

การศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

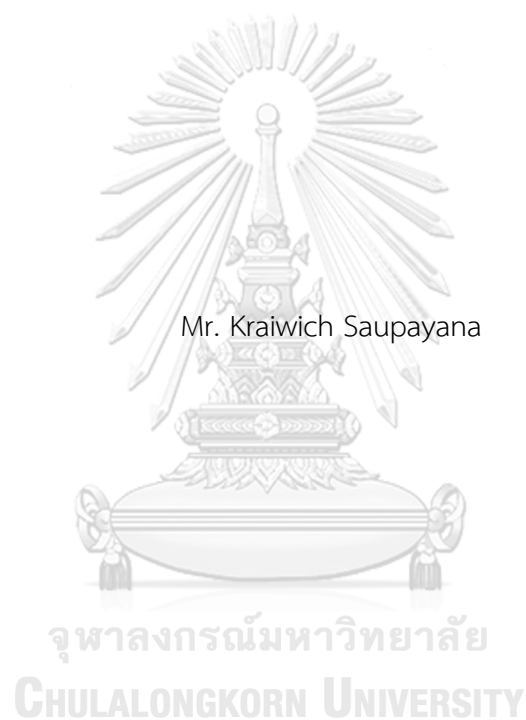
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Study on Energy Consumption of Split-type Air Conditioning System for a
Convenience Store



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ
โดย	นายไกรวิชญ์ เศาภายน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ วรรณโสภากย์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ สุรวฒนาวรรณ)	

ไกรวิชญ์ เศษายาน : การศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ. (The Study on Energy Consumption of Split-type Air Conditioning System for a Convenience Store) อ.ที่
 ปริญญาหลัก : รัช. ดร.จิตติน แดงเที่ยง

ปัจจุบันประชากรในประเทศไทยนิยมเลือกใช้บริการร้านสะดวกซื้อมากขึ้น เนื่องจากร้านสะดวกซื้อมีทำเลที่ตั้งที่เข้าถึงได้อย่างสะดวกรวดเร็วเหมาะสมกับการใช้ชีวิตประจำวัน ดังนั้นการเลือกระบบปรับอากาศที่มีความเหมาะสมกับร้านสะดวกซื้อจึงเป็นสิ่งสำคัญในเรื่องการจัดการการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศที่พบว่ามีการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อเป็นส่วนใหญ่ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในลักษณะของค่าเฉลี่ย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงาน สามารถแบ่งการวิเคราะห์การใช้พลังงานได้ 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิและการวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ ในการคำนวณการทำงานของระบบปรับอากาศตลอดทั้งปีนั้นจะใช้โปรแกรม EnergyPlus และโปรแกรม Openstudio โดยจะทำการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศสำหรับร้านสะดวกซื้อ โดยตัวอาคารแห่งนี้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาคารเดียว 1 ชั้น ติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนอยู่ภายในทั้งหมด 4 เครื่อง ในการสร้างโมเดลของร้านสะดวกซื้อจำลองแห่งนี้อ้างอิงจากแบบพิมพ์เขียวของร้านสะดวกซื้อและสร้างขึ้นโดยโปรแกรม SketchUp โดยนำข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในการจำลองพลังงานจากกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน จะใช้ข้อมูลแผ่นข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งและใช้งานจริง ผลของการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการแบ่งโซนอุณหภูมิ 8 ตำแหน่ง สามารถสรุปได้ 3 กลุ่ม คือ โซนที่อยู่บริเวณด้านหน้า ตรงกลาง และด้านหลังของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศพบว่า บริเวณจุดอับลมมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 28.1 และ 28.7 และสัดส่วนการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ตู้เย็น อุปกรณ์ต่าง ๆ และระบบแสงสว่าง คิดเป็นร้อยละ 15.8 39.5 22.3 และ 22.4 ตามลำดับ ถึงแม้จะพบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าน้อยที่สุด แต่ก็ยังส่งผลกระทบต่อโซนอุณหภูมินั้น ๆ อีกด้วย โดยการใช้พลังงานโดยรวมของร้านสะดวกซื้อในเดือนมีนาคมมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตลอดทั้งปี นอกจากนี้การใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริงสำหรับพื้นที่ปรับอากาศและสำหรับพื้นที่ทั้งหมดของร้านสะดวกซื้อตลอดทั้งปี มีค่าเท่ากับ 429.32 และ 403.22 kWh/m² ตามลำดับ และยิ่งพบว่า เดือนมีนาคมมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 34.90 kWh/m² ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อแห่งนี้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170348721 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD: Convenience Store Split type Air Conditioning System Energy Consumption

Kraiwich Saupayana : The Study on Energy Consumption of Split-type Air Conditioning System for a Convenience Store. Advisor: Assoc. Prof. CHITTIN TANGTHIENG, Ph.D.

Nowadays, people in Thailand prefer to use convenience stores because convenience stores are easily accessible in many locations and suitable for daily life. Therefore, choosing a proper air conditioning system for convenience stores leads to their energy management. This research aims to analyze the energy consumption of a split type air conditioning system for convenience stores. It is found that mostly convenience stores are located in tropical climates. The analysis of the energy consumption of various average parameters includes temperature, relative humidity, electrical power, and energy consumption. We can divide the analysis into 2 types: energy consumption analysis in each temperature zones and monthly energy consumption analysis of the convenience store. Based on an annual calculation of operation from the EnergyPlus and OpenStudio energy simulation program, the model of the energy consumption of the air conditioning system is simulated on a rectangular-shape single-storey building with 4 air conditioners. The geometric model of building, simplified from the official blueprint of the convenience store, is developed using the SketchUp program. Weather data, used for the simulation, is referenced from the meteorological department database. For comparison purposes, the energy consumption of the split air conditioning system is developed based on the actual specifications of the air conditioners installed in the building. The results of the comparison of parameters from the 8 temperature zones can be summarized into 3 groups: the zones located at the front, middle and back of the convenience store, depending on the installed location of air conditioners. It is found that the area without the air flow has the highest proportion of energy consumption, accounting for 28.1 and 28.7 %. The proportions of annual energy consumption of the split type air conditioners, refrigerators, equipment and lighting system account for 15.8, 39.5, 22.3 and 22.4 %, respectively. Although it is found that the energy consumption of the split type air conditioning system is the lowest one, it also affects the temperature in the corresponding zones. The total energy consumption of convenience store in March is the highest one, annually. In addition, the total annual energy consumption in each temperature zone per actual air-conditioned area and per the total area of the convenience store are 429.32 and 403.22 kWh/m², respectively. It is also found that the highest value of 34.90 kWh/m² is in March, which is consistent with the monthly energy consumption analysis of this convenience stores.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Mechanical Engineering
Academic Year: 2020

Student's Signature
Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ในหัวข้อ "การศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ" สำเร็จได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำของรองศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แดงเทียง ที่ได้กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ทางวิชาการ คำปรึกษาและคำแนะนำจากประสบการณ์ที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นเข้ามาศึกษา อีกทั้งยังคอยช่วยอบรมสั่งสอนให้กำลังใจ ตลอดจนช่วยเหลือในการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ในส่วนของข้อมูลการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณร้านสะดวกซื้อที่เข้าร่วมโครงการที่เอื้อเพื่อสถานที่ระหว่างทำการเก็บข้อมูล และบริษัทเครื่องปรับอากาศที่สนับสนุนโครงการในการติดตั้งอุปกรณ์ และช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ วรรณโสภาคย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรล ศาลากิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ สุรวฒนาวรรณ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และข้อสังเกตต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมไปถึงเพื่อนนิสิต รุ่นพี่ รุ่นน้อง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยร่วมให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ จนผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อย่างที่ตั้งใจ และสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว เสาภายน คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด ที่คอยให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด และ รองศาสตราจารย์ พันตำรวจโท ดร. ศิริพงษ์ เสาภายน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ผู้เป็นอาที่คอยสนับสนุนและเป็นตัวอย่างในการดำเนินชีวิตแก่ผู้วิจัย พี่ ๆ น้อง ๆ ในครอบครัวที่คอยกระตุ้นในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีคุณค่าและมีประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าของผู้สนใจอยู่บ้าง ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่บุพการี คณาจารย์ ตลอดจนผู้แต่งตำรา บทความต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้ใช้ในการศึกษาค้นคว้า หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ไกรวิชญ์ เสาภายน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์.....	7
2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและการใช้พลังงาน.....	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมจำลองพลังงาน.....	10
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	15
3.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	15
3.1.1 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	16
3.1.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน.....	17
3.2 การใช้งานโปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio.....	18

3.2.1	โครงสร้างของโปรแกรม EnergyPlus	18
3.2.2	โครงสร้างของโปรแกรม Openstudio	20
3.3	กราฟประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้กับโปรแกรม EnergyPlus	21
บทที่ 4	วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
4.1	รูปแบบของร้านสะดวกซื้อ	23
4.1.1	สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของร้านสะดวกซื้อ	23
4.1.2	ร้านสะดวกซื้อตัวอย่าง	23
4.1.3	แปลนก่อสร้างของร้านสะดวกซื้อ	26
4.1.4	ส่วนประกอบและวัสดุต่าง ๆ ภายในพื้นที่ปรับอากาศ	27
4.2	รูปแบบของโปรแกรมจำลองพลังงานของร้านสะดวกซื้อ	29
4.2.1	การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองพลังงาน	29
4.2.1.1	ภาระความร้อนจากปริมาณคนที่เข้ามาใช้บริการ	29
4.2.1.2	ภาระความร้อนจากแสงสว่าง	31
4.2.1.3	ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ	32
4.2.1.4	การกำหนดปริมาณการกระจายลมเย็น	33
4.2.1.5	การกำหนดค่าการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร	34
4.2.1.6	การกำหนดค่าสภาพอากาศในการจำลองการใช้พลังงาน	34
4.2.1.7	การกำหนดค่าต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ	35
4.2.1.8	การกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น	36
4.2.1.9	การกำหนดฟังก์ชัน Zone Mixing ในโปรแกรมจำลองพลังงาน	37
4.2.2	การกำหนดรูปแบบตารางการใช้งานสำหรับร้านสะดวกซื้อ	38
4.2.3	ระบบปรับอากาศที่นำไปใช้ในการจำลองพลังงาน	39
4.2.4	การแบ่งโซนการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบทำความเย็น ...	41
4.3	การกำหนดค่าเพื่อใช้คำนวณกราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve)	43

4.4 อุปกรณ์การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	45
4.4.1 การตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	45
4.4.2 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า.....	46
บทที่ 5 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	48
5.1 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจวัดและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	50
5.1.1 กำหนดแผนผังตำแหน่งโซนอุณหภูมิ.....	50
5.1.2 การวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ	51
5.1.2.1 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเฉลี่ย.....	51
5.1.2.2 การวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	53
5.1.2.3 การวิเคราะห์ผลของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย.....	55
5.1.2.4 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงาน.....	56
5.2 การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	57
5.2.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนรายชั่วโมงตลอดปี ..	58
5.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเฉลี่ย	58
5.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย.....	60
5.2.1.3 การวิเคราะห์ผลของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	61
5.2.1.4 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงาน	62
5.2.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต่อขนาดพื้นที่ใช้งานจริง	66
5.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิ	66
5.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละเดือน	69
5.2.3 ผลการทำนายและวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง.....	70
5.2.3.1 การวิเคราะห์ผลของการทำนายค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์.....	70
5.2.3.2 การวิเคราะห์ผลของการทำนายค่ากำลังไฟฟ้า.....	71

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
6.1 สรุปผลการวิจัย	73
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก. ข้อมูล Specification data สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	79
ภาคผนวก ข. วิธีการหาคกราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve).....	82
ภาคผนวก ค. วิธีการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น	87
ประวัติผู้เขียน.....	105



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	รายละเอียดสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ.....	27
ตารางที่ 4.2	รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ.....	28
ตารางที่ 4.3	รายละเอียดเฉพาะเจาะจงของคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นของระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วน ที่ใช้ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	36
ตารางที่ 4.4	แสดงการแบ่งโซนการทำงานภายในร้านสะดวกซื้อ.....	37
ตารางที่ 4.5	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศทั้ง 4 ตัว ตู้เย็น 4 ตัว และบริเวณโซนที่มี การควบคุมปริมาณลม.....	38
ตารางที่ 4.6	แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์หลัก ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	38
ตารางที่ 4.7	แสดงค่าตัวแปรเพื่อสร้างกราฟประสิทธิภาพสำหรับโปรแกรม EnergyPlus.....	39
ตารางที่ 4.8	แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	42
ตารางที่ 5.1	แสดงตำแหน่งโซนอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	46
ตารางที่ 5.2	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและตู้เย็นระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน โดยเปรียบเทียบจากการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	51
ตารางที่ 5.3	แสดงส่วนของพื้นที่สำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	60
ตารางที่ 5.4	แสดงค่าการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริง.....	61
ตารางที่ 5.5	แสดงค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็นแต่ละตัว ในแต่ละโซนอุณหภูมิ.....	61
ตารางที่ 5.6	แสดงค่าการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่สำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	62
ตารางที่ 5.7	แสดงค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ สำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	62
ตารางที่ 5.8	แสดงค่าการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละเดือนสำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	63
ตารางที่ 5.9	แสดงค่าการใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนต่อพื้นที่การใช้งานจริง สำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	63
ตารางที่ ค.1	ตำแหน่งการติดตั้งสำหรับตู้เย็นที่ใช้งานจริงและใช้ในการจำลองการใช้พลังงาน.....	86
ตารางที่ ค.2	การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1).....	87

ตารางที่ ค.3 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2).....	88
ตารางที่ ค.4 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)).....	89
ตารางที่ ค.5 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (ชุดที่ 4 และชุดที่ 5).....	90
ตารางที่ ค.6 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6).....	91
ตารางที่ ค.7 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7).....	92
ตารางที่ ค.8 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8).....	93
ตารางที่ ค.9 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของผู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9).....	94

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 วงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ.....	16
รูปที่ 3.2 วัฏจักรการทำงานระบบทำความเย็นแบบอัดไอของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.....	17
รูปที่ 3.3 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม EnergyPlus.....	18
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการจำลองการใช้พลังงานของโปรแกรม EnergyPlus.....	20
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการจำลองการใช้พลังงานของโปรแกรม Openstudio.....	21
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการนำค่าตัวแปรไปสร้างกราฟประสิทธิภาพในโปรแกรม EnergyPlus.....	22
รูปที่ 4.1 รูปถ่ายทางเดินภายในร้านสะดวกซื้อ (ก) และ (ข).....	24
รูปที่ 4.2 รูปถ่ายตู้แช่เย็นภายในร้านสะดวกซื้อ (ก) ถึง (ง).....	24
รูปที่ 4.3 รูปถ่ายภายนอกร้านสะดวกซื้อ (ก) และ (ข).....	25
รูปที่ 4.4 โมเดลแบบจำลองของร้านสะดวกซื้อ (ก) ภายนอกร้านสะดวกซื้อ, (ข) ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	25
รูปที่ 4.5 แพลนก่อสร้างของร้านสะดวกซื้อ.....	26
รูปที่ 4.6 แพลนก่อสร้างของร้านสะดวกซื้อสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ.....	26
รูปที่ 4.7 การใส่ค่าพารามิเตอร์ภาระความร้อนจากผู้ใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อในโปรแกรม จำลองพลังงาน Openstudio.....	27
รูปที่ 4.8 การกำหนดปริมาณคนต่อพื้นที่การใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ.....	30
รูปที่ 4.9 การใส่ค่าพารามิเตอร์ภาระความร้อนจากแสงสว่างในโปรแกรม จำลองพลังงาน Openstudio.....	31
รูปที่ 4.10 การใส่ค่าพารามิเตอร์ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ในโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	32
รูปที่ 4.11 การใส่ค่าพารามิเตอร์ปริมาณการกระจายลมเย็น (Supply air).....	33
รูปที่ 4.12 การกำหนดค่าการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร.....	34
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2561.....	34
รูปที่ 4.14 การใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ.....	35
รูปที่ 4.15 การกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น.....	36
รูปที่ 4.16 การกำหนดฟังก์ชัน Zone Mixing ในโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน.....	37

รูปที่ 4.17 ตารางการใช้งานของคนที่อยู่ภายในอาคาร และการรั่วไหลของอากาศขณะคนเข้าออก ในรูปแบบการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ.....	38
รูปที่ 4.18 ตารางการใช้งานของแสงสว่าง, อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ ในรูปแบบการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ.....	38
รูปที่ 4.19 ตารางการใช้งานเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อ.....	39
รูปที่ 4.20 ตารางการใช้งานเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	39
รูปที่ 4.21 รูปถ่ายลักษณะของคอยล์เย็น หรือ Indoor Unit ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	40
รูปที่ 4.22 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ทั้ง 4 ตัว ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	40
รูปที่ 4.23 การแบ่งโซนการทำงานภายในร้านสะดวกซื้อ.....	41
รูปที่ 4.24 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และบริเวณโซนที่มีการควบคุม ปริมาณการกระจายลม.....	42
รูปที่ 4.25 การนำค่าตัวแปรไปสร้างกราฟประสิทธิภาพสำหรับโปรแกรม EnergyPlus.....	43
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดภายในร้านสะดวกซื้อ.....	45
รูปที่ 4.27 อุปกรณ์การตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	46
รูปที่ 4.28 Multi Channel Meter 18 Circuits.....	47
รูปที่ 4.29 ตัววัดกระแสไฟฟ้าแบบแกนแยก (Current Transformer Split Core Sensor).....	47
รูปที่ 5.1 แผนผังการทดลองเพื่อการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ.....	49
รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงตำแหน่งโซนอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อระหว่างการวัดค่า จากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน.....	50
รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละโซนอุณหภูมิในฤดูร้อน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	52
รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละโซนอุณหภูมิในฤดูฝน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	52
รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในฤดูร้อน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	53
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในฤดูฝน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	53
รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยในฤดูร้อน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	54

รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยในฤดูฝน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	54
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในฤดูร้อน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	55
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในฤดูฝน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	55
รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในฤดูร้อน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	56
รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในฤดูฝน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus.....	56
รูปที่ 5.13 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ.....	59
รูปที่ 5.14 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ.....	59
รูปที่ 5.15 ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของ ร้านสะดวกซื้อ.....	60
รูปที่ 5.16 ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ.....	60
รูปที่ 5.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละอุปกรณ์ของร้านสะดวกซื้อ.....	61
รูปที่ 5.18 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ.....	61
รูปที่ 5.19 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ.....	62
รูปที่ 5.20 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ.....	62
รูปที่ 5.21 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในแต่ละเดือน.....	63
รูปที่ 5.22 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของตู้เย็นในแต่ละเดือน.....	63
รูปที่ 5.23 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ.....	64
รูปที่ 5.24 ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ.....	64
รูปที่ 5.25 ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของแต่ละอุปกรณ์ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	65
รูปที่ 5.26 ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในร้านสะดวกซื้อ.....	65
รูปที่ 5.27 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ.....	70
รูปที่ 5.28 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ.....	71
รูปที่ 5.29 ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละอุปกรณ์ ของร้านสะดวกซื้อ.....	71

รูปที่ 5.30 ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละเดือน ของร้านสะดวกซื้อ.....	72
รูปที่ ก.1 Specifications data สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ประเภท Ceiling Type รุ่น RAV-SE 1001CP-T (Indoor unit) /RAV-TE 1001A8-T (Outdoor unit).....	78
รูปที่ ก.2 Technical data สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ประเภท Ceiling Type รุ่น RAV-SE 1001CP-T (Indoor unit) RAV-TE 1001A8-T (Outdoor unit).....	79
รูปที่ ข.1 การนำข้อมูลเชิงเทคนิคของเครื่องปรับอากาศมาใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel.....	81
รูปที่ ข.2 การใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel เพื่อคำนวณกราฟประสิทธิภาพ	82
รูปที่ ข.3 การใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel หัวข้อ Input.....	82
รูปที่ ข.4 การใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel หัวข้อ Output.....	83
รูปที่ ข.5 การนำเสนอ Capacity และสมการ EIR ของระบบปรับอากาศ มาใช้โปรแกรม EnergyPlus.....	84
รูปที่ ค.1 ตำแหน่งการติดตั้งสำหรับตู้เย็นประเภทต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ.....	86
รูปที่ ค.2 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1).....	87
รูปที่ ค.3 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2).....	88
รูปที่ ค.4 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3).....	89
รูปที่ ค.5 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (ชุดที่ 4 และชุดที่ 5).....	90
รูปที่ ค.6 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6).....	91
รูปที่ ค.7 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7).....	92
รูปที่ ค.8 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8).....	93
รูปที่ ค.9 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9).....	94
รูปที่ ค.10 ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1).....	95

รูปที่ ค.11 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1).....	95
รูปที่ ค.12 ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2).....	96
รูปที่ ค.13 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2).....	96
รูปที่ ค.14 ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3).....	97
รูปที่ ค.15 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3).....	97
รูปที่ ค.16 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก(ชุดที่ 4 และชุดที่ 5).....	98
รูปที่ ค.17 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก(ชุดที่ 4 และชุดที่ 5).....	98
รูปที่ ค.18 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6).....	99
รูปที่ ค.19 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6).....	99
รูปที่ ค.20 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7).....	100
รูปที่ ค.21 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7).....	100
รูปที่ ค.22 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8).....	101
รูปที่ ค.23 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8).....	101
รูปที่ ค.24 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9).....	102
รูปที่ ค.25 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9).....	102

บทที่ 1 บทนำ

สำหรับบทนำนี้จะกล่าวถึง ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ที่จะได้รับ และขั้นตอนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์นี้

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ระบบปรับอากาศที่มีการใช้งานทั่วไปในปัจจุบันมีความสำคัญอย่างมากต่อการใช้ชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร หรือภายในสถานที่ต่าง ๆ เพื่อให้คนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น ๆ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นที่ทราบกันว่าระบบปรับอากาศนั้น มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการออกแบบระบบปรับอากาศที่ดีควรคำนึงถึงหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นภาระภายในอาคาร การเลือกวัสดุเพื่อป้องกันความร้อนต่าง ๆ ที่นำมาประกอบเป็นอาคาร ระบบการควบคุมที่ดี ถูกต้อง และเหมาะสม สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้การออกแบบระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานมากขึ้น และยังช่วยประหยัดพลังงานทางไฟฟ้าอีกด้วย

ระบบปรับอากาศที่พบในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning), ระบบปรับอากาศแบบครบชุด (Package Unit) ซึ่งระบบปรับอากาศนี้มีทั้งชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Package, ACP) และชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Package, WCP), ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง (Central Air Conditioning) ซึ่งระบบปรับอากาศนี้สามารถระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Chiller System) และระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller System), ระบบ VRF (Variable Refrigeration Flow), ระบบทำความเย็นแบบดูดซับความร้อน (Absorption Chiller) โดยใช้หอระบายความร้อน (Cooling Tower) มาช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับน้ำเย็น เป็นต้น

ระบบปรับอากาศสำหรับร้านสะดวกซื้อที่มีขนาดเล็กที่มีใช้งานอยู่ในประเทศไทยจากอดีตมาจนถึงปัจจุบันส่วนใหญ่มักใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type Air Conditioning) เนื่องจากเหมาะสำหรับพื้นที่การใช้งานที่มีขนาดเล็ก และต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบปรับอากาศ ในปัจจุบันร้านสะดวกซื้อส่วนใหญ่จึงใช้งานระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งจากการใช้งานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนนี้ จะสามารถประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายตลอดทั้งปีของร้านสะดวกซื้อ

ได้จริงหรือไม่ ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้เกิดความสนใจในการศึกษาลักษณะการใช้งานของร้านสะดวกซื้อว่ามีความเหมาะสมกับการใช้งานระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนหรือไม่

วิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการจำลองในรูปแบบของพลังงาน นั่นคือ EnergyPlus และ Openstudio มาใช้ในการจำลองรูปแบบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type Air Conditioning) ซึ่งโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อจะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ หรือรูปแบบสมการตามทฤษฎีต่าง ๆ และยังแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อได้อย่างชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำการวิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจสำหรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนให้มีความเหมาะสมกับตำแหน่งต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อให้มีความคุ้มค่าทางพลังงานมากที่สุด โดยร้านสะดวกซื้อที่ทำการศึกษาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อสามารถวิเคราะห์การใช้งานทางพลังงาน คือ ร้านสะดวกซื้อ Mini Big C เนื่องจากร้านสะดวกแห่งนี้ได้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้งานอยู่จริง จึงจำเป็นต้องติดต่อกับทางบริษัท Toshiba Carrier เพื่อขอข้อมูลทางเทคนิคอยู่ตลอดเวลา ซึ่งร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีตำแหน่งสถานที่อยู่ในหมู่บ้านของจังหวัดปทุมธานี เพื่อที่จะทำการศึกษาสำหรับการจำลองการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ Mini Big C ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ โดยใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อทำนายพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการจำลองการใช้พลังงาน

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type Air Conditioning) รายชั่วโมงตลอดปีของร้านสะดวกซื้อ

1.3.2 เพื่อวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต่อขนาดพื้นที่ใช้งานจริงภายในร้านสะดวกซื้อ

1.3.3 เพื่อทำนายและวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง ของร้านสะดวกซื้อ

