช้ไฟฟ้า

Emergency Demand Response Program (EDRP) เป็นมาตรการที่ให้ค่าตอบแทนกับลูกค้าที่ทำสัญญา ณ ช่วงเวลาที่คาดการณ์ว่าทำให้เกิดการขาดแคลนไฟฟ้า

Capacity Market Program เป็นมาตรการที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะทำเสนอขอลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเอง โดยจะทำการแจ้งปริมาณที่จะขอลดในก่อนวันที่จะดำเนินการลด โดยจะได้รับเงินล่วงหน้า และถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามที่สัญญาไว้ได้จะมีบทลงโทษไปตามสัญญา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การตอบสนองด้านโหลดกับประเทศไทย

จากการที่มีแนวคิดที่จะเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าให้เป็นโครงข่ายระบบสมาร์ทกริด คณะรัฐมนตรีและกระทรวงพลังงาน ได้มีมติเห็นชอบให้มีการจัดทำแผนแม่บทระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย และได้มีการจัดทำแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทย [1] การตอบสนองด้านโหลด จึงถือว่าเป็นส่วนหนึ่งภายใต้แผนการขับเคลื่อนฯ มีการศึกษาในเบื้องต้น เช่น การเริ่มดำเนินการโครงการนำร่องที่เกี่ยวกับการตอบสนองด้านโหลด ไปบางส่วน อาทิ โครงการความร่วมมือในการลดการใช้ไฟฟ้าเพื่อรองรับการหยุดการจ่ายก๊าซธรรมชาติ เมื่อปี 2558 โครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน (DR100) เป็นต้น มีการจัดทำโครงสร้างค่าไฟฟ้าโดยคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ให้สนับสนุนและเอื้อต่อการดำเนินการการตอบสนองด้านโหลดในภาคประชาชน

จาก [3] ได้มีการศึกษารวมถึงหาแนวทางที่เหมาะสมในการดำเนินการการตอบสนองด้านโหลดในประเทศไทย และได้กำหนดมาตรการที่มีแนวโน้มที่จะดำเนินการในประเทศไทยได้อยู่ 4 มาตรการคือ มาตรการ Emergency Demand Response Program (EDRP), มาตรการ Critical Peak Pricing (CPP), มาตรการ Interruptible Load (ILP), และมาตรการ Direct Load Control (DLC) เนื่องจากว่ามาตรการบางส่วนที่กล่าวในข้างต้น มีการดำเนินการจริงแล้วในการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง และบางส่วนกำลังที่จะดำเนินการซึ่งจะต้องรอความพร้อมในด้านเทคโนโลยีหรือนโยบายในอนาคต ทั้งนี้มีการกำหนดอัตราค่าตอบแทนของแต่ละมาตรการในเบื้องต้น เพื่อสามารถเป็นแนวทางในการดำเนินการโครงการการตอบสนองด้านโหลดในอนาคตได้

2.5 มาตรการควบคุมโหลดโดยตรง (Direct Load Control :DLC)

มาตรการควบคุมโหลดโดยตรง [2] [3] เป็นมาตรการหนึ่งที่ทำกรอนุญาตให้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมสัญญาถูกควบคุม ณ ช่วงเวลาที่ดำเนินการมาตรการนี้อยู่ โดยสิทธิการควบคุมจะขึ้นอยู่กับสัญญาที่ได้ทำการระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ดำเนินการมาตรการควบคุมโหลดโดยตรงที่เป็นศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกควบคุมในที่นี้อาจจะเป็นเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำร้อน สถานีชาร์จรถไฟฟ้า ระบบแสงสว่าง เป็นต้น โหลดที่กล่าวมานี้ถือว่าเป็นโหลดที่สามารถหยุดการทำงานชั่วคราวได้ โดยในส่วนใหญ่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมมาตรการ ส่วนมากจะเป็นเครื่องปรับอากาศ และเครื่องทำน้ำร้อน เนื่องจากเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก สามารถทำการปิดหรือเปลี่ยนแปลงการทำงานได้โดยที่ส่งผลกระทบต่อความสะดวกสบายของผู้ใช้ และไม่ถือว่าเป็นโหลดวิกฤตถ้ามีการปิดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้

มาตรการควบคุมโหลดโดยตรง เป็นอีกมาตรการที่มีข้อดีที่สามารถดำเนินการได้ทันที และสามารถตอบสนองได้รวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถกำหนดปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ค่อนข้างแน่นอน แต่การดำเนินการมาตรการนี้มีสิ่งที่ทำหายที่อาจเป็นอุปสรรคในการดำเนินการ เช่น การออกแบบและกำหนดแรงจูงใจให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามาสมัครมาตรการควบคุมโหลดโดยตรง ให้น่าสนใจ วิธีการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมโดยตรงและผู้รวบรวมโหลดมีสิทธิในการควบคุมมาก ทำให้รู้สึกถึงความไม่เป็นส่วนตัวของผู้ใช้ไฟฟ้า การลงทุนในด้านของเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่นการวิจัยสื่อสาร อุปกรณ์ที่ต้องทำงานได้อย่างชาญฉลาด รวมถึงความมั่นคงและปลอดภัยไม่ให้อาจถูกเข้าถึงได้ง่าย เป็นต้น

มาตรการนี้ได้มีการทดลองและดำเนินการใช้จริงแล้วในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา โดยที่เน้นไปที่เครื่องปรับอากาศเป็นหลัก

ตัวอย่างของมาตรการควบคุมโหลดโดยตรง ที่ดำเนินการใช้จริงอยู่ในปัจจุบันของ เครื่องปรับอากาศ

Summer Discount Plan แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา [4]

เป็นมาตรการที่ทำการควบคุมการเปิดปิดของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ ผ่านการควบคุมระยะไกล เป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อครั้ง โดยได้มีค่าตอบแทนตามที่ได้ทำข้อตกลงไว้ดังนี้

แบบเบื้องต้น

- ทำการควบคุม การปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะได้ค่าตอบแทน \$0.36/วัน/ton
- ทำการควบคุม รอบการเปิดปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 50% จะได้ค่าตอบแทน \$0.18/วัน/ton

แบบสามารถปฏิเสธได้ โดยผู้เข้าร่วมมีสิทธิที่จะปฏิเสธได้ 5 ครั้งต่อปี

- ทำการควบคุม การปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะได้ค่าตอบแทน \$0.18/วัน/ton
- ทำการควบคุม รอบการเปิดปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 50% จะได้ค่าตอบแทน \$0.09/วัน/ton

Energy Wise Rewards วอชิงตัน สหรัฐอเมริกา [5]

เป็นมาตรการที่ทำการควบคุมการเปิดปิดของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ ในวันที่เรียกการทำงาน ซึ่งจะได้ค่าสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ครั้งแรก และมีตัวเลือกและค่าตอบแทนรายปีดังนี้

- 50% cycling จะได้ค่าตอบแทน \$30 ต่อปี
- 75% cycling จะได้ค่าตอบแทน \$45 ต่อปี
- 100% cycling จะได้ค่าตอบแทน \$60 ต่อปี

Summer Advantage อาร์คันซอ สหรัฐอเมริกา [6]

เป็นมาตรการที่ทำการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมเครื่องปรับอากาศไว้ไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยเมื่อถึงช่วงที่เกิดพีคโหลดทางผู้ดูแลจะทำการควบคุมเครื่องปรับอากาศตามเงื่อนไขที่ได้ทำสัญญาไว้ดังนี้

50% cycling จะได้ค่าตอบแทน \$25 ต่อปี

75% cycling จะได้ค่าตอบแทน \$40 ต่อปี

Saver's Switch สหรัฐอเมริกา [7]

เป็นมาตรการที่ควบคุมเครื่องปรับอากาศในช่วงของพีคโหลด โดยหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นระยะเวลา 15-20 นาที ในช่วงเวลาบ่ายโดยไม่ได้มีการแจ้งล่วงหน้า และจะได้ค่าตอบแทน \$50 ในเดือนที่ทำการควบคุม

Oncall ฟลอริดา สหรัฐอเมริกา [8]

เป็นมาตรการที่จะควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ได้ทำตามสัญญาไว้โดยจะติดตั้งเครื่องมือเพื่อให้สามารถควบคุมทางไกลได้ และจะได้ค่าตอบแทนเป็นรายเดือน

Central AC Cycling อิลลินอยส์ สหรัฐอเมริกา [9]

เป็นมาตรการที่ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยทำการปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะได้ค่าตอบแทนดังนี้

50% cycling จะได้ 5\$ ในเดือนที่ทำการควบคุม (มิถุนายน-กันยายน)

100% cycling จะได้ 10\$ ในเดือนที่ทำการควบคุม (มิถุนายน-กันยายน)

2.6 มาตรการการควบคุมโหลดโดยตรงในประเทศไทย

จาก [3] สำหรับมาตรการการควบคุมโหลดโดยตรงนั้น ถือว่าอยู่ในโครงการย่อยของมาตรการ Interruptible/Curtailable Service (I/C) ผู้ใช้ไฟฟ้าจะสามารถสมัครมาตรการนี้ได้ผ่านทางศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าโดยที่ข้อตกลง วิธีการควบคุม หรือเงื่อนไขค่าตอบแทนที่จะได้รับ ขึ้นอยู่กับศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าไม่ได้มีการกำหนดไว้ ในส่วนของศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจะได้รับค่าชดเชยคล้ายกับอัตราของมาตรการ Interruptible Load โดยสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ได้มีการร่างมาตรการความร่วมมือการลดการใช้ไฟฟ้าระดับถึงหลักเกณฑ์ของการดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด และอัตราค่าชดเชยที่ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าได้รับซึ่งได้รับค่าพลังไฟฟ้า (Available Payment) ตามที่ได้ทำสัญญากับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายไว้ซึ่งศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจะต้องทำสัญญาอย่างน้อย 500 กิโลวัตต์ มาตรการนี้จะดำเนินการในช่วงฤดูร้อน (เมษายน-พฤษภาคม) หรือเหตุการณ์ฉุกเฉินอื่น ๆ อัตรา การตอบสนองด้านโหลด ที่ให้กับศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้างานนี้

ตาราง 2-1 อัตราของศูนย์รวบรวมโหลด

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/kW/เดือน)		
ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
42.84	21.42	42.84

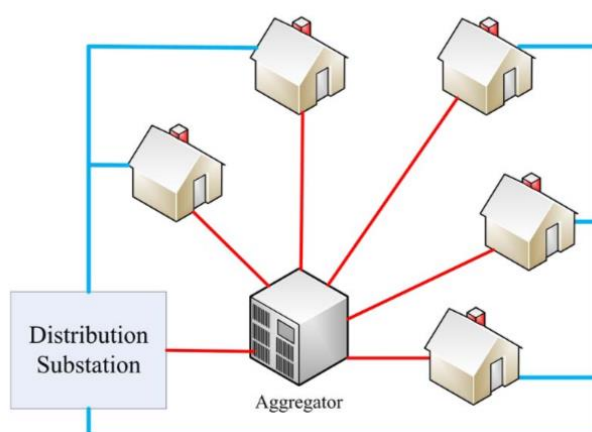
ทางเลือกที่ 1 การงดจ่ายไฟฟ้าไม่เกิน 3 ชม./ครั้ง, 2 ครั้ง/วัน, 10 ครั้ง/เดือน, 40 ครั้ง/ปี

ทางเลือกที่ 2 การงดจ่ายไฟฟ้าไม่เกิน 3 ชม./ครั้ง, 1 ครั้ง/วัน, 10 ครั้ง/เดือน, 20 ครั้ง/ปี

ทางเลือกที่ 3 การงดจ่ายไฟฟ้าไม่เกิน 6 ชม./ครั้ง, 1 ครั้ง/วัน, 10 ครั้ง/เดือน, 20 ครั้ง/ปี

2.7 ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า (Load Aggregator)

ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า (Load Aggregator) ถือว่ามีบทบาทสำคัญสำหรับการทำการตอบสนองด้านโหลดในบางประเภท เช่น มาตรการการควบคุมโหลดโดยตรง โดยที่ ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า จะทำหน้าที่นำโหลดขนาดรายย่อย หรือโหลดที่มีค่ากำลังไฟฟ้าไม่มาก มารวบรวมกันให้เสมือนเป็นโหลดขนาดใหญ่เพียงโหลดเดียว ข้อดีของการที่มีศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า จะทำให้การดำเนินงานการตอบสนองด้านโหลด สามารถลดปริมาณจำนวนการสั่งการให้น้อยลง เปรียบเสมือนให้หน่วยงานที่ดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด มองกลุ่มโหลดที่ถูกรวบรวมด้วยศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าเป็นโหลดเดียว ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจะมีผู้ที่ใช้งานเป็นลูกค้ารายย่อย วิธีการลดกำลังไฟฟ้าหรือดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด ขึ้นอยู่กับวิธีการและสัญญาในแต่ละประเภทตามแต่ที่ลูกค้าสมัคร ทั้งนี้ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าต้องทำสัญญากับส่วนของหน่วยงานที่ดำเนินการการตอบสนองด้านโหลดไว้



รูป 2-1 โครงสร้างของศูนย์รวบรวมโหลด โดยที่ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านแต่ละหลัง

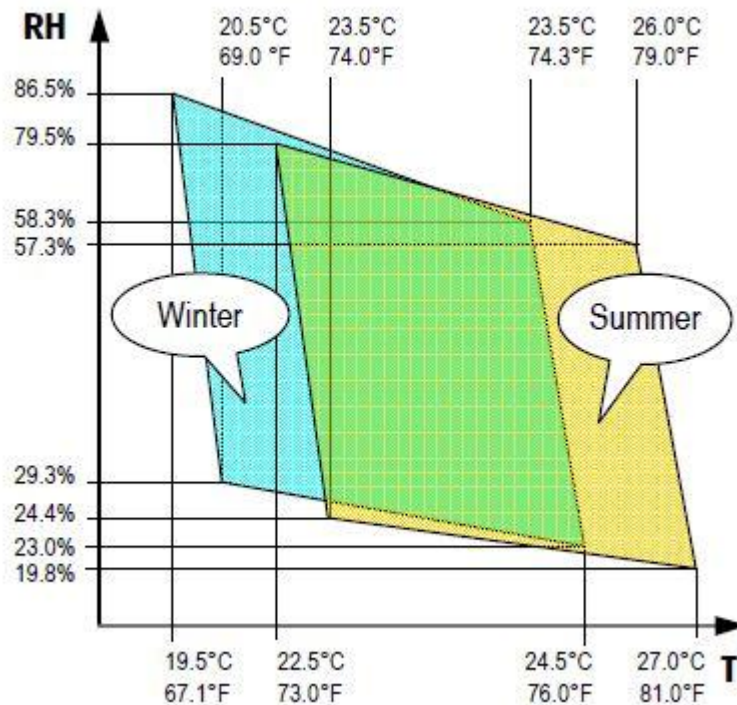
สำหรับในงานวิจัยนี้ แบบจำลองศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจะทำหน้าที่รวบรวมโหลดประเภทเครื่องปรับอากาศ แบบจำลองนี้จะสามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศได้โดยตรงและควบคุมได้เกือบทั้งหมดเช่น การเปิดปิดหรือการปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ หน้าที่หลักของศูนย์รวบรวม

การลดการใช้ไฟฟ้าตัวนี้ เมื่อถูกให้ดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด จะทำหน้าที่จัดการกับกลุ่มเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่อง โดยทำการจัดลำดับการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลาหนึ่งสลับกันไป โดยให้สามารถลดกำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดได้เป็นปริมาณตามที่คาดไว้ โดยมีเงื่อนไขคือผลกระทบต่อผู้ที่ถูกควบคุม และค่าดำเนินการในการจัดการแต่ละครั้ง

ในเรื่องของการก่อตั้ง หรือออกแบบศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าสิ่งที่ท้าทายหรือควรคำนึงถึงในเรื่องการดำเนินการ [10] แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือในเรื่องการบริหารจัดการ เช่น การออกแบบวิธีการให้จูงใจลูกค้า การลงทุนอุปกรณ์ต่าง ๆ การออกแบบสัญญากับลูกค้า พฤติกรรมของลูกค้า การแข่งขันระหว่างศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าและในเรื่องทางเทคนิค เช่น มาตรฐานของอุปกรณ์และการสื่อสาร ความปลอดภัยของข้อมูล เสถียรภาพของระบบ และในงานวิจัยเล่มนี้ จะคำนึงในส่วนของการบริหารจัดการเป็นหลัก ในเรื่องของการออกแบบสัญญา และการทำการควบคุมเครื่องปรับอากาศโดยมีผลกระทบน้อย รวมถึงสัญญาและวิธีดำเนินการต้องจูงใจให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามาสมัครสัญญาการตอบสนองด้านโหลด กับ ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า

2.8 ความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

ความสบาย ถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากว่าจำเป็นต้องควบคุมเครื่องปรับอากาศซึ่งส่งผลต่อความสะอาดความสบายทางด้านโดยตรงและอาจก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายถ้ามีการควบคุมที่ผิดวิธี การวัดความสบายที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศนั้น มีการนิยามได้หลายรูปแบบ โดยส่วนมากที่แพร่หลาย และ เป็นที่ยอมรับ คือ ASHRAE [11] ได้นิยามถึง ความสบายเชิงอุณหภูมิ (Thermal Comfort) คือเงื่อนไขทางจิตใจที่แสดงออกถึงความพึงพอใจต่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อม สำหรับตัวชีวิตในเรื่องความสบายเชิงอุณหภูมิ ได้มีการกำหนดมาตรฐานโดย ASHRAE Standard 55 [12] สำหรับในการออกแบบบ้าน หรือเครื่องปรับอากาศ ให้สามารถตอบสนองความสบายในด้านของอุณหภูมิได้ ทำให้ผู้ที่อยู่ภายใต้สภาพอากาศนั้น ไม่รู้สึกหนาวหรือร้อนเกินไป ภายใน [12] นี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสบายเชิงอุณหภูมิ นั้น โดยมีดังนี้



รูป 2-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ โดยอยู่ภายในความสบายตาม

ASHRAE 55-1992

อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (Metabolism Rate)

หมายถึงอัตราการเผาผลาญในร่างกาย ภายในอวัยวะต่าง ๆ โดยแต่ละคนนั้น อัตราการเผาผลาญในร่างกายมีค่าไม่เท่ากัน อีกทั้งการเคลื่อนไหวร่างกายในแต่ละท่วงท่า ยังส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญของร่างกายไม่เท่ากันอีกด้วย เช่น การนอน การยืน การเดิน การนั่ง จะให้ค่าที่แตกต่างกัน

เสื้อผ้าสวมใส่ (Clothing Insulation)

เสื้อผ้าแต่ละคนสวมใส่ มีผลต่อความสบาย เนื่องจากเป็นสิ่งที่ห่อหุ้มร่างกาย ปัจจุบันจะขึ้นอยู่กับขนาดผ้าที่สวมใส่ วัสดุหรือเนื้อผ้า ขนาด ที่ถือว่าเป็นฉนวนความร้อน เพราะผ้าแต่ละชนิดนั้น มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ไม่เท่ากัน

อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

ตัวแปรนี้เป็นตัวแปรทั่วไป หมายถึงอุณหภูมิที่สภาพแวดล้อม ณ ขณะนั้น เป็นตัวแปรที่เราคุ้นเคยในการวัดสภาพอากาศ

อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature)

เป็นตัวแปรเกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวของวัตถุต่าง ๆ เช่น ผนัง หน้าต่าง หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในห้อง รวมถึงการแสงแดดที่ส่องผ่านมายังสภาพแวดล้อมนี้ ซึ่งเกิดจากวัสดุภายในห้อง หรือสีกายในห้อง อีกทั้งวัสดุของสิ่งต่าง ๆ ในตัวห้อง

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำในอากาศ ต่อปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับได้สูงสุด แสดงหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่าผิวหนังของมนุษย์จะตอบสนองต่ออุณหภูมิ ทำให้เกิดเหงื่อเพื่อลดอุณหภูมิในร่างกาย การที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงหรือต่ำเกินไป จะส่งผลต่อความไม่สบายตัว เช่น รู้สึกเหนอะหนะ หรือ รู้สึกตัวแห้งได้

ความเร็วอากาศ (Air Speed)

การที่สภาพแวดล้อมมีลมพัด หรือมีอากาศที่ถ่ายเทได้ดี จะส่งผลต่อการระบายอากาศหรือระบายเหงื่อของร่างกายได้ แต่การที่มีลมพัดมากเกินไป อาจจะทำให้เกิดความรู้สึกรำคาญมากกว่าที่จะสบาย

2.9 ดัชนีตัวชี้วัดความสะทวสสบาย

ทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote: PMV)