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.4.1 สามารถทำนายพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ
- 1.4.2 สามารถจำลองการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio เพื่อการวิเคราะห์การใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ
- 1.4.3 สามารถทราบถึงความเหมาะสมและความคุ้มค่าทางพลังงานของระบบปรับอากาศภายในส่วนต่าง ๆ ของร้านสะดวกซื้อ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 รวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของร้านสะดวกซื้อ Mini Big C เพื่อนำไปกำหนดตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงาน
- 1.5.2 ขึ้นรูปจำลองลักษณะของร้านสะดวกซื้อ Mini Big C โดยใช้โปรแกรม SketchUp 2017 โดยอ้างอิงจากแปลนร้านสะดวกซื้อ Mini Big C
- 1.5.3 ใช้ข้อมูลวัสดุของร้านสะดวกซื้อ Mini Big C เพื่อการจำลองการใช้พลังงานผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพ
- 1.5.4 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Validation) โดยใช้ข้อมูลระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type Air Conditioning)
- 1.5.5 ออกแบบการใช้งานระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ Mini Big C
- 1.5.6 นำข้อมูลสภาพอากาศไปจำลองการใช้พลังงานเป็นรายชั่วโมงตลอดปี
- 1.5.7 จำลองการใช้พลังงานโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio ของร้านสะดวกซื้อ Mini Big C เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่าง ๆ
- 1.5.8 สรุปผลการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ Mini Big C

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับอากาศเป็นกระบวนการควบคุมสภาวะของอากาศให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยทั่วไปจะต้องมีปัจจัยหรือพารามิเตอร์ของอากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และปริมาณลม ซึ่งการปรับอากาศก่อให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย ระบบปรับอากาศมักจะถูกออกแบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นอยู่ในช่วงความรู้สึกสบายของผู้อยู่อาศัย หรือเรียกว่า Comfort Zone คือ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22 ถึง 27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึง 60 สำหรับประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น หน้าที่หลักของระบบปรับอากาศ คือ การทำความเย็นหรือการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ด้วยวิธีการดึงอากาศออกไปโดยตรง หรือด้วยวิธีการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่านคอยล์เย็นโดยใช้พัดลม น้ำยาหรือสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบปรับอากาศทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อนเพื่อออกไประบายทิ้งภายนอกผ่านคอยล์ร้อน

สำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) เป็นระบบปรับอากาศที่มีขนาดเล็ก โดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 บีทียูต่อชั่วโมง ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของคอยล์ทำความเย็นที่เรียกว่า คอยล์เย็น (Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศ และคอยล์ร้อน (Condensing Unit) ซึ่งจะมีคอมเพรสเซอร์ (Compressor) และคอนเดนเซอร์ (Condenser) โดยจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ระหว่างชุดคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นจะมีท่อสารทำความเย็นทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ปรับอากาศเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับบทที่ 2 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบจากการใช้งานที่มีต่อการบริโภคพลังงานของร้านสะดวกซื้อ ดังนั้นผู้ทำงานวิจัยจึงจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับการทำความเย็นและการปรับอากาศภายในร้านสะดวกซื้อ และการใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจวัดปริมาณพลังงานที่ใช้ภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อสามารถออกแบบการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมกับการใช้พลังงานในแต่ละวันของร้านสะดวกซื้อ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบปรับอากาศและการใช้พลังงาน

D. A. Elraheim และคณะ [1] ได้ศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้สารทำความเย็นชนิด R410A ภายใต้สภาวะการทำงานภายในอาคารที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และมีการพัฒนาเครื่องมือการทดสอบระบบที่ทำการตรวจสอบและทำการทดลอง ผลการทดลองยืนยันว่า ความสามารถในการทำความเย็น กำลังของคอมเพรสเซอร์ และ COP เพิ่มขึ้น 90.9%, 5.2% และ 81.5% ตามลำดับ เมื่อความชื้นในอากาศเพิ่มจาก 8 เป็น $25.5 \text{ g}_w \text{ kg}_a^{-1}$ เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าของเครื่องระเหยเพิ่มขึ้นจาก 28 เป็น 34 องศาเซลเซียส สำหรับอัตราส่วนความชื้นที่กำหนด ส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็น ภาระความร้อนของคอนเดนเซอร์ กำลังงานของคอมเพรสเซอร์ และ COP เพิ่มขึ้น 7.2%, 6.1%, 2.8% และ 4.1% ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 400 เป็น 550 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น 25.6%

S. M. J. E. Zubair [2] ได้กล่าวว่าพลังงานจำนวนมากถูกใช้โดยระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ แนวทางการประหยัดพลังงานที่สามารถนำไปใช้งานกับการติดตั้งระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและลดการใช้พลังงานภายในอาคาร ประกอบด้วย การเพิ่มส่วนของ Sub-Cooling เชิงกลให้กับวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอดั้งเดิม (a Conventional Vapor Compression Cycle) และประสิทธิภาพของระบบที่ถูกดัดแปลงนั้น จะแสดงให้เห็นถึงการใช้งานที่แตกต่างกัน และพบว่าประสิทธิภาพของระบบสูงสุดที่อุณหภูมิอิ่มตัวโดยต่ำกว่ากึ่งกลางระหว่างอุณหภูมิการควบแน่นและอุณหภูมิการระเหย ซึ่งการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับระบบปรับอากาศสามารถทำได้สูงถึง 20% ในช่วงสูงสุดของอุณหภูมิการกลั่นตัวสูง ในขณะที่ระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้จะช่วยให้ประหยัดพลังงาน 20% และ 40% ตามลำดับ

W. J. A. t. e. Chen [3] ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระหว่างสารทำความเย็น R410A กับสารทำความเย็น R22 โดยกล่าวว่า สารทำความเย็น R410A เป็นทางเลือกระยะยาวที่มีค่าศักยภาพการทำลายโอโซน (Ozone-Depleting-Potential, ODP)

เท่ากับศูนย์ เพื่อนำมาแทนที่การใช้งานสารทำความเย็น R22 ซึ่งได้ทำการพัฒนาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับที่อยู่อาศัยโดยใช้สารทำความเย็น R410A และ R22 จากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพโดยใช้โปรแกรมการจำลองเพียงอย่างเดียว เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ รวมถึงความสามารถในการทำความเย็น อัตราส่วนประสิทธิภาพทางพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) การใช้พลังงานรายปีของเครื่องปรับอากาศ และผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน (Global Warming Impact, GWI) สรุปได้ว่า การนำสารทำความเย็น R410A มาใช้เป็นสารทำงานจะมีประโยชน์สำหรับเครื่องปรับอากาศ เพื่อลดขนาดของอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเพื่อประหยัดพลังงาน ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารทำความเย็น R22 แล้ว พบว่า สารทำความเย็น R410A จะช่วยบรรเทาผลกระทบโดยรวมต่อภาวะโลกร้อนได้ โดยลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็น R410A อย่างมีนัยสำคัญ

D.-c. Chou และคณะ [4] ได้ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อจากการใช้ระบบตรวจสอบการอนุรักษ์พลังงานระยะไกลของไต้หวัน โดยข้อมูลที่รวบรวมประกอบด้วย อุณหภูมิ, ความชื้น, การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ, ตู้แช่แข็งและตู้เย็น, แสงสว่าง และเครื่องทำความร้อน นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ โดยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของแต่ละร้านสะดวกซื้อ รวมถึงพื้นที่ทั้งหมด, ที่ตั้ง, รายได้จากการขาย และจำนวนลูกค้าที่มาใช้บริการ ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยต่อปีของร้านสะดวกซื้อในไต้หวันอยู่ที่ $2,346 \text{ kWh/m}^2/\text{ปี}$ ซึ่งสูงกว่าอาคารสำนักงานและโรงแรมอย่างมีนัยสำคัญ การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อที่ตรวจสอบทั้ง 4 ประเภท เรียงตามลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ ร้านค้าสะดวกซื้อในพื้นที่เชิงพาณิชย์, ร้านสะดวกซื้อในพื้นที่ย่านที่อยู่อาศัย, ร้านสะดวกซื้อในพื้นที่ย่านชานเมือง และร้านสะดวกซื้อในพื้นที่ย่านถนนเชิงกลยุทธ์ ความต้องการใช้งานของอุปกรณ์เก็บอาหาร (เช่น ตู้แช่แข็งและตู้เย็น) สูงที่สุดในบรรดาประเภทอุปกรณ์ที่ได้ทำการตรวจสอบภายในร้านสะดวกซื้อ มีค่าเท่ากับ 88.58 W/m^2 ดังนั้น สิ่งสำคัญอันดับแรกสำหรับการพัฒนาการอนุรักษ์พลังงาน คือ การเปลี่ยนอุปกรณ์เก็บอาหารที่เก่าและล้าสมัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และรูปแบบการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อนั้นจะถูกกำหนดขึ้นจากปัจจัยการใช้พลังงานที่ได้ตรวจสอบ และอาจจะใช้เป็นข้อสรุปสำหรับการทำนายการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อที่ได้

A. Bahman และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อศึกษาผลกระทบของพื้นที่ภายในอาคารกรณีตู้แช่เย็นแบบแสดงสินค้า มักจะได้รับการพิจารณาที่สภาพแวดล้อมในการจัดเก็บที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 55% ถ้าหากร้านสะดวกซื้อสามารถรักษาสภาวะการทำงานไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า จะสามารถประหยัดพลังงานการทำความเย็น (Refrigeration Energy), พลังงานการละลายน้ำแข็ง (Defrost Energy) และพลังงานความร้อนป้องกันเหงื่อ (Anti-Sweat Heater Energy) ได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบ 24 ชั่วโมง สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ของร้านค้า โดยใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทั่วไปการกระจายความชื้นสัมพัทธ์ของร้านสะดวกซื้อจะถูกคำนวณตลอดทั้งปี ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของร้านสะดวกซื้อเฉลี่ยต่อปี มีค่าเท่ากับ 51.1% แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในร้านสะดวกซื้อลดลงประมาณ 5% ภาวะการทำความเย็นของตู้แช่เย็นแบบแสดงสินค้าจะลดลง 9.25% และส่งผลให้การใช้พลังงานในการจัดเก็บทั้งหมดลดลง 4.84%

T. Markis และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในองค์กรขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยอื่น ๆ ที่ได้รับรองจากงานวิจัยอย่างกว้างขวาง อาคารในเชิงอุตสาหกรรมที่มีภาระความร้อนสูง อัตราการเปลี่ยนแปลงอากาศที่สูงขึ้น ชั่วโมงการทำงานที่มีระยะเวลายาวนานขึ้น และข้อกำหนดในการควบคุมมลพิษที่ดีขึ้น ได้นำเสนอผลการตรวจสอบเบื้องต้นที่ได้ดำเนินการโดยตัวอย่างขององค์กรธุรกิจขนาดเล็ก 12 แห่งในประเทศกรีซ พบว่า มีความเข้มของพลังงานแตกต่างกัน ตั้งแต่ 50 ถึง 300 kWh/m² ซึ่งอาคารในเชิงอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่กว่านี้จะมีค่าสูงถึง 1300 kWh/m² โดยได้ทำการประเมินโดยนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานไปใช้ในพื้นที่ของการสูญเสียพลังงานที่สำคัญ ได้แก่ ภาพรวมของอาคาร ไฟส่องสว่างประดิษฐ์ การทำความร้อน การระบายอากาศและการปรับอากาศ และระบบทำความเย็น พื้นที่และเครื่องทำน้ำร้อน อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรกล และการกระจายและการแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่า การทำธุรกิจมีความไวต่อการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้นในพื้นที่ที่มีเครื่องปรับอากาศ ตามมาด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้า และพื้นที่ต่อเครื่องทำน้ำร้อน การปฏิบัติตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานนั้นเลวร้ายที่สุดในพื้นที่ของไฟส่องสว่างประดิษฐ์และภาพรวมของอาคาร

H-x. Zhao และคณะ [7] ได้ศึกษาเพื่อทำนายการใช้พลังงานในอาคาร พบว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคารจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพอากาศโดยรอบ โครงสร้างอาคาร และลักษณะการทำงานของส่วนประกอบระดับย่อย เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ การพักอาศัย และพฤติกรรมของมนุษย์ เนื่องจากสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนเช่นนี้ ทำให้การทำนายการใช้พลังงานภายในอาคารเป็นไปได้ยาก บทความนี้ได้แสดงให้เห็นแบบจำลองที่มีความพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ซึ่งรวมถึงวิธีการทางวิศวกรรมที่มีความซับซ้อน วิธีการทางสถิติ และวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมจำลองพลังงาน

E. M. Barreira และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับแบบจำลอง สำหรับการออกแบบเครื่องปรับอากาศภายในอาคารที่เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประหยัดต้นทุน โดยการจำลองที่สภาวะคงที่ (Steady state) ถูกนำมาใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีความจุความเย็น 2.5 ตันความเย็น ที่ใช้สารทำความเย็น R-410A โดยการทำนายแบบจำลองของความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity) อัตราส่วนความร้อนสัมผัส (Sensible Heat Ratio, SHR) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (COP) ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของการทดลอง เมื่อพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายแนวโน้มการทดลองในช่วงความผิดพลาด $\pm 6\%$ ซึ่งแบบจำลองนี้ถูกนำมาใช้เพื่อหาลักษณะของเครื่องควบแน่นและเครื่องทำระเหย (เช่น พื้นที่หน้าตัด, พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน) ที่ช่วยเพิ่มค่า COP ของระบบต้นทุนคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า COP เพิ่มขึ้น 7% เมื่อต้นทุนคงที่ ในทางตรงกันข้ามการประหยัดต้นทุน 33% เมื่อระบบ COP คงที่

H. Witt [9] ได้ทำการศึกษาการจำลองการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อของสหราชอาณาจักร ที่ทำงานร่วมกันระหว่างระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ (Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC) และระบบทำความเย็น (Refrigeration) โดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ซึ่งการศึกษามีผลกระทบต่อผลรวมของระบบ HVAC และการใช้พลังงานของระบบความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพการทำงานที่มีความหลากหลาย สิ่งเหล่านี้รวมถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่กำหนดของระบบ HVAC, อุณหภูมิอากาศที่จ่าย และอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องทำความเย็นต่อการใช้พลังงานโดยรวม เนื่องจากค่าที่มีความเหมาะสมของอุณหภูมิอากาศ

ที่จ่ายลมเย็น เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบ HVAC พบว่าแตกต่างกันไปตามสถานที่ตั้งของสหราชอาณาจักรด้วยค่าทั่วไป ประมาณ 14 ถึง 16 องศาเซลเซียส

F. Hill และคณะ [10] ได้ศึกษาอิทธิพลของการทำความเย็นของผู้แสดงสินค้าต่อประสิทธิภาพของร้านสะดวกซื้อ ความต้องการพลังงานที่เป็นผลมาจากการดำเนินงานของร้านสะดวกซื้อ คาดว่าความรับผิดชอบของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสหราชอาณาจักร มีค่าเท่ากับ 1% ข้อกำหนดของอาคารในปัจจุบันในสหราชอาณาจักร กำหนดให้มีการใช้พลังงานของอาคารพาณิชย์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดเฉพาะ ดังนั้น อาคารร้านสะดวกซื้อจึงถูกสร้างแบบจำลองในรายละเอียดที่สำคัญตามมาตรการเหล่านี้ เพื่อสร้างการทำนายพลังงานที่ต้องการ การส่องสว่าง การพักอาศัย และผลกระทบของพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กจะรวมอยู่ในแบบจำลองนี้ด้วย อย่างไรก็ตาม ยังพบช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างผลของการออกแบบของการสร้างแบบจำลองและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของร้านค้าที่ใช้งาน เหตุผลหนึ่ง คือ การที่ความร้อนที่ตู้แช่แข็งไม่รวมอยู่ในการสร้างแบบจำลองนี้เนื่องจากการทำความเย็นถูกจัดประเภทเป็น “กระบวนการทางพลังงาน” มากกว่า “สิ่งก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง” บทความนี้ได้สำรวจความต้องการพลังงานเชิงเปรียบเทียบของระดับค่าปลีกของร้านสะดวกซื้อ และได้ทำการจำลองทั้งที่มีผลและไม่มีผลของการทำความเย็นของตู้แช่แข็งที่รวมอยู่ในการจำลอง ซึ่งได้รับการจำลองพลังงานโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus

M. Basarkar และคณะ [11] ได้ทำแบบจำลองเพื่อหาข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศโดยใช้งานโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดพลังงานและการจำลองสถานการณ์ของอาคาร คือ แบบจำลองพลังงานส่วนใหญ่ไม่ได้รับผลกระทบที่สำคัญของการติดตั้ง การปฏิบัติงาน และการเสื่อมสภาพของระบบปรับอากาศที่เกิดข้อบกพร่องต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงภายในอาคาร โปรแกรม EnergyPlus เป็นเครื่องมือจำลองประสิทธิภาพของอาคารทั้งหมดที่ครอบคลุม และยังสามารถจำกัดในการสร้างแบบจำลอง ข้อบกพร่องของระบบปรับอากาศ การวิจัยนี้ได้ระบุลักษณะและจัดลำดับความสำคัญของความผิดพลาดทั่วไปของอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ และระบบควบคุม ซึ่งบางส่วนถูกรวมอยู่ในโปรแกรม EnergyPlus งานวิจัยนี้สนับสนุนวัตถุประสงค์ของการประเมินผลความผิดปกติของระบบปรับอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของอาคารทั้งหมด เช่น การใช้พลังงาน และความสะดวกสบายของผู้ใช้ เป็นต้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การตัดสินใจติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับอาคารที่มีอยู่

S. Zhu และ J. Chen [12] ได้ศึกษาแบบจำลองสำหรับปริมาณการใช้คาร์บอนต่ำของระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus เพื่อสร้างแบบจำลองของอาคารที่มีความซับซ้อน โดยอธิบายรายละเอียดการป้อนค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม EnergyPlus ของโรงงานที่ทำการออกแบบ โดยมีตัวชี้วัด 3 ตัวแปร ได้แก่ การใช้พลังงาน ต้นทุนการดำเนินการด้านพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ (HVAC) ที่ใช้สำหรับการทำความเย็น และการทำความร้อนสำหรับพื้นที่ในโรงงาน โดยได้จำลองระบบ HVAC 1 (System1) ซึ่งเป็นระบบที่มีหม้อต้มก๊าซธรรมชาติสำหรับการทำความร้อนในพื้นที่ และเครื่องทำความเย็นสำหรับการทำความเย็นในพื้นที่ และสำหรับระบบ HVAC 2 (System2) ที่เป็นระบบปั๊มความร้อนจากแหล่งกำเนิดบนพื้นฐานของผลการจำลองของระบบ HVAC 1 (System1) และสามารถทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมรายปีของทั้งสองระบบได้อีกด้วย

Z. Mylona และคณะ [13] ได้การศึกษากการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อขนาดเล็ก โดยการจำลองการตอบสนองระหว่างอาคาร ระบบ HVAC เครื่องทำความเย็น และผลิตภัณฑ์อาหาร มีหลักฐานพบว่า การค้าปลีกอาหารเปลี่ยนไปสู่ร้านค้าขนาดเล็ก และผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องใช้เวลาในการปรุงอาหารน้อยภายในร้านสะดวกซื้อขนาดเล็ก (พื้นที่น้อยกว่า 400 m²) มักตั้งอยู่ในเขตเมือง ซึ่งมีความเข้มของพลังงานสูงกว่าร้านสะดวกซื้อขนาดใหญ่ เนื่องจากสัดส่วนอาหารต่อผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหารค่อนข้างสูง นอกจากนี้ด้านพลังงานและความร้อนของร้านสะดวกซื้อขนาดเล็กได้รับการพัฒนาบนพื้นฐานของโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus โดยใช้วิธีการเชื่อมต่อการพึ่งพาซึ่งกันและกันของระบบย่อย และตรวจสอบกับข้อมูลการดำเนินงาน การจำลองการติดตั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พบว่า สามารถประหยัดได้มากถึง 17% พร้อมการปรับปรุงแบบบูรณาการของการออกแบบอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศ ซึ่งการวิเคราะห์ประเภทเครื่องทำความเย็นและอัตราส่วนอาหาร บ่งชี้ว่าการลดลงของการใช้พลังงานทั้งหมดและการทำความเย็นด้วยการลดอาหารแช่แข็ง แต่การเพิ่มขึ้นสำหรับระบบ HVAC ทำให้ตัวเลือกมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น และที่ตั้งภายในเขตร้อนของเมืองยังมีผลกระทบเล็กน้อยต่อการใช้พลังงานโดยรวมอย่างเห็นได้ชัด สำหรับระบบ HVAC ขึ้นอยู่กับระบบทำความเย็นอีกด้วย

S. Yu และคณะ [14] ได้ศึกษาผลกระทบโดยภาพรวมของจำนวนประชากรต่อการใช้พลังงาน โดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ซึ่งแสดงรูปแบบที่อยู่อาศัยในชนบทตั้งอยู่ในเส้นทาง ได้ถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรมการจำลอง ซึ่งกระบวนการจำลองแบ่งออกเป็นเงื่อนไขต่อไปนี้ ความหลากหลายทางความร้อนของผนัง หลังคา และหน้าต่าง โดยการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร ผ่านโปรแกรม EnergyPlus ภายใต้อาคารที่แตกต่างกัน มีการอ้างอิงข้อมูลของโปรแกรม EnergyPlus และกระบวนการสร้างแบบจำลอง มีการวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้ความร้อนโดยรวม เพื่อประสิทธิภาพทางความร้อนที่มีความหลากหลาย และมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานมากขึ้นด้วย

Y. Ge และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขของร้านสะดวกซื้อ ระบบทำความเย็น สำหรับการออกแบบ, การทำนายพลังงาน และการควบคุม สามารถใช้สำหรับการเปรียบเทียบระบบที่แตกต่างกันและวิธีการควบคุมในแง่ของพลังงาน และผลกระทบภาวะโลกร้อนโดยรวมที่เทียบเท่ากัน แบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบจำนวนมาก ซึ่งถูกเชื่อมเข้าด้วยกันกับภายในสภาวะแวดล้อมของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ คอมเพรสเซอร์ การระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องควบแน่น วาล์วขยายตัวทางความร้อน ตู้แสดงสินค้า และการควบคุม ระบบแบบจำลองโดยรวมได้รับการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลที่ตรวจสอบได้ จากทั้งระบบในห้องปฏิบัติการและระบบรูปแบบเต็มภายในร้านสะดวกซื้อในประเทศสกอตแลนด์ ค่าของแบบจำลองจะแสดงโดยการพิจารณาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของความดันเสด และการควบคุมความเร็วตัวแปรกับความดันเสดคงที่ และการควบคุมความเร็วคงที่ แสดงให้เห็นว่าแม้ในฤดูร้อนที่สภาพแวดล้อม ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่มีปัญหาที่ความดันเสดต่ำกว่ามากในทางปฏิบัติ ภายใต้อาคารที่ควบคุมความดันคงที่ การใช้ระบบควบคุมความเร็วตัวแปรบนคอมเพรสเซอร์ตัวใดตัวหนึ่ง สามารถให้การควบคุมแรงดันในการดูดที่ดีขึ้น และสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 23% เมื่อเทียบกับการควบคุมการเปิด - ปิด

S. J. A. J. o. M. Alghoul และ I. Engineering [16] ได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ HVAC ในที่อยู่อาศัย โดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus โดยการอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับการวิจัยนี้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการค้นหามาตรฐานการครองชีพที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง พบว่าระบบ HVAC มีสัดส่วนเกือบครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ใช้ในอาคาร และประมาณ 10% ถึง 20% ของ

การใช้พลังงานทั้งหมดในประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยทั่วไปแนวโน้มของการติดตั้งระบบ HVAC ส่วนกลาง จะเพิ่มขึ้นในอาคารที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการใช้พลังงานของระบบ HVAC ในอาคารพักอาศัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระบบเหล่านั้นจากมุมมองของการใช้พลังงาน และมีเป้าหมายเพื่อลดความต้องการพลังงานของอาคารที่อยู่อาศัย เพื่อประหยัดพลังงาน และลดการปล่อยคาร์บอน กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยขนาดกลางในเมืองตรีโปลี ประเทศลิเบีย ซึ่งโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus กับโปรแกรม OpenStudio ถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่อยู่อาศัย และระบบ HVAC ผลการวิจัยพบว่า ส่วนประกอบเสมือน “ภาระอากาศในอุดมคติ” (ideal air loads) ที่ใช้ในโปรแกรม EnergyPlus นั้น สามารถใช้งานง่ายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานที่คำนวณได้นั้น สูงเกินไป ดังนั้นการใช้ส่วนประกอบดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดความเข้าใจผิดและอาจจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงทั้งรายเดือนและรายปี และแสดงให้เห็นว่าภายในอาคารที่อยู่อาศัย ระบบโดยรวมใช้พลังงานน้อยที่สุด สรุปได้ว่า ความผันแปรของการใช้พลังงานของระบบ HVAC ที่พิจารณาแล้วจะลดลง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (COP) เพิ่มขึ้น

D. B. Crawley และคณะ [17] ได้ศึกษาการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานที่ได้รับความนิยมมากมายทั่วโลก ที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นเวลามากกว่าสองทศวรรษแล้วที่รัฐบาลสหรัฐฯ ให้การสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมจำลองการสร้างพลังงานต่อชั่วโมง ได้แก่ BLAST และ DOE-2 โดยได้ออกแบบมาในยุคของคอมพิวเตอร์เมนเฟรม การขยายขีดความสามารถกลายเป็นเรื่องยาก ใช้เวลานาน และมีราคาแพง ในขณะเดียวกัน เป็นเวลากว่า 30 ปี ที่ได้เห็นความก้าวหน้าที่สำคัญในการวิเคราะห์และวิธีการคำนวณทางพลังงาน ซึ่งเปิดโอกาสให้มีการปรับปรุงที่สำคัญสำหรับเครื่องมือเหล่านี้ ซึ่งในปี ค.ศ. 1996 หน่วยงานรัฐบาลกลางสหรัฐฯ เริ่มพัฒนาเครื่องมือในการจำลองการสร้างพลังงานแบบใหม่ คือ โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ซึ่งมีการพัฒนาจากสองโปรแกรมที่มีอยู่ คือ DOE-2 และ BLAST ซึ่งโปรแกรม EnergyPlus มีคุณสมบัติการจำลองเชิงนวัตกรรมจำนวนมาก เช่น ขั้นตอนเวลาแปรผัน ระบบโมดูลาร์ที่ผู้ใช้กำหนดค่าได้ ซึ่งรวมกับการจำลองโซนตามความร้อนและมวล และโครงสร้างการป้อนข้อมูลและการนำข้อมูลที่ออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับบุคคลที่สาม เนื่องจากมีความสามารถในการจำลองการวางแผนอื่น ๆ รวมถึงการไหลของอากาศแบบหลายโซน พลังงานไฟฟ้า การจำลองความร้อนจากแสงอาทิตย์ และการจำลองด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ การทดสอบเบต้าของ EnergyPlus เริ่มขึ้นในปลายปี ค.ศ. 1999 และมีการวางตลาดครั้งแรกในต้นปี ค.ศ. 2001

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

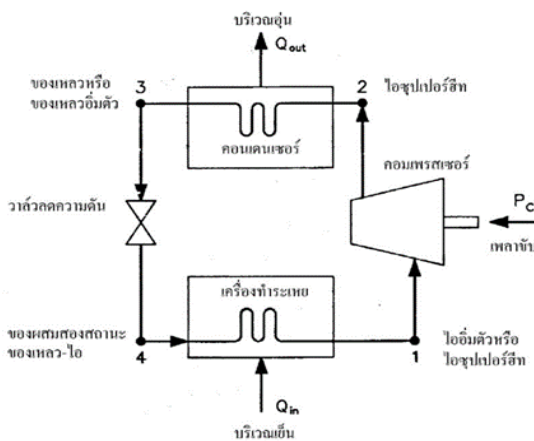
การใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานภายในอาคาร เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากสำหรับการทำนายปริมาณการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งสามารถใช้ได้ในขั้นตอนการออกแบบ การปรับปรุงอาคาร ตลอดจนการวิเคราะห์ผลจากมาตรการประหยัดพลังงาน ซึ่งการที่จะใช้งานโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องศึกษาและเข้าใจทั้งโครงสร้างและลักษณะการทำงานของโปรแกรม นอกจากนี้ต้องทราบถึงข้อดีและข้อแตกต่างของโปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio กับโปรแกรมประเภทอื่น ๆ ที่เคยมีการใช้งานมาก่อนในอดีต เช่น DOE-2, BLAST และ IBLAST เป็นต้น

3.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน [18] เป็นหนึ่งในชนิดของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ และเป็นเครื่องปรับอากาศที่พัฒนามาจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง โดยมีการแยกกันระหว่างยูนิต เรียกว่า คอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ (Compressor) และเครื่องควบแน่น (Condenser) กับแฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องทำระเหย (Evaporator) ข้อดี คือ มีความสะดวกในการติดตั้งและมีความสวยงามมากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง โดยปัจจุบันเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในโรงงาน สำนักงาน และที่อยู่อาศัย ระบบปรับอากาศ [19] มักจะถูกออกแบบเพื่อควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น อยู่ในช่วงความรู้สึกสบายของผู้ที่อยู่อาศัย หรือเรียกว่า Comfort Zone คือ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22 ถึง 27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ควรอยู่ในช่วง 40 ถึง 60% ถ้าความชื้นต่ำกว่า 30% จะทำให้ผิวหนังแห้ง และถ้าความชื้นสูงกว่า 70% จะทำให้รู้สึกเหนียวตัว เพราะเหงื่อไม่ระเหย แต่เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีการปรับอากาศให้อยู่ในสภาวะน่าสบายให้เหมาะสมกับการดำเนินชีวิตประจำวัน

3.1.1 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีอุปกรณ์หลักในการทำงาน 4 ส่วน ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 วงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ [18]

คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการอัดสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอ ที่จุดที่ 1 ดังรูปที่ 3.1 ให้มีความดันสูงขึ้น และเมื่อความดันสูงขึ้น อุณหภูมิของสารทำความเย็นก็จะสูงขึ้นตามกฎของก๊าซ (จากจุดที่ 1 เป็นจุดที่ 2) โดยส่งกำลังเข้าทางเพลลาของคอมเพรสเซอร์ (P_c) คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุด คือ ประมาณ 80% ของพลังงานทั้งหมด

เครื่องควบแน่น (Condenser)

หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า คอยล์ร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็นในสถานะไอ ที่มีอุณหภูมิและความดันสูง โดยส่งผ่านพลังงานความร้อน (Q_{out}) ไปให้กับน้ำ (Water Cool) หรืออากาศ (Air Cool) ที่เป็นสื่อในการระบายความร้อน ทำให้สารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว (จากจุดที่ 2 เป็น จุดที่ 3) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีการใช้พลังงานไปกับพัดลมระบายอากาศ ประมาณ 10%

วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

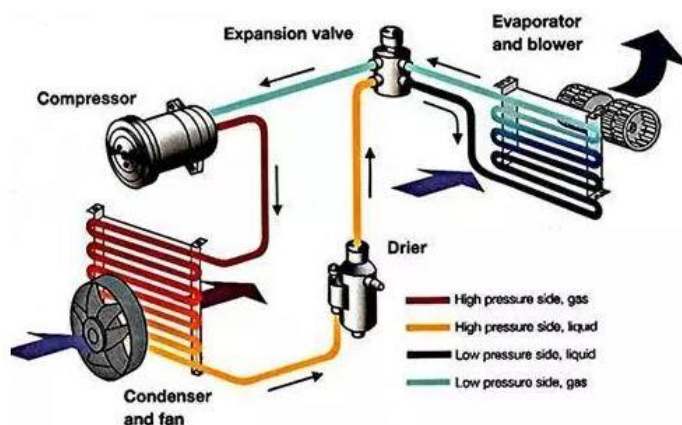
เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น ซึ่งมีความดันสูง ทำให้สารทำความเย็นมีความดันต่ำลงและอุณหภูมิจะลดต่ำลง (จากจุดที่ 3 เป็นจุดที่ 4)

เครื่องระเหย (Evaporator)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับความร้อน (Q_{in}) จากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยความร้อนจะถูกนำพาผ่านสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการระเหยกลายเป็นไอ จนอยู่ในสถานะไออิ่มตัว (Saturated Vapor) หรือไอร้อนยิ่งยวด (Superheat Vapor) ก่อนที่จะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดแล้วเริ่มการทำงานต่อไปอย่างต่อเนื่อง (จากจุดที่ 4 เป็นจุดที่ 1) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีการใช้พลังงานไปกับพัดลมคอมเพรสเซอร์ประมาณ 10%

3.1.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ใช้หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ [18] ซึ่งมีหน้าที่หลัก คือ การลดอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่ โดยการใช้สารทำความเย็นหรือน้ำยาแอร์เป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากอากาศภายในห้องไประบายออกไปทิ้งทางด้านนอกห้องปรับอากาศ ส่งผลให้อากาศภายในห้องเย็นลง และมีความชื้นที่ลดลง โดยสามารถแสดงวัฏจักรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ดังรูปที่ 3.2



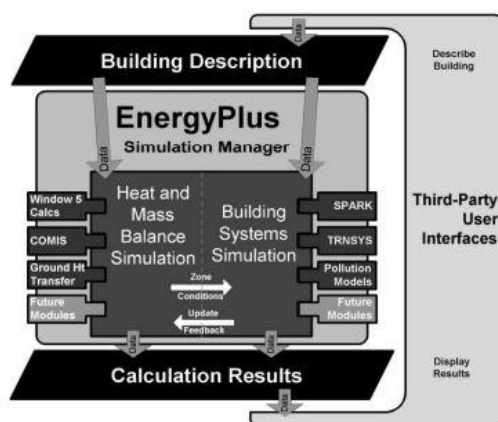
รูปที่ 3.2 วัฏจักรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน [18]

3.2 การใช้งานโปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio

โปรแกรมการจำลองพลังงาน EnergyPlus เป็นโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารที่คิดค้นโดยประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการพัฒนามาเพื่อทดแทนการใช้โปรแกรม DOE-2 และโปรแกรม BLAST โดยโปรแกรม EnergyPlus ได้รวบรวมข้อดีของโปรแกรมทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน เพื่อให้โปรแกรมมีความอิสระต่อกันมากขึ้น และจะเรียกใช้งานสำหรับโปรแกรมย่อยที่ต้องการเท่านั้น ทำให้โปรแกรม EnergyPlus ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว และสามารถพัฒนาต่อไปได้สะดวกมากขึ้นในอนาคต นอกจากนี้บุคคลทั่วไปยังสามารถใช้งานโปรแกรมนี้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ทั้งสิ้น

3.2.1 โครงสร้างของโปรแกรม EnergyPlus

โปรแกรม EnergyPlus [17] มีส่วนประกอบพื้นฐานหลักอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมหลัก (Simulation Manager), ส่วนการคำนวณภาระการปรับอากาศ (Heat and Mass Balance Simulation) และส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ (Building Systems Simulation) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพรวมการทำงานของโปรแกรม EnergyPlus [17]

โดยการควบคุมกระบวนการจำลองทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นสมดุลความร้อนและสมดุลมวลนั้นมีพื้นฐานมาจากโปรแกรม IBLAST ซึ่งโปรแกรมนี้ได้รับการวิจัยมาจาก BLAST ที่มีความสามารถในการจำลองระบบ Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC System) และการจำลองภาระความร้อนภายในอาคาร ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบพื้นฐานหลักทั้ง 3 ส่วน มีดังต่อไปนี้

1) ส่วนควบคุมการจำลองพลังงานหลัก (Simulation manager)

ผู้ที่ต้องการใช้งานโปรแกรมการจำลองพลังงาน EnergyPlus สามารถเลือกช่วงเวลาที่ต้องการได้ โดยส่วนควบคุมการจำลองพลังงานสามารถโต้ตอบระหว่างรูปการจำลองทั้งหมดจากระดับย่อยของชั่วโมง เช่น การจำลองทุก ๆ 1 ชั่วโมง, 15 นาที หรือ 1 นาที เป็นต้น โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงเวลาของการจำลองได้ตามความต้องการ และสภาพอากาศในช่วงวัน, เดือน, ฤดู, ปี หรือหลายปี ผู้ใช้งานก็สามารถนำมาใช้ในการจำลองพลังงานได้เช่นกัน หลังจากที่โปรแกรมได้ทำการจำลองการใช้พลังงานแล้ว ผู้ใช้งานสามารถกำหนดให้โปรแกรมบันทึกผลข้อมูลต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ เช่น ข้อมูลที่นำไปใช้สำหรับการจำลอง, การบันทึกผล และการรายงานผลของการจำลอง

2) ส่วนการคำนวณภาวะการปรับอากาศ (Heat and Mass Balance Simulation)

โปรแกรม EnergyPlus จะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นมาคำนวณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยใช้ข้อมูลการจำลองเบื้องต้นของอาคาร ซึ่งภาวะความร้อนที่เข้าสู่อาคารไม่ว่าจะเป็นภาวะความร้อนจากภายนอก เช่น การแผ่รังสีความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่าง ภาวะความร้อนจากภายใน เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเปิดปิดหรือทำงานอย่างต่อเนื่อง จำนวนคนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร อีกทั้งยังมีความร้อนจากการระบายอากาศ และอากาศที่มีการรั่วไหลผ่านเข้าออกอาคารอีกด้วย

3) ส่วนการคำนวณระบบปรับอากาศ (Building Systems Simulation)

โปรแกรม EnergyPlus สามารถป้อนข้อมูลของระบบปรับอากาศได้อย่างอิสระตามที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยจะต้องกำหนดการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะต้องใช้จุดเชื่อมต่อ (Node) ของแต่ละอุปกรณ์เข้าหากันตามประเภทของระบบปรับอากาศที่ผู้ใช้งานต้องการ

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left includes various HVAC components like 'AirLoopHVAC'. The main window displays the 'Explanation of Object and Current Field' for 'Air Loop HVAC 1'. Below this is a table with columns for 'Field', 'Units', and four object IDs (Obj1-Obj4). The table lists various HVAC parameters such as 'Design Outdoor Air Flow Rate', 'Preheat Design Temperature', and 'Cooling Supply Air Flow Rate'.

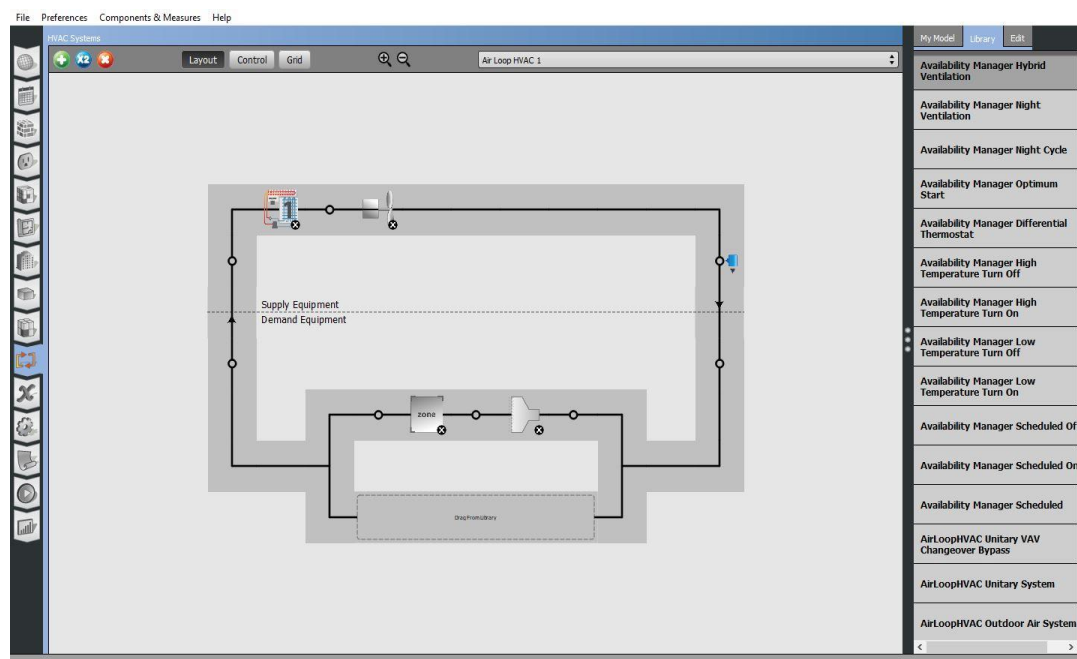
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
AirLoop Name		Air Loop HVAC 1	Air Loop HVAC 2	Air Loop HVAC 3	Air Loop HVAC 4
Type of Load to Size On		Sensible	Sensible	Sensible	Sensible
Design Outdoor Air Flow Rate	m ³ /s	autosize	autosize	autosize	autosize
Central Heating Maximum System Air Flow Ratio		0.3	0.3	0.3	0.3
Preheat Design Temperature	C	7	7	7	7
Preheat Design Humidity Ratio	kg/water/kgDryA	0.008	0.008	0.008	0.008
Precool Design Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8
Precool Design Humidity Ratio	kg/water/kgDryA	0.008	0.008	0.008	0.008
Central Heating Design Supply Air Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8
Central Heating Design Supply Air Temperature	C	16.7	16.7	16.7	16.7
Type of Zone Sum to Use		NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident
100% Outdoor Air in Cooling		Yes	Yes	Yes	Yes
100% Outdoor Air in Heating		Yes	Yes	Yes	Yes
Central Cooling Design Supply Air Humidity Ratio	kg/water/kgDryA	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
Central Heating Design Supply Air Humidity Ratio	kg/water/kgDryA	0.008	0.008	0.008	0.008
Cooling Supply Air Flow Rate Method		DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay
Cooling Supply Air Flow Rate	m ³ /s	0	0	0	0
Cooling Supply Air Flow Rate Per Floor Area	m ³ /s·m ²	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501
Traction Fraction of Outdoor Traction Summ Air Flow R		1	1	1	1

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการจำลองการใช้พลังงานของโปรแกรม EnergyPlus

ซึ่งการใช้งานโปรแกรม EnergyPlus นั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนและอาจจะเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายขณะใช้งาน ถ้ามีความชำนาญและประสบการณ์การใช้งานที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นเพื่อให้การจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคารสะดวกมากขึ้น จึงจำเป็นต้องศึกษาการใช้งานโปรแกรม Openstudio ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาให้ใช้งานได้สะดวกมากขึ้น ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2.2 โครงสร้างของโปรแกรม Openstudio

โปรแกรม Openstudio [20] ได้รับการพัฒนาจาก NREL (National Laboratory of the U.S. Department of Energy) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารที่สร้างมาจากโปรแกรม EnergyPlus เพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกและง่ายขึ้นกว่าเดิม โดยโปรแกรม Openstudio เป็นส่วนเสริม (Plug-in) ภายในโปรแกรม SketchUp สำหรับการสร้างแบบจำลองของอาคารขึ้นมา โปรแกรม Openstudio นั้นสามารถสร้างหรือกำหนดตารางการใช้งาน, ภาระภายในอาคาร, วัสดุโครงสร้างของอาคาร และระบบปรับอากาศภายในอาคารที่ต้องการได้อย่างสะดวก และยังสามารถแสดงผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคารในรูปแบบของตารางสรุปผลได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคารรายปี, การใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในระบบปรับอากาศนั้น ๆ เช่น แสงสว่าง, ป้อนน้ำ, อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร, พัดลม และการระบายความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการจำลองการใช้พลังงานของโปรแกรม Openstudio

3.3 กราฟประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้กับโปรแกรม EnergyPlus

เส้นกราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve) [21] เป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการปรับอากาศของแต่ละระบบ เช่น ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบในลักษณะ Full load, ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบในลักษณะ Part load, ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ (EIR Performance) เป็นต้น สำหรับการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็น จำเป็นต้องมีการนำค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ค่า Capacity และ Energy Input Ratio (EIR) ของระบบปรับอากาศนั้น ๆ มาเป็นฟังก์ชันในการสร้างเส้นกราฟประสิทธิภาพ

การสร้างสมการประสิทธิภาพสำหรับระบบปรับอากาศของทั้ง 2 ระบบนี้ จำเป็นจะต้องทราบถึงข้อมูล Specification และ Performance Data ของระบบเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการบันทึกข้อมูลในไฟล์ Microsoft Excel ที่ชื่อว่า CurveFitTool โดยไฟล์ Microsoft Excel นี้ สามารถหาได้จากแพ็คเกจของโปรแกรม EnergyPlus โดยตำแหน่งของไฟล์นั้น สามารถหาได้จากแพ็คเกจที่ชื่อว่า HVACCurveFitTool และใช้ไฟล์ที่ชื่อว่า CurveFitTool ในการสร้างสมการเหล่านี้ขึ้นมา โดยการสร้างกราฟประสิทธิภาพมีการใช้สมการหลัก ๆ ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

คือ Biquadratic Curve โดยจะนำผล Engineering Data Book [22] จากผู้ผลิตของระบบปรับอากาศนั้น ๆ ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

สมการ Biquadratic Curve คือ

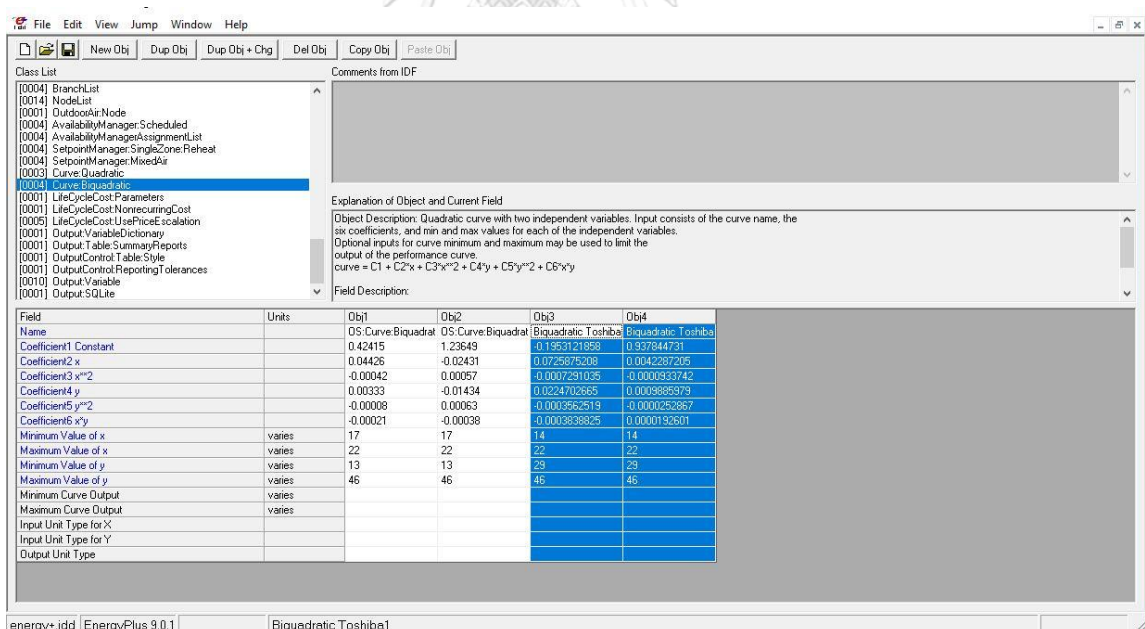
$$Z = C_1 + C_2X + C_3X^2 + C_4Y + C_5Y^2 + C_6XY \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยที่ X คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

Y คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)

Z คือ ค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (W) และพลังงานของคอมเพรสเซอร์ (W) รวมกับพลังงานของพัดลมระบายความร้อน (W)

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 และ C_6 คือ ค่าคงที่สำหรับสมการ Biquadratic Curve เพื่อนำไปกรอกใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ในหัวข้อของ Curve ดังรูปที่ 3.6



energy+.idd EnergyPlus 9.0.1 Biquadratic Toshiba1

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		OS_CurveBiquadrat	OS_CurveBiquadrat	BiquadraticToshiba	BiquadraticToshiba
Coefficient1 Constant		0.42415	1.23649	0.133371989	0.37844731
Coefficient2 x		0.04426	-0.02431	0.072875208	0.0042387205
Coefficient3 x**2		-0.00042	0.00057	-0.0007291035	-0.000933742
Coefficient4 y		0.00333	-0.01434	0.0224702665	0.0009889379
Coefficient5 y**2		-0.00008	0.00063	-0.0003562519	-0.0000282867
Coefficient6 x*y		-0.00021	-0.00038	-0.0003838825	0.0000192601
Minimum Value of x	varies	17	17	14	14
Maximum Value of x	varies	22	22	22	22
Minimum Value of y	varies	13	13	23	23
Maximum Value of y	varies	46	46	46	46
Minimum Curve Output	varies				
Maximum Curve Output	varies				
Input Unit Type for X					
Input Unit Type for Y					
Output Unit Type					

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการนำค่าตัวแปรไปสร้างกราฟประสิทธิภาพในโปรแกรม EnergyPlus

บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาการสร้างแบบจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรม EnergyPlus และโปรแกรม Openstudio มีความจำเป็นที่จะต้องสร้างแบบจำลองสำหรับร้านสะดวกซื้อขึ้นมาก่อน โดยแบบจำลองที่สร้างนั้นอ้างอิงจากข้อมูลทางกายภาพของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในบทนี้ นอกจากนี้แบบจำลองพลังงานแล้วยังได้มีการอธิบายถึงที่มาของอุปกรณ์ และข้อมูลเฉพาะในแต่ละส่วนของระบบปรับอากาศ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการจำลองพลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 รูปแบบของร้านสะดวกซื้อ

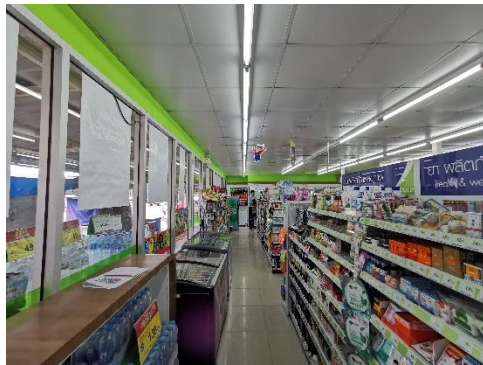
4.1.1 สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของร้านสะดวกซื้อ

ร้านสะดวกซื้อตัวอย่างที่นำมาทำการจำลองการใช้พลังงานเป็นร้านสะดวกซื้อที่อยู่ในพื้นที่หมู่บ้านภัทรนิเวศน์ ตำบลหน้าไม้ อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี โดยมีพิกัดละติจูด 14.03 องศา ลองจิจูด 100.384 องศา

สภาวะอากาศที่ใช้สำหรับการจำลองพลังงานรายวันจะใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2561 โดยอ้างอิงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

4.1.2 ร้านสะดวกซื้อตัวอย่าง

ร้านสะดวกซื้อ มีลักษณะเป็นห้องโล่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีทั้งหมด 1 ชั้น ซึ่งภายในร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioning) และระบบการระบายอากาศที่ใช้งานจริง โดยมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อทำการวัดปริมาณทางพลังงานของแต่ละส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ โดยรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของร้านสะดวกซื้อ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายทางเดินภายในร้านสะดวกซื้อ (ก) และ (ข)