เป็นตัวชี้วัดความรู้สึกสบายต่อสภาพอากาศ ณ ขณะนั้น โดยเป็นการโหวตเฉลี่ยของประชาชน ณ เวลาขณะนั้น โดยใช้ตัวแปรทั้ง 6 ตัวที่ได้กล่าวถึงนี้มา ทำนายผลเฉลี่ยของความสบายเชิงอุณหภูมิที่ได้รู้สึกจากสิ่งแวดล้อม หาค่าดัชนีที่พึงพอใจ ซึ่งคนแต่ละพื้นที่หรือพื้นที่เพที่ต่างกัน จะตัดสินความสบายที่แตกต่างกัน อีกทั้งในสภาวะแวดล้อมเดียว จะมีความเห็นของผู้ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมนั้นที่แตกต่างกัน ค่าดัชนีนี้จะเป็นค่า -3 ถึง +3

ตาราง 2-2 ค่าดัชนีของความสบายเชิงอุณหภูมิ

หนาว	เย็น	ค่อนข้างเย็น	สบาย	ค่อนข้างอุ่น	อุ่น	ร้อน
-3	-2	-1	0	1	2	3

สมการทำนายการไหลเวียนเลือด

จากที่กล่าวมาข้างต้น Fanger ได้เสนอสมการ Fanger [13] เพื่อใช้สำหรับการหาค่าดัชนีการไหลเวียนเลือด โดยใช้เงื่อนไขที่ส่งผลต่อความสบายเชิงอุณหภาพโดยตรง สมการนี้เป็นสมการที่แพร่หลายใช้ในการทำนายหาค่าดัชนีการไหลเวียนเลือด และนำไปประยุกต์ในหลายด้าน เช่น ด้านวิศวกรรมเครื่องกลในการออกแบบเครื่องปรับอากาศ หรือด้านการออกแบบสถาปัตยกรรม สมการของ Fanger อธิบายสมการได้ดังนี้

$$PMV = (0.325e^{-0.042M} + 0.032)[M - 0.35(43 - 0.061M - P_v) - 0.42(M - 50) - 0.0023M(44 - P_v) - 0.0014M(34 - T_a) - 3.4 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T + 273)^4) - f_{cl}h_c(T_{cl} - T_a)] \quad (1)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032M - 0.18I_{cl}[3.4 \times 10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl}h_c(T_{cl} + T_a)] \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 10.4\sqrt{v} \\ 10.4\sqrt{v} & \text{for } 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 10.4\sqrt{v} \end{cases} \quad (3)$$

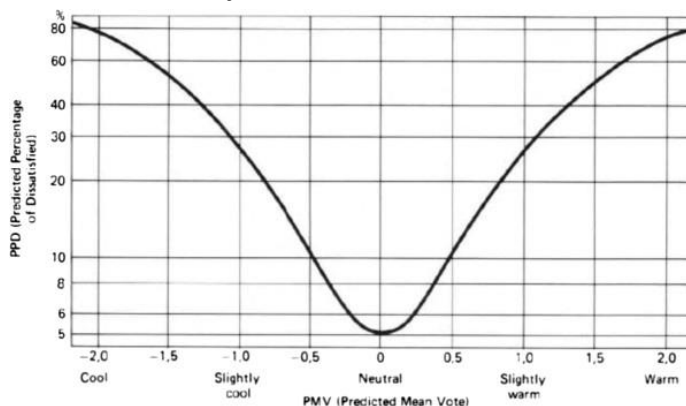
$$P_v = P_s r_h / 100 \quad (4)$$

โดยที่

M	คืออัตราเมตาบอลิซึม (kcal/h)
I_{cl}	คือ ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo)
T_a	คืออุณหภูมิ อากาศ ($^{\circ}\text{C}$),
r_h	คือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%),
T_{mrt}	คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน ($^{\circ}\text{C}$),
v	คือ ความเร็วของลม (m/s),
P_v	คือ ความดันไอน้ำอากาศ (mmHg),
T_{cl}	คืออุณหภูมิภายนอกของเสื้อผ้า ($^{\circ}\text{C}$),
h_c	คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kcal/m ² hr $^{\circ}\text{C}$),
f_{cl}	คือค่าอัตราส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเสื้อผ้า ต่อพื้นที่เปลือย,
P_s	คือความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิใด ๆ (mmHg)

การทำนายเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจ (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD)

ผู้คนที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน อาจจะมีความคิดเห็นเกี่ยวกับความสบายของสภาพอากาศ ณ ขณะนั้นไม่เหมือนกัน จึงมีดัชนีที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความไม่สบายของคนที่อยู่ในสภาวะนั้น แสดงให้เห็นว่ามีคนเป็นร้อยละเท่าไรที่รู้สึกไม่สบาย



รูป 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง PMV กับ PPD

ความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และ PPD สามารถแสดงได้ตามสมการ ดังนี้

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (5)$$

2.10 ความสบายเชิงอุณหภูมิสำหรับคนไทย

ค่าของความสบายเชิงอุณหภูมิ [14] [15] นอกจากที่จะมีปัจจัย 6 ด้านคือ อัตราการเผาผลาญ, เสื้อผ้าที่สวมใส่, อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย, ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วอากาศแล้ว ภูมิอากาศและภูมิประเทศของคนอาศัยนั้นสำคัญเช่นกัน เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตที่ร้อนชื้น ประชากรส่วนใหญ่จะคุ้นชินกับสภาพอากาศที่ร้อน อาจจะมีมองได้ว่าสามารถที่จะรู้สึกสบายกว่าเมื่อเทียบกับชาวต่างชาติในสถานการณ์เดียวกัน ในทางกลับกัน คนในประเทศไทยอาจจะไม่คุ้นชินกับอากาศที่หนาว ซึ่งหมายถึงว่า ค่าความพึงพอใจในอากาศของคนไทยจะมีค่าที่สูงกว่าทั่วไป อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยโหวต เช่น การศึกษา หรือ เพศ

จาก [14] ได้มีการศึกษาถึงความพึงพอใจในอากาศ โดยได้ทำสำรวจคนไทยที่มาจากหลากหลายพื้นที่ จำนวน 1,520 คนโดยเทียบกับ การที่ที่พักอาศัยได้ทำการติดเครื่องปรับอากาศหรือไม่ และระดับการศึกษาของผู้ที่สำรวจ และหาค่าเฉลี่ยโหวตโดยใช้สเกลเดียวกันคือ -3 ถึง 3 ได้ผลลัพธ์ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศที่พึงพอใจ (ได้ค่า 0) คือประมาณ 26 องศาเซลเซียส ซึ่งคนไทย

ส่วนมากจะตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศต่ำกว่า จากการสำรวจนี้ ได้สมการเชิงถดถอยที่ได้ติดตั้งเครื่องปรับอากาศในอาคารได้ ตามสมการ (6) เพื่อเป็นการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยโหวต โดยมีเงื่อนไขในเรื่องของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จะอยู่ระหว่าง 50%-60% ได้เป็น

$$y = 0.3633x - 9.2633 \quad (6)$$

ทั้งนี้ยังมีปัจจัยเรื่องอื่น ๆ เช่น ภูมิลาเนา การศึกษา เพศ เป็นต้น สำหรับอากาศภายในห้อง เป็นต้น

2.11 เทคนิคการดำเนินการจัดการลำดับการเปิดปิดโหนด (Load Scheduling)

แบบจำลองศูนย์รวมการลดการใช้ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้เนื่องจากการดำเนินการการตอบสนองด้านโหนดแบบควบคุมโดยตรง ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management: DSM) ส่วนใหญ่เป็นวิธีการจัดการลำดับการเปิดปิดของโหนด (Load Scheduling) [16] โดยมีเงื่อนไขของผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายเป็นตัวตัดสินใจในการดำเนินการเปิดปิดโหนดแต่ละช่วงเวลา มีหลายงานวิจัยที่ดำเนินการหาอัลกอริทึมสำหรับจัดการ Load Scheduling ภายใต้รูปแบบเงื่อนไขหรือราคาที่แตกต่างกัน เช่นการคำนึงถึงค่าความสะดวสบายหรือค่าใช้จ่าย ในงานวิจัยนี้ เป้าหมายสูงสุดของอัลกอริทึมคือ การหาวิธีการทำ Load Scheduling โดยที่ศูนย์รวมการลดการใช้ไฟฟ้าได้กำไรสูงสุดและส่งผลกระทบต่อลูกค้าภายใต้การควบคุมน้อย ซึ่งให้ได้ปริมาณกำลังไฟฟ้าตามที่ได้ทำสัญญาไว้เช่นกัน

จากการศึกษา [17] มีอัลกอริทึมหลายตัวที่หาวิธี Load Scheduling ให้ได้ผลสูงสุดจึงได้ จึงได้ยกตัวอย่างอัลกอริทึมที่ใช้ทั่วไปในงานด้านนี้ ดังนี้

Convex Optimization

เป็นวิธีการหาสมการเป้าหมาย และหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขที่ตั้งไว้ โดยสมการเป้าหมายส่วนมากจะเป็นสมการเชิงเส้น เช่น มีการหาค่าต่ำสุดของต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินการการตอบสนองด้านโหนด ภายใต้เงื่อนไขของกำลังที่จำเป็นต้องลด การใช้วิธีนี้แก้ปัญหาจำเป็นต้องรู้ถึงระบบการทำงาน เพื่อให้ได้สมการเป้าหมายและเงื่อนไข และจัดรูปสมการให้เป็นรูปแบบตามเงื่อนไขวิธีแก้ปัญหา เช่น สมการเชิงเส้น สมการพหุนาม เป็นต้น

Fuzzy Logic

วิธีการนี้เป็นตรรกศาสตร์อย่างหนึ่งที่มีค่าคลุมเครือ กล่าวคือไม่ได้มีค่าเป็น 1 หรือ 0 แต่เป็นค่าประมาณการระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งส่วนใหญ่ วิธีนี้จะใช้ในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าเช่น เครื่องซักผ้า เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

Dynamic Programming

เป็นวิธีแก้ปัญหา โดยแบ่งปัญหาใหญ่ให้เป็นส่วนย่อย โดยทำการแก้ปัญหาจากส่วนย่อยก่อน ซึ่งในที่นี้จะใช้ในการประกอบการตัดสินใจหาค่าที่ดีที่สุดจากการจัดการดำเนินการตอบสนองด้านโหนด โดยที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยมีข้อเสียคือมีการใช้หน่วยความจำที่มาก สำหรับในการแก้ปัญหา

Markov Decision Process

กล่าวถึงรูปแบบการตัดสินใจแบบหนึ่ง ซึ่งส่วนมากจะใช้ในสภาพแวดล้อมหรือตัวแปรที่ค่อนข้างคาดเดาไม่ได้ และสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการสังเกตต้องอยู่ภายใต้คุณสมบัติของ Markov Properties และหาค่าจากการสังเกตและสถิติที่เก็บไว้ประกอบการตัดสินใจ ทั้งนี้ความแม่นยำหรือการตัดสินใจให้ได้ดี ขึ้นอยู่กับข้อมูลหรือสถิติที่เก็บไว้ โดยที่อาจจะต้องมีข้อมูลเป็นจำนวนมาก

Particle Swarm Optimization

วิธีการนี้ได้มาจากการสังเกตพฤติกรรมของกลุ่มสิ่งมีชีวิต เช่น นก หรือ ปลา ในการหาอาหาร โดยพฤติกรรมของสัตว์เหล่านี้จะมีการสื่อสารหรือคุยกับเกี่ยวกับตำแหน่งของอาหารที่พบ โดยที่ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยใช้หน่วยความจำที่ไม่มาก แต่วิธีนี้ก็ไม่ได้ยืนยันว่าผลที่ได้เป็นค่าที่ดีที่สุดจริง

บทที่ 3

แบบจำลองเครื่องปรับอากาศ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองของเครื่องปรับอากาศ หรือการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไป เพื่อที่ใช้สำหรับการทดสอบอัลกอริทึมที่ได้พัฒนา ซึ่งในแบบจำลองนี้ จะทำการจำลองค่า อุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของภายในห้อง มีรายละเอียดดังนี้

3.1 โมเดลเครื่องปรับอากาศ

ในหัวข้อต่อไปนี้เป็นารอธิบายถึงโมเดลเครื่องปรับอากาศ เพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้โดยการ ทดสอบถึงประสิทธิภาพในการจัดการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศในปริมาณจำนวนมาก

3.1.1 การจำลองอุณหภูมิ

โมเดลนี้ได้การอ้างอิงจาก [18] [19] [20] [21] ซึ่งเป็นโมเดลพลวัตจำลองเทียบเท่าของ เครื่องปรับอากาศ (ETP) เพื่อการจำลองลักษณะคุณสมบัติการทำงาน of เครื่องปรับอากาศในแต่ละ เหตุการณ์ โดยจำลองถึงอุณหภูมิและการใช้กำลังไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ จาก โดยมีลักษณะตาม สมการ (7) ดังนี้

$$T_i(t + 1) = -\frac{1}{R_i C_i} (T_i(t) - T_a(t) - s_i(t) R_i P_i) \quad (7)$$

$T_i(t)$ คือ อุณหภูมิในช่วงเวลา t ของเครื่องปรับอากาศ i

R_i คือ ค่าความต้านทานอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม i

C_i คือ ค่าความจุอุณหภูมิในสภาพแวดล้อม i

$T_a(t)$ คือ อุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลา t

s_i คือ ค่าสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ i ที่ช่วงเวลา t

P_i คือ กำลังของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน

การทำงานของเครื่องปรับอากาศ จะเป็นการตั้งสถานะของเครื่องปรับอากาศ โดยทำการเปิด ปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยมีลักษณะเป็นช่วงเวลาที่เปิดปิด ซึ่งเมื่อถึงค่าที่เกินช่วง จะทำการเปิดคอมเพรสเซอร์เพื่อลดอุณหภูมิ และเมื่ออุณหภูมิภายในห้อง ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้มากเกินไป จะทำการปิดคอมเพรสเซอร์ เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าสถานะทำงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ

โดยจะมีค่าเป็นไบนารี โดยที่เมื่อเป็นค่า 0 คือคอมเพรสเซอร์ไม่ทำงาน 1 คือคอมเพรสเซอร์ทำงาน การทำงานของสถานะเครื่องปรับอากาศจะทำงานดังนี้

$$s_i(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } T_i(t) \leq T_s - \delta \\ 1 & \text{if } T_i(t) \geq T_s + \delta \end{cases} \quad (8)$$

เมื่อ T_s คือค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ควบคุม และ δ คือช่วงของอุณหภูมิไม่ให้เกินช่วงอุณหภูมิภายในห้องสำหรับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ จะเป็นดังนี้

$$P_e = s_i(t) \frac{P_i}{COP} \quad (9)$$

โดยที่ P_e คือค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ และ COP คือค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

สำหรับโมเดลนี้ ทางผู้จัดทำจะทำการจำลองเสมือนกับเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนหนึ่ง โดยแต่ละเครื่องจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และอัลกอริทึมที่ได้พัฒนา จะทำการกำหนดสถานะ หรือควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เป็นจำนวนหนึ่ง เพื่อให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าได้ตามเป้าหมาย ซึ่งกำลังทั้งหมดที่ศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าควบคุมเครื่องปรับอากาศได้ดังนี้

$$P = \sum_{i=1}^N s_i(t) \frac{P_i}{COP} \quad (10)$$

ทั้งนี้กำลังที่ควบคุมได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องปรับอากาศ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ รวมถึงอุณหภูมิของห้อง

3.1.2 การจำลองความชื้นสัมพัทธ์

ในส่วนนี้ได้ดำเนินการจำลองค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่ถูกปรับอากาศ เมื่อทำการเปิดเครื่องปรับอากาศ นอกจากที่จะทำการปรับอุณหภูมิภายในห้องแล้ว ความชื้นเป็นอีกอย่างหนึ่งที่เครื่องปรับอากาศทำการลดความชื้นภายในห้อง การทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อทำการลดความชื้นภายในห้องมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกันกับการทำงานเพื่อลดอุณหภูมิห้อง คือเมื่อ

คอมเพรสเซอร์ทำงาน ความชื้นภายในห้องจะทำการลดอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันเมื่อคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงาน ค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน

ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิมีลักษณะและแนวโน้มที่คล้ายกัน จึงได้ทำการนำสมการ มาปรับเปลี่ยน ได้เป็นสมการที่มีลักษณะคล้ายกันดังนี้

$$H_i(t + 1) = -\frac{1}{Rh_iCh_i} (H_i(t) - H_a(t) - s_i(t)Rh_iP_i) \quad (11)$$

$H_i(t)$	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ช่วงเวลา t ของเครื่องปรับอากาศ i
Rh_i	คือ ค่าความต้านทานความชื้นของสภาพแวดล้อม i
Ch_i	คือ ค่าความจุความชื้นในสภาพแวดล้อม i
$H_a(t)$	คือ ความชื้นภายนอกในช่วงเวลา t
S_i	คือ ค่าสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ i ที่ช่วงเวลา t
P_i	คือ กำลังของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน

3.2 การทดลองโมเดลเครื่องปรับอากาศ

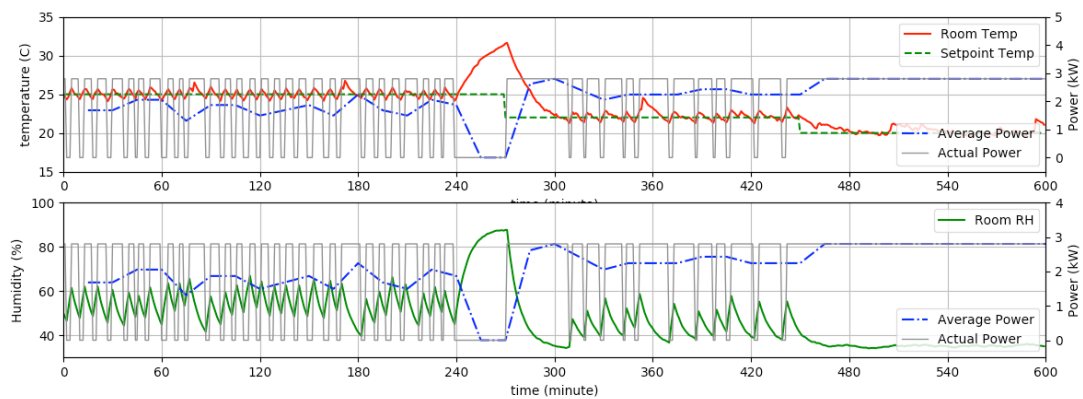
3.2.1 เครื่องปรับอากาศหนึ่งเครื่อง

จากสมการ (7) - (11) ได้ทำการทดสอบเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จากสมการข้างต้น ขนาด 12,000 18,000 และ 24,000 บีทียู/ชั่วโมง โดยได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์บางส่วนตาม [18] จาก

เพื่อให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับสภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศจริง การทำงานนี้ จะทำการปรับค่าเวลา โดยจะปรับทุก ๆ 1 นาที มีการนำค่าตัวแปรจากเอกสารที่อ้างอิง และมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรบางตัวให้มีลักษณะการทำงานให้สมเหตุสมผล ทั้งค่าของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ผลการจำลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศมีลักษณะดังภาพ

ตาราง 3-1 ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 บีทียู/ชั่วโมง

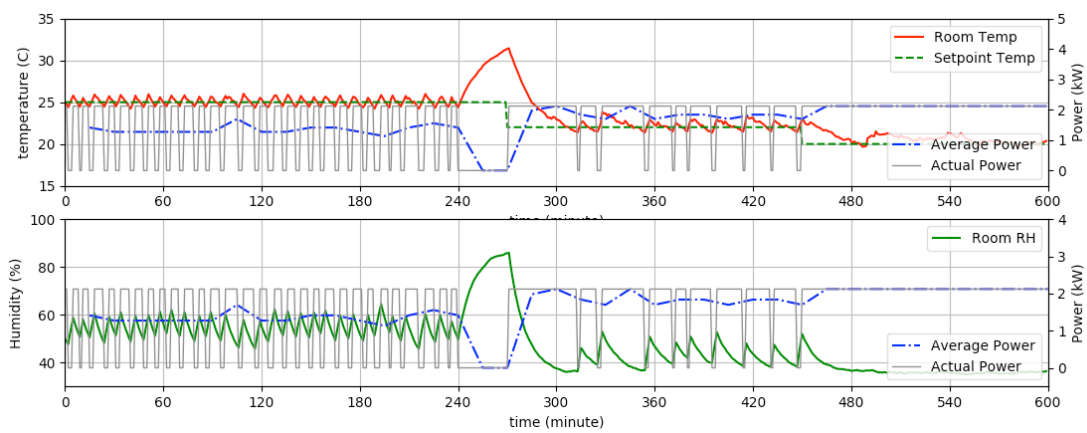
ตัวแปร	ค่า
R	Normal Dist $\mu=2$ °C/kW, $\sigma=0.5$
C	Normal Dist $\mu=10$ kWh/°C $\sigma=0.5$
Ta	33 °C
P	7 kW
δ	0.5 °C
COP	2.5
Rh	1.5
Ch	5.0
Ha	87