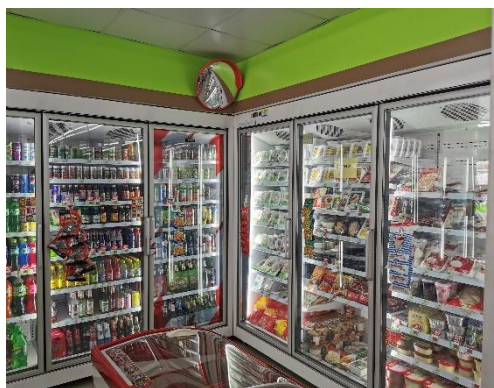


(ก) ภาลกรณมหาวิทยาลัย

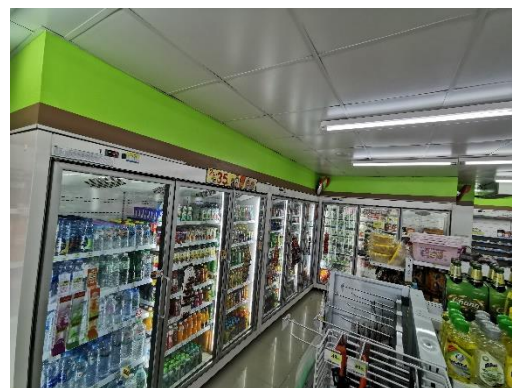


(ข)

CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.2 รูปถ่ายตู้แช่เย็นภายในร้านสะดวกซื้อ (ก) ถึง (ง)



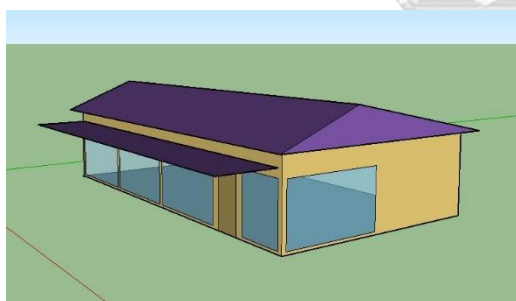
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 รูปถ่ายภายนอกร้านสะดวกซื้อ (ก) และ (ข)

การจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของร้านสะดวกซื้อแห่งนี้จำเป็นต้องสร้างโมเดลแบบจำลองของร้านสะดวกซื้อ โดยใช้โปรแกรม SketchUp [23] ซึ่งมี Plugin ที่ถูกติดตั้งชื่อว่า Openstudio [20] ซึ่งจะช่วยให้การสร้างโมเดลแบบจำลองของร้านสะดวกซื้อได้สะดวกมากขึ้น โดยโมเดลแบบจำลองของร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ แสดงดังรูปที่ 4.4



(ก)

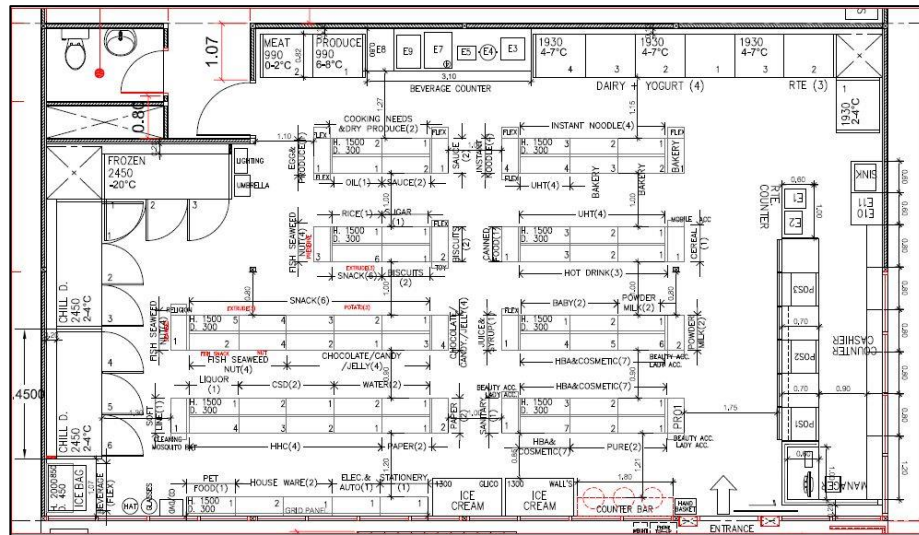


(ข)

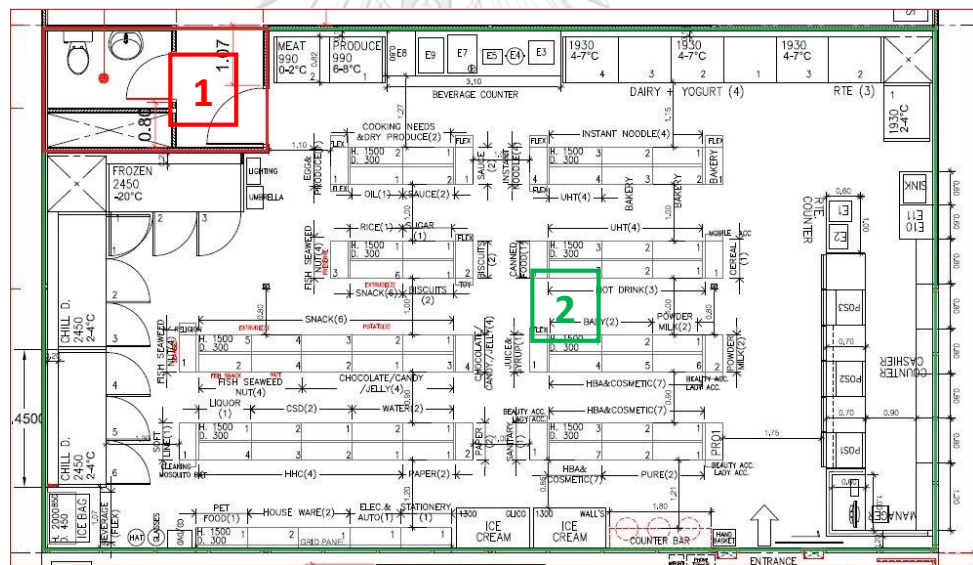
รูปที่ 4.4 โมเดลแบบจำลองของร้านสะดวกซื้อ (ก) ภายนอกร้านสะดวกซื้อ,
(ข) ภายในร้านสะดวกซื้อ

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองของร้านสะดวกซื้อเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปคำนวณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus และ Openstudio ซึ่งข้อมูลทางด้านกายภาพที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการจำลองนั้น เช่น ส่วนประกอบและวัสดุของร้านสะดวกซื้อ ลักษณะพื้นที่การใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ ข้อมูลของระบบปรับอากาศ ตารางเวลาในการทำงานของระบบปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

4.1.3 แพลนก่อสร้างของร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.5 แพลนก่อสร้างของร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.6 แพลนก่อสร้างของร้านสะดวกซื้อสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ

ตำแหน่ง	รายละเอียด	พื้นที่ (ตารางเมตร)
1	พื้นที่ไม่มีการปรับอากาศ	9
2	พื้นที่ปรับอากาศ	139
	พื้นที่ทั้งหมด	148

4.1.4 ส่วนประกอบและวัสดุต่าง ๆ ภายในพื้นที่ปรับอากาศ

ภายในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศภายในร้านสะดวกซื้อนั้น จะประกอบไปด้วยโครงสร้างต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ผนังภายนอก (Exterior wall) ผนังภายใน (Interior wall) หน้าต่าง (Windows) ประตู (Door) พื้น (Floor) และเพดาน (Ceiling) เป็นต้น โดยโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ จะประกอบไปด้วยวัสดุหลากหลายชนิดโดยใช้ข้อมูลทางด้านสถาปัตยกรรม (Architecture) อีกทั้งวัสดุแต่ละชนิดมีค่า Heat Transfer Coefficient ที่แตกต่างกันไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวที่จะนำมาใช้ในการจำลองพลังงานนั้น อ้างอิงจาก ASHRAE_2005_HOF_Materials [17] จากโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus รายละเอียดดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ

ส่วนประกอบโครงสร้างของพื้นที่ปรับอากาศ	รายละเอียดคุณสมบัติของโครงสร้าง
ผนังภายนอก (Exterior wall)	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน Thickness = 0.20 m Conductivity = 1.7296 W/m-k Density = 2243 kg/m ³ Specific Heat = 837 J/Kg-K
ผนังภายใน (Interior wall)	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน Thickness = 0.20 m Conductivity = 1.7296 W/m-k Density = 2243 kg/m ³ Specific Heat = 837 J/Kg-K
หน้าต่าง (Windows)	กระจกใส Thickness = 0.003 m Solar Transmittance at Normal Incidence = 0.2374 Front side Solar Reflectance = 0.7126 Front side Visible Reflectance = 0.6988 Front and Back Side Infrared Emissivity = 0.9850 Conductivity = 2.1073 W/m-k

ประตูกระจก (Glass door)	<p>กระจกใส</p> <p>Thickness = 0.006 m</p> <p>Solar Transmittance at Normal Incidence = 0.8370</p> <p>Front side Solar Reflectance = 0.0750</p> <p>Front side Visible Reflectance = 0.0810</p> <p>Front and Back Side Infrared Emissivity = 0.8400</p> <p>Conductivity = 0.9 W/m-k</p>
พื้น (Floor)	<p>คอนกรีตเสริมเหล็กเทพูนทรายปรับระดับ (ปูกระเบื้อง)</p> <p>Thickness = 0.12 m</p> <p>Conductivity = 0.59 W/m-k</p> <p>Density = 1648 kg/m³</p> <p>Specific Heat = 840 J/Kg-K</p>
เพดาน (Ceiling)	<p>แผ่นยิปซัมบอร์ด (0.5 นิ้ว)</p> <p>Thickness = 0.0127 m</p> <p>Conductivity = 0.16 W/m-k</p> <p>Density = 784.9 kg/m³</p> <p>Specific Heat = 830 J/Kg-K</p>
หลังคา (Roof)	<p>โลหะแผ่น (Sheet Metal)</p> <p>Thickness = 0.0015 m</p> <p>Conductivity = 45 W/m-k</p> <p>Density = 7680 kg/m³</p> <p>Specific Heat = 418.4 J/Kg-K</p>
ที่กันบังแสงแดด (Shading)	<p>โลหะแผ่น (Sheet Metal)</p> <p>Thickness = 0.0015 m</p> <p>Conductivity = 45 W/m-k</p> <p>Density = 7680 kg/m³</p> <p>Specific Heat = 418.4 J/Kg-K</p>

4.2 รูปแบบของโปรแกรมจำลองพลังงานของร้านสะดวกซื้อ

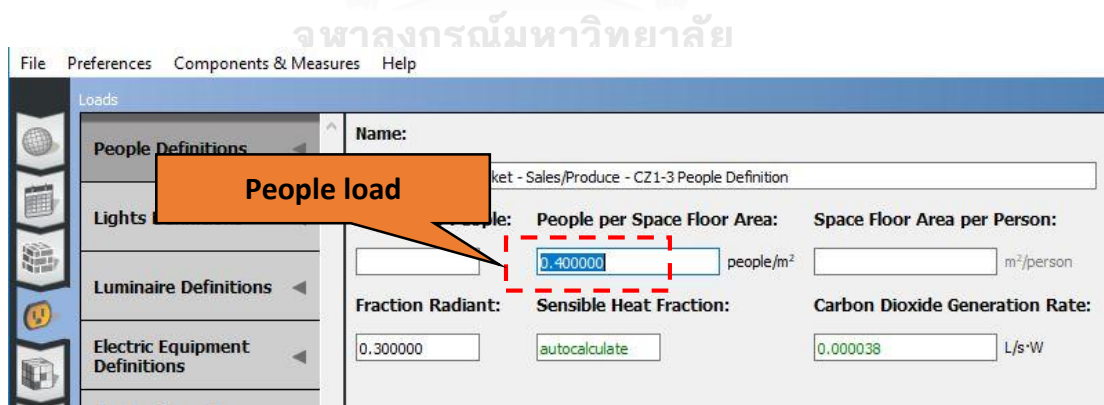
จากหัวข้อก่อนหน้าที่ได้ทำการสร้างโมเดลแบบจำลองร้านสะดวกซื้อเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้นำแบบจำลองพลังงานดังกล่าวนี้ไปทำการศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละส่วนของร้านสะดวกซื้อ โดยกำหนดให้มีช่วงเวลาการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อตลอด 24 ชั่วโมง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองพลังงาน

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคารนั้น สิ่งที่เป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละระบบ คือ ภาระความร้อนที่อยู่ภายในพื้นที่ของอาคาร โดยการกำหนดค่าภาระความร้อนภายในอาคารนั้น จะอาศัยการตั้งสมมติฐานโดยอ้างอิงจากมาตรฐานของ ASHRAE และมาตรฐานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการติดตั้งภายในอาคาร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ภาระความร้อนจากปริมาณคนที่เข้ามาใช้บริการ

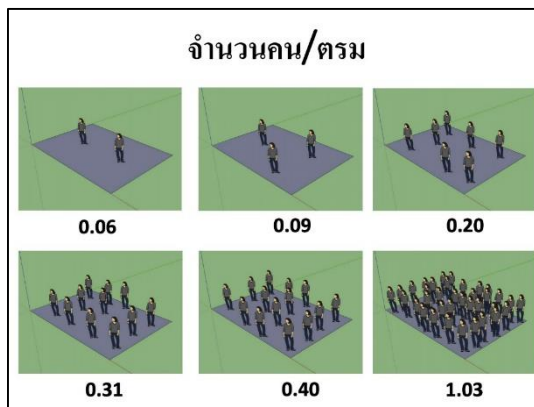
ในการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ จะกำหนดให้มีการใช้พลังงานของระบบ เมื่อมีคนเข้าออกภายในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศและร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ ซึ่งมีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งสมมติฐานว่ามีกิจกรรมในระดับ Supermarket Activities สำหรับคนที่เข้าออกร้านสะดวกซื้อกำหนดให้เท่ากับ 120 วัตต์/คน [20] และปริมาณคน 0.4 คน/ตารางเมตร ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การใส่ค่าพารามิเตอร์ภาระความร้อนจากผู้ที่ใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ

ในโปรแกรมจำลองพลังงาน Openstudio

โดยการวิเคราะห์ปริมาณคนที่เข้ามาใช้บริการภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อใช้ในโปรแกรมจำลองพลังงาน แสดงดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.8 การกำหนดปริมาณคนต่อพื้นที่การใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ

ตารางที่ 4.3 ค่าความร้อนจากผู้ใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ

โซน	กิจกรรมของร้านสะดวกซื้อ (วัตต์/คน)
1	120
2	120
3	120
4	120
5	120
6	120
7	120
8	120

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณคนต่อพื้นที่ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) กำหนดให้ค่าปริมาณคนต่อพื้นที่สูงสุด (Peak load) เท่ากับ 0.40 คนต่อตารางเมตร มีค่าสัดส่วน (Fractional) เท่ากับ 1
- 2) ทำการเปรียบเทียบปริมาณคนต่อพื้นที่ที่ค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.06, 0.09, 0.20 และ 0.31 ตามลำดับ โดยเทียบกับค่าสูงสุด (จากข้อที่ 1)
- 3) จะได้ค่าสัดส่วน (Fractional) ดังตารางที่ 4.4

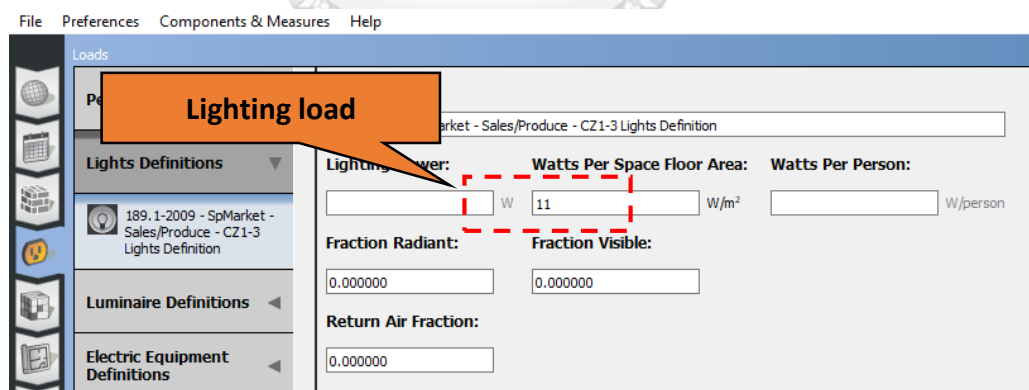
ตารางที่ 4.4 ค่าสัดส่วน (Fractional) สำหรับปริมาณคนที่เข้ามาใช้บริการ

ปริมาณคน (คน/ตารางเมตร)	ค่าสัดส่วน (Fractional)
0.40	1
0.31	0.775
0.20	0.50
0.09	0.225
0.06	0.15

4) จากนั้นนำค่าที่ได้จากข้อ 3) ไปใช้เพื่อกำหนดตารางเวลาในการใช้งานของระบบปรับอากาศ ในหัวข้อ 4.2.2 ต่อไป

4.2.1.2 ภาระความร้อนจากแสงสว่าง

กำหนดขนาดตามจำนวนหลอดไฟที่มีการติดตั้งภายในพื้นที่ร้านสะดวกซื้อ และการเปิดใช้งานตามช่วงเวลาการทำงานของร้านสะดวกซื้อที่มีค่าเท่ากับ 11.00 วัตต์/ตารางเมตร ดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.9 การใส่ค่าพารามิเตอร์ภาระความร้อนจากแสงสว่างในโปรแกรมจำลองพลังงาน Openstudio

ตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนจากแสงสว่างที่ใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ

โซน	ค่าความร้อนจากแสงสว่าง (วัตต์/ตารางเมตร)
1	11.00
2	11.00
3	11.00
4	11.00
5	11.00
6	11.00
7	11.00
8	11.00
9	11.00

4.2.1.3 ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อที่สามารถเป็นภาระความร้อนทางไฟฟ้าได้ โดยจะคิดจากการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยภาพรวมสำหรับโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.6

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Beer Freezer	Ice Freezer	Ice cream	Ice Maker Machine
Zone or ZoneList Name		Zone3_T22	Zone3_T22	Zone2_T23	Zone8_T27
Schedule Name		SuperMarket Bldg Eq	SuperMarket Bldg Eq	SuperMarket Bldg Eq	SuperMarket Bldg Eq
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	215	335.6	314	554.5
Watts per Zone Floor Area	W/m2				
Watts per Person	W/person				
Fraction Latent					
Fraction Radiant					
Fraction Lost					
End-Use Subcategory		General	General	General	General

รูปที่ 4.10 การใส่ค่าพารามิเตอร์ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ

ในโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

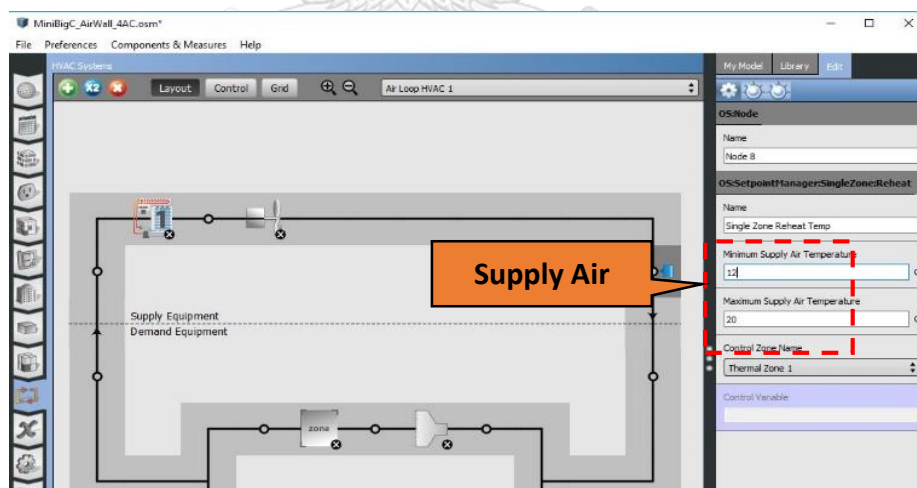
ตารางที่ 4.6 ค่าภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ

โปรแกรมจำลองพลังงาน	อุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าภาระความร้อน (วัตต์)	ตำแหน่ง
EnergyPlus	Beer Freezer	215	Zone3
	Ice Freezer	336.6	Zone3
	Ice cream	314	Zone2
	Ice Maker Machine	654.5	Zone8

หมายเหตุ ค่าภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ จะต้องใช้งานร่วมกันทั้ง 2 โปรแกรม โดยสามารถใส่ค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมใดโปรแกรมหนึ่งก็ได้

4.2.1.4 การกำหนดปริมาณการกระจายลมเย็น

การกำหนดปริมาณการกระจายลมเย็น (Supply air) สู่บริเวณพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อให้การออกแบบระบบปรับอากาศมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าสำหรับปริมาณการกระจายลมเย็นที่ใช้งานจริงภายในร้านสะดวกซื้อ โดยมีค่าอยู่ในช่วงค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดเท่ากับ 12 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การใส่ค่าพารามิเตอร์ปริมาณการกระจายลมเย็น (Supply air)

4.2.1.5 การกำหนดค่าการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร

จะอาศัยการตั้งสมมติฐานโดยใช้ค่า Default ของโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งมีค่าอัตราการไหลของอากาศต่อพื้นที่ผิวภายนอก มีค่าเท่ากับ $0.00030226 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ ทำการคำนวณต่อพื้นที่ผิวภายนอกมีค่าเท่ากับ $0.37129 \text{ Air Change/Hour}$ พบว่า มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานและความเป็นจริง เมื่อเทียบกับค่าการรั่วซึมของอากาศในประเทศไทยที่มีค่าเท่ากับ $1 \text{ Air Change/Hour}$ ดังรูปที่ 4.12

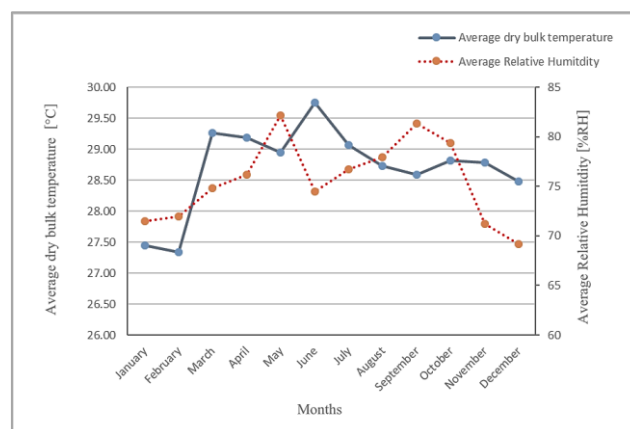
Field	Units	Obj1
Name		189 1-2009 - SpMarket - Sales/Produce - CZ1-3 Infiltration
Zone or ZoneList Name		189 1-2009 - SpMarket - Sales/Produce - CZ1-3
Schedule Name		SuperMarket Infil Half On
Design Flow Rate Calculation Method		Flow/ExteriorArea
Design Flow Rate	m3/s	
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2	0.00030226
Air Changes per Hour	1/hr	
Constant Term Coefficient		
Temperature Term Coefficient		
Velocity Term Coefficient		
Velocity Squared Term Coefficient		

**Default
Infiltration**

รูปที่ 4.12 การกำหนดค่าการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคาร

4.2.1.6 การกำหนดค่าสภาพอากาศในการจำลองการใช้พลังงาน

ในส่วนนี้เป็นการกำหนดค่าสภาพอากาศเพื่อใช้ในการจำลองการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ โดยอ้างอิงข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2561 จากกรมอุตุนิยมวิทยา ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน

ของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2561

4.2.1.7 การกำหนดค่าต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ

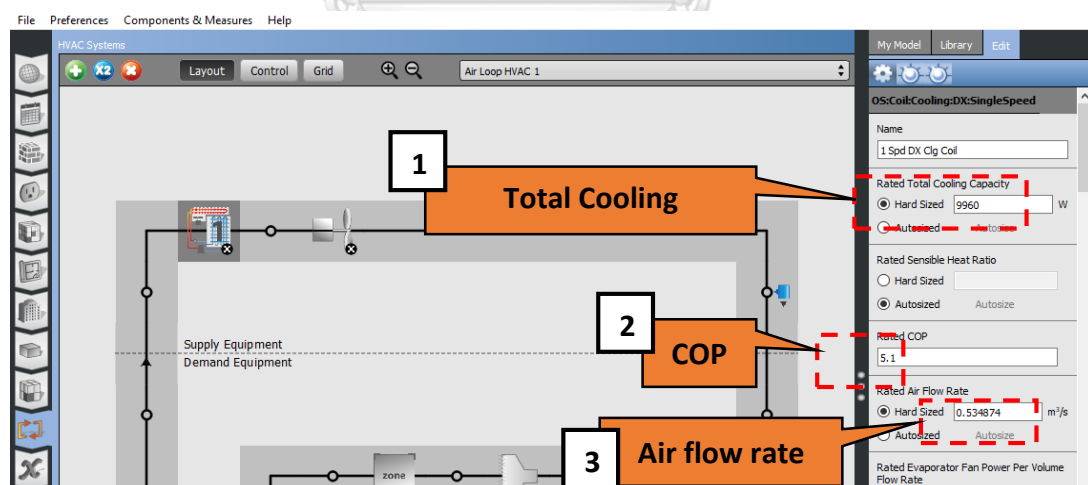
การกำหนดค่าต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ [22] มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแต่ละประเภท หรือจากโรงงานมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลเฉพาะของเครื่องปรับอากาศ ดังภาคผนวก ก. เพื่อให้สามารถจำลองการใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่อเครื่องปรับอากาศ 1 ตัว ได้แก่

1) ความสามารถในการทำความเย็น (Total Cooling Capacity) มีค่าเท่ากับ 34,000 บีทียูต่อชั่วโมง หรือเท่ากับ 9,960 วัตต์ (มีค่าประมาณ 2.8333 ตันทำความเย็น)

2) ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) มีค่าเท่ากับ 5.10

3) อัตราการไหลของอากาศ (Air flow rate) จำเป็นจะต้องกำหนดเพื่อให้สามารถจำลองการใช้พลังงานให้เสมือนการใช้งานจริงมากที่สุด โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 400 CFM (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ต่อ 1 ตันทำความเย็น หรือเท่ากับ 0.188779 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s) ในที่นี้เครื่องปรับอากาศสามารถทำความเย็นได้ประมาณ 2.8333 ตันทำความเย็น จะทำให้ได้ค่าอัตราการไหลของอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.534874 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)

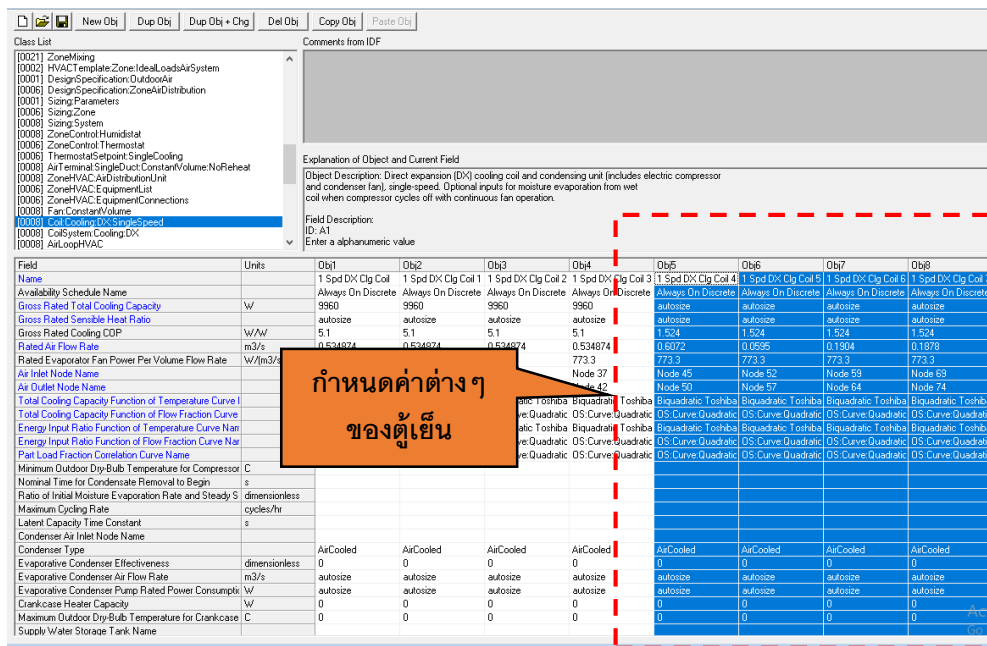
จากนั้นเมื่อได้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากข้อมูลเฉพาะของเครื่องปรับอากาศแล้วให้นำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้เหล่านี้ไปใส่ในโปรแกรมจำลองพลังงาน ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ

4.2.1.8 การกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น

การกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น เนื่องจากการทำงานของตู้เย็นส่งผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น โดยการจำลองการใช้พลังงานของตู้เย็นนั้น ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานเหมือนกับเครื่องปรับอากาศ ซึ่งตู้เย็นทั้งหมด มีจำนวน 4 ตัว ดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.7 นอกจากนี้ผู้วิจัยได้อธิบายขั้นตอนการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น แสดงดังภาคผนวก ค.



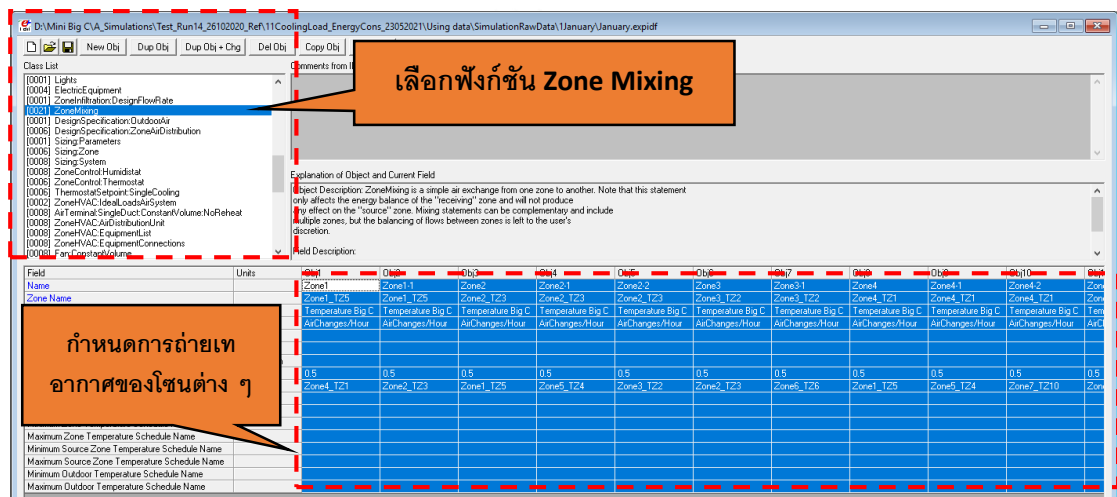
รูปที่ 4.15 การกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็นในโปรแกรมจำลองพลังงาน

ตารางที่ 4.7 การกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็นแต่ละเครื่องสำหรับโปรแกรมจำลองพลังงาน

ตู้เย็น	ความสามารถในการทำความเย็น (Total Cooling Capacity)	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP)	อัตราการไหล (Air flow Rate)	ค่าเฉลี่ยการกระจายลมเย็น (Average Supply Air)	ตำแหน่ง
	W	W/W	m ³ /s	°C	
REF - A	ค่า Default ของ	1.524	0.6072	11.58	Zone7
REF - B	โปรแกรมจำลอง	1.524	0.0595	19.61	Zone6
REF - C	การใช้พลังงาน	1.524	0.1904	18.44	Zone3
REF - D	(เป็นค่า Autosize)	1.524	0.1878	15.59	Zone8

4.2.1.9 การกำหนดฟังก์ชัน Zone Mixing ในโปรแกรมจำลองพลังงาน

การกำหนดการฟังก์ชัน Zone Mixing ในโปรแกรมจำลองพลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการแบ่งโซนอุณหภูมิเพื่อทำการวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยจะอธิบายการแบ่งโซนการทำงานในหัวข้อ 4.2.4 ซึ่งผู้วิจัยจะต้องกำหนดการถ่ายเทอากาศของโซนต่าง ๆ ที่อยู่ข้างเคียงด้วยตนเอง และได้กำหนดค่า Air Change per hour (ACH) คือ จำนวนรอบของการไหลเวียนอากาศที่ไหลผ่านเครื่องฟอกอากาศครบทั้งปริมาตรของห้องที่แนะนำที่เหมาะสมกับร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีค่าเท่ากับ 0.5 ต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.16 การกำหนดฟังก์ชัน Zone Mixing ในโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน

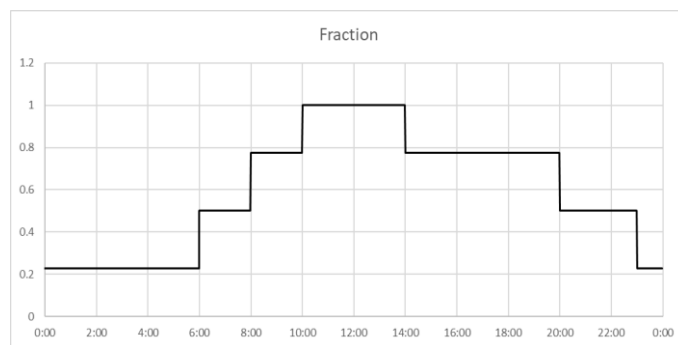
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 การกำหนดฟังก์ชัน Zone Mixing เพื่อใช้ในโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน

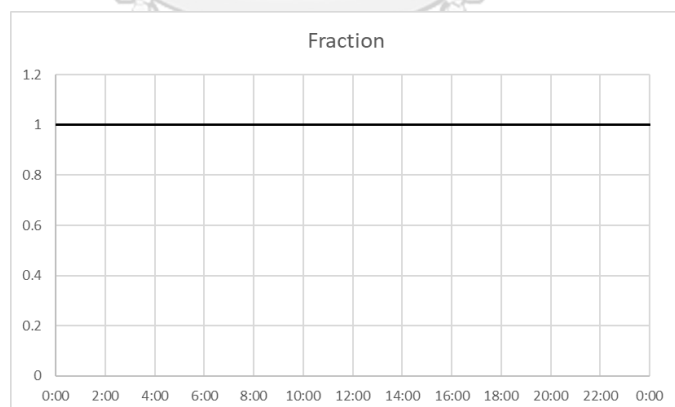
โซนเริ่มต้น	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone5	Zone6	Zone7	Zone8
โซนที่ต้องการถ่ายเทอากาศ ลำดับที่ 1	Zone2	Zone1	Zone2	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone5
โซนที่ต้องการถ่ายเทอากาศ ลำดับที่ 2	Zone4	Zone3	Zone6	Zone5	Zone4	Zone5	Zone8	Zone7
โซนที่ต้องการถ่ายเทอากาศ ลำดับที่ 3	-	Zone5	-	Zone7	Zone6	-	-	-
โซนที่ต้องการถ่ายเทอากาศ ลำดับที่ 4	-	-	-	-	Zone8	-	-	-

4.2.2 การกำหนดรูปแบบตารางการใช้งานสำหรับร้านสะดวกซื้อ

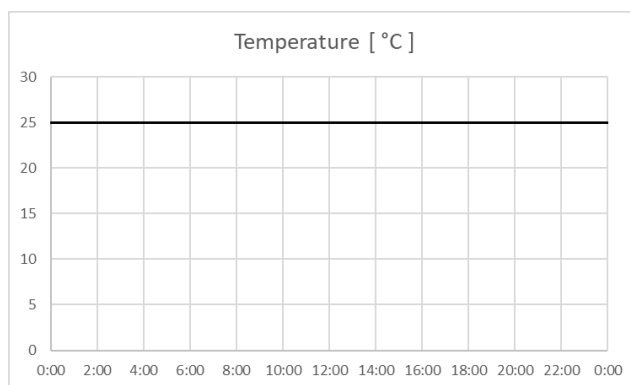
กำหนดให้มีการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ ตลอด 24 ชั่วโมง เช่น คนที่อยู่ภายในอาคาร การรั่วไหลของอากาศขณะคนเข้าออก แสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ การควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในร้านสะดวกซื้อ ดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.20 ตามลำดับ เพื่อที่จะทราบว่าระบบปรับอากาศนั้นมีการใช้พลังงานอย่างไรในสถานะที่มีการใช้งานของระบบปรับอากาศตามที่กำหนด



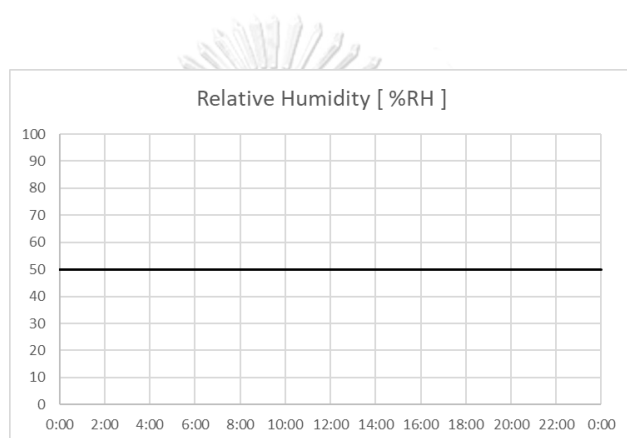
รูปที่ 4.17 ตารางการใช้งานของคนที่อยู่ภายในอาคาร และการรั่วไหลของอากาศขณะคนเข้าออก
ในรูปแบบการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.18 ตารางการใช้งานของแสงสว่าง, อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ
ในรูปแบบการใช้งานภายในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.19 ตารางการใช้งานเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.20 ตารางการใช้งานเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในร้านสะดวกซื้อ

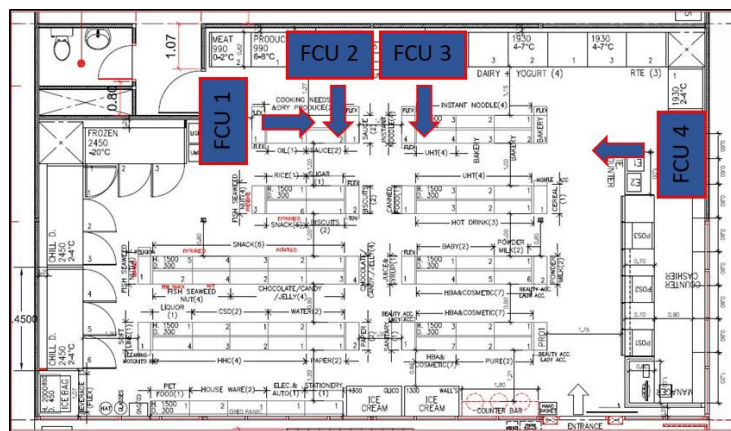
4.2.3 ระบบปรับอากาศที่นำไปใช้ในการจำลองพลังงาน

จะอธิบายถึงภาระการทำความเย็นของร้านสะดวกซื้อในแต่ละส่วน และข้อมูลลักษณะของอุปกรณ์การทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่จะนำมาจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีการใช้ข้อมูลของคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นที่มีใช้งานอยู่แล้วภายในร้านสะดวกซื้อ โดยอ้างอิงจากขนาดของอุปกรณ์ทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั้งหมด จำนวน 4 ตัว และใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Toshiba Carrier (Thailand) Co., Ltd. [24] ซึ่งจะมีการกำหนดการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม EnergyPlus และโปรแกรม Openstudio โดยขนาดการทำความเย็นของระบบแยกส่วน และขนาดพื้นที่ที่มีการใช้งานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก. ซึ่งลักษณะคอยล์เย็นสำหรับใช้งานจริงภายในร้านสะดวกซื้อ ดังรูปที่ 4.21 และแสดงตำแหน่งสำหรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศทั้งหมด 4 ตัว ภายในร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 รูปถ่ายลักษณะของคอยล์เย็น หรือ Indoor Unit ภายในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 4.22 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั้ง 4 ตัว ภายในร้านสะดวกซื้อ

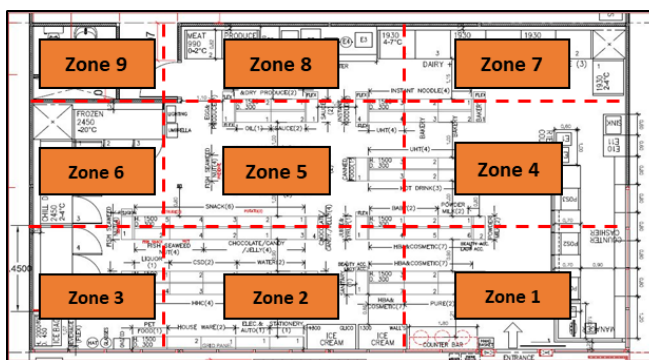
ตารางที่ 4.9 รายละเอียดเฉพาะเจาะจงของคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่ใช้ภายในร้านสะดวกซื้อ

Model name		Under Ceiling Type
Indoor Unit		RAV-SE1001CP-T
Outdoor Unit		RAV-TE1001A8-T
Cooling Capacity (*1)	kW	9.70 (4.0 - 11.2)
Power consumption (*1)	kW	3.00 (0.80 - 3.77)
EER (*1)	-	3.23 (5.00 - 2.97)
Standard air flow H/M/L	m ³ /min	29.2 / 25.3 / 19.7
Compressor	kW	3.00
Operation range	°CDB	15 to 46
Refrigerant	Type	R-410A

Cooling Capacity (*1) Indoor air temperature 27°C DB/19°C WB, Outdoor air temperature 35°C DB

4.2.4 การแบ่งโซนการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบทำความเย็น

สำหรับหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการแบ่งโซนการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ Mini Big C เพื่อทำการวิเคราะห์ผลลัพท์จากการจำลองพลังงาน เช่น อุณหภูมิในแต่ละโซน, ภาระการทำความเย็น และ การใช้พลังงานโดยรวม เป็นต้น โดยทำการแบ่งโซนการทำงานได้ ดังรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.10 ตามลำดับ

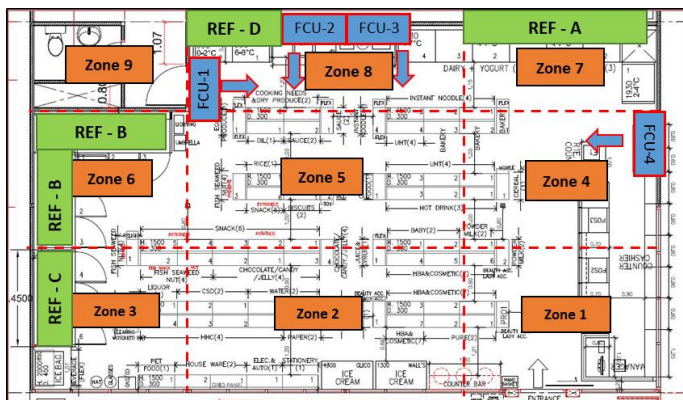


รูปที่ 4.23 การแบ่งโซนการทำงานภายในร้านสะดวกซื้อ

ตารางที่ 4.10 การแบ่งโซนการทำงานภายในร้านสะดวกซื้อ

โซนการทำงาน	พื้นที่ (ตารางเมตร)		
พื้นที่ปรับอากาศ	Zone1	21	139
	Zone2	21	
	Zone3	14	
	Zone4	21	
	Zone5	21	
	Zone6	14	
	Zone7	13.5	
	Zone8	13.5	
ไม่ใช่พื้นที่ปรับอากาศ	Zone9	9	

เนื่องจากการใช้งานโปรแกรม Openstudio มีข้อจำกัดในการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้ 1 ตัว ต่อ 1 โซน โดยสามารถกำหนดตำแหน่งของเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และ กำหนดให้มีการควบคุมปริมาณลมบริเวณโซนนั้น ๆ เพื่อให้สามารถทำการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในร้านสะดวกซื้อและตู้เย็นได้ โดยจากการศึกษาและเก็บข้อมูลสถานที่ใช้งานจริงแล้ว สามารถแสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศทั้ง 4 ตัว ตู้เย็น 4 ตัว และบริเวณโซนที่มีการควบคุมปริมาณลมได้ ดังรูปที่ 4.24 และตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.24 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และบริเวณโซนที่มีการควบคุมปริมาณการกระจายลม

ตารางที่ 4.11 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศทั้ง 4 ตัว ตู้เย็น 4 ตัว และบริเวณโซนที่มีการควบคุมปริมาณการกระจายลม

	คำสัญลักษณ์	ตำแหน่งการติดตั้ง	บริเวณโซนที่มีการควบคุมปริมาณการกระจายลม
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	FCU - 1	Zone8	Zone8
	FCU - 2	Zone8	Zone5
	FCU - 3	Zone8	Zone5
	FCU - 4	Zone4	Zone4
ระบบทำความเย็น (ตู้เย็น)	REF - A	Zone7	Zone7
	REF - B	Zone6	Zone6
	REF - C	Zone3	Zone3
	REF - D	Zone8	Zone8

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดของอุปกรณ์หลัก ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ

อุปกรณ์หลัก	ขนาด	อายุการใช้งาน
FCU-1, FCU-2, FCU-3 และ FCU-4	34,000 Btu/hr, SEER = 17.4 Btu/hr/W Power Consumption = 3.0 kW	3 - 4 ปี
REF-A และ REF-D	PATTON, รุ่น CZB400, Nom. 4.0 hp, แรงดันไฟฟ้า 380-420V/ 3phase/ 50Hz	มีอายุเท่ากับร้านสะดวกซื้อ
REF-B	PATTON, รุ่น CZB600, Nom. 6.0 hp, แรงดันไฟฟ้า 380-420V/ 3phase/ 50Hz	มีอายุเท่ากับร้านสะดวกซื้อ
REF-C	PATTON, รุ่น CZB250, Nom. 2.5 hp แรงดันไฟฟ้า 380-420V/ 3phase /50Hz	มีอายุเท่ากับร้านสะดวกซื้อ

4.3 การกำหนดค่าเพื่อใช้คำนวณกราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve)

จากบทที่ 3 ในหัวข้อ 3.3 ที่ได้อธิบายเกี่ยวกับการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็น ซึ่งจำเป็นต้องมีการนำค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ค่า Capacity และ Energy Input Ratio (EIR) ของระบบปรับอากาศนั้น ๆ มาเป็นฟังก์ชันในการสร้างเส้นกราฟประสิทธิภาพดังกล่าวนี้ ซึ่งจากสมการ Biquadratic Curve คือ $Z = C_1 + C_2X + C_3X^2 + C_4Y + C_5Y^2 + C_6XY$

โดยที่ X คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)

Y คือ ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)

Z คือ ค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (W) และพลังงานของคอมเพรสเซอร์ (W) รวมกับพลังงานของพัดลมระบายความร้อน (W)

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 และ C_6 คือ ค่าคงที่ของสมการ Biquadratic Curve เพื่อนำไปใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ในหัวข้อของ Curve ดังรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.13 ตามลำดับ

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Quadratic curve with two independent variables. Input consists of the curve name, the six coefficients, and min and max values for each of the independent variables. Optional inputs for curve minimum and maximum may be used to limit the output of the performance curve. curve = C1 + C2*x + C3*x^2 + C4*y + C5*y^2 + C6*x*y

Field Description:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		05 Curve Biquadrat	05 Curve Biquadrat	Biquadratic Toshiba	Biquadratic Toshiba
Coefficient1 Constant		0.42415	1.23649	-0.1125011658	0.937344731
Coefficient2 x		0.04436	-0.02431	0.012636330	0.0043337355
Coefficient3 x^2		-0.00042	0.00057	-0.0007291025	-0.000331742
Coefficient4 y		0.00333	-0.01434	0.0224702625	0.0009889579
Coefficient5 y^2		-0.00008	0.00063	-0.0003562519	-0.0000252867
Coefficient6 x*y		-0.00021	-0.00036	-0.0003838825	0.0000192501
Minimum Value of x	vars	17	17	14	14
Maximum Value of x	vars	22	22	22	22
Minimum Value of y	vars	13	13	29	29
Maximum Value of y	vars	46	46	46	46
Minimum Curve Output	vars				
Maximum Curve Output	vars				
Input Unit Type for X					
Input Unit Type for Y					
Output Unit Type					

รูปที่ 4.25 การนำค่าตัวแปรไปสร้างกราฟประสิทธิภาพสำหรับโปรแกรม EnergyPlus

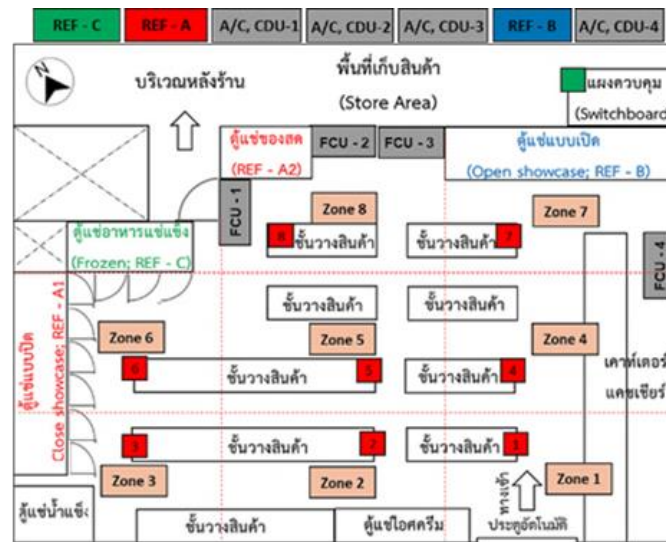
ตารางที่ 4.13 ค่าตัวแปรเพื่อสร้างกราฟประสิทธิภาพสำหรับโปรแกรม EnergyPlus

ตัวแปร		Capacity Equation	Energy Input Ratio (EIR) Equation
X	Minimum	14	14
	Maximum	22	22
Y	Minimum	29	29
	Maximum	46	46
C ₁		-0.1953121858	0.937844731
C ₂ X		0.0725875208	0.0042287205
C ₃ X ²		-0.0007291035	-0.0000933742
C ₄ Y		0.0224702665	0.0009885979
C ₅ Y ²		-0.0003562519	-0.0000252867
C ₆ XY		-0.0003838825	0.0000192601

โดยการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ สามารถทำได้โดยวิธีการนำข้อมูลเฉพาะเชิงเทคนิคของเครื่องปรับอากาศ [24] ดังภาคผนวก ก.2 นำมาทำการ Validation ผ่านเครื่องมือที่ติดมากับโปรแกรม EnergyPlus โดยสามารถหาได้จากแฟ้มที่ชื่อว่า HVACCurveFitTool และใช้ไฟล์ที่ชื่อว่า CurveFitTool ในการสร้างสมการเหล่านี้ขึ้นมา โดยการสร้างกราฟประสิทธิภาพนี้มีการใช้สมการหลัก ๆ ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน คือ สมการ Biquadratic Curve และได้แสดงวิธีการหาสมการนี้ ดังภาคผนวก ข

4.4 อุปกรณ์การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

หัวข้อนี้เป็นการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ ซึ่งการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น จะต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดภายในร้านสะดวกซื้อ

4.4.1 การตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การใช้งานระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ ได้ถูกติดตั้งไว้ก่อนที่จะตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่ากำลังไฟฟ้า ซึ่งร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีการทำความเย็น การปรับอากาศ และมีอากาศไหลเข้าออกอยู่ตลอดเวลาเมื่อมีผู้เข้ามาใช้บริการ ดังนั้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ จึงต้องกำหนดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้สามารถใช้อุปกรณ์ชนิดเดียวกัน คือ Temperature and Humidity Sensors ดังรูปที่ 4.27 โดยกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อแห่งนี้เป็นโซนอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 8 ตำแหน่ง เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัด เนื่องจากแต่ละโซนอุณหภูมิมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน ควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น บริเวณประตูทางเข้าออก บริเวณที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศและไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากดวงอาทิตย์โดยตรง เป็นต้น ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์นั้น จะถูกติดตั้งบริเวณภายในร้านสะดวกซื้อที่ตำแหน่งดังกล่าว ตามที่ได้วางแผนการติดตั้งไว้ก่อน