รูป 3-1 โมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 บีทียู/ชั่วโมง

ตาราง 3-2 ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 บีทียู/ชั่วโมง

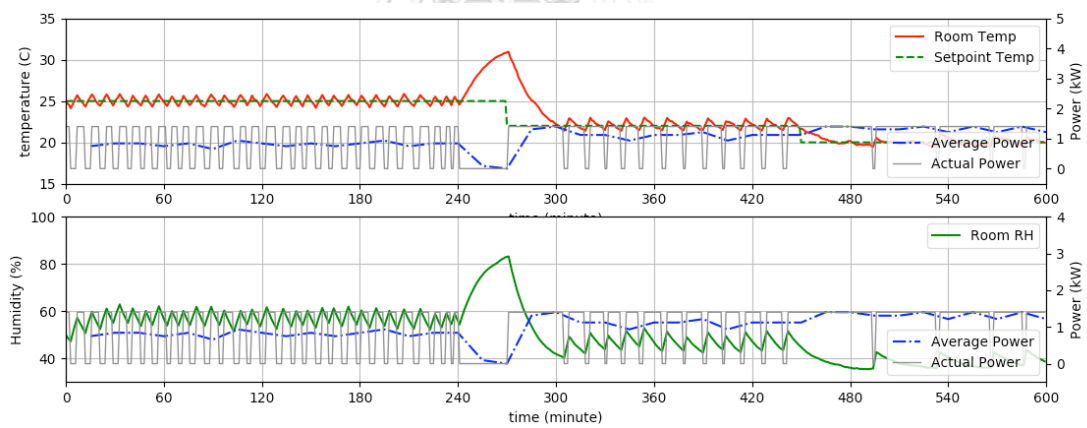
ตัวแปร	ค่า
R	Normal Dist $\mu=2.5$ °C/kW, $\sigma=0.5$
C	Normal Dist $\mu=7.7$ kWh/°C $\sigma=0.5$
Ta	33 °C
P	5.3 kW
δ	0.5 °C
COP	2.5
Rh	1.5
Ch	6.5
Ha	87



รูป 3-2 โมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 18,000 บีทียู/ชั่วโมง

ตาราง 3-3 ค่าพารามิเตอร์ของโมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 บีทียู/ชั่วโมง

ตัวแปร	ค่า
R	Normal Dist $\mu=4.0$ °C/kW, $\sigma=0.5$
C	Normal Dist $\mu=5.5$ kWh/°C $\sigma=0.5$
Ta	33 °C
P	3.5 kW
δ	0.5 °C
COP	2.5
Rh	1.5
Ch	10.0
Ha	87



รูป 3-3 โมเดลเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 บีทียู/ชั่วโมง

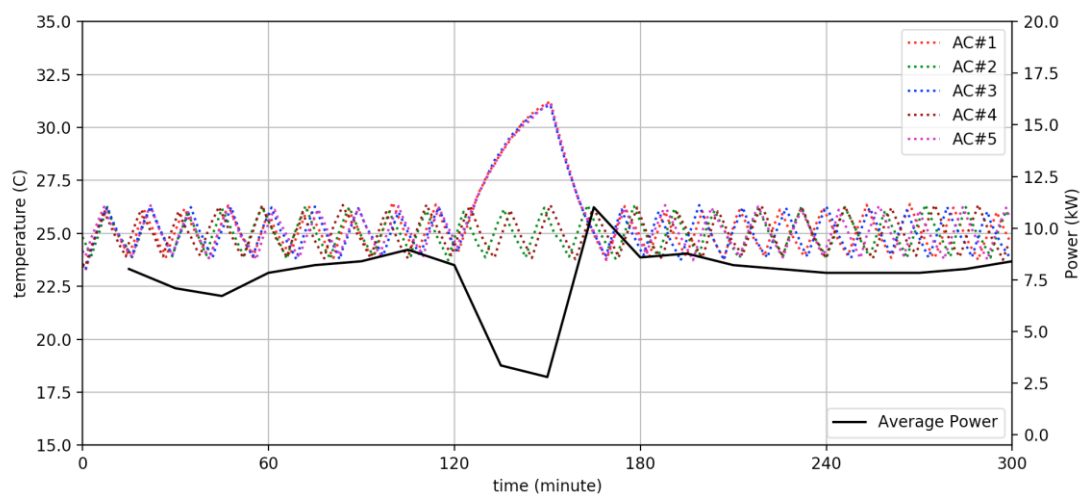
จากรูปข้างต้น ได้มีการทดสอบและมีการกำหนดสถานการณ์ โดยมีการจำลอง เครื่องปรับอากาศ 3 ประเภทคือ 24,000 18,000 และ 12,000 บีทียู/ชั่วโมง จากกราฟด้านบน มีการแสดงอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศตั้งไว้ สถานะของคอมเพรสเซอร์ซึ่งแสดงได้ถึงกำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน และกำลังเฉลี่ยทุก ๆ 15 นาที ในเริ่มต้น ได้มีการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 °C และเมื่อเวลาผ่านจนถึงนาฬิกาที่ 240 ได้มีการสั่งปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 30 นาที หลังจากใช้เวลาผ่านไป ถึงนาฬิกาที่ 270 ได้ทำการเปิดเครื่องปรับอากาศอีกครั้ง พร้อมกับตั้งค่าอุณหภูมิใหม่ที่ 30 °C ซึ่งจากกราฟที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรก โมเดลเครื่องปรับอากาศได้มีการเปิดปิดคอมเพรสเซอร์ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และหลังจากที่ทำการปิดและตั้งอุณหภูมิให้สูงขึ้น จะเห็นได้ว่า ความถี่ของการทำงานของคอมเพรสเซอร์มีลักษณะลดลง อีกทั้งกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของโมเดลเครื่องปรับอากาศมีค่าที่ลดลง

จากกราฟด้านล่าง เป็นการจำลองค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง และได้สร้างโมเดลจำลอง โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้สัมพันธ์กับการทำงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศ โดยที่เมื่อคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศทำงาน ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ไปถึงค่าหนึ่งในทางกลับกัน ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ยังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อคอมเพรสเซอร์ปิดการทำงาน และแทบจะเป็นระดับเดียวกันกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก

ผลจากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภท สามารถทำงานได้โดยที่ค่าอุณหภูมิและความชื้นมีการเปลี่ยนแปลง ค่าที่ได้อาจจะมีค่าความแม่นยำน้อย แต่สามารถใช้หรือทำงานแทนเครื่องปรับอากาศเพื่อให้สามารถสั่งปรับเปลี่ยนแต่ละเครื่องได้

3.2.2 กลุ่มเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

เมื่อได้ทำการสร้างโมเดลเครื่องปรับอากาศแล้ว จึงทำการสร้างกลุ่มของเครื่องปรับอากาศเพื่อทำการทดสอบในเบื้องต้นจำนวน 5 เครื่อง ขนาด 24,000 บีทียู/ชั่วโมง โดยทำการสุ่มค่าจำเพาะของเครื่องปรับอากาศ เช่น ค่ากำลังของเครื่องปรับอากาศ และได้ทำการทดสอบและจำลองสถานการณ์ดังภาพ

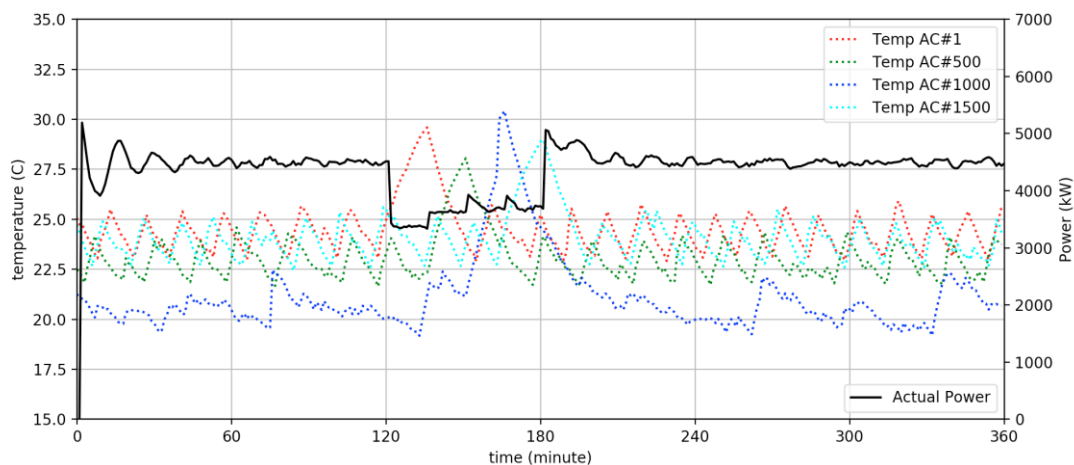


รูป 3-4 กราฟของโมเดลเครื่องปรับอากาศ 5 เครื่อง

จากรูป 3-4 กราฟเส้นประคือค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่อง กราฟได้แสดงผลรวมของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทุก 15 นาทีของเครื่องปรับอากาศทั้งหมด ในภาพได้ทำการสมมติเครื่องปรับอากาศจำนวน 5 เครื่องและทุกเครื่องตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25 °C และเปิดใช้เป็นระยะเวลาหนึ่งจนกระทั่งเมื่อถึงเวลานาทีที่ 120 จึงทำการปิดเครื่องปรับอากาศจำนวน 3 เครื่องเป็นเวลา 30 นาที ทำให้อุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ถูกปิดมีค่าสูงขึ้น และกำลังไฟฟ้าทั้งหมด มีค่าลดลงเช่นกัน เมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 30 นาทีเครื่องปรับอากาศที่ถูกปิดได้ทำงานขึ้นอีกครั้ง ทำให้อุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศที่ถูกปิด มีค่าลดลงและค่ากำลังไฟฟ้ากลับมาที่ค่าเดิม

3.2.3 กลุ่มเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

เมื่อได้จำลองเครื่องปรับอากาศจำนวนหนึ่ง จึงได้ทำการทดสอบกับกลุ่มเครื่องปรับอากาศจำนวนมาก โดยทำการทดสอบการทำงานเครื่องปรับอากาศจำนวน 2,000 เครื่อง ขนาด 24,000 บีทียู/ชั่วโมง และทุกเครื่องปรับไว้โดยสัมพันธ์อุณหภูมิที่เครื่องปรับอากาศตั้งค่าอยู่โดยให้อยู่ระหว่าง 20 - 25 °C และมีรูปแบบการควบคุมดังนี้



รูป 3-5 กราฟโมเดลเครื่องปรับอากาศ 2,000 เครื่อง

จากรูป 3-5 จะทำการควบคุมเครื่องปรับอากาศจำนวนมาก โดยทำการปิดเครื่องปรับอากาศครั้งละ 500 เครื่อง ณ นาทีที่ 120, 135, 150 และ 165 ตามลำดับ และให้เครื่องปรับอากาศทุกเครื่องทำงานเหมือนเดิมที่นาที 180 จะเห็นได้ว่า นาทีที่สั่งปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ค่ากำลังไฟโดยรวมจะมีค่าลดลงประมาณ 1 MW โดยสั่งปิดการทำงาน 500 เครื่องเป็นเวลา 15 นาที และเมื่อถึงนาทีที่ 180 ค่ากำลังไฟโดยรวมกลับมาเป็นปกติ

3.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากโมเดลที่กล่าวมาข้างต้น สามารถทำงานได้เหมือนใกล้เคียงกับคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ และค่าอุณหภูมิและค่ากำลังที่เปลี่ยนไป และตอบสนองตามคำสั่งที่ควบคุมเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ สามารถเทียบเคียงเครื่องปรับอากาศจริงได้ ซึ่งโมเดลที่ได้พัฒนามาจะเป็นโมเดลทดสอบของเครื่องปรับอากาศทำให้จำนวนมาก เพื่อจำลองสภาพแวดล้อม โดยเมื่อได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจัดการเครื่องปรับอากาศ จะได้โมเดลนี้ทดสอบว่า สามารถจัดการให้กำลังไฟไม่เกินช่วงที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 4

ขั้นตอนวิธี

การพัฒนาอัลกอริทึม ถือว่าเป็นส่วนสำคัญในงานวิจัยนี้ เนื้อหาภายในบทนี้จึงบรรยายถึงแนวคิดถึงการแก้ปัญหา และลำดับขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหา ภาพรวมของการพัฒนาโปรแกรม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ปัญหาถุงเป้ (Knapsack Problem)

ปัญหาถุงเป้ (Knapsack) เป็นปัญหา Combinatorial Optimization ประเภทหนึ่ง มีความซับซ้อนแบบ NP-Hard ปัญหานี้เป็นปัญหาในโลกของความเป็นจริงในเรื่องของกระบวนการการตัดสินใจเลือกของแต่ละตัวแปรโดยอยู่ภายใต้เงื่อนไข ทั้งนี้ปัญหาถุงเป้สามารถพบเห็นได้จริง เช่น ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการเงิน ปัญหาการแบ่งปันทรัพยากร และได้มีการนำไปประยุกต์กับศาสตร์อื่น ๆ เช่น ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ ด้านความปลอดภัยของข้อมูล หรือด้านคณิตศาสตร์ประยุกต์

ปัญหานี้สามารถอธิบายได้โดย มีถุงเป้อยู่ 1 ใบ ซึ่งมีข้อจำกัดในการรับน้ำหนักได้ไม่เกินตามที่กำหนดไว้ และมีกลุ่มของสิ่งของที่ต้องใส่ภายในถุงเป้นี้จำนวนหนึ่ง ซึ่งของแต่ละชิ้นนั้นจะมีมูลค่าแตกต่างกัน และมีน้ำหนักที่ต่างกัน เป้าหมายคือนำสิ่งของใส่ในถุงเป้ให้ได้ผลรวมของมูลค่ามากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และเมื่อใส่แล้วน้ำหนักรวมจะต้องไม่เกินข้อจำกัดของถุงเป้ด้วย ปัญหานี้สามารถนิยามได้หลายแบบ เช่น ปัญหาถุงเป้ 0/1 (0/1 Knapsack Problem) ที่ตัดสินใจได้แค่ว่าจะเลือกนำสิ่งของนี้ใส่ถุงเป้หรือไม่ ปัญหาถุงเป้แบ่งย่อย (Fractional Knapsack Problem) ที่กล่าวถึงการตัดแบ่งของออกเป็นส่วนย่อยได้ ภายในงานนี้ จะเป็นปัญหาถุงเป้ 0/1 จากปัญหาข้างต้นสามารถที่จะเขียนฟังก์ชันได้เป็น

$$\text{maximize } f(x, v) = \sum_{i=1}^T x_i v_i \quad (12)$$

โดยมีเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^T x_i w_i \leq W \quad (13)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (14)$$

โดยที่ T	คือ จำนวนของสิ่งของทั้งหมด
x_i	คือ ตัวแปรอิสระตัดสินใจ โดยที่ 1 หมายความว่าเลือกใส่ถุงเป้ 0 หมายถึงไม่เลือกใส่ถุงเป้
v_i	คือ มูลค่าของสิ่งของแต่ละชิ้น
W	คือ น้ำหนักสูงสุดที่ถุงเป้รับได้
w_i	คือ น้ำหนักของสิ่งของแต่ละชิ้น

ในปัจจุบันนี้ มีหลายวิธีในการแก้ปัญหาถุงเป้ที่นิยมใช้ ตัวอย่างเช่น

- 1) ขั้นตอนวิธีขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound Algorithm)
- 2) โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)
- 3) โปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming)
- 4) ขั้นตอนวิธีแบบละโมภ (Greedy Algorithm)

ซึ่งขั้นตอนที่ได้กล่าวถึงนี้ใช้เวลาการแก้ปัญหาและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหา นอกเหนือจากนี้มีปัญหาถุงเป้อีกหลายแบบ และใช้ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันไป และยังมีการศึกษารูปแบบหรือวิธีแก้ปัญหาอื่น ๆ อีก

4.2 ปัญหาถุงเป้น้อยที่สุด (Minimum Knapsack Problem)

ปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีลักษณะคล้ายกับปัญหาถุงเป้ แต่เงื่อนไขที่ตรงข้ามกัน อธิบายได้ว่าต้องนำสิ่งของใส่ถุงเป้ที่สามารถรับน้ำหนักได้จำนวนหนึ่ง ต้องเลือกสิ่งของใส่ในถุงเป้เหมือนกับปัญหาถุงเป้ทั่วไป แต่ที่ต้องใส่โดยให้มูลค่ารวมน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยที่น้ำหนักรวมต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าน้ำหนักของกระเป๋าที่รับได้ สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้เป็น

$$\text{minimize } f(x, v) = \sum_{i=1}^T x_i v_i$$

(15)

โดยมีเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^T x_i w_i \geq W \quad (16)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (17)$$

โดยที่ T	คือ จำนวนของสิ่งของทั้งหมด
x_i	คือ ตัวแปรอิสระตัดสินใจ โดยที่ 1 หมายความว่าเลือกใส่ถุงเป้ 0 หมายถึงไม่เลือกใส่ถุงเป้
v_i	คือ มูลค่าของสิ่งของแต่ละชิ้น
W	คือ น้ำหนักสูงสุดที่ถุงเป้รับได้
w_i	คือ น้ำหนักของสิ่งของแต่ละชิ้น

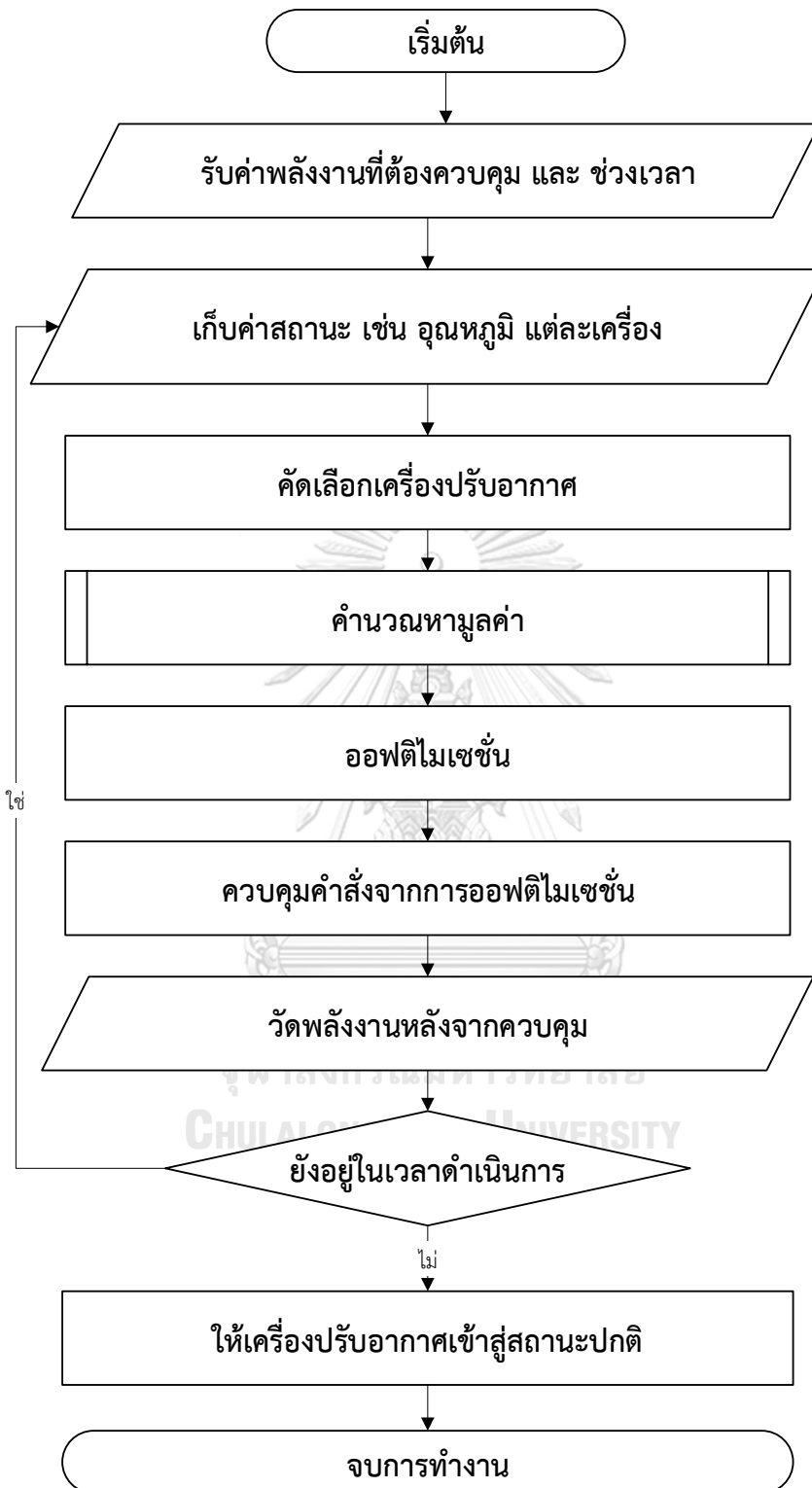
ปัญหานี้สามารถใช้วิธีแบบเดียวกับที่อธิบายข้างต้น แต่ต้องมีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขบางส่วนให้สอดคล้องกับปัญหาที่ต้องการแก้ สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้ปัญหาของปัญหาถุงเป้น้อยที่สุด มาเป็นวิธีการแก้ปัญหาและมีการนำตัวแปรภายใต้ฟังก์ชันออปติไมเซชันมีการปรับเปลี่ยนดังนี้

x_i	คือ ตัวแปรอิสระตัดสินใจ โดยที่ 1 หมายถึงเลือกปิดเครื่องปรับอากาศ 0 หมายถึงเลือกเปิดเครื่องปรับอากาศ
v_i	คือ ต้นทุนหรือมูลค่าของการตัดสินใจ
W	คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้ารวมที่ต้องถูกลด
w_i	คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องเมื่อทำการปิด