เริ่มต้นตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยการติดตั้งอุปกรณ์จะติดตั้งสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร บริเวณด้านบนของชั้นวางสินค้าหรือเสาของตัวอาคาร (สัญลักษณ์กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.27 อุปกรณ์การตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

4.4.2 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า

การศึกษาในส่วนต่อไป คือ การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ ซึ่งส่วนนี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ 4 เครื่อง ตู้เย็น 3 เครื่อง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ สามารถแบ่งออกเป็น 8 ตำแหน่งภายในร้านสะดวกซื้อ ดังรูปที่ 4.26 เช่นเดียวกัน สำหรับการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ดังกล่าว ได้ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า ดังนี้ สำหรับการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น ให้ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์แบบแยกเฟสและนำค่าจากการตรวจวัดแต่ละเฟสนั้นมารวมกัน ส่วนการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ให้ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าโดยรวมของร้านสะดวกซื้อและนำมาหักลบออกจากผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น โดยค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ จะทำการตรวจวัดค่าที่บริเวณแผงควบคุม (Switchboard) เนื่องจากเป็นจุดศูนย์รวมค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดภายในร้านสะดวกซื้อ ซึ่งติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ (Power Meter Set) ที่บริเวณด้านหลังของร้านสะดวกซื้อ ประกอบด้วย Multi Channel Meter 18 Circuits ดังรูปที่ 4.28 ตัววัดกระแสไฟฟ้าแบบแกนแยก (Current Transformer Split Core Sensor) ดังรูปที่ 4.29 โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 4 เครื่อง ตู้เย็น 3 เครื่อง และอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด การติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ที่บริเวณด้านหลังร้านสะดวกซื้อหรือพื้นที่เก็บสินค้า (Store Area) ที่บริเวณแผงควบคุม (Switchboard) เนื่องจากเป็นจุดศูนย์รวมค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดภายในร้านสะดวกซื้อ (สัญลักษณ์กรอบสี่เหลี่ยมสีเขียว) ดังรูปที่ 4.26 และรายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.28 Multi Channel Meter 18 Circuits



รูปที่ 4.29 ตัววัดกระแสไฟฟ้าแบบแกนแยก (Current Transformer Split Core Sensor)

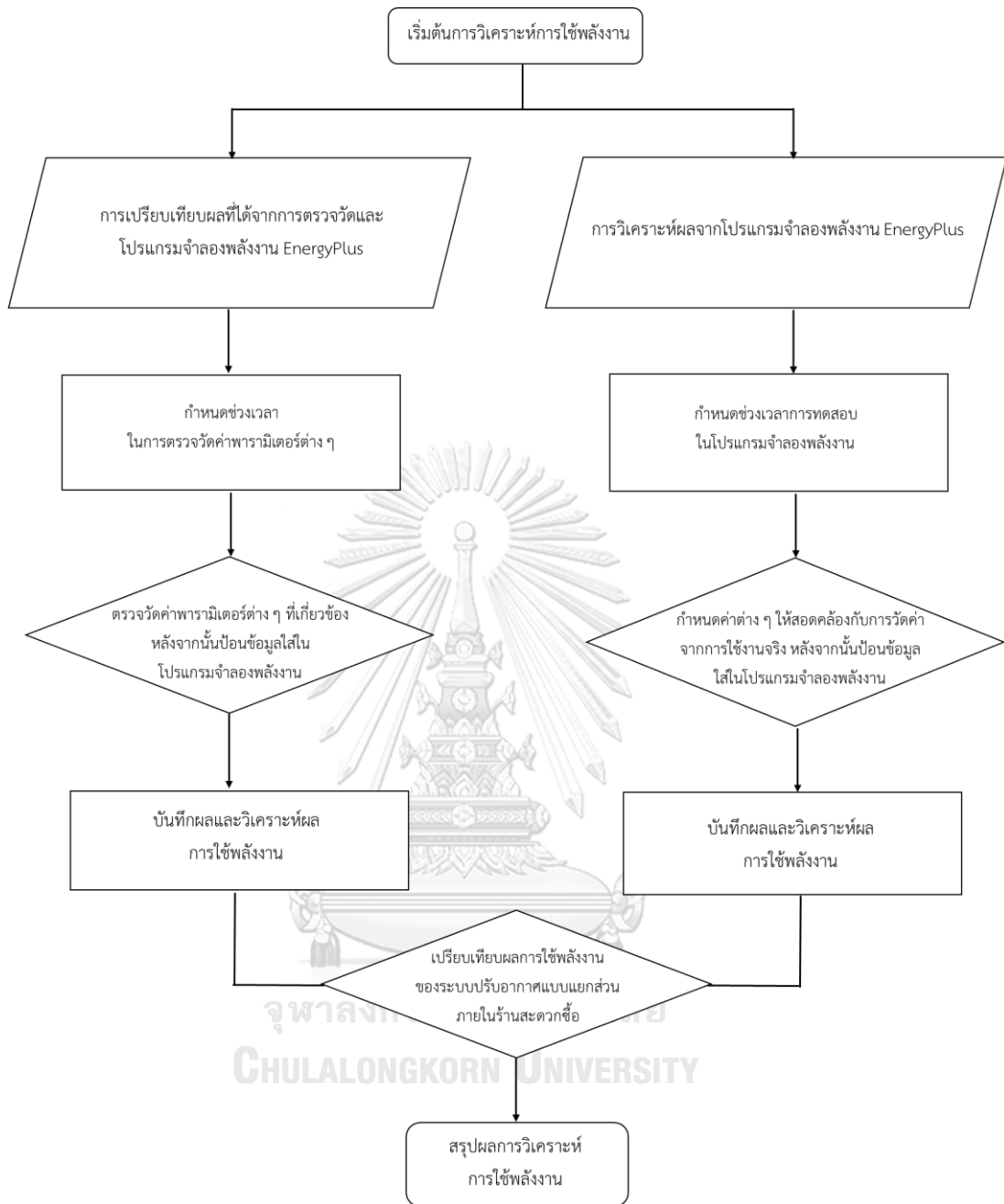
ตารางที่ 4.14 รายละเอียดของอุปกรณ์การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ยี่ห้อ (รุ่น)	ความละเอียด
อุณหภูมิ	HOBO MX Temp/ RH Data Logger (MX1101)	ช่วงการวัด: -20° ถึง 70 °C ความแม่นยำ: $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ จาก 0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	HOBO MX Temp/ RH Data Logger (MX1101)	ช่วงการวัด: 1% ถึง 90% ความแม่นยำ: $\pm 2\%$ จากการช่วงวัด โดยทั่วไป 20% ถึง 80% และมีค่า $\pm 6\%$ เมื่อต่ำกว่า 20% และสูงกว่า 80%
ค่ากำลังไฟฟ้า		
1) Multi Channel Meter 18 Circuits	N/A	ช่วงการวัด: L-N 30-550 VAC; L-L 550 VAC ความแม่นยำ: แรงดันไฟฟ้า 0.20%, กระแสไฟฟ้า 0.20%, กำลังไฟฟ้า 0.50% และความถี่ 0.1 เฮิร์ต
2) Current Transformer (CT)	N/A	- Output 333 mV (AC), กระแสไฟฟ้า 50 แอมป์, ความถี่สูงสุด 400 เฮิร์ต - Class 0.5 Ratio 3000:1

บทที่ 5 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

จากบทก่อนหน้าที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ Mini Big C ที่ได้แสดงถึงวิธีการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ, วิธีการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงาน, กำหนดรูปแบบตารางการใช้งานของร้านสะดวกซื้อ และวิธีการหากราฟประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

สำหรับบทนี้จะอธิบายถึงผลลัพธ์จากการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงาน เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่ต้องการทำการศึกษาภายในร้านสะดวกซื้อ Mini Big C แห่งนี้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ภาระการทำความเย็น และการใช้พลังงานโดยรวม เป็นต้น โดยอยู่ภายใต้สมมติฐานที่มีการพิจารณาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ระบบทำความเย็นที่อยู่ภายในร้านสะดวกซื้อ คือ ตู้เย็น สามารถทำให้เกิดภาระการทำความเย็นได้เช่นเดียวกัน และได้ทำการศึกษาในส่วนนี้เพิ่มเติม เพื่อให้การวิเคราะห์ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นมีความลึกซึ้งมากขึ้น ดังนั้นในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน จึงได้ศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นหลัก โดยได้พิจารณาการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นประกอบด้วย ซึ่งการทดลองในโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus โดยใช้ข้อมูลการป้อนเข้าในโปรแกรมของค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยา ในปี พ.ศ. 2561 ดังรูปที่ 4.12 ในบทก่อนหน้า



รูปที่ 5.1 แผนผังการทดลองเพื่อการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ

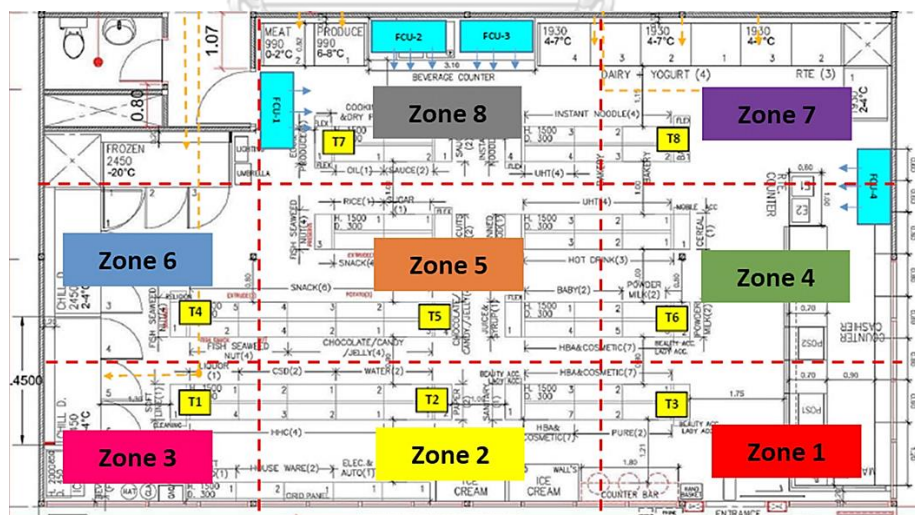
จากรูปที่ 5.1 ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจวัดและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus และ ส่วนที่ 2 คือ การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ดังนี้

5.1 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจวัดและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาทำนายพฤติกรรมและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ ได้ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ 3 ค่า ได้แก่ อุณหภูมิ กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ ระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน ซึ่งได้ทำการตรวจวัดต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ผลการตรวจวัด กำหนดให้ช่วงวันที่ 14 – 20 มีนาคม พ.ศ. 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน และช่วงวันที่ 11 – 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 เป็นตัวแทนของฤดูฝน ตามลำดับ จากนั้นทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และนำมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานระหว่างการตรวจวัดค่าจากการใช้งานและโปรแกรมจำลองพลังงาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 กำหนดแผนผังตำแหน่งโซนอุณหภูมิ

กำหนดให้แผนผังแสดงตำแหน่งโซนอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus เพื่อที่จะทราบว่าในแต่ละโซนอุณหภูมิ มีพฤติกรรมการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างไรในระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝนที่ได้ทำการพิจารณา ดังรูปที่ 5.2 และตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 แผนผังแสดงตำแหน่งโซนอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อ ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน

ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งโซนอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง
และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

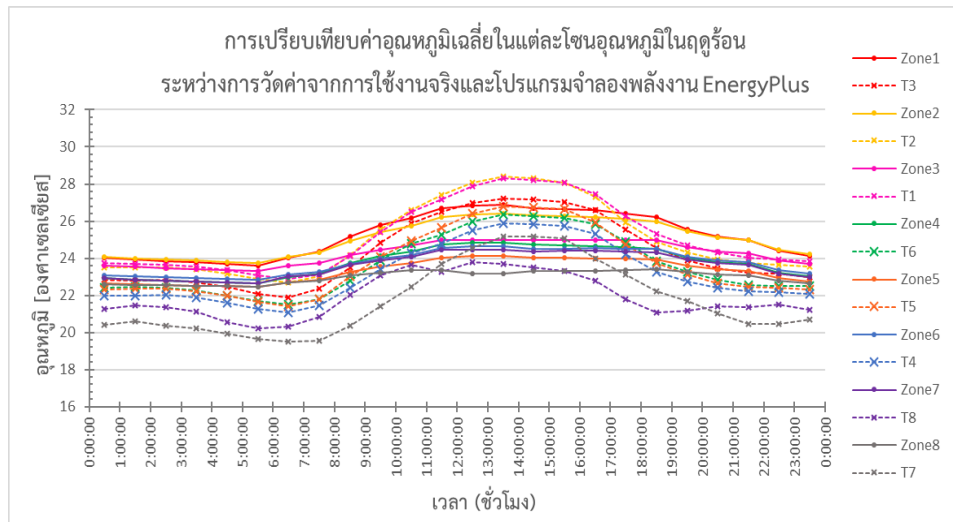
ตำแหน่งโซนอุณหภูมิ สำหรับการวัดค่าจากการใช้งานจริง	ตำแหน่งโซนอุณหภูมิ สำหรับการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus
T1	Zone 3
T2	Zone 2
T3	Zone 1
T4	Zone 6
T5	Zone 5
T6	Zone 4
T7	Zone 8
T8	Zone 7

5.1.2 การวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

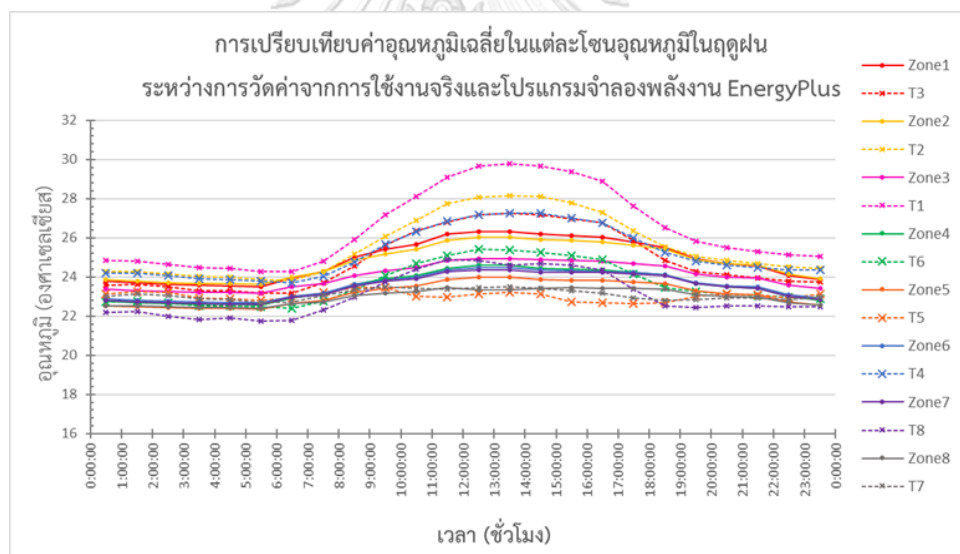
การวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนแต่ละ
ฤดูกาล สามารถแบ่งการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานจากการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรม
จำลองพลังงาน EnergyPlus ได้ 2 ลักษณะ โดยแบ่งตามฤดูกาล ดังนี้

5.1.2.1 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเฉลี่ย

การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละโซนอุณหภูมิระหว่างการวัดค่า
จากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน พบว่า ผลจาก
การใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการวัดค่าจากการใช้
งานจริง ดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละโซนอุณหภูมิในฤดูร้อน
ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

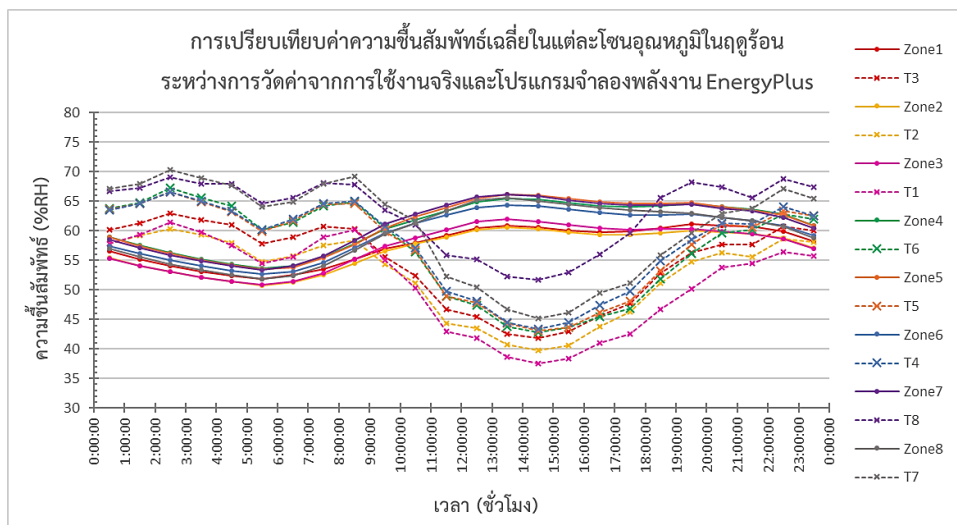


รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละโซนอุณหภูมิในฤดูฝน
ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

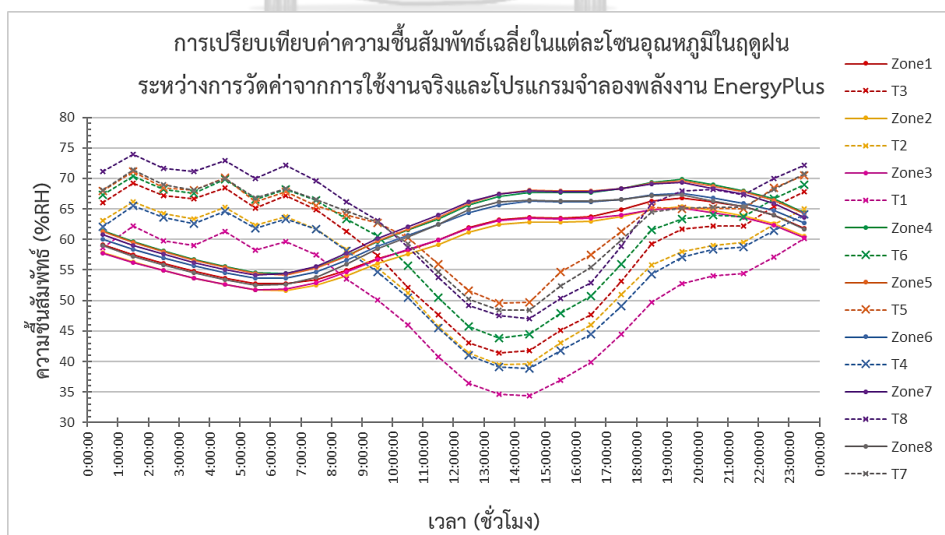
จากการสังเกตการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน พบว่าอุณหภูมิที่ได้จากการใช้งานจริงจะมีค่าที่แกว่งขึ้นลงในช่วงกลางวันและกลางคืนที่มากกว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลอง ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในรูปที่ 4.26 ที่ทำให้เกิดการกระจายลมเย็นอย่างไม่สม่ำเสมอภายในร้านสะดวกซื้อ เป็นผลให้บริเวณด้านหน้าของร้านสะดวกซื้อีอุณหภูมิสูงกว่าค่าเฉลี่ย

5.1.2.2 การวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

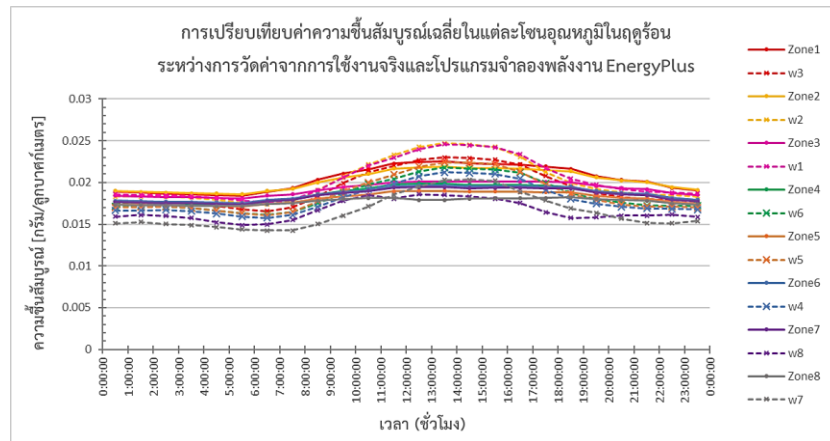
การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน พบว่า ผลจากการใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงข้ามกับการวัดค่าจากการใช้งานจริง แต่ยังมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิ ดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ตามลำดับ



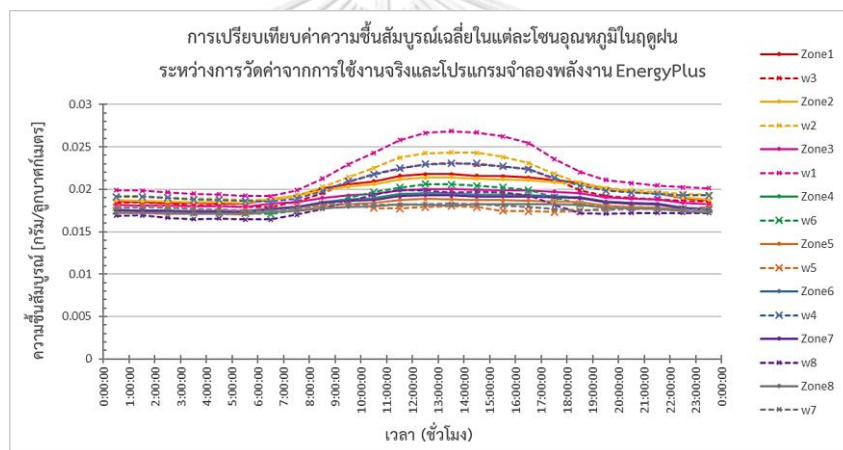
รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในฤดูร้อนระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในฤดูฝนระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus



รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยในฤดูร้อนระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

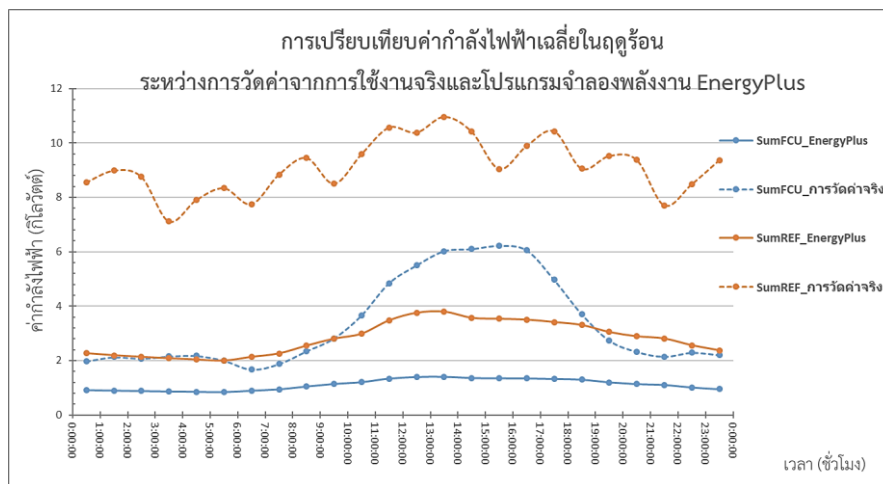


รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยในฤดูฝนระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

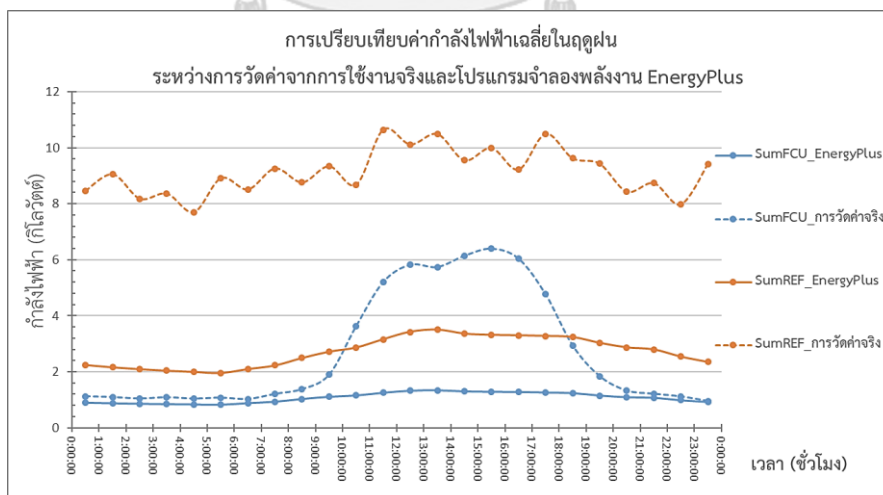
จากการวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการวัดค่าจากการใช้งานจริงและการใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน ในลักษณะของค่าเฉลี่ย พบว่า ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ บริเวณโซนอุณหภูมิใกล้กับประตูทางเข้าสำหรับการวัดค่าจากการใช้งานจริงมีค่าสูงกว่าการใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน เนื่องจากการใช้งานประตูอัตโนมัติตลอดเวลาช่วงเวลาที่ผู้เข้ามาใช้บริการร้านสะดวกซื้อ โดยค่าความชื้นสัมบูรณ์เฉลี่ยของการวัดค่าจากการใช้งานจริงที่บริเวณภายนอกร้านสะดวกซื้อของฤดูร้อนและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 0.02893 และ 0.03024 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าภายในร้านสะดวกซื้อ ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มไปคนละทิศทาง แสดงดังรูปที่ 5.3 ถึงรูปที่ 5.8