การคำนวณหาต้นทุน เป็นวิธีการหาเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมว่าเครื่องใดควรทำการปิด โดยเลือกจากต้นทุนที่น้อยที่สุด การออกแบบต้นทุนจึงเป็นส่วนที่สำคัญเช่นกัน ทั้งนี้ต้นทุนจะขึ้นอยู่กับสิ่งที่ควรคำนึงถึงเช่น ค่าความสบายเชิงอุณหภูมิภายในห้อง ค่าตอบแทนที่ต้องจ่ายให้กับเจ้าของเครื่องปรับอากาศ หรืออาจจะเป็นตัวแปรถ่วงน้ำหนักเพื่อแสดงถึงความสำคัญของเครื่องปรับอากาศเครื่องนี้ วิธีการแก้ปัญหาหรือการเลือกตัดสินใจว่าเครื่องปรับอากาศตัวใดจะถูกปิดนั้น เป็นขั้นตอนหนึ่งของการดำเนินการคัดเลือกทั้งหมด จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

4.3 ลำดับอัลกอริทึม

ในลำดับถัดไป เป็นการอธิบายถึงลำดับการทำงานทั้งหมด เมื่อถึงเวลาที่จำเป็นต้องดำเนินการการตอบสนองด้านโหลด จะมีลำดับขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่อง การคัดเลือกกลุ่มเครื่องปรับอากาศ การตัดสินใจเลือกเครื่องปรับอากาศ การสั่งเครื่องปรับอากาศ การวัดข้อมูล มีการทำงานดังนี้



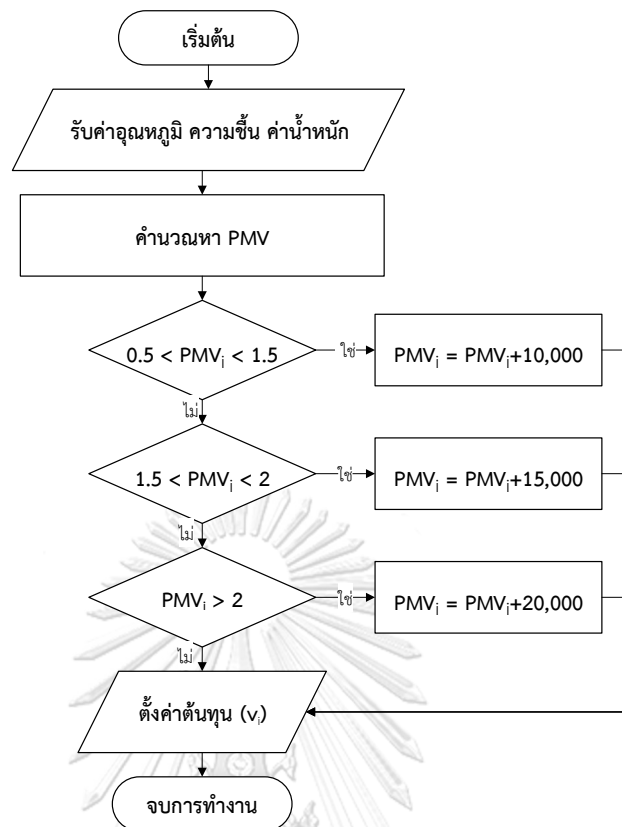
รูป 4-1 ผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

จากรูป 4-1 เป็นแผนผังการทำงานในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลดแบบควบคุม โดยตรงกับเครื่องปรับอากาศทั้งหมด เวลาในการทำงานแต่ละรอบจะใช้เวลา 1 นาทีในการดำเนินงาน จนกระทั่งหมดเวลาในการควบคุมโหลด อัลกอริทึมนี้จะดำเนินการภายในศูนย์รวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้า ที่มีเครื่องปรับอากาศเป็นโหลดภายใต้ศูนย์นี้ มีลำดับขั้นตอนอยู่หลายขั้นตอน ซึ่งในตอนแรก จำเป็นต้องรับค่าที่จำเป็นในการดำเนินการควบคุมโหลดโดยตรง เช่น ช่วงเวลาในการดำเนินการ และ ค่ากำลังที่ต้องลดในระยะเวลาการดำเนินการที่ได้ทำสัญญากับการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายไว้ เมื่อถึงเวลา การดำเนินการ ศูนย์การรวบรวมการลดการใช้ไฟฟ้าจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น สถานะ ของเครื่องปรับอากาศ ค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้า ของแต่ละเครื่องปรับอากาศ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการ คัดเลือกเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมในเบื้องต้น เช่นต้องทำการเปิดหรือปิดมาแล้วไม่น้อยกว่า 3 นาทีเนื่องจากว่าการเปิดปิดทันทีอาจส่งผลกระทบต่อเครื่องปรับอากาศในอนาคต หรือเครื่องปรับอากาศที่ถูกบังคับให้ปิดหรือเปิดโดยเจ้าของเครื่องปรับอากาศ เมื่อได้เครื่องปรับอากาศที่จะใช้ในการ ตัดสินใจแล้วจะทำการคำนวณหาต้นทุนและเข้าสู่กระบวนการการตัดสินใจตามวิธีการดำเนินการที่ได้ กล่าวมาข้างต้นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนนี้จะได้คำสั่งการควบคุมเครื่องปรับอากาศแต่ละ เครื่อง จะทำการควบคุมเครื่องปรับอากาศและดำเนินการวัดค่าเพื่อหาผลลัพธ์ที่ได้จากการควบคุม การดำเนินการนี้จะดำเนินการไปทุก 1 นาทีจนกระทั่งหมดเวลาในการดำเนินการ

การดำเนินการอัลกอริทึมนี้ มีรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง เช่นการคำนวณต้นทุน ซึ่งต้นทุนในที่นี้ ไม่เพียงแต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เป็นตัวเงิน แต่เป็นเรื่องของค่าความสบายหรือแม้กระทั่งลำดับ ความสำคัญของเครื่องปรับอากาศนี้ การคำนวณต้นทุนสามารถนำมาเพิ่มเติม หรือตัดแปลงเพื่อให้ สอดคล้องต่อการดำเนินการการตัดสินใจเปิดปิดเครื่องปรับอากาศต่อไป ;

4.4 สมการต้นทุน

การที่ระบบจะสามารถเลือกเครื่องปรับอากาศที่ให้ควบคุมนั้น ให้สามารถเลือกได้อย่างฉลาด และสมเหตุสมผลนั้น การหาต้นทุนหรือมูลค่าเพื่อใช้สำหรับประเมินค่าของเครื่องปรับอากาศ ณ ขณะนั้น เป็นเรื่องที่สำคัญ ในงานวิจัยนี้ การประเมินต้นทุนจะขึ้นอยู่กับค่าความสบายเชิงคุณภาพ เป็นหลัก เพราะต้องการให้ผู้ที่ถูกควบคุมยังคงรู้สึกอยู่ความสบายเมื่อถูกควบคุม การดำเนินการในการ หามูลค่าจะเป็นลักษณะดังนี้



รูป 4-2 ผังการทำงานของ การหาต้นทุน

การหาค่าต้นทุน โดยเริ่มต้น จะทำการนำค่าสถานะ หรือค่าจำเพาะจากเครื่องปรับอากาศที่เป็นอิสระต่อกัน แต่ละเครื่องเช่น ค่าอุณหภูมิ ความชื้น หรือค่าน้ำหนัก นำมาหาคำนวณหาต้นทุนเมื่อคำนวณเสร็จแล้ว ให้ตรวจสอบว่าอยู่ในโซนความสบายระดับไหน โดยให้มีการเพิ่มไปตามค่า PMV เพื่อให้มีค่าสูงแตกต่างกัน ในที่นี้ได้ทำการเพิ่มเป็นจำนวน 10,000 15,000 และ 20,000 และส่งผลให้มีโอกาสในการทำเลือกที่จะปิดเครื่องปรับอากาศเครื่องนี้น้อยลง แต่ถ้าเปลี่ยนจากการเพิ่มค่าต้นทุนเป็นการนำเครื่องปรับอากาศคัดออกจากการพิจารณาอาจจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ลดได้ไม่พอต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการลด การเปลี่ยนให้มีโอกาสเลือกน้อยกว่าจะดีกว่า การเพิ่มค่าต้นทุนไม่จำเป็นที่จะเป็นค่าตามที่กำหนด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ในส่วนของสมการการคิดต้นทุนมีดังนี้

$$v_i = (PMV_i + 3)F_i + C_i \quad (18)$$

โดยที่ v_i

คือ ต้นทุนของเครื่องปรับอากาศที่ i

PMV_i

คือ ค่าดัชนีการโหวตของความสบายเชิงอุณหภูมิ

F_i	คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก
C_i	ค่าต้นทุนที่ถูกเพิ่มเพื่อให้มีน้ำหนักมากขึ้น โดยมีเงื่อนไขคือ
$C_i = 0$	เมื่อ $PMV \leq 0.5$
$C_i = 10,000$	เมื่อ $0.5 < PMV \leq 1.5$
$C_i = 15,000$	เมื่อ $1.5 < PMV \leq 2.0$
$C_i = 20,000$	เมื่อ $PMV > 2.0$

สมการต้นทุนเบื้องต้นนี้ ได้นำสมการ Fanger ที่ใช้ในการทำนายดัชนีการโหวตเฉลี่ยของความสบายเชิงอุณหภูมิในบทความก่อนหน้านี้มาใช้ โดยค่าต้นทุนจะต้องเป็นจำนวนจริงบวกจึงทำการเพิ่มค่าไป 3 เพื่อค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 6 ทั้งนี้มีการเพิ่มตัวแปรเข้าคือค่าถ่วงน้ำหนักด้วยเช่นกัน ถ้าไม่มีตัวแปรนี้ อัลกอริทึมที่ทำได้ จะทำการเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีกำลังไฟฟ้ามากกว่า เพราะว่าเครื่องปรับอากาศนี้ให้ปริมาณจำนวนกำลังไฟฟ้าที่ลดได้มากกว่า โดยที่ต้นทุนมีค่าใกล้เคียงกัน การตั้งค่าถ่วงน้ำหนักเป็นดังตาราง

ตาราง 4-1 ค่าถ่วงน้ำหนักของเครื่องปรับอากาศเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าต้นทุน (F_i)

ประเภทเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)	ค่าถ่วงน้ำหนัก
12,000	2
18,000	1.5
24,000	1

สำหรับค่าถ่วงน้ำหนักในตาราง 4-1 ได้มีการกำหนดค่าเช่นนี้เนื่องจากว่าต้องการให้เครื่องปรับอากาศแต่ละขนาดมีน้ำหนักเท่ากัน ทำให้การเลือกเครื่องปรับอากาศไม่มีผลต่อน้ำหนัก ซึ่งค่าที่ได้จากตาราง 4-1 เกิดจากการเทียบสัดส่วนกำลังของเครื่องปรับอากาศ ถึงอย่างไรก็ดี ค่านี้สามารถที่จะดัดแปลงเพื่อเพิ่มหรือลดโอกาสแต่ละเครื่องของเครื่องปรับอากาศ เช่น มีความต้องการให้มีโอกาสเลือกเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กมากกว่า เป็นต้น

การออกแบบสมการต้นทุนเป็นเรื่องที่สำคัญอีกเรื่องหนึ่ง เนื่องจากว่าสามารถดัดแปลงได้ส่งผลให้อัลกอริทึมเลือกเครื่องปรับอากาศได้หลากหลายเงื่อนไขเพิ่มขึ้น เช่น เลือกตามลำดับความสำคัญ เลือกตามต้นทุน เลือกตามจำนวนที่ถูกควบคุม ซึ่งทั้งนี้ยังมีปัจจัยเรื่องอื่น ๆ เช่น ภูมิลาเนา การศึกษา เพศ เป็นต้น

บทที่ 5

ผลการดำเนินการ

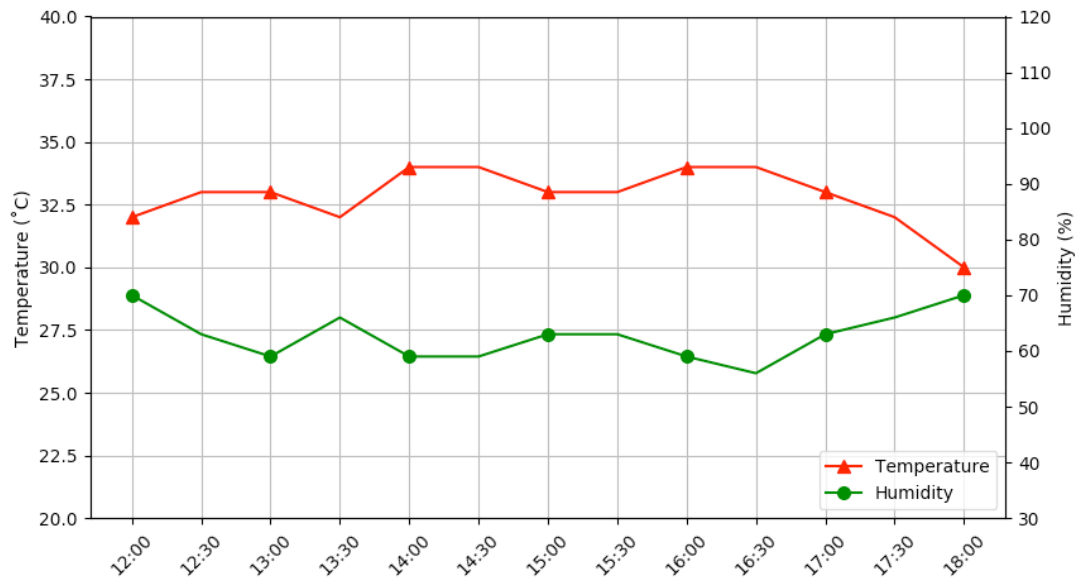
ในบทนี้ เป็นการดำเนินการทดสอบความสามารถอัลกอริทึมที่ได้อธิบายไว้ในบทก่อนหน้า งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมจากอัลกอริทึมที่กล่าวมาข้างต้น โดยใช้ภาษา Python 3.6 และใช้ไลบรารี IBM ILOG CPLEX ในการแก้ปัญหาออปติไมเซชันเชิงเส้น (Linear Programming) ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบภายใต้หลากหลายเงื่อนไข หลากหลายรูปแบบ

5.1 การดำเนินการควบคุมเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง

อัลกอริทึมนี้ใช้เพื่อการดำเนินการทดสอบด้านโหนดโดยการควบคุมโดยตรงภายใต้เครื่องปรับอากาศจำนวนมาก เพื่อให้เห็นถึงการทำงานของอัลกอริทึมได้ชัดเจน จึงได้มีการทดสอบภายใต้เครื่องปรับอากาศจำนวน 20 เครื่อง และมีการใช้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากภายนอก โดยใช้ของวันที่ 27 เมษายน 2561 ณ เวลา 12.00-18.00 น. ซึ่งได้จากเว็บไซต์ www.wunderground.com การทดสอบนี้ ทำให้สามารถเห็นถึงสถานะของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องในเบื้องต้นได้

ตาราง 5-1 จำนวนเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภทของกลุ่มขนาดเล็ก

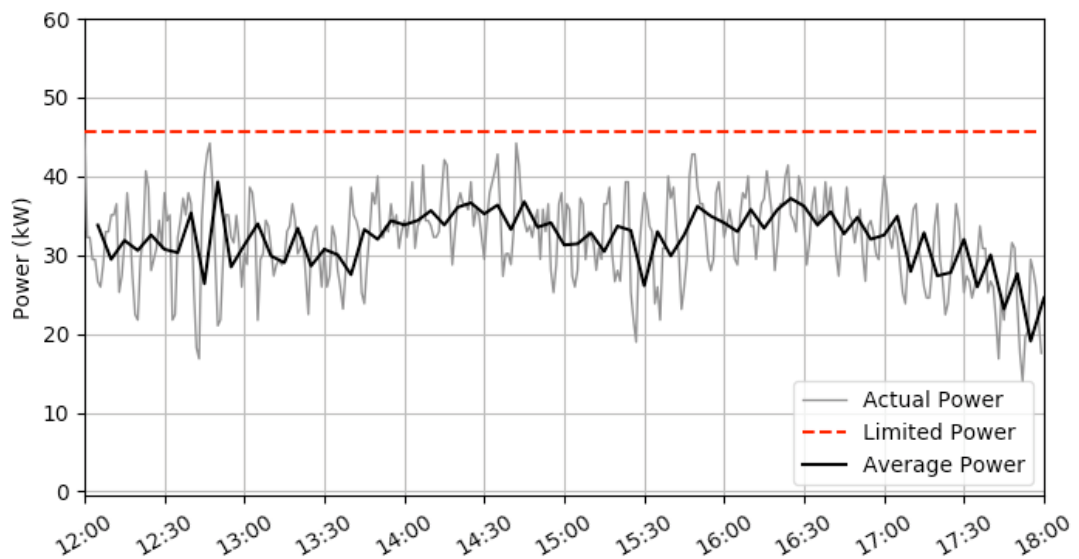
ประเภทเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)	จำนวน (เครื่อง)
12,000	5
18,000	5
24,000	10



รูป 5-1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสถานการณ์สำหรับ 20 เครื่อง

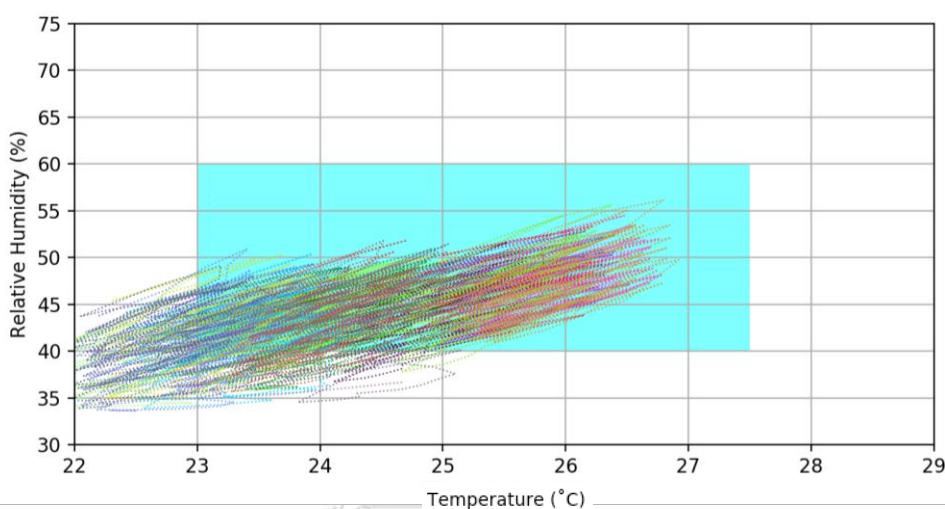
5.1.1 เครื่องปรับอากาศทำงานโดยไม่ถูกควบคุม

จากในสถานการณ์ปกติ สมมติเหตุการณ์ให้เครื่องปรับอากาศทั้ง 20 เครื่องทำงาน โดยซึ่งแต่ละเครื่องจะมีการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกันโดยเป็นการสุ่มการตั้งค่าระหว่าง 22-26 องศาเซลเซียส



รูป 5-2 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่องขณะที่ไม่ถูกควบคุม

จากรูป 5-2 ผลรวมของกำลังไฟฟ้าเมื่อเครื่องปรับอากาศทั้งหมดทำงานอาจทำให้เกิดขีดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าได้ 45.6 กิโลวัตต์ ในกราฟได้แสดงกำลังเฉลี่ย 5 นาทีและกำลัง ณ ขณะนั้น กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้ ณ ขณะนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่นอุณหภูมิภายนอก สภาพอากาศภายในห้อง ภายใต้อสิ่งแวดล้อมนี้ ทำให้มีการใช้กำลังประมาณ 30 กิโลวัตต์ และมีบางช่วงที่มีการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยเฉพาะเมื่อเวลา 14.00-14.30 น. ที่เกิดการใช้ไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 38 กิโลวัตต์

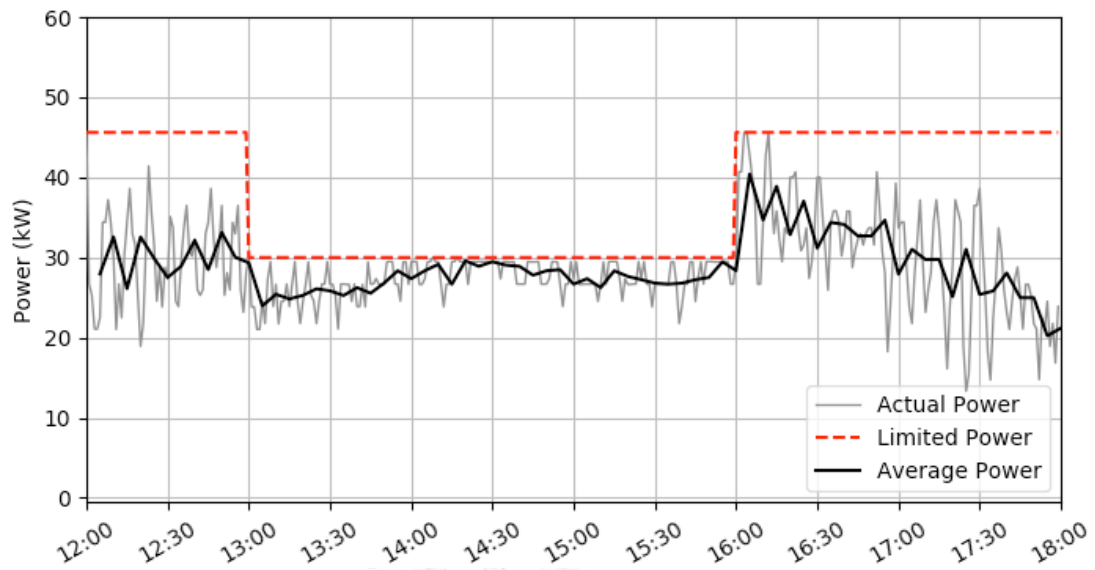


รูป 5-3 การอยู่ภายในโซนความสบายของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะที่ยังไม่ถูกควบคุม

จากรูป 5-3 เป็นรูปแสดงถึงการแสดงสถานะของเครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องว่าอยู่ในโซนความสบายหรือไม่ โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้นิยามของโซนความสบายไว้ว่า อุณหภูมิภายในห้องจะอยู่ระหว่าง 23-27.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ระหว่าง 40-60% แสดงได้จากพื้นที่สี่เหลี่ยม ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสถานะเครื่องปรับอากาศบางส่วนจะอยู่นอกโซนความสบาย ซึ่งถือว่าเป็นโซนความไม่สบายแบบรู้สึกหนาว เนื่องจากว่าคนไทยส่วนใหญ่มักจะปรับอุณหภูมิภายในห้องให้ต่ำมาก

5.1.2 เครื่องปรับอากาศถูกควบคุมให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์

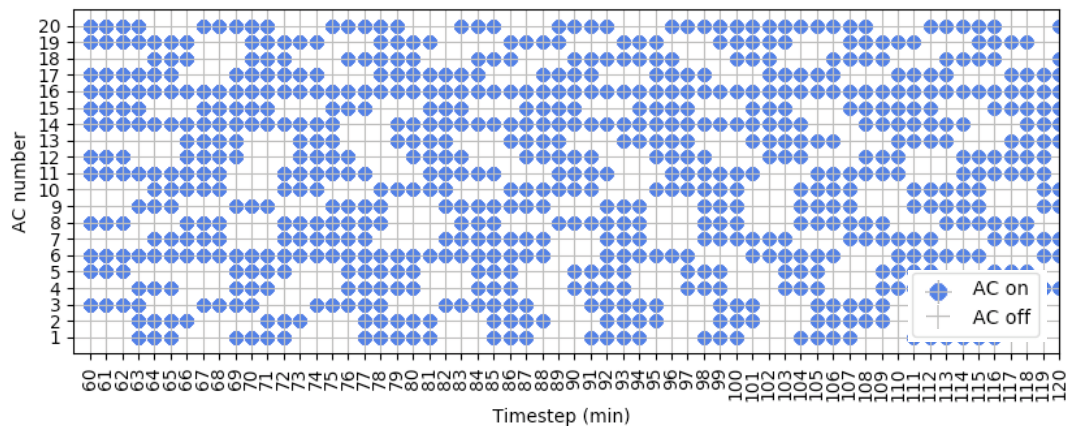
ในส่วนนี้จะเป็นการควบคุมกำลังการใช้ไฟฟ้า มีเป้าหมายให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ ซึ่งหมายความว่าต้องลดให้ได้ไม่น้อยกว่า 15.6 กิโลวัตต์จากกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยได้กำหนดให้ดำเนินการด้านโหลดเวลา 13.00-16.00 น. หน้าที่ของอัลกอริทึมนี้คือต้องทำการเลือกเปิดปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อให้ผลรวมกำลังการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ จะมีการทำงานดังนี้



รูป 5-4 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์

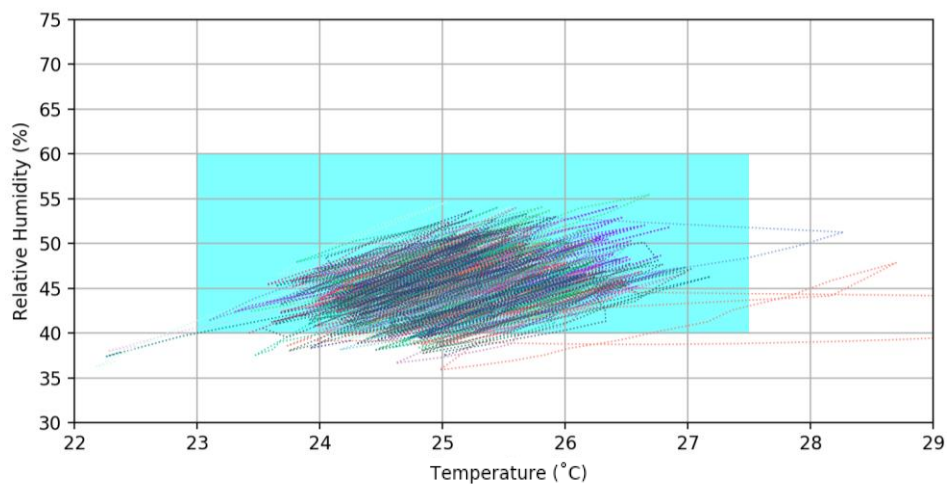
จากรูป 5-4 มีการกำหนดกำลังไว้ให้ไม่เกินระดับ 30 กิโลวัตต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อถึงเวลาที่ต้องดำเนินการตอบสนองด้านโหลด กำลังการใช้ไฟฟ้าจริงจะไม่เกินระดับที่ควบคุมไว้ และกำลังการใช้ไฟฟ้าจะกลับมาเป็นลักษณะเดิมเมื่อหมดช่วงเวลาของการควบคุม

เทคนิคในการเลือกการเปิดปิดของเครื่องปรับอากาศในโปรแกรมนี้ จะเลือกปิดเครื่องปรับอากาศจากสภาพแวดล้อมที่พบว่ามีค่าความสบายเชิงอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งหมายความว่าห้องที่มีอุณหภูมิต่ำเกินไป จะถูกสั่งปิดก่อน แล้วจึงเริ่มสั่งเครื่องปรับอากาศที่มีค่าความสบายเชิงอุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ และมีข้อสังเกตอีกที่ว่า เครื่องปรับอากาศที่ถูกตั้งอุณหภูมิให้ต่ำ จะถูกสั่งการให้ปิดการทำงานมากกว่าเครื่องปรับอากาศที่ถูกตั้งอุณหภูมิสูงกว่า และมีความเป็นไปได้ที่เครื่องปรับอากาศจะไม่ถูกสั่งปิดการทำงานถ้ามีการตั้งอุณหภูมิที่สูงกว่าอยู่แล้ว



รูป 5-5 คำสั่งการควบคุมของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์

รูป 5-5 เป็นการแสดงคำสั่งการควบคุมเครื่องปรับอากาศ โดยเลือกช่วงใดช่วงหนึ่งของการดำเนินการลดการใช้ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าการสั่งเปิดปิดเครื่องปรับอากาศแสดงได้จากจุด หมายความว่า เครื่องปรับอากาศถูกควบคุมให้เปิด และไม่มีจุดคือเครื่องปรับอากาศถูกสั่งให้ปิด โดยเป็นการสลับเปิดปิดแต่ละเครื่อง อัลกอริทึมนี้ไม่มีเงื่อนไขที่ว่าเครื่องปรับอากาศต้องมีการเปิดหรือปิดให้ได้อย่างน้อย 3 นาทีจึงจะสามารถควบคุมได้ เพื่อให้ไม่เกิดผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศในอนาคต

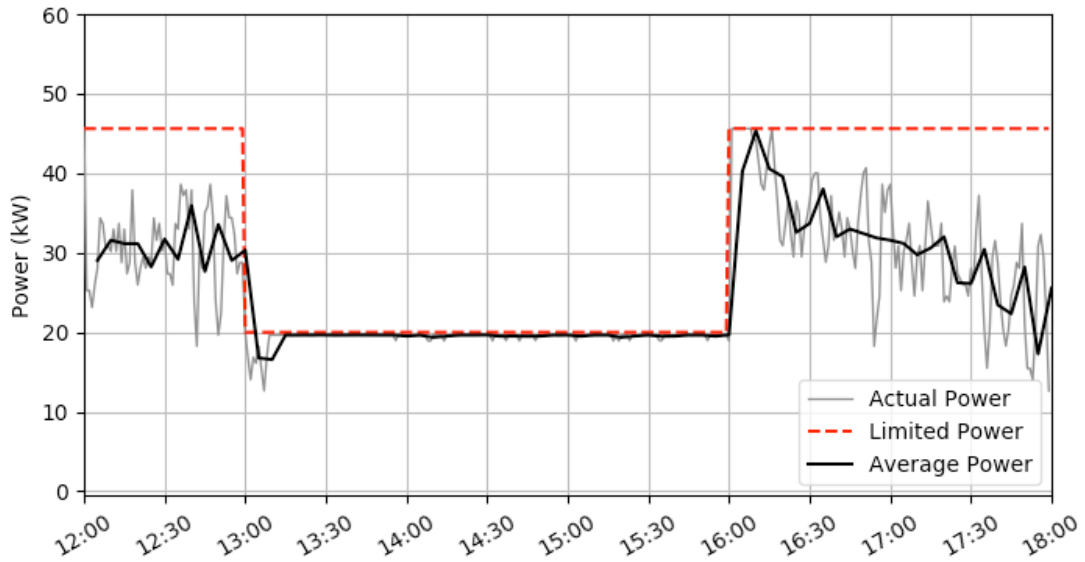


รูป 5-6 การอยู่ในโซนความสบายของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 30 กิโลวัตต์

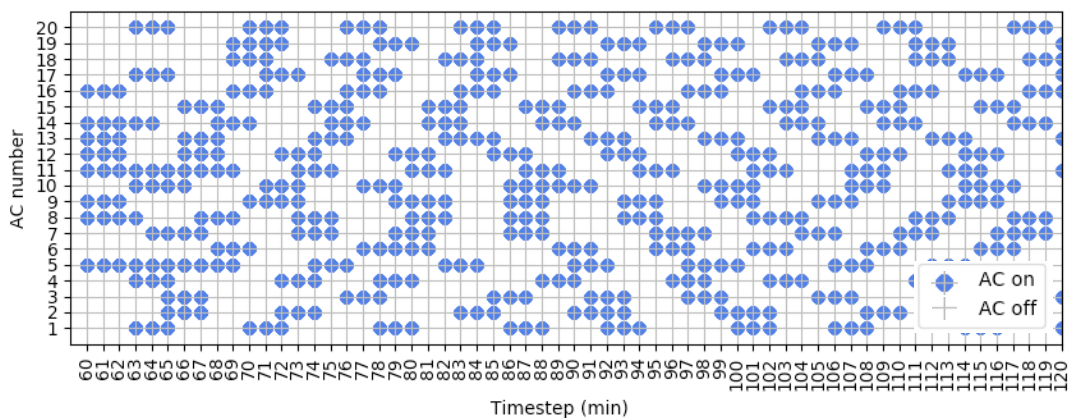
รูป 5-6 แสดงให้เห็นว่าเครื่องปรับอากาศส่วนมากที่เวลาที่ถูกรับควบคุมจะอยู่ในโซนความสบาย แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็จะมีบางเครื่องปรับอากาศบางส่วนอยู่นอกโซนความสบายในช่วงเวลาไม่มาก

5.1.3 เครื่องปรับอากาศถูกควบคุมให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์

ในส่วนต่อไปเป็นการทดสอบการดำเนินการลดการใช้ไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายให้ใช้กำลังไฟฟ้ามรวมไม่เกิน 20 กิโลวัตต์ ในช่วงเวลาที่ถูกร้องขอ ซึ่งถือว่าเป็น 56.14% ของกำลังไฟฟ้าที่สูงสุดที่เป็นไปได้

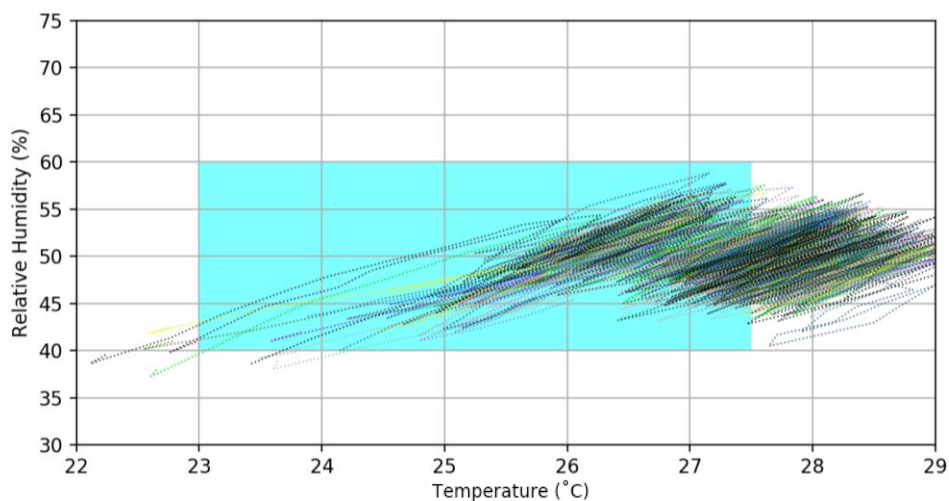


รูป 5-7 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์ จากรูป 5-7 ผลการทดสอบอัลกอริทึมนี้ จะเห็นได้ว่าโปรแกรมนี้จะลดกำลังการใช้ไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์ได้ ในช่วงเวลา 13.00-16.00 น.



รูป 5-8 คำสั่งการควบคุมของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์

จากรูป 5-8 จะมีลักษณะที่แตกต่างจากรูปแบบเดิมที่ ระยะเวลาที่ปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะนานกว่า และมีจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ถูกปิดมากกว่าเดิม



รูป 5-9 การอยู่ในโซนความสบายของเครื่องปรับอากาศ 20 เครื่อง ขณะถูกจำกัดกำลังไฟฟ้าให้ไม่เกิน 20 กิโลวัตต์

จากรูป 5-9 รูปแบบการควบคุมเครื่องปรับอากาศแสดงได้ จากรูปแบบการควบคุมกลุ่มของเครื่องปรับอากาศครั้งนี้ ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศส่วนมากจะอยู่นอกโซนความสบาย โดยจะเป็นการสลับกันเปิดปิดเครื่องปรับอากาศทำให้เครื่องปรับอากาศมีการแบ่งช่วงกันเปิดปิด

ผลการทดสอบทั้งหมดนี้ ทำให้เกิดข้อสังเกตในเรื่องที่ว่า โปรแกรมนี้จะจัดการให้จำนวนเครื่องปรับอากาศให้อยู่ในโซนความสบายมากน้อยแค่ไหนนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ร้องขอให้ลด ถ้ามีการที่ร้องขอให้ลดกำลังการใช้ไฟฟ้ามากเกินไป จึงเป็นไปได้ยากที่จะทำให้เครื่องปรับอากาศทุกเครื่องอยู่ภายใต้โซนความสบายนี้ ผลการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจะมีผลการเลือกน้อยลง เนื่องจากว่าจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ถูกสั่งปิดมีมากกว่า เพื่อให้กำลังการใช้ไฟฟ้าวรวมไม่เกินค่าที่กำหนดไว้

5.2 การดำเนินการควบคุมเครื่องปรับอากาศ 2,000 เครื่อง

การดำเนินการถัดไปนี้ จะเป็นการทดสอบโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นกับเครื่องปรับอากาศจำลอง จำนวน 2,000 เครื่องที่ทำงานอยู่ คิดแล้วสามารถก่อให้เกิดการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 5,080 กิโลวัตต์ การตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศเป็นการสุ่มให้อยู่ระหว่าง 22-26 องศาเซลเซียสเช่นเดิม รวมถึงมีการใช้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกเป็นค่าเดิม

ตาราง 5-2 จำนวนเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภทของกลุ่มขนาดใหญ่

ประเภทเครื่องปรับอากาศ (ปีทึบ/ชั่วโมง)	จำนวน (เครื่อง)
12,000	500
18,000	500
24,000	1,000

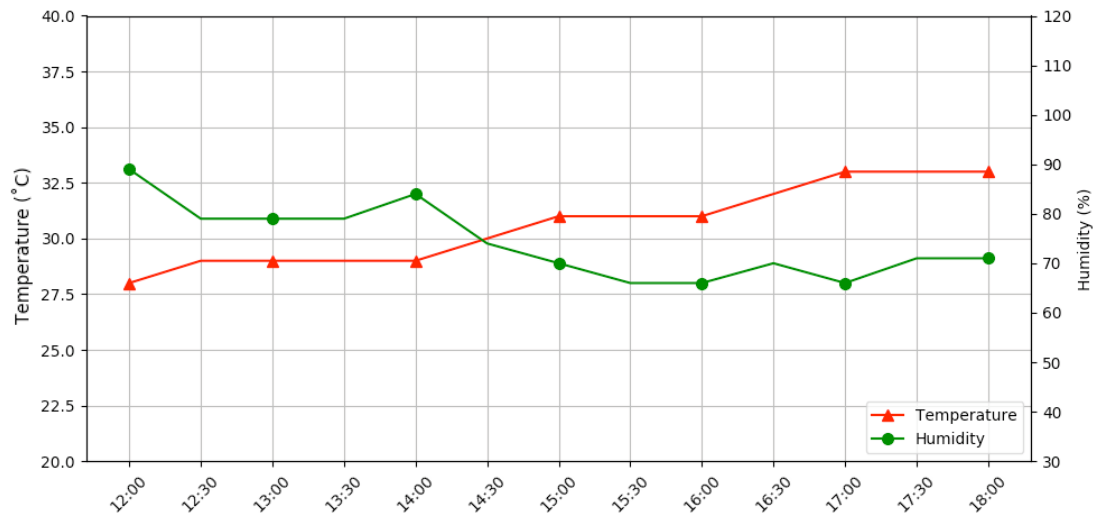
จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภท เป็นตามตาราง 2-1 มีการกำหนดให้ดำเนินการทดสอบทางด้านโหลดเวลา 13.00-16.00 น. ได้แบ่งการทดสอบหลายรูปแบบ โดยแบ่งตามเงื่อนไขสภาพแวดล้อมของแต่ละวัน โดยแบ่งตามลักษณะของสภาพอากาศที่มีนัยสำคัญคือ

1. สภาพอากาศปกติ
2. สภาพอากาศวันที่ค่อนข้างร้อน
3. สภาพอากาศวันที่ร้อนจัด
4. สภาพอากาศวันที่แปรปรวน

ผลที่ได้จากการทดสอบทุกสถานการณ์ภายใต้เครื่องปรับอากาศจำนวน 2,000 เครื่องแสดงได้ดังต่อไปนี้