5.1.2.3 การวิเคราะห์ผลของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน พบว่า ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าโดยรวมของทั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็น ซึ่งการวัดค่าจากการใช้งานจริงมีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้โปรแกรมจำลองพลังงานค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10



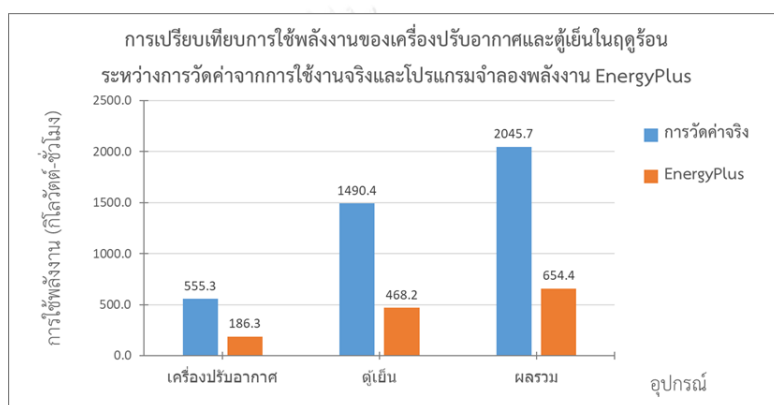
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในฤดูร้อน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในฤดูฝน ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริง และโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

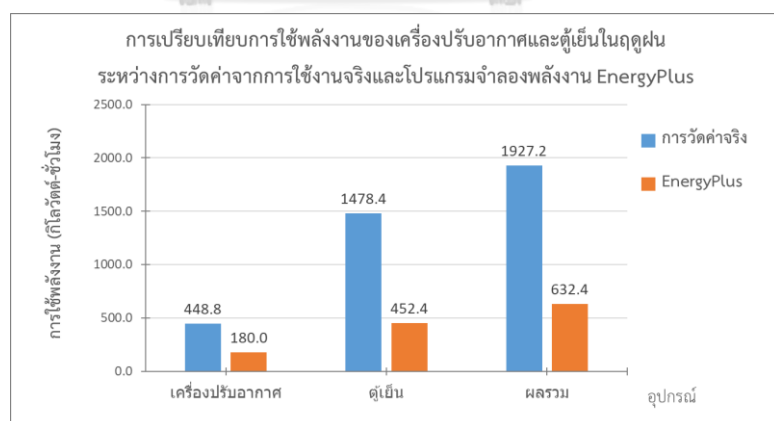
5.1.2.4 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศและตู้เย็นระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus ทั้งฤดูร้อนและฤดูฝน พบว่า ผลรวมของการใช้พลังงานโดยรวมทั้งเครื่องปรับอากาศและตู้เย็น ซึ่งการวัดค่าจากการใช้งานจริงมีค่าสูงกว่าค่าจากโปรแกรมจำลองพลังงานค่อนข้างมาก โดยมีสัดส่วนผลต่างประมาณ 3 เท่า เนื่องจากผลของค่าการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยค่า Infiltration ที่มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงตามหัวข้อ 4.2.1.5 นั้น ส่งผลให้ภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของโปรแกรมจำลองพลังงานมีค่าน้อยกว่าการวัดค่าจากการใช้งานจริง 3 เท่า ดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในฤดูร้อน

ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในฤดูฝน

ระหว่างการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

ส่วนการวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงาน ดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 นั้น สามารถนำมาแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนการใช้พลังงานที่มีความแตกต่างกันได้มากยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศและตู้เย็นระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝน โดยเปรียบเทียบจากการวัดค่าจากการใช้งานจริงและโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

อุปกรณ์	การใช้พลังงาน โดยการวัดค่าจากการใช้งานจริง				การใช้พลังงาน โดยการใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus			
	ฤดูร้อน		ฤดูฝน		ฤดูร้อน		ฤดูฝน	
	kWh	ร้อยละ	kWh	ร้อยละ	kWh	ร้อยละ	kWh	ร้อยละ
เครื่องปรับอากาศ	555.3	27.1	448.8	23.3	186.3	28.5	180.0	28.5
ตู้เย็น	1490.4	72.9	1478.4	76.7	468.2	71.5	452.4	71.5
ผลรวม	2045.7	100	1927.2	100	654.4	100	632.4	100

5.2 การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus

จากการที่ได้ทำการศึกษาตามข้อที่ 5.1 พบว่า จากการกำหนดแผนผังตำแหน่งโซนอุณหภูมิภายในร้านสะดวกซื้อและการวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus จำลองการใช้พลังงานเปรียบเทียบกับค่าจากการใช้งานจริงนั้น ให้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อตลอดทั้งปี (12 เดือน) โดยกำหนดให้ร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีช่วงระยะเวลาในการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อทำนายและวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อ โดยใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน EnergyPlus เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยจะเน้นการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงาน ซึ่งนำผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมจำลองพลังงานไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ และทำการวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อมาเปรียบเทียบกัน โดยนำผลลัพธ์จากโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus เพื่อศึกษาว่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ มีพฤติกรรมอย่างไร สามารถการวิเคราะห์ผลจำลองการใช้พลังงานได้ออกเป็น 3 ส่วน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

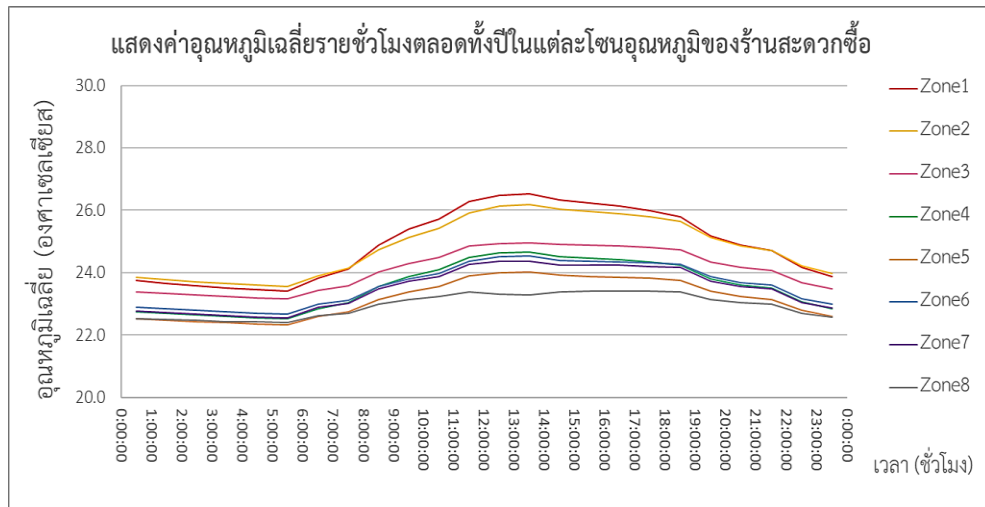
5.2.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนรายชั่วโมงตลอดปี

เป็นผลการใช้พลังงานรวมของร้านสะดวกซื้อรายชั่วโมงตลอดทั้งปี พ.ศ. 2561 ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยใช้พลังงานดังกล่าวได้จาก output จากการจำลองการใช้พลังงานผ่านทุกรูปแบบของการใช้งานในหัวข้อ 4.2.2 การกำหนดรูปแบบตารางการใช้งานสำหรับร้านสะดวกซื้อ Mini Big C ดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.20 ตามลำดับ ด้วยโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus กำหนดให้การใช้พลังงานรวมคือผลรวมของการใช้พลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดสำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการกำหนดแผนผังของร้านสะดวกซื้อเพื่อใช้ในโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus จากหัวข้อที่ 4.2.4 และตารางที่ 4.11 และนำผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ในลักษณะของค่าเฉลี่ย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงาน มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเฉลี่ย

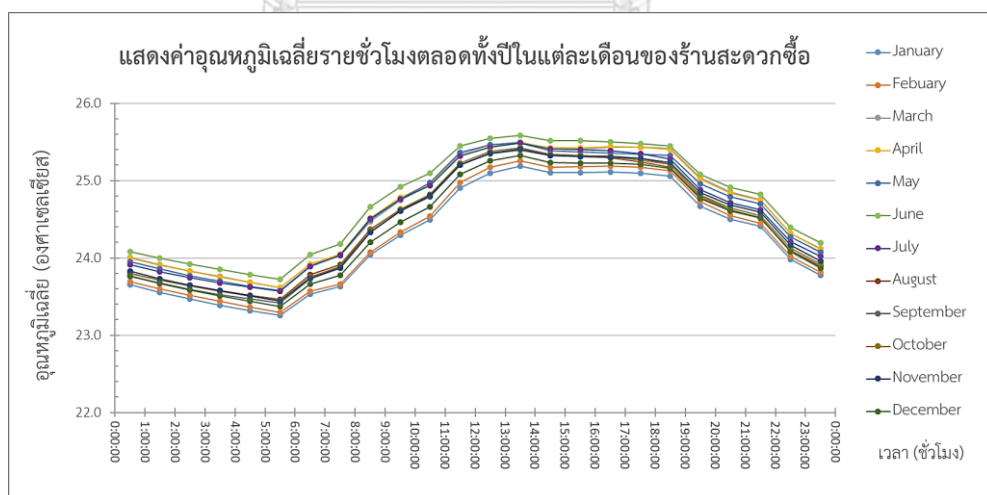
เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีภายในร้านสะดวกซื้อโดยการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานแล้ว สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1) อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อพบว่า สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มของโซนที่อยู่บริเวณด้านหน้าของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ความเย็นจากเครื่องปรับอากาศไปไม่ถึงหรือที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง ได้แก่ Zone1 Zone2 และ Zone3 กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มของโซนที่อยู่บริเวณช่วงกลางของร้านสะดวกซื้อ และได้รับผลกระทบโดยตรงจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็นแบบประตูเปิด ได้แก่ Zone5 และ Zone8 และกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มของโซนที่อยู่บริเวณด้านข้างและด้านหลังของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งเป็นบริเวณจุดอับลมและอยู่ตำแหน่งใต้การส่งลมเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้แก่ Zone4 Zone6 และ Zone7 ซึ่งพฤติกรรมของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในร้านสะดวกซื้อ มีแนวโน้มตามการกำหนดรูปแบบตารางการใช้งานของร้านสะดวกซื้อ มีลักษณะคล้ายกับระฆังคว่ำ ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ

2) อุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีของเดือนมิถุนายนจะมีค่ามากที่สุด และเดือนมกราคมจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับในแต่ละเดือน ซึ่งพฤติกรรมของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในร้านสะดวกซื้อ มีแนวโน้มตามการกำหนดรูปแบบการใช้งานของร้านสะดวกซื้อ มีลักษณะคล้ายกับระฆังคว่ำเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 5.14

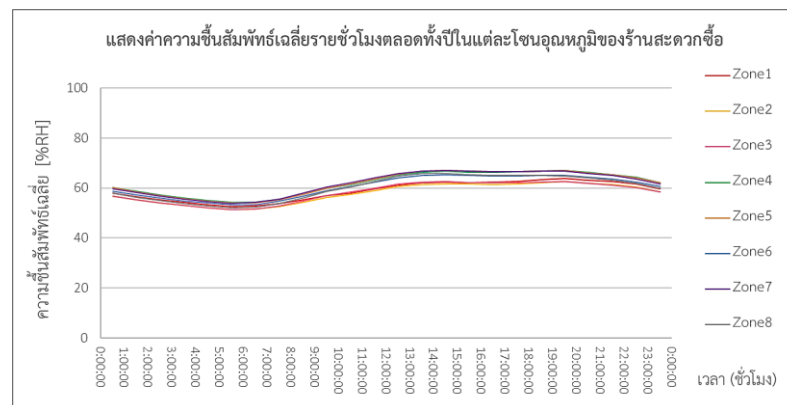


รูปที่ 5.14 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

5.2.1.2 การวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

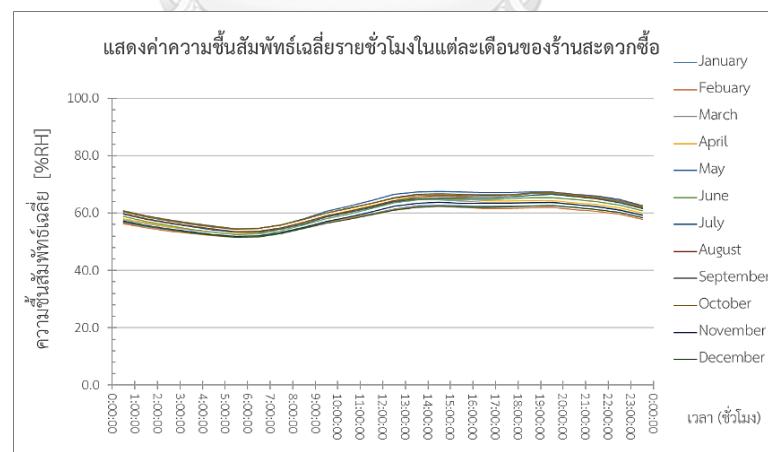
เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีภายในร้านสะดวกซื้อโดยการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานแล้ว สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ

2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ ดังรูปที่ 5.16



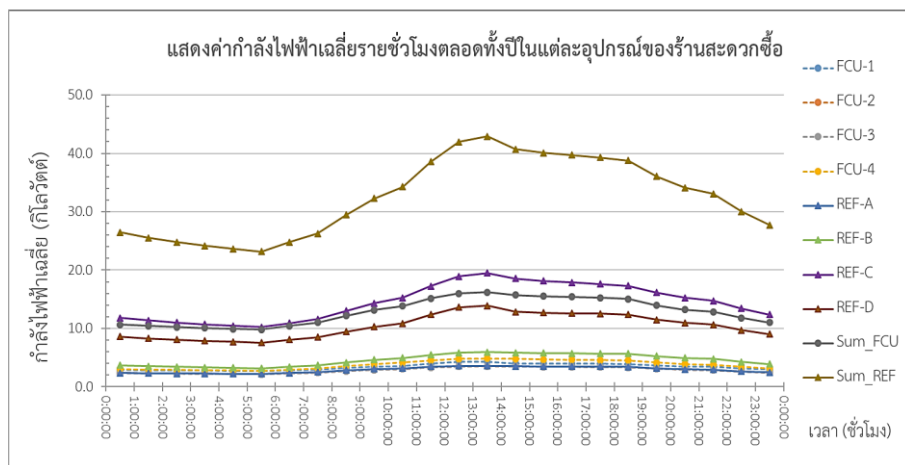
รูปที่ 5.16 ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

ซึ่งจากรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16 พบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

5.2.1.3 การวิเคราะห์ผลของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีภายในร้านสะดวกซื้อโดยการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานแล้ว สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

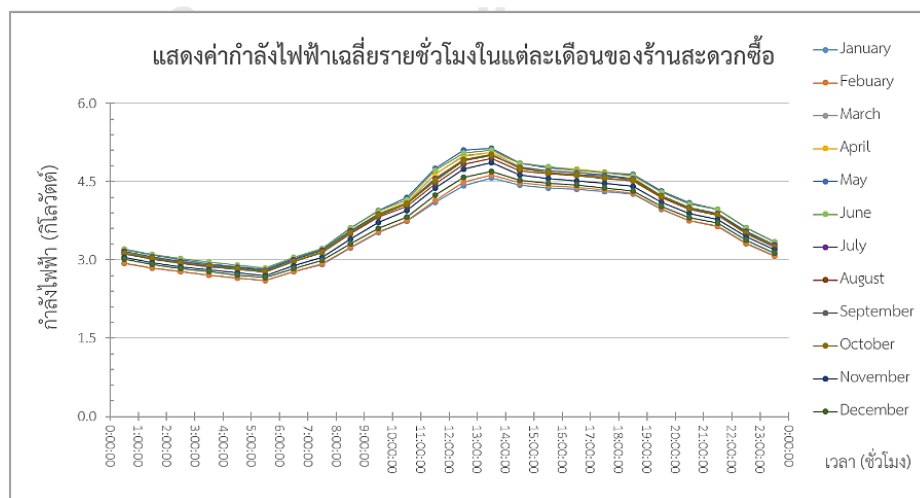
1) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละอุปกรณ์ของร้านสะดวกซื้อ เพื่อทำนายพฤติกรรมการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในร้านสะดวกซื้อ พบว่า สัดส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าของตู้เย็นมีค่ามากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละอุปกรณ์ของร้านสะดวกซื้อ

2) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

ดังรูปที่ 5.18



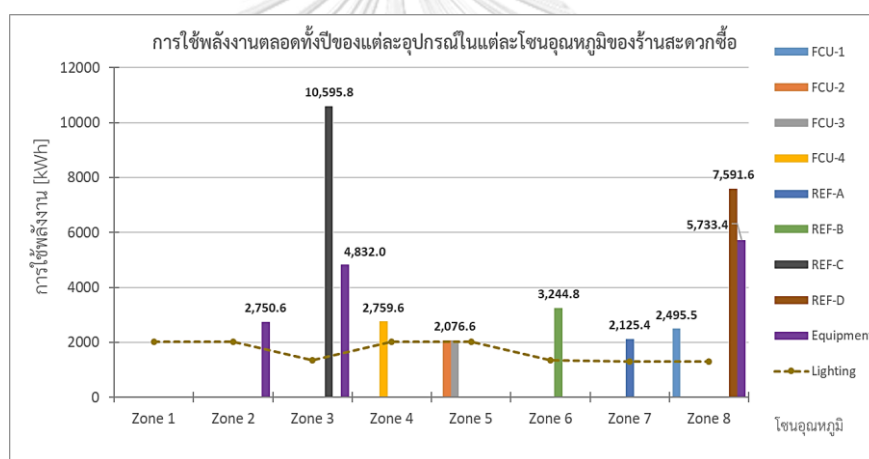
รูปที่ 5.18 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

ซึ่งจากรูปที่ 5.17 และรูปที่ 5.18 พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันเช่นกัน และ ยังส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ผลของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ตามที่ได้แสดงในข้อที่ 5.2.1.1 ก่อนหน้านี้

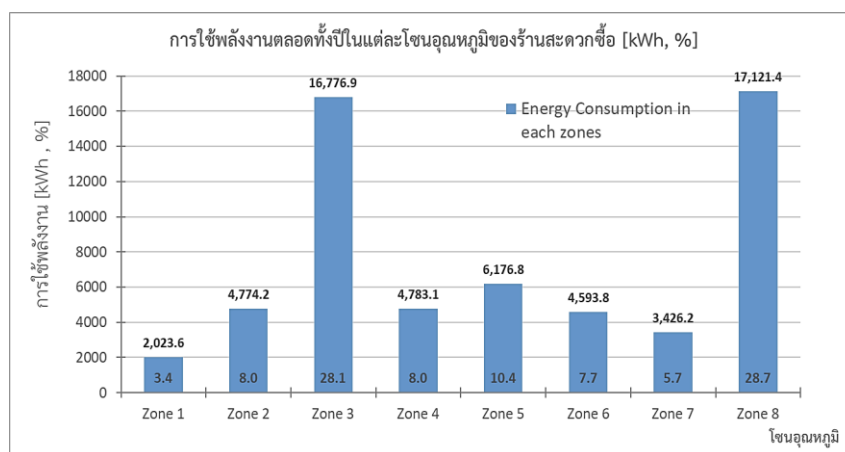
5.2.1.4 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงาน

ในส่วนนี้ค่อนข้างมีความสำคัญและแสดงให้เห็นถึงภาพรวมการจำลองการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อ โดยการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานเพื่อนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

1) การใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละโซนอุณหภูมิในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง และ ร้อยละของการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 ตามลำดับ



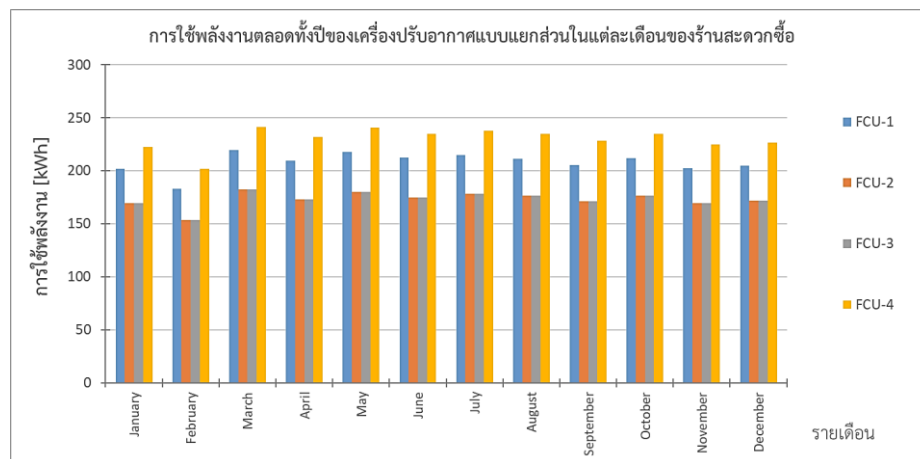
รูปที่ 5.19 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 5.20 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ

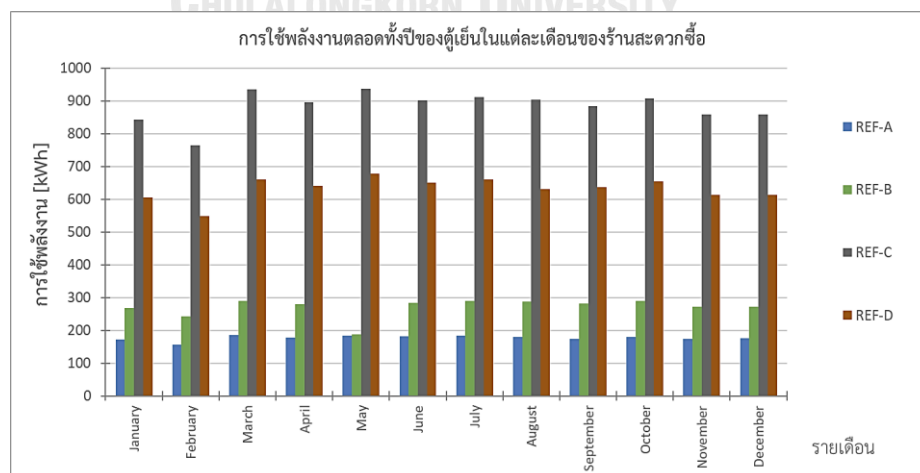
2) การใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดสำหรับร้านสะดวกซื้อ ดังนี้

2.1) การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ แสดงให้เห็นว่า ร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม ดังรูปที่ 5.21



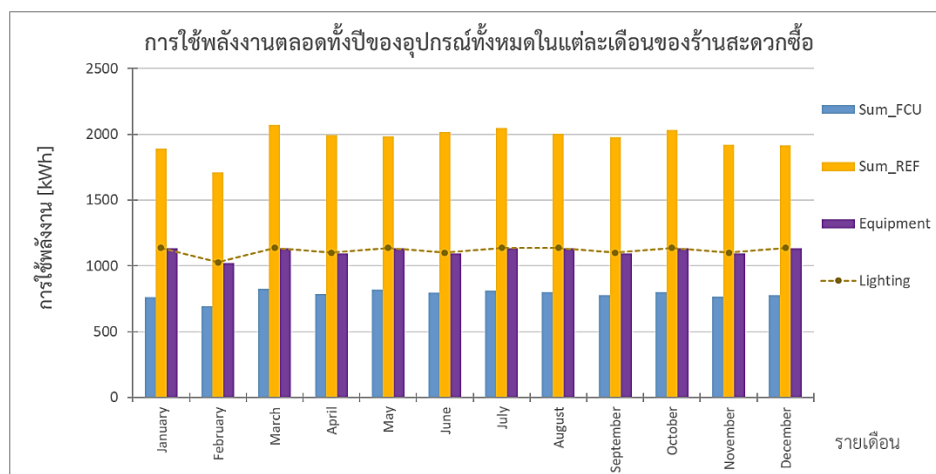
รูปที่ 5.21 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในแต่ละเดือน

2.2) การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของผู้เย็นในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ แสดงให้เห็นว่า ร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีส่วนการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของผู้เย็นในแต่ละเดือนค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 5.22



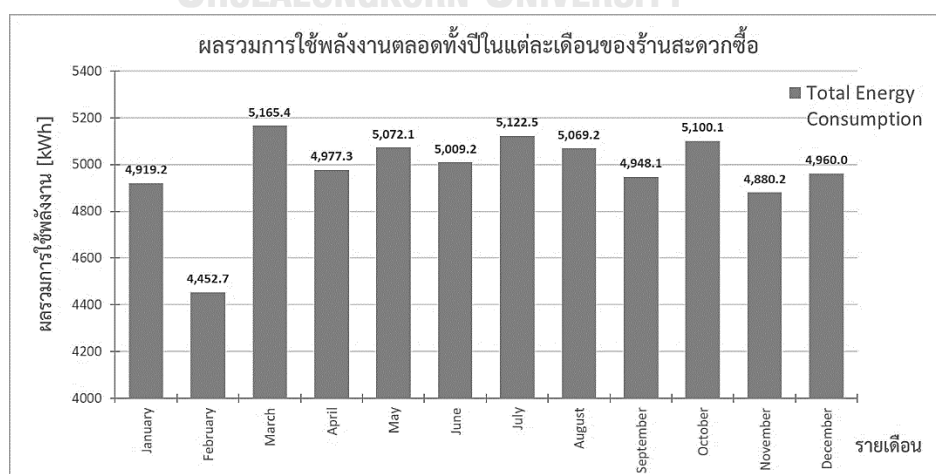
รูปที่ 5.22 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของผู้เย็นในแต่ละเดือน