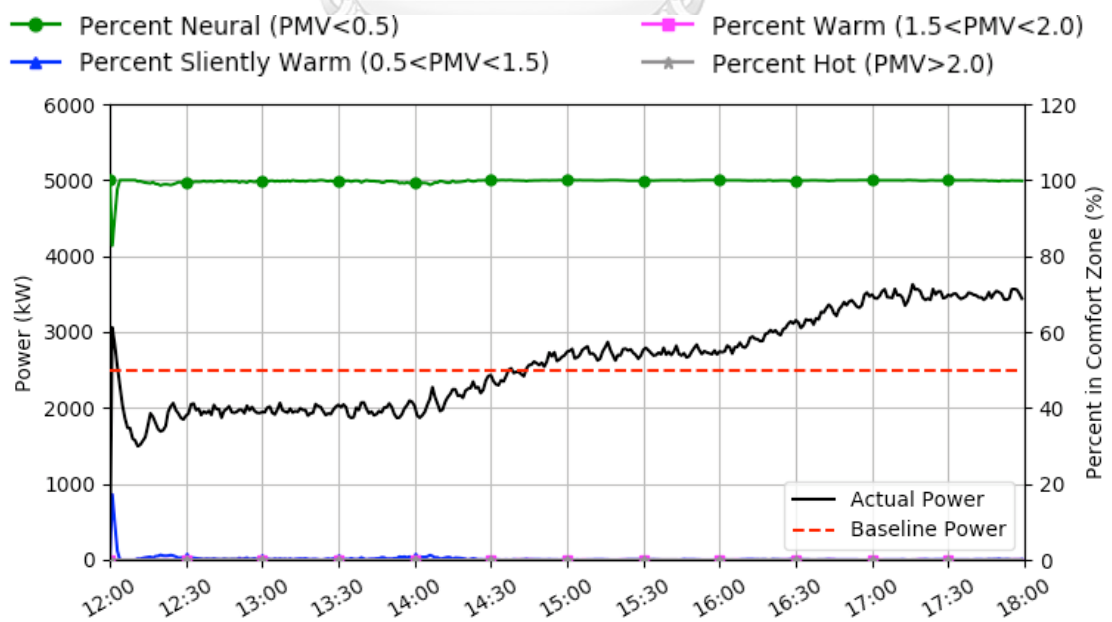
5.2.1 สภาพอากาศปกติ

สถานการณ์นี้เป็นการจำลองการควบคุมโดยตรงเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลของวันที่ 18 พฤษภาคม 2561 ซึ่งเป็นวันที่อากาศปกติ ไปถึงค่อนข้างร้อน โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แสดงได้ดังรูป 5-10

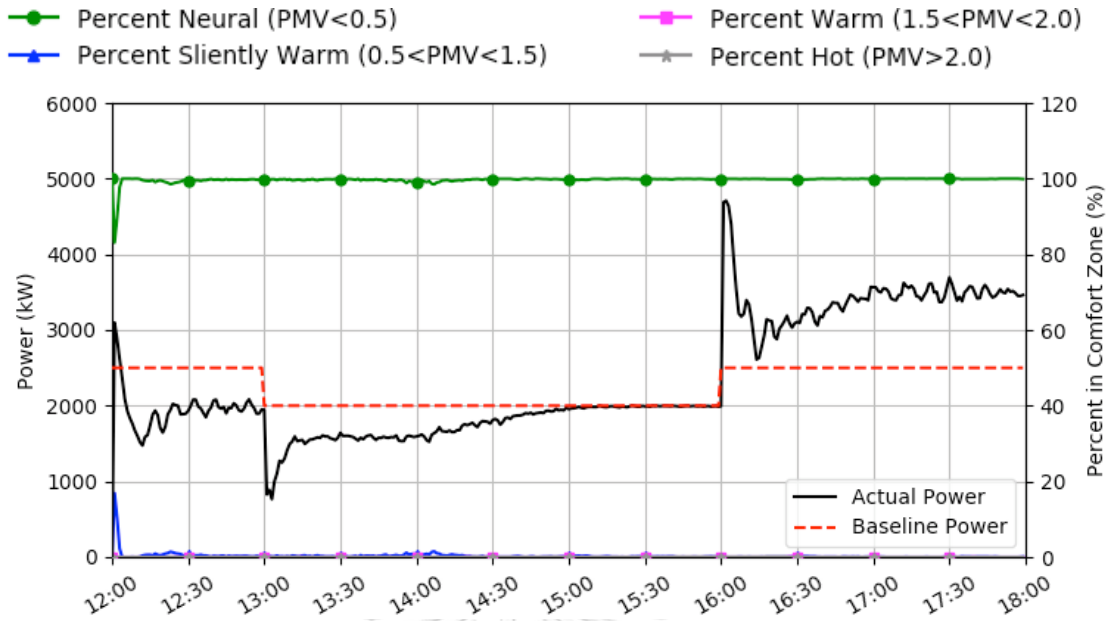


รูป 5-10 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศปกติ

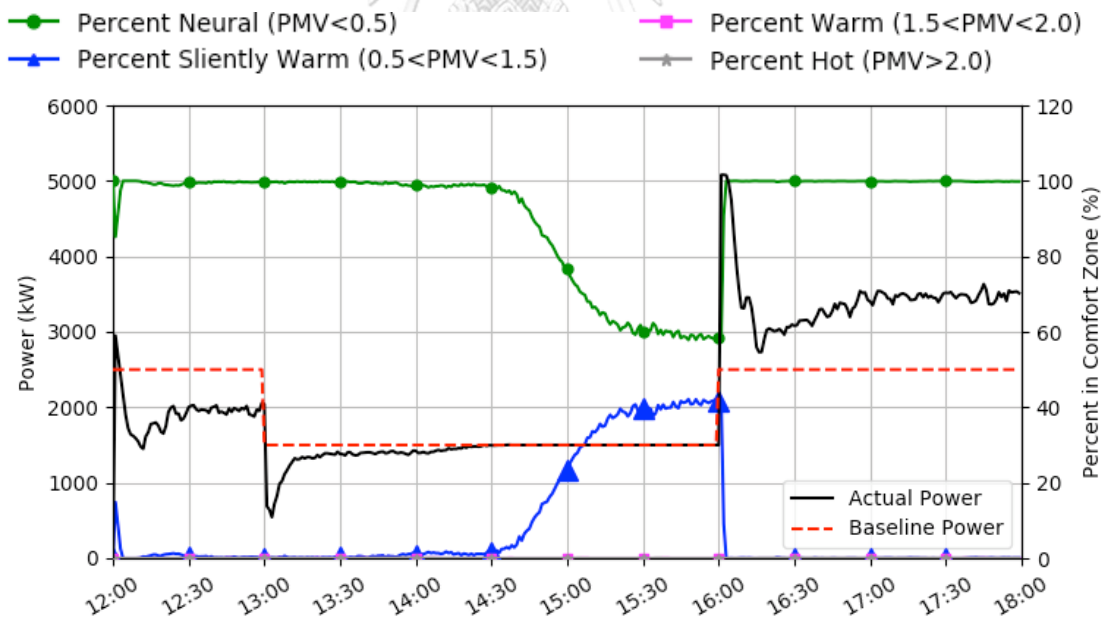
ทั้งนี้จากรูป 5-11 จะเห็นได้ว่ากำลังจะอยู่ที่ประมาณ 2,500 กิโลวัตต์และมีกำลังการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นตามสภาพอากาศภายนอก



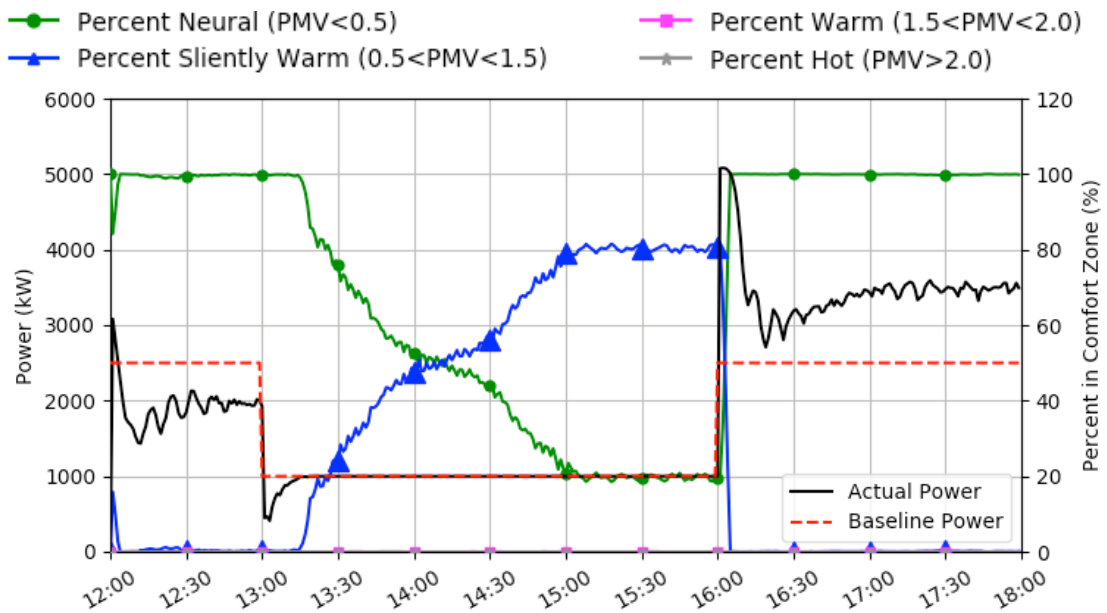
รูป 5-11 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศปกติ โดยยังไม่ถูกควบคุม



รูป 5-12 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ โดยถูกควบคุมให้ลดลง 500 กิโลวัตต์



รูป 5-13 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์



รูป 5-14 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์

จากการควบคุมให้มีการลดกำลังไฟฟ้าปริมาณที่แตกต่างกัน สามารถแสดงผลได้คือ เมื่อถูกลด 500 กิโลวัตต์เครื่องปรับอากาศเกือบทั้งหมดจะรู้สึกอยู่ในโซนความสบาย แต่เมื่อถูกลด 1,000 กิโลวัตต์ จะมีเครื่องปรับอากาศอยู่ร้อยละ 40 ที่อยู่ในสภาวะค่อนข้างอุ่น และเมื่อถูกลด 1,500 กิโลวัตต์ จะมีเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในสภาวะค่อนข้างอุ่นร้อยละ 80 โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะปกติ ไปสภาวะค่อนข้างอุ่นแบบค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้สามารถควบคุมได้ทุกปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการลดได้ สามารถแสดงจำนวนของเครื่องปรับอากาศได้ดังตาราง 5-3

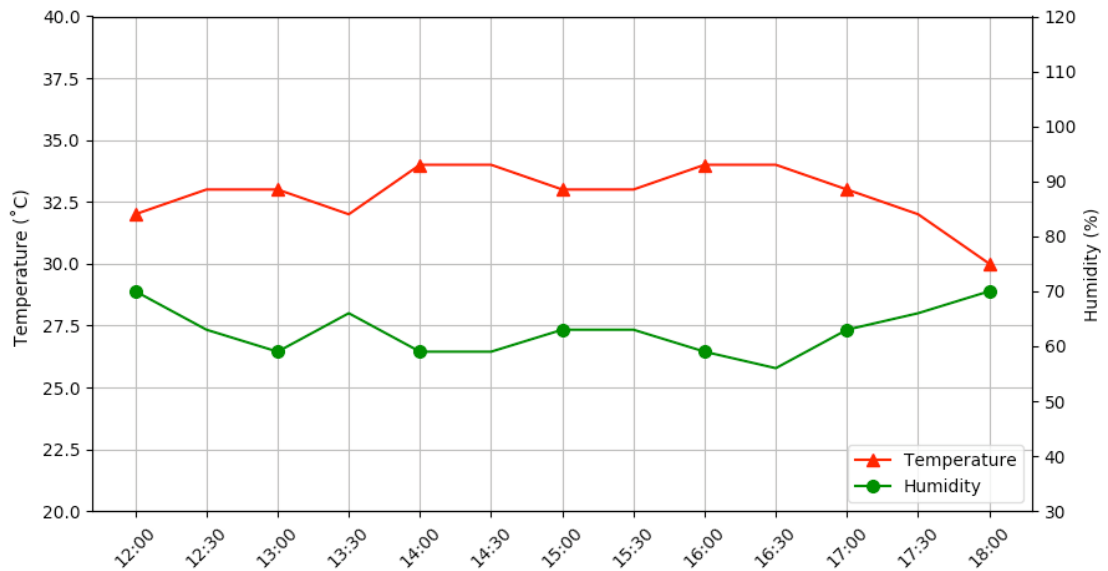
ตาราง 5-3 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศปกติ

ปริมาณที่ลด		ช่วงเวลา								
		13.00-14.00			14.00-15.00			15.00-16.00		
		N	SW	W	N	SW	W	N	SW	W
500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1993.57	6.03	0.08	1994.05	5.58	0.1	1998.17	1.82	0
	ร้อยละ	99.68	0.3	0	99.7	0.28	0.01	99.91	0.09	0
1,000 kW	จำนวนเฉลี่ย	1991.35	8.03	0.1	1887.97	111.82	0.03	1250.37	749.32	0.1
	ร้อยละ	99.57	0.4	0.01	94.4	5.59	0	62.52	37.47	0.01
1,500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1546.05	453.62	0.15	813.62	1186.32	0.07	397.85	1601.98	0.07
	ร้อยละ	77.3	22.68	0.01	40.68	59.32	0	19.89	80.1	0

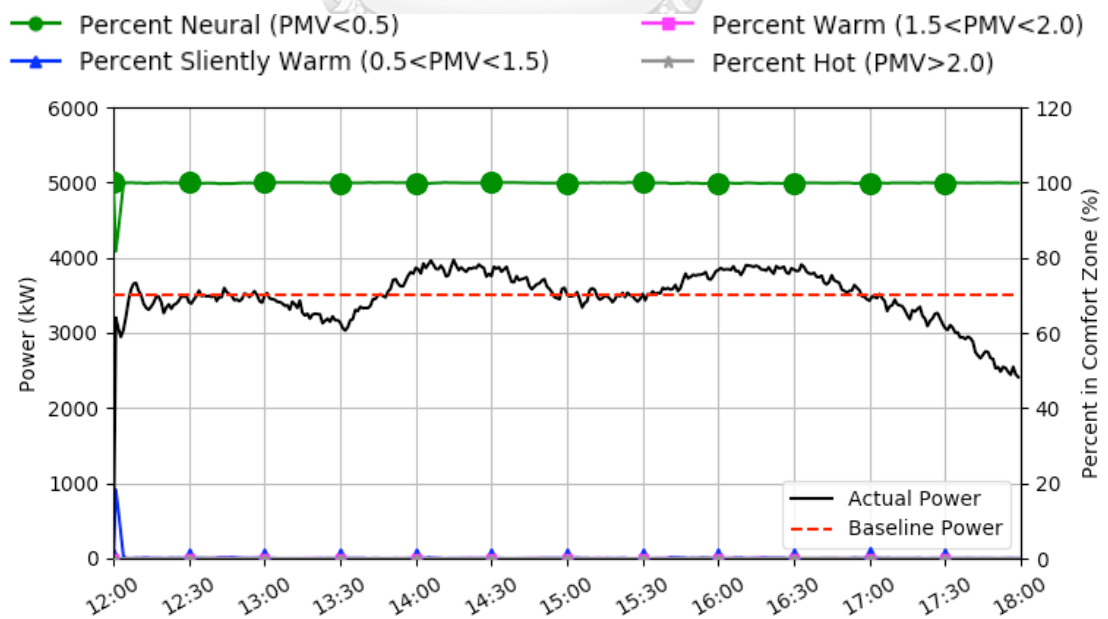
N = สถานะปกติ SW = ค่อนข้างอุ่น W = อุ่น

5.2.2 สภาพอากาศวันที่อากาศค่อนข้างร้อน

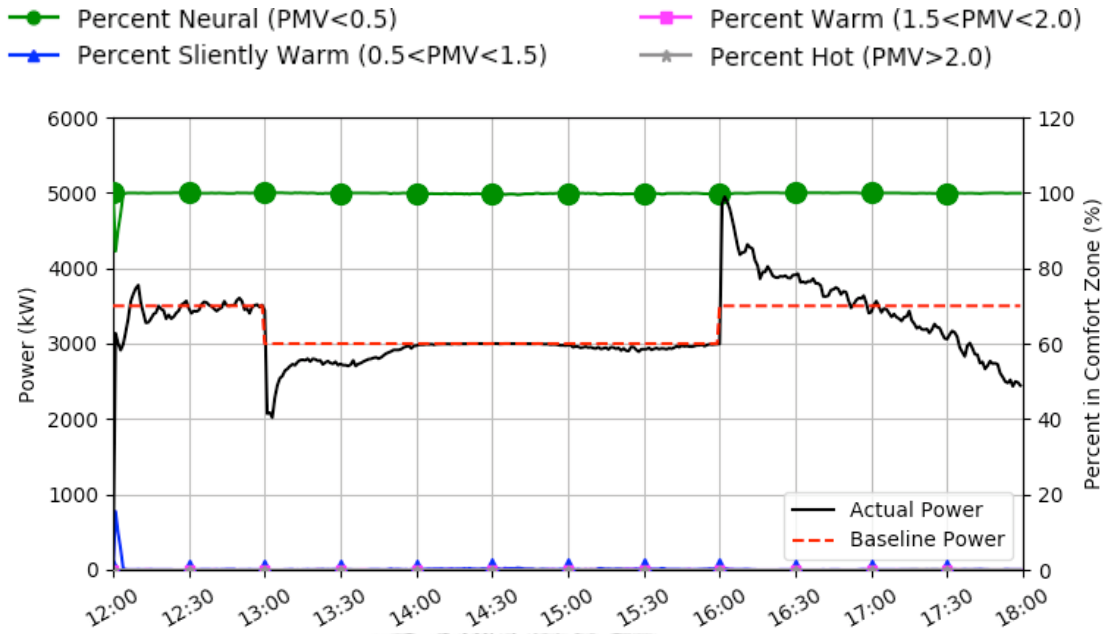
สถานการณ์นี้เป็นการจำลองการควบคุมโดยตรงเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลของวันที่ 27 เมษายน 2561 ซึ่งเป็นวันที่ค่อนข้างร้อนประมาณที่ช่วงบ่ายมีอุณหภูมิประมาณ 32-34 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แสดงได้ดังรูป 5-15



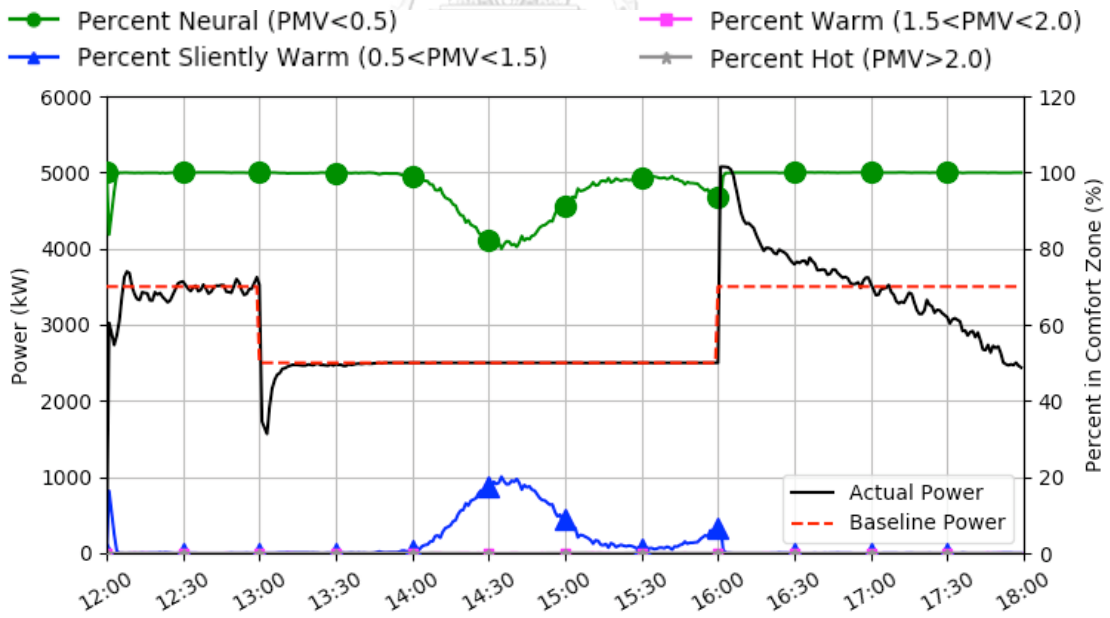
รูป 5-15 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน
 ทั้งนี้จากรูป 5-16 จะเห็นได้ว่ากำลังจะอยู่ที่ประมาณ 3,500-4,000 กิโลวัตต์ตลอดช่วงบ่าย



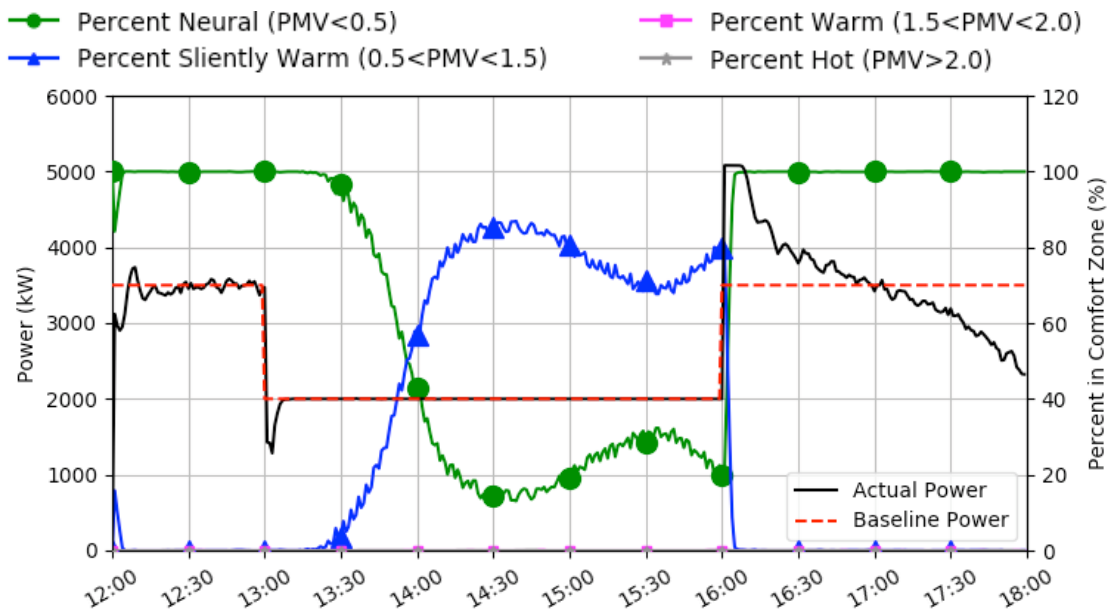
รูป 5-16 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยยังไม่ถูกควบคุม



รูป 5-17 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 500 กิโลวัตต์



รูป 5-18 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์



รูป 5-19 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์

จากการควบคุมให้มีการลดกำลังไฟฟ้าปริมาณที่ต่างกัน สามารถแสดงผลได้คือ เมื่อถูกลด 500 กิโลวัตต์เครื่องปรับอากาศเกือบทั้งหมดจะรู้สึกอยู่ในโซนความสบาย แต่เมื่อถูกลด 1,000 กิโลวัตต์ จะมีเครื่องปรับอากาศอยู่ร้อยละ 20 ที่อยู่ในสภาวะค่อนข้างอุ่นเป็นระยะเวลาสลับไป และเมื่อถูกลด 1,500 กิโลวัตต์ จะมีเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในสภาวะค่อนข้างอุ่นร้อยละ 60-80 โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะปกติไปสภาวะค่อนข้างอุ่นสลับไปเป็นรูปคลื่น ทั้งนี้สามารถควบคุมได้ทุกปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการลดได้ สามารถแสดงจำนวนของเครื่องปรับอากาศได้ดังตาราง 5-4

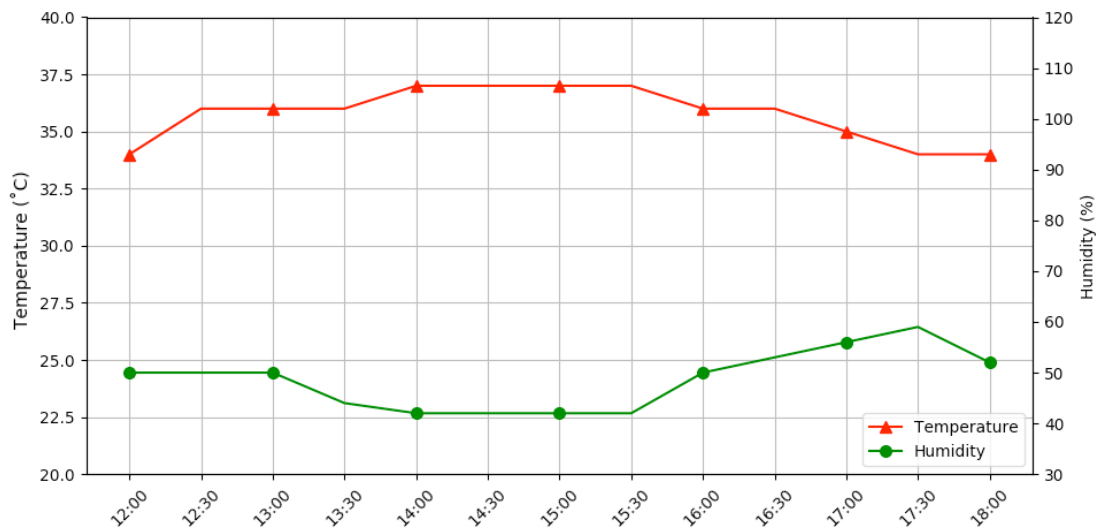
ตาราง 5-4 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศค่อนข้างร้อน

ปริมาณที่ลด		ช่วงเวลา								
		13.00-14.00			14.00-15.00			15.00-16.00		
		N	SW	W	N	SW	W	N	SW	W
500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1998.4	1.43	0.08	1994.4	4.12	0.1	1997.4	2.25	0.22
	ร้อยละ	99.92	0.072	0.01	99.72	0.21	0.01	99.87	0.11	0.011
1,000 kW	จำนวนเฉลี่ย	1995.8	3.58	0.18	1768.55	231	0.1	1941.03	58.17	0.18
	ร้อยละ	99.79	0.18	0.01	88.43	11.55	0.01	97.05	2.91	0.01
1,500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1735.5	264.22	0.13	395.62	1603.73	0.02	538.97	1460.12	0.25
	ร้อยละ	86.76	13.21	0.01	19.78	80.19	0	26.95	73.01	0.01

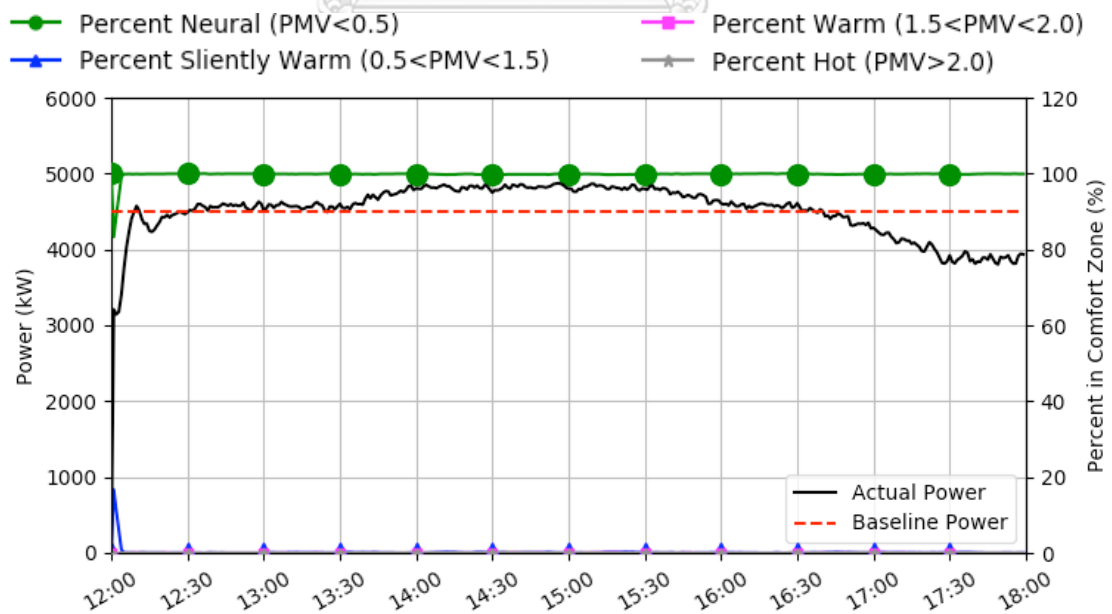
N = สถานะปกติ SW = ค่อนข้างอุ่น W = อุ่น

5.2.3 สภาพอากาศวันที่ร้อนจัด

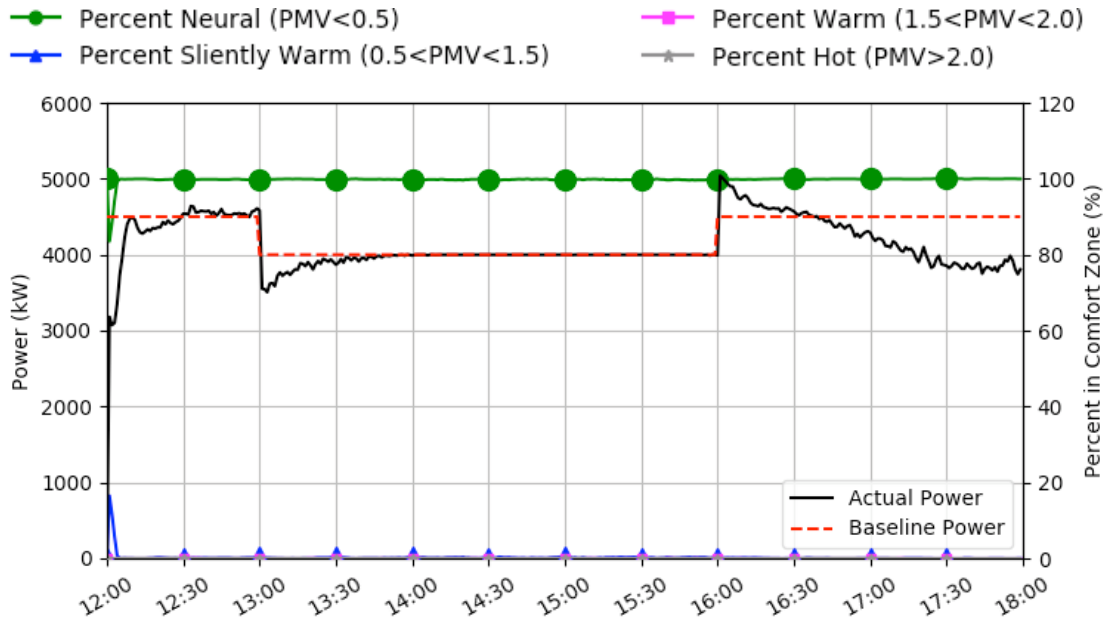
สถานการณ์นี้เป็นการจำลองการควบคุมโดยตรงเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลของวันที่ 23 เมษายน 2561 ซึ่งเป็นวันที่ร้อนจัด โดยช่วงบ่ายมีอุณหภูมิสูงถึง 37 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แสดงได้ดังรูป 5-20



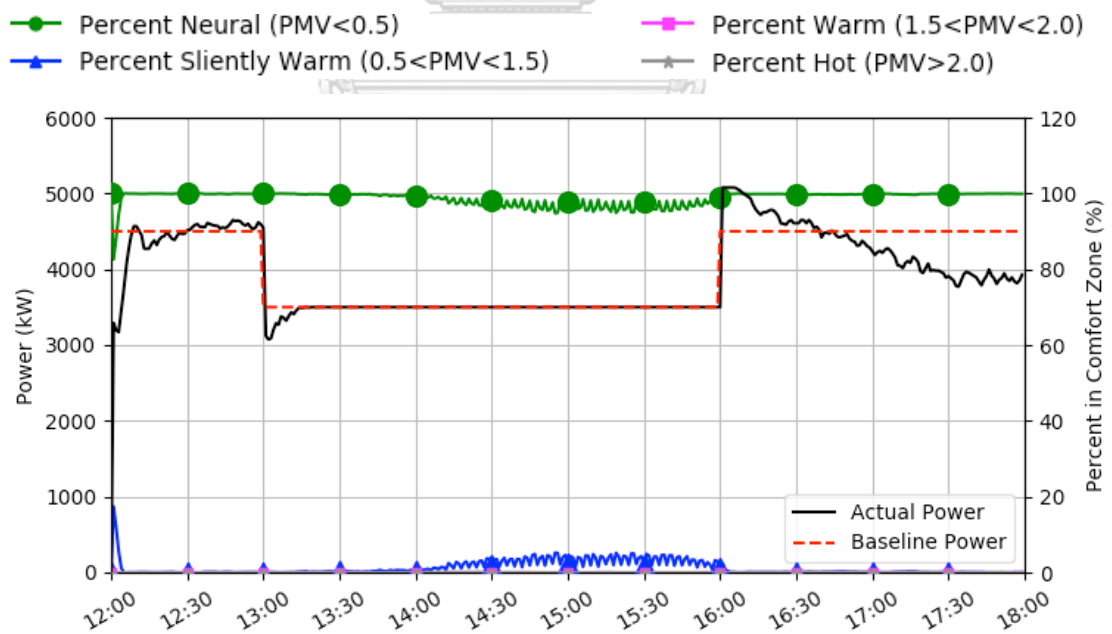
รูป 5-20 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศร้อนจัด
 ทั้งนี้จากรูป 5-21 จะเห็นได้ว่ากำลังจะอยู่ที่ประมาณ 4,500 กิโลวัตต์ตลอดช่วงบ่าย



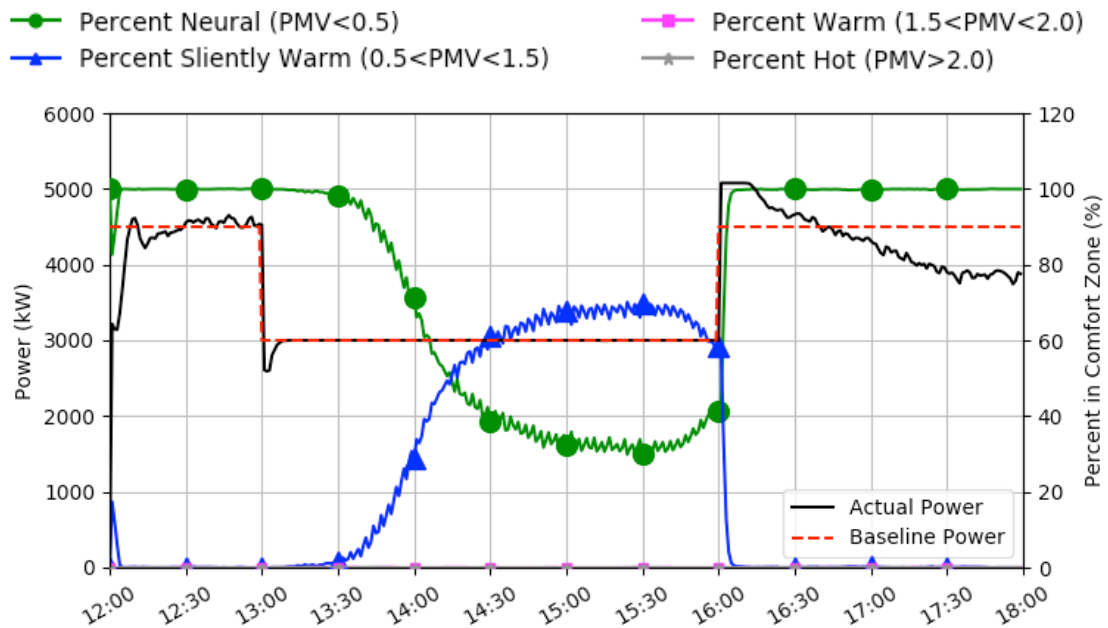
รูป 5-21 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศร้อนจัด โดยยังไม่ถูกควบคุม



รูป 5-22 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อน
จัดโดยถูกควบคุมให้ลดลง 500 กิโลวัตต์



รูป 5-23 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อน
จัดโดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์



รูป 5-24 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อนจัด โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์

จากการควบคุมให้มีการลดกำลังไฟฟ้าปริมาณที่แตกต่างกัน สามารถแสดงผลได้คือ เมื่อถูกลด 500 กิโลวัตต์เครื่องปรับอากาศเกือบทั้งหมดจะรู้สึกอยู่ในโซนความสบาย แต่เมื่อถูกลด 1,000 กิโลวัตต์ จะมีเครื่องปรับอากาศอยู่ร้อยละ 4 ที่อยู่ในสถานะค่อนข้างอุ่นเป็นระยะเวลาสลับไป และเมื่อถูกลด 1,500 กิโลวัตต์ จะมีเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในสถานะค่อนข้างอุ่นร้อยละ 60 ทั้งนี้สามารถควบคุมได้ทุกปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการลดได้ สามารถแสดงจำนวนของเครื่องปรับอากาศได้ดังตาราง 5-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

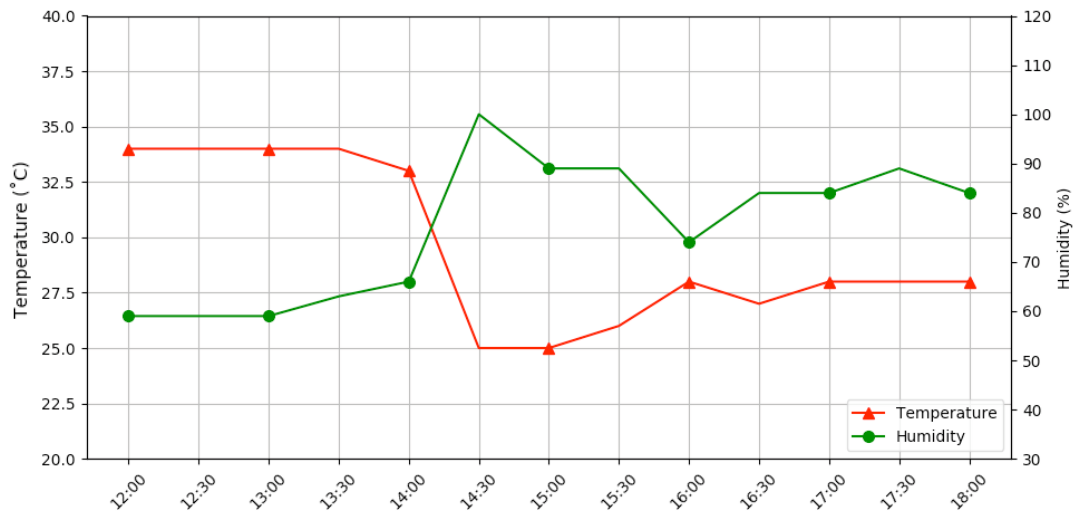
ตาราง 5-5 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศร้อนจัด

ปริมาณที่ลด		ช่วงเวลา								
		13.00-14.00			14.00-15.00			15.00-16.00		
		N	SW	W	N	SW	W	N	SW	W
500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1997.02	2.55	0.28	1995.22	4.08	0.17	1993.58	4.68	0.35
	ร้อยละ	99.85	0.13	0.01	99.76	0.2	0.01	99.68	0.23	0.02
1,000 kW	จำนวนเฉลี่ย	1995.77	4.2	0.03	1946.43	52.73	0.3	1928.42	70.65	0.23
	ร้อยละ	99.79	0.21	0	97.32	2.64	0.02	96.42	3.53	0.01
1,500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1884.23	115.3	0.25	858.45	1140.43	0.62	660.47	1338.07	0.53
	ร้อยละ	94.21	5.77	0.01	42.92	57.02	0.03	33.02	66.9	0.03

N = สถานะปกติ SW = ค่อนข้างอุ่น W = อุ่น

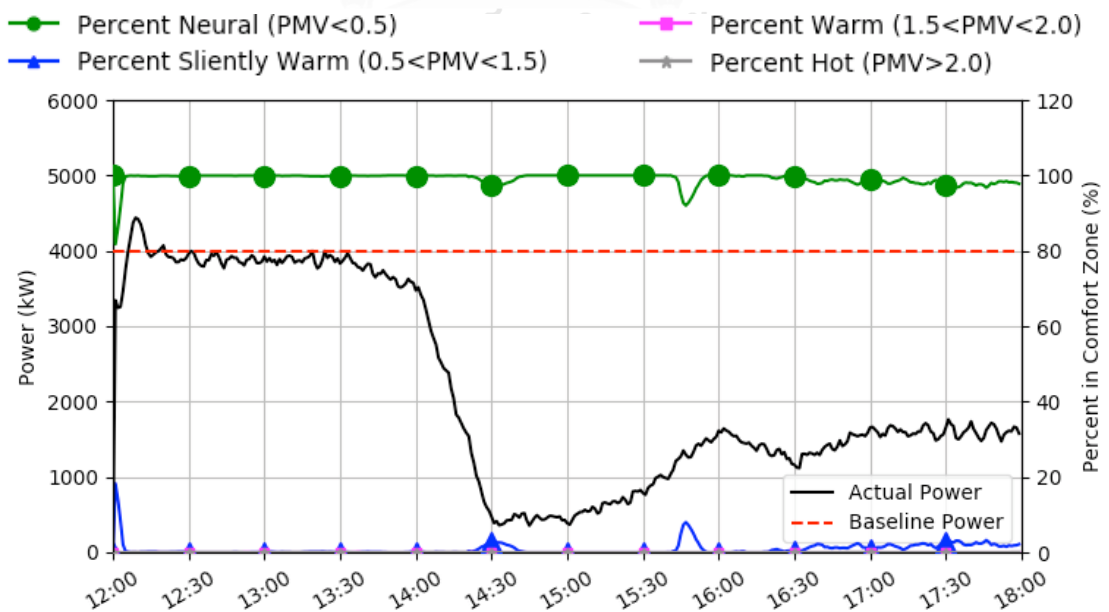
5.2.4 สภาพอากาศวันที่แปรปรวน

สถานการณ์นี้เป็นการจำลองการควบคุมโดยตรงเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า ใช้ข้อมูลของวันที่ 14 พฤษภาคม 2561 ซึ่งเป็นวันที่ร้อนจัดในช่วงเวลา 13.00-14.00 น. และฝนตกในช่วงเวลาหลังจากนั้น ทำให้อุณหภูมิและความชื้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แสดงได้ดังรูป 5-25

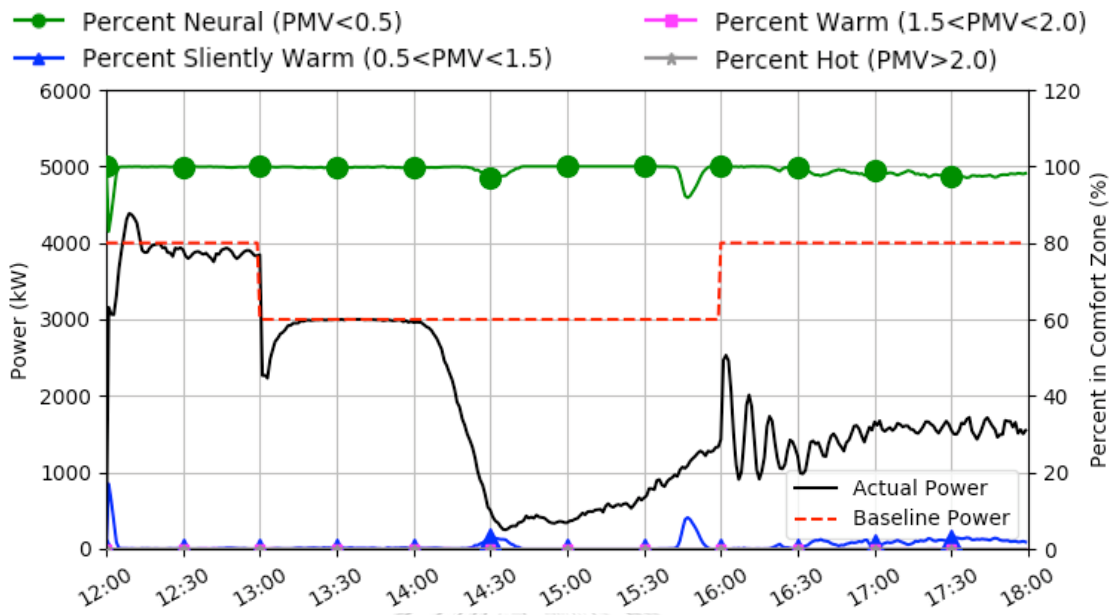


รูป 5-25 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่สภาพอากาศแปรปรวน

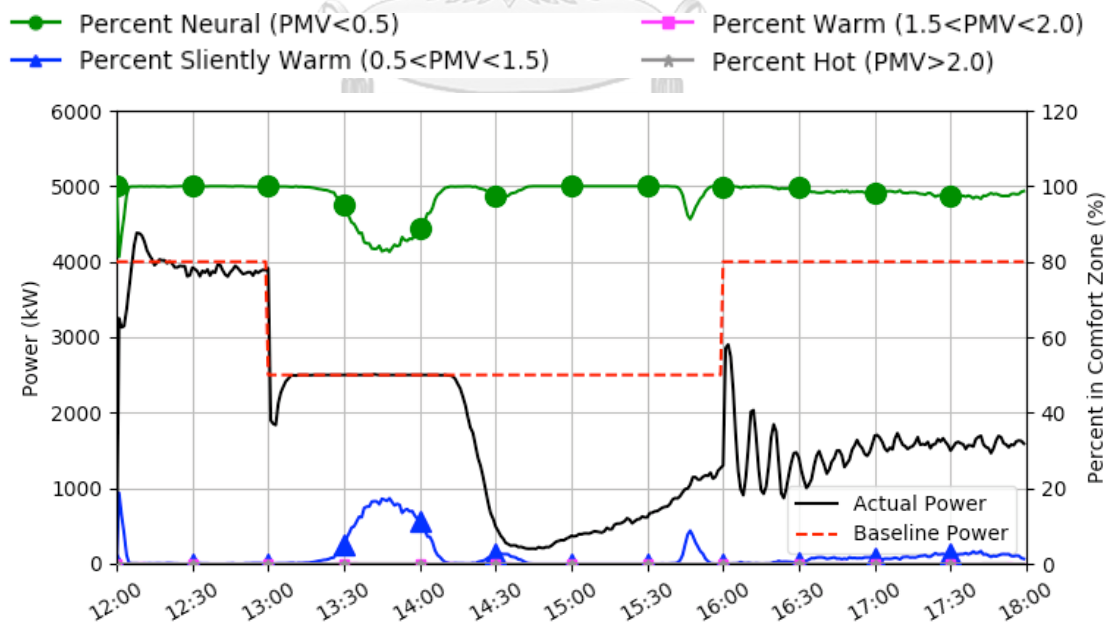
ทั้งนี้จากรูป 5-26 จะเห็นได้ว่ากำลังจะอยู่ที่ประมาณ 4,000 กิโลวัตต์ในช่วงแรกและตกลงไปถึง 1,500 กิโลวัตต์ในช่วงที่ฝนตก



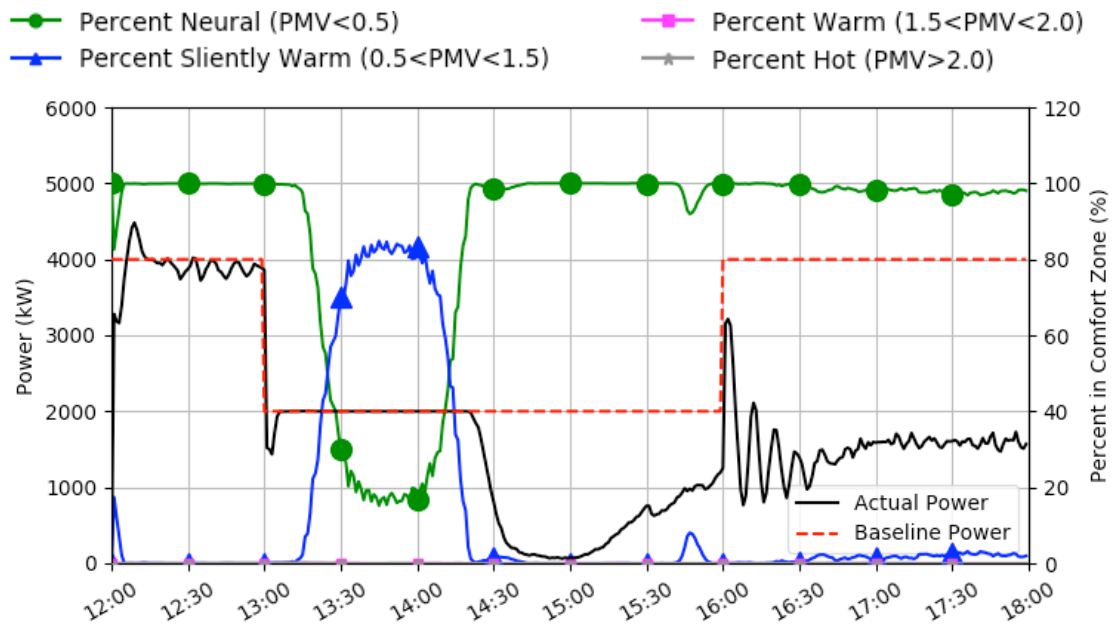
รูป 5-26 กำลังไฟฟ้าของวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยยังไม่ถูกควบคุม



รูป 5-27 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,000 กิโลวัตต์



รูป 5-28 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 1,500 กิโลวัตต์



รูป 5-29 กำลังไฟฟ้าและร้อยละของเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน โดยถูกควบคุมให้ลดลง 2,000 กิโลวัตต์

จากการควบคุมให้มีการลดกำลังไฟฟ้าปริมาณที่แตกต่างกัน โดยมีการเลือกปริมาณการลดการใช้ไฟฟ้าเป็น 1,000 1,500 และ 2,000 กิโลวัตต์ตามลำดับ ในช่วงที่อากาศร้อนทุกเหตุการณ์สามารถควบคุมไม่ให้มีกำลังการใช้ไฟฟ้าเกินได้ แต่เมื่ออุณหภูมิภายนอกตกลง กำลังไฟฟ้าจึงลดลงเช่นกัน ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศเกือบทั้งหมดอยู่ในโซนความสบายในช่วงฝนตก และกลับมาเป็นปกติได้ในช่วงที่หลักจากการถูกการควบคุม สามารถแสดงจำนวนของเครื่องปรับอากาศได้ดังตาราง 5-6

ตาราง 5-6 จำนวนของเครื่องปรับอากาศแต่ละสถานะในวันที่สภาพอากาศแปรปรวน

ปริมาณที่ลด		ช่วงเวลา								
		13.00-14.00			14.00-15.00			15.00-16.00		
		N	SW	W	N	SW	W	N	SW	W
500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1995.87	3.2	0.17	1983.42	14.95	0.17	1982.77	17.15	0.03
	ร้อยละ	99.79	0.16	0.01	99.17	0.75	0.01	99.14	0.86	0
1,000 kW	จำนวนเฉลี่ย	1852.22	146.85	0.27	1965.73	33.6	0.17	1981.6	18.38	0
	ร้อยละ	92.61	7.34	0.01	98.29	1.68	0.01	99.08	0.92	0
1,500 kW	จำนวนเฉลี่ย	1026.87	972.42	0.33	1605.47	394.37	0.05	1983.85	16.15	0
	ร้อยละ	51.34	48.62	0.02	80.27	19.72	0	99.19	0.81	0

N = สถานะปกติ SW = ค่อนข้างอุ่น W = อุ่น

จากผลการควบคุมเครื่องปรับอากาศจำนวน 2,000 เครื่องภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมนี้ สามารถควบคุมกำลังการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินได้ทุกสถานการณ์ โดยวันที่อากาศร้อนจัดเมื่อถูกควบคุม เครื่องปรับอากาศจะอยู่ในโซนความสบายได้มากกว่า เนื่องจากว่าเส้นฐานกำลังการใช้ไฟฟ้าปกติที่อยู่สูงกว่าสถานการณ์อื่น ๆ ทำให้ปริมาณกำลังการใช้ไฟฟ้าที่ลดเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้ระดับที่ลดจะสูงกว่าสถานการณ์อื่น ๆ แต่ถ้าอยู่ระดับการลดเดียวกัน อากาศที่ร้อนจัดจะทำให้เครื่องปรับอากาศอยู่ในโซนความสบายน้อยกว่า โดยแสดงรายละเอียดภาพรวมได้ดังตาราง 5-7 ที่แสดงผลการทดลองภายใต้เครื่องปรับอากาศ 2,000 เครื่อง

ตาราง 5-7 สรุปสถานะเครื่องปรับอากาศภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ จำนวน 2,000 เครื่อง

เหตุการณ์		กำลังที่ลด (กิโลวัตต์)					
		500		1,000		1,500	
		N	SW	N	SW	N	SW
สภาพอากาศปกติ	จำนวนเฉลี่ย	1995.26	4.48	1709.9	289.72	919.17	1080.64
	ร้อยละ	99.76	0.22	85.49	14.49	45.96	54.03
สภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อน	จำนวนเฉลี่ย	1996.73	2.6	1901.79	97.58	890.03	1109.36
	ร้อยละ	99.84	0.13	95.09	4.88	44.5	55.47
สภาพอากาศที่ร้อนจัด	จำนวนเฉลี่ย	1995.27	3.77	1956.87	42.53	1134.38	864.6
	ร้อยละ	99.76	0.19	97.84	2.13	56.72	43.23
สภาพอากาศแปรปรวน	จำนวนเฉลี่ย	N/A	N/A	1987.35	11.77	1933.18	66.28
	ร้อยละ	N/A	N/A	99.37	0.59	96.66	3.31

N = สถานะปกติ SW = ค่อนข้างอุ่น

5.3 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่า การกำหนดถึงระดับที่ควบคุมที่ต่างกัน ส่งผลต่อจำนวนเครื่องปรับอากาศที่อยู่ในโซนความสบาย โดยขึ้นอยู่กับระดับเส้นฐานของแต่ละเหตุการณ์ นอกจากนี้ระยะเวลาการดำเนินการลดการใช้ไฟฟ้ามีผลต่อความสบายของผู้ใช้เช่นกัน ถึงอย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมนี้สามารถควบคุมการไม่ให้อากาศร้อนเกินไปในหลายสถานการณ์ตลอดระยะเวลาดำเนินการ

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินการ

บทนี้เป็นการบรรยายถึงผลสิ่งที่ดำเนินมาทั้งหมด ภายใต้ผลงานชิ้นนี้ภายใต้ความคิดเห็นของผู้จัดทำเอง ทั้งนี้ผู้เขียนได้เสนอแนะแนวทางที่จะนำผลงานชิ้นนี้ไปดำเนินการต่อไป

6.1 ผลการทดสอบ

จากการดำเนินการทั้งหมด ภายใต้สมมติฐานและการจำลองเพื่อทดสอบอัลกอริทึมที่ได้ ออกแบบนี้ ทำให้เห็นได้ว่าอัลกอริทึมนี้สามารถดำเนินการเป้าหมายสูงสุดของการดำเนินการด้าน โหลดได้ คือลดการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ในทุกสถานการณ์ และอัลกอริทึมนี้สามารถที่จะเลือกเครื่องปรับอากาศเพื่อทำการเปิดปิดได้อย่างซึ่งเป็นส่วนสำคัญของโปรแกรมนี้ แต่อย่างไรก็ตาม การที่ตั้งค่าให้มีการจำกัดค่าพลังงานมากเกินไป จะทำให้ผู้คนที่อยู่ภายใต้การควบคุมนี้ รู้สึกไม่สบายมากขึ้น เนื่องจากว่าค่าระดับกำลังที่ควรลดลง ส่งผลต่อความสบายของผู้ใช้โดยตรง การกำหนดระดับที่ควรลดจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง

6.2 แนวโน้มการพัฒนาต่อ

1. นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมของระบบจริง โดยอาจจะมีการทดสอบภายในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน หรือภายในอาคาร (HEMS, BEMS)
2. นำไปประยุกต์ดัดแปลงให้อัลกอริทึมนี้สามารถทำงานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้หลากหลายมากกว่าเครื่องปรับอากาศ เช่น เครื่องทำน้ำอุ่น หรือ ระบบชาร์จประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้การที่โปรแกรมสามารถเลือกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ดำเนินการควบคุมภายใต้กลุ่มของเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายประเภท ก็ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ
3. ภายใต้งานนี้เป็นการควบคุมเครื่องปรับอากาศให้ทำงานในการเปิดปิดเท่านั้น ถ้าให้สามารถที่จะเลือกทำงานแบบอื่นเช่น เปลี่ยนโหมด หรือลดอุณหภูมิ จะเป็นเรื่องที่ดี ทั้งนี้ต้องศึกษาถึงผลกระทบของการควบคุมแต่ละตัวเลือก และจัดการระบบให้สามารถเลือกตัวเลือกที่จะควบคุมเป็นอุปสรรคเช่นกัน
4. การเพื่อเงื่อนไขในการเลือก หรือลำดับความสำคัญให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกควบคุม เช่น ในแง่ของต้นทุน, ลำดับความสำคัญ มากกว่าที่จะเป็นค่าของความสะดวกสบายเพียงอย่างเดียว

5. ในแง่ของการดำเนินการนโยบายการตอบสนองด้านโหลดแบบควบคุมโดยตรง การที่ดำเนินการหารูปแบบ วิธีการดำเนินการ ค่าตอบแทนให้เหมาะสมสามารถนำไปต่อยอดได้ ทั้งในด้านสังคม หรือในด้านตัวเงิน

6. การสำรวจหาความพึงพอใจของผู้ที่ถูกควบคุม เนื่องจากในแง่ความสบายอาจจะไม่ใช่สิ่งเดียวที่ลูกค้าต้องการ บางครั้งในแง่ของเวลาการดำเนินการ หรือค่าตอบแทนที่ได้รับเป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน

7. ระบบหรือวิธีการคัดเลือกที่ชาญฉลาดสามารถปรับเปลี่ยนตัวอัลกอริทึมสำหรับการอพติไมเซชันให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากว่าวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ยังมีข้อจำกัดต่าง ๆ เช่นในเวลาการดำเนินการ หรือการใช้ทรัพยากรเครื่องในการประมวลผล เช่นอาจเปลี่ยนเป็นวิธีการละโมบ (Greedy Algorithm)



รายการอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน, "แผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทยในระยะสั้น (พ.ศ. 2560 – 2564)," 2559.
- [2] ศ. ค. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, "รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางการพัฒนาความสามารถในการทำงานร่วมกันได้สำหรับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเพื่อการประยุกต์ใช้งานด้านการตอบสนองด้านความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand Response)," 2559.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, "มาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response) และอัตรา Demand Response," 2559.
- [4] S. C. Edison. *Summer Discount Plan*. Available: <https://www.sce.com/wps/portal/home/residential/rebates-savings/summer-discount-plan>
- [5] Pepco. *Energy Wise Rewards*. Available: <https://energywiserewards.pepco.com/>
- [6] I. Entergy Arkansas. *Summer Advantage*. Available: http://www.energy-arkansas.com/your_home/save_money/EE/summer-advantage.aspx
- [7] X. Energy. *Saver Switch*. Available: https://www.xcelenergy.com/programs_and_rebates/residential_programs_and_rebates
- [8] FPL. *On Call*. Available: <https://www.fpl.com/save/programs/on-call.html>
- [9] ComEd. *Central AC Cycling*. Available: <https://www.comed.com/WaysToSave/ForYourHome/Pages/CentralACCycling.aspx>
- [10] A. Rajabi, L. Li, J. Zhang, and J. Zhu, "Aggregation of small loads for demand response programs — Implementation and challenges: A review," in *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 2017, pp. 1-6.

- [11] A. Sensors. (2014). *Determining Thermal Comfort Using a Humidity and Temperature Sensor*. Available: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=487>
- [12] Ashrae, *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Comfort Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Air-Conditioning, and Refrigeration Engineers, Inc., 2004.
- [13] P. O. Fanger, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press., 1970, p. 244 pp.
- [14] N. Yamtraipat, J. Khedari, and J. Hirunlabh, "Thermal comfort standards for air conditioned buildings in hot and humid Thailand considering additional factors of acclimatization and education level," *Solar Energy*, vol. 78, no. 4, pp. 504-517, 2005/04/01/ 2005.
- [15] S. Atthajariyakul, "Thermal comfort for air-conditioning in Thailand," *Engineering and Applied Science Research* 34, vol. 34, no. 2, pp. 141-150, Jun. 2012 2012.
- [16] T. Remani, E. A. Jasmin, and T. P. I. Ahamed, "Load scheduling problems under demand response schemes: A survey," in *2015 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES)*, 2015, pp. 1-5.
- [17] R. Deng, Z. Yang, M. Y. Chow, and J. Chen, "A Survey on Demand Response in Smart Grids: Mathematical Models and Approaches," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 570-582, 2015.
- [18] C. Ucak and R. Çağlar, "The effects of load parameter dispersion and direct load control actions on aggregated load," in *Power System Technology, 1998. Proceedings. POWERCON '98. 1998 International Conference on*, 1998, vol. 1, pp. 280-284 vol.1.
- [19] D. S. Callaway, "Tapping the energy storage potential in electric loads to deliver load following and regulation, with application to wind energy," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 5, pp. 1389-1400, 2009/05/01/ 2009.

- [20] S. Bashash and H. K. Fathy, "Modeling and Control of Aggregate Air Conditioning Loads for Robust Renewable Power Management," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 21, no. 4, pp. 1318-1327, 2013.
- [21] X. Hu, B. Wang, S. Yang, T. Short, and L. Zhou, "A Closed-Loop Control Strategy for Air Conditioning Loads to Participate in Demand Response," *Energies*, vol. 8, no. 8, 2015.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฤๅษะภณ เพชรสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2537 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2558 และเข้าศึกษาต่อวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2559