2.3) การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ตู้เย็น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และระบบแสงสว่าง แสดงให้เห็นว่า ร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีสัดส่วนการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดค่อนข้างแตกต่างกันในแต่ละเดือน และสัดส่วนการใช้พลังงานของตู้เย็นมีค่ามากที่สุด ดังรูปที่ 5.23



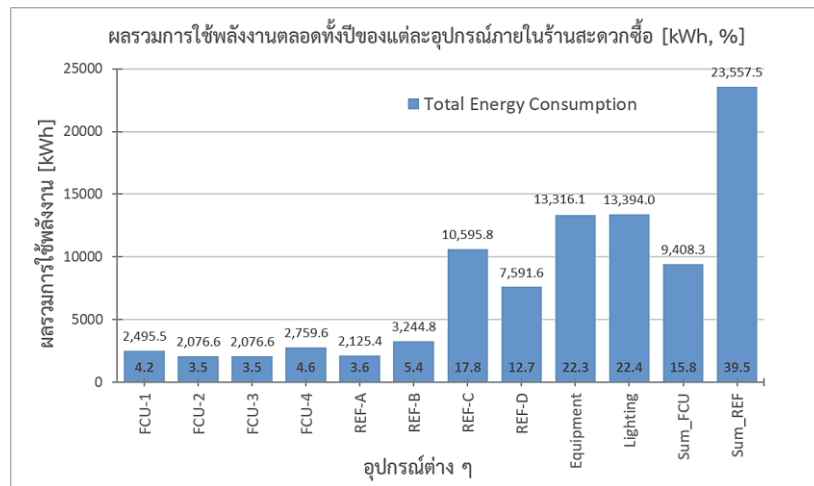
รูปที่ 5.23 การใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

2.4) ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ แสดงให้เห็นว่า ร้านสะดวกซื้อแห่งนี้มีสัดส่วนของผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนพบว่า ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อมากที่สุด คือ เดือนมีนาคม ดังรูปที่ 5.24

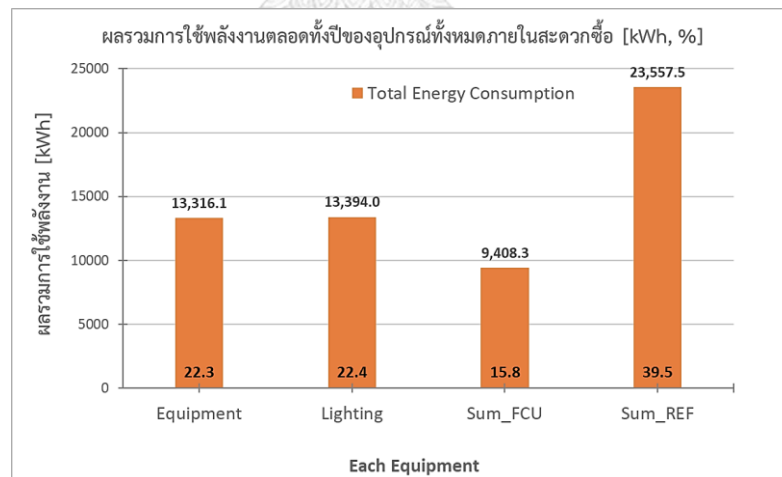


รูปที่ 5.24 ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

3) ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดของร้านสะดวกซื้อ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ตู้เย็น อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และระบบแสงสว่าง เพื่อแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนในการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง และร้อยละของการใช้พลังงานของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในร้านสะดวกซื้อ แสดงดังรูปที่ 5.25 และรูปที่ 5.26 ตามลำดับ



รูปที่ 5.25 ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของแต่ละอุปกรณ์ภายในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 5.26 ผลรวมการใช้พลังงานตลอดทั้งปีของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในร้านสะดวกซื้อ

5.2.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต่อขนาดพื้นที่ใช้งานจริง

ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ กำหนดให้มีการเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายในร้านสะดวกซื้อตามตำแหน่ง การติดตั้งตามที่แสดงดังตารางที่ 4.11 โดยภายในร้านสะดวกซื้อจะมีการใช้งานทั้งระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนและระบบทำความเย็นเป็นส่วนประกอบด้วย ดังนั้น จึงได้นำมาพิจารณาให้สัมพันธ์กับพื้นที่ โชนอุณหภูมภายในร้านสะดวกซื้อเพื่อทำการวิเคราะห์การใช้พลังงาน สามารถแบ่งการวิเคราะห์ผลของ การใช้พลังงานได้ 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละโชนอุณหภูมิต่อพื้นที่ ใช้งานจริง และการวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละเดือนต่อพื้นที่ใช้งานจริง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.2.1 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละโชนอุณหภูม

ในส่วนการวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานต่อพื้นที่โชนอุณหภูม จะแสดงให้เห็นถึง สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบทำความเย็นสำหรับร้านสะดวกซื้อ โดยพิจารณาจะพื้นที่ใช้งานจริงที่มีการปรับอากาศเป็นหลัก ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลยังสามารถแบ่งการ พิจารณาย่อยได้ 2 รูปแบบ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ซึ่งเป็นภาระความเย็นที่มีผลกระทบ ต่อการใช้พลังงานโดยตรง และการใช้พลังงานในแต่ละโชนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริง ดังตารางที่ 5.3 ถึง ตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.3 ส่วนของพื้นที่สำหรับร้านสะดวกซื้อ

ส่วนของร้านสะดวกซื้อ	ขนาดพื้นที่ [m ²]
พื้นที่ร้านสะดวกซื้อทั้งหมด	148
พื้นที่การปรับอากาศ	139
พื้นที่ไม่มีการปรับอากาศ	9

1) การใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริง สามารถอธิบายให้เห็นถึงผลลัพธ์ แสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริง

โซนอุณหภูมิต่อพื้นที่		พื้นที่ [m ²]		Cooling [GJ/m ²]		Fans [GJ/m ²]		Equipment [GJ/m ²]		Lighting [GJ/m ²]		ผลรวม [GJ/m ²]	
		ต่อโซน	รวม	ต่อโซน	ค่าเฉลี่ย	ต่อโซน	ค่าเฉลี่ย	ต่อโซน	ค่าเฉลี่ย	ต่อโซน	ค่าเฉลี่ย	ต่อโซน	ค่าเฉลี่ย
พื้นที่ปรับอากาศ	ZONE 1	21	139	5.16	6.53	2.05	1.70	2.28	2.88	2.44	3.09	10.4	13.14
	ZONE 2	21		5.16		2.05		2.28		2.44		10.4	
	ZONE 3	14		7.75		1.37		3.42		3.67		15.59	
	ZONE 4	21		5.16		2.05		2.28		2.44		10.4	
	ZONE 5	21		5.16		2.05		2.28		2.44		10.4	
	ZONE 6	14		7.75		1.37		3.42		3.67		15.59	
	ZONE 7	13.5		8.03		1.32		3.55		3.8		16.17	
	ZONE 8	13.5		8.03		1.32		3.55		3.8		16.17	
พื้นที่ไม่มีปรับอากาศ	EMPTYROOM	3.49	9	0	-	0	-	0	-	14.71	18.45	62.55	78.47
	RESTROOM	3.55		0	-	0	-	0	-	14.46	18.45	61.49	
	VOID	1.96		0	-	0	-	0	-	26.19	18.45	111.38	
พื้นที่ทั้งหมด		148		-	-	-	-	-	-	-	-	45.81	

2) การใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริง แสดงผลลัพธ์ให้เห็นดังตารางที่ 5.5 ถึง ตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.5 ค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็นแต่ละตัวในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่

โซนอุณหภูมิต่อพื้นที่	FCU 1	FCU 2	FCU 3	FCU 4	REF A	REF B	REF C	REF D	อุปกรณ์ต่างๆ (Equipment)	ระบบแสงสว่าง (Lighting)	ผลรวม FCU	ผลรวม REF	ผลรวมการใช้พลังงาน
	[kWh]												
Zone 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,023.6	9,408.3	23,557.5	59,676.0
Zone 2	-	-	-	-	-	-	-	-	2,750.6	2,023.6			
Zone 3	-	-	-	-	-	-	10,595.8	-	4,832.0	1,349.4			
Zone 4	-	-	-	2,759.6	-	-	-	-	-	2,023.6			
Zone 5	-	2,076.6	2,076.6	-	-	-	-	-	-	2,023.6			
Zone 6	-	-	-	-	-	3,244.8	-	-	-	1,349.0			
Zone 7	-	-	-	-	2,125.4	-	-	-	-	1,300.9			
Zone 8	2,495.5	-	-	-	-	-	-	7,591.6	5,733.4	1,300.9			
รวม	2,495.5	2,076.6	2,076.6	2,759.6	2,125.4	3,244.8	10,595.8	7,591.6	13,316.1	13,394.0			
%	4.2	3.5	3.5	4.6	3.6	5.4	17.8	12.7	22.3	22.4	15.8	39.5	100

ตารางที่ 5.6 ค่าการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่สำหรับร้านสะดวกซื้อ

โซนอุณหภูมิต่อพื้นที่	การใช้พลังงาน	พื้นที่	การใช้พลังงานต่อพื้นที่ปรับอากาศ	การใช้พลังงานของโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่ทั้งหมด
	[kWh]	[m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
Zone 1	2,023.6	21.0	96.36	13.67
Zone 2	4,774.2	21.0	227.34	32.26
Zone 3	16,776.9	14.0	1198.35	113.36
Zone 4	4,783.1	21.0	227.77	32.32
Zone 5	6,176.8	21.0	294.13	41.74
Zone 6	4,593.8	14.0	328.13	31.04
Zone 7	3,426.2	13.5	253.79	23.15
Zone 8	17,121.4	13.5	1268.25	115.68
รวม	59,676.0	139.0	429.32	403.22

ตารางที่ 5.7 ค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละโซนอุณหภูมิต่อพื้นที่สำหรับร้านสะดวกซื้อ

โซนอุณหภูมิต่อพื้นที่	พื้นที่	ระบบแสงสว่าง (Lighting)		อุปกรณ์ต่าง ๆ (Equipment)		ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และระบบทำความเย็น			การใช้พลังงานโดยรวม		
		[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	อุปกรณ์ต่างๆ	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]	[kWh/m ²]	
พื้นที่ปรับอากาศ	ZONE 1	21.0	13394.0	637.8	13316.1	634.1	-	0.00	-	59676.0	429.32
	ZONE 2	21.0		637.8		634.1	-	0.00	-		
	ZONE 3	14.0		956.7		951.2	REF - C	10595.8	756.9		
	ZONE 4	21.0		637.8		634.1	FCU - 4	2759.6	131.4		
	ZONE 5	21.0		637.8		634.1	FCU - 2	2076.6	98.9		
	ZONE 6	14.0		956.7		951.2	REF - B	3244.8	231.8		
	ZONE 7	13.5		992.2		986.4	REF - A	2125.4	157.4		
	ZONE 8	13.5		992.2		986.4	FCU - 1	2495.5	184.9		
พื้นที่ไม่มีปรับอากาศ	EMPTY ROOM	3.49	9.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	RESTROOM	3.55		-		-	-	-			
	VOID	1.96		-		-	-	-			
พื้นที่ทั้งหมด		148.0								403.22	

5.2.2.2 การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละเดือน

ในส่วนนี้ได้แสดงผลลัพธ์ให้เห็น ดังตารางที่ 5.8 และตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.8 ค่าการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละเดือนสำหรับร้านสะดวกซื้อ

รายเดือน	การใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ [kWh]											
	FCU-1	FCU-2	FCU-3	FCU-4	REF-A	REF-B	REF-C	REF-D	Equipment	Lighting	ผลรวม FCU	ผลรวม REF
January	201.7	169.2	169.2	222.5	172.5	268.5	842.0	605.0	1,131.0	1,137.6	762.7	1,888.0
February	183.2	153.4	153.4	201.9	156.9	242.7	763.9	548.4	1,021.5	1,027.5	691.9	1,711.9
March	219.7	182.7	182.7	241.4	185.5	289.7	935.5	659.7	1,131.0	1,137.6	826.4	2,070.4
April	209.5	173.2	173.2	231.7	178.1	280.3	895.4	640.6	1,094.5	1,100.9	787.6	1,994.4
May	217.6	179.8	179.8	240.9	184.4	187.7	936.2	677.1	1,131.0	1,137.6	818.1	1,985.5
June	212.7	175.0	175.0	234.5	181.2	283.3	900.8	651.4	1,094.5	1,100.9	797.1	2,016.7
July	214.9	178.1	178.1	237.7	183.2	289.9	911.3	660.8	1,131.0	1,137.6	808.7	2,045.2
August	211.5	176.3	176.3	234.5	179.9	288.4	902.8	631.0	1,131.0	1,137.6	798.6	2,002.1
September	205.6	171.1	171.1	228.1	174.1	281.9	883.5	637.3	1,094.5	1,100.9	775.9	1,976.9
October	211.9	176.6	176.6	235.1	180.1	289.4	908.2	653.6	1,131.0	1,137.6	800.3	2,031.3
November	202.6	169.7	169.7	225.0	173.8	271.9	858.3	613.9	1,094.5	1,100.9	767.0	1,917.9
December	204.7	171.7	171.7	226.3	175.5	271.2	857.9	612.6	1,131.0	1,137.6	774.2	1,917.2
ผลรวม	2,495.5	2,076.6	2,076.6	2,759.6	2,125.4	3,244.8	10,595.8	7,591.6	13,316.1	13,394.0	9,408.3	23,557.5

ตารางที่ 5.9 ค่าการใช้พลังงานโดยรวมในแต่ละเดือนต่อพื้นที่การใช้งานจริงสำหรับร้านสะดวกซื้อ

รายเดือน	การใช้พลังงานโดยรวม		
	การใช้พลังงาน ในแต่ละเดือน [kWh]	การใช้พลังงานต่อ พื้นที่ปรับอากาศ [kWh/m ²]	การใช้พลังงานต่อ พื้นที่ทั้งหมด [kWh/m ²]
January	4,919.20	35.39	33.24
February	4,452.72	32.03	30.09
March	5,165.36	37.16	34.90
April	4,977.34	35.81	33.63
May	5,072.10	36.49	34.27
June	5,009.20	36.04	33.85
July	5,122.48	36.85	34.61
August	5,069.22	36.47	34.25
September	4,948.09	35.60	33.43
October	5,100.12	36.69	34.46
November	4,880.20	35.11	32.97
December	4,959.97	35.68	33.51
ผลรวม	59,676.00	429.32	403.22

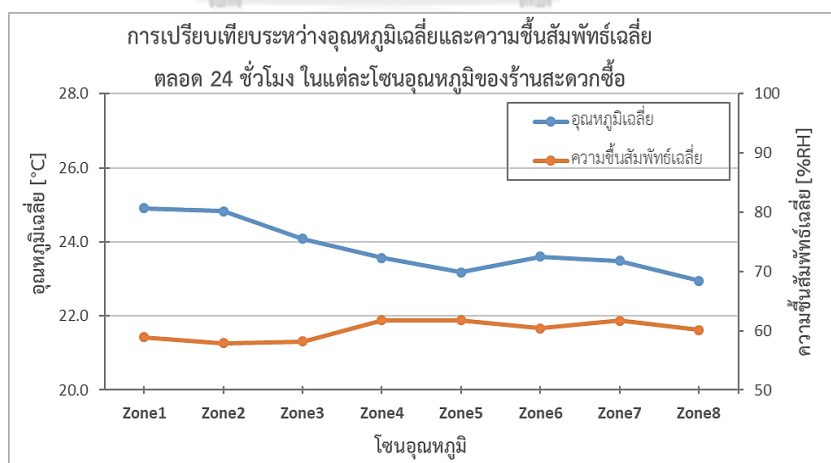
5.2.3 ผลการทำนายและวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง

ในส่วนนี้เป็นผลการทำนายและวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมงของร้านสะดวกซื้อ แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง หัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และกำลังไฟฟ้า ซึ่งนำมาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ได้ 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิ และการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ โดยจะอธิบายให้เห็นตามค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว ดังนี้

5.2.3.1 การวิเคราะห์ผลของการทำนายค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์

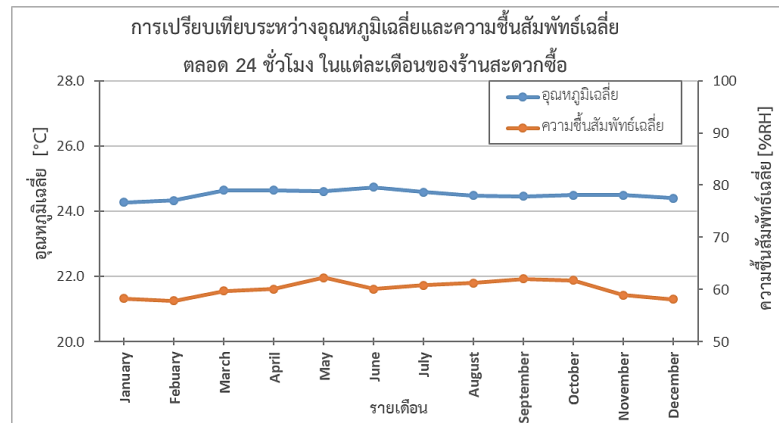
เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของการทำนายค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ภายในร้านสะดวกซื้อโดยการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานแล้วสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ พบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง มีผลลัพธ์โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเช่นเดียวกับข้อ 5.2.1.1, 1) และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง มีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับข้อ 5.2.1.2, 1) แสดงดังรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละโซนอุณหภูมิของร้านสะดวกซื้อ

2) การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ พบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ของเดือนมีนาคม มีค่ามากที่สุด และเดือนมกราคมมีค่าน้อยที่สุดเช่นเดียวกับข้อ 5.2.1.1, 2) และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ รูปที่ 5.28

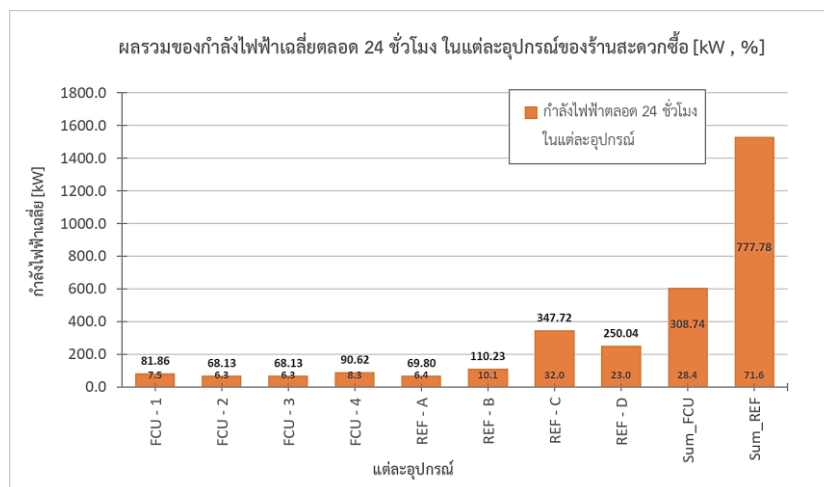


รูปที่ 5.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

5.2.3.2 การวิเคราะห์ผลของการทำนายค่ากำลังไฟฟ้า

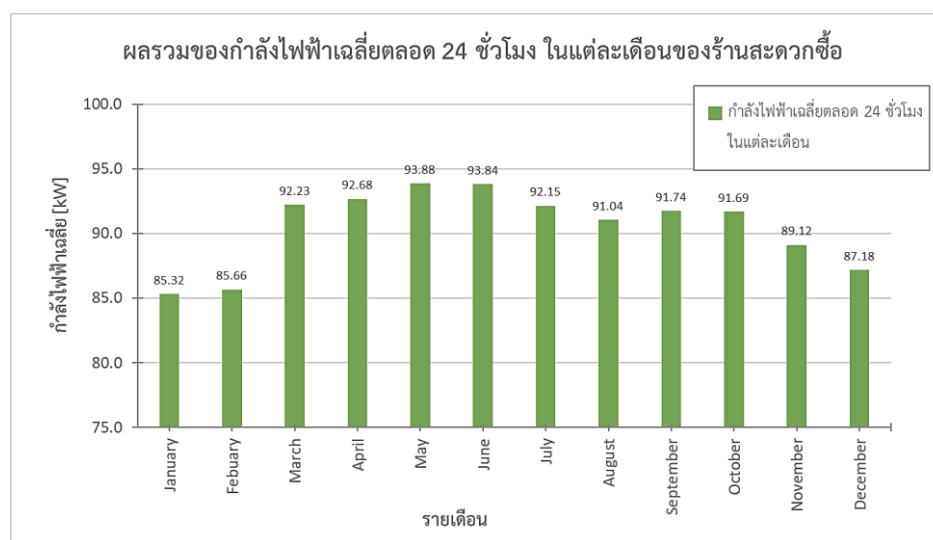
ในส่วนของ การวิเคราะห์ผลของการทำนายค่ากำลังไฟฟ้าจะอยู่ในลักษณะค่าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ภายในร้านสะดวกซื้อโดยการใช้งานโปรแกรมจำลองพลังงานแล้ว สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละอุปกรณ์ของร้านสะดวกซื้อ พบว่า ผลรวมค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนคิดเป็นร้อยละ 28.4 และตู้เย็น คิดเป็นร้อยละ 71.6 ดังรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละอุปกรณ์ของร้านสะดวกซื้อ

2) ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ พบว่า ผลรวมค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตลอดทั้งปี (12 เดือน) แสดงดังรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ

ในส่วนของบทที่ 5 นี้ ได้ทำการวิเคราะห์ผลและพยายามอธิบายให้เห็นถึงพฤติกรรมของการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในลักษณะของค่าเฉลี่ย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงานโดยรวม ซึ่งได้ใช้โปรแกรมจำลองพลังงานเพื่อช่วยวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2561 จากกรมอุตุนิยมวิทยา และได้ทำการเปรียบเทียบให้เห็นถึงสัดส่วนการใช้พลังงานใน 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละโซน และการวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละเดือนสำหรับร้านสะดวกซื้อแห่งนี้

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ผลของการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อโดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงานจากบทที่ 5 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน รายชั่วโมงตลอดปีของร้านสะดวกซื้อ ผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ต่อขนาดพื้นที่ใช้งานจริงภายในร้านสะดวกซื้อ และผลการทำนายและวิเคราะห์ผลการใช้พลังงาน ตลอด 24 ชั่วโมงของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานได้ 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ ผลการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิ และการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของ ร้านสะดวกซื้อโดยการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในลักษณะของค่าเฉลี่ย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงานโดยรวม เพื่อแสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ผลและพฤติกรรมการใช้พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

สำหรับผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนรายชั่วโมงตลอดปีของร้านสะดวกซื้อและผลการทำนายและวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมงของร้านสะดวกซื้อ จะแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีความใกล้เคียงกัน สำหรับการวิเคราะห์ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละโซนของร้านสะดวกซื้อพบว่า สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มของโซนที่อยู่บริเวณด้านหน้าของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ ความเย็นจากเครื่องปรับอากาศไปไม่ถึงหรือที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง ได้แก่ Zone1 Zone2 และ Zone3 กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มของโซนที่อยู่บริเวณช่วงกลางของร้านสะดวกซื้อและได้รับ ผลกระทบโดยตรงจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนและตู้เย็นแบบประตูเปิด ได้แก่ Zone5 และ Zone8 และกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มของโซนที่อยู่บริเวณด้านข้างและด้านหลังของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งเป็น บริเวณจุดอับลมและอยู่ตำแหน่งใต้การส่งลมเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้แก่ Zone4 Zone6 และ Zone7 ซึ่งพฤติกรรมของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในร้านสะดวกซื้อมีแนวโน้มตามการกำหนดรูปแบบตารางการใช้งานของร้านสะดวกซื้อ ส่วนการวิเคราะห์ผล การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ พบว่า ในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนจะมีค่ามากที่สุด และผลลัพธ์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย มีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยดังกล่าว ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่มีค่าสูงในช่วงฤดูร้อนเช่นกัน นอกจากนี้สำหรับผลของการใช้พลังงานในแต่ละโซนอุณหภูมิจะมีค่าสูงตามตำแหน่งของการติดตั้ง อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในร้านสะดวกซื้อ ได้แก่ ตู้เย็น และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่อยู่ภายในร้านสะดวกซื้อ พบว่า Zone 3 และ Zone 8 มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 28.1 และ 28.7

ตามลำดับ ส่วนเมื่อทำการวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อ พบว่า เดือนมีนาคม (ในช่วงฤดูร้อน) มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตลอดทั้งปี และเมื่อพิจารณาสัดส่วนของการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดทั้งปี ได้แก่ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ตู้เย็น อุปกรณ์ต่าง ๆ และระบบแสงสว่าง คิดเป็นร้อยละ 15.8 39.5 22.3 และ 22.4 ตามลำดับ พบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานของตู้เย็นมีค่ามากที่สุด สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และสัดส่วนการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าน้อยที่สุด แต่ส่งผลกระทบต่อไขนอุณหภูมิในส่วนของคุณภาพและค่าความชื้นสัมพัทธ์อีกด้วย

ในส่วนของผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต่อขนาดพื้นที่ใช้งานจริงภายในร้านสะดวกซื้อนั้น สามารถอธิบายผลลัพธ์ได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละไขนอุณหภูมิและในแต่ละเดือนต่อพื้นที่ใช้งานจริง พบว่า การใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของไขนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริงสำหรับพื้นที่ปรับอากาศและสำหรับพื้นที่ทั้งหมดของร้านสะดวกซื้อมีค่าเท่ากับ 13.14 GJ/m^2 และ 45.81 GJ/m^2 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในแต่ละไขนอุณหภูมิต่อพื้นที่ใช้งานจริงสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ และสำหรับพื้นที่ทั้งหมดของร้านสะดวกซื้อมีค่าเท่ากับ 429.32 kWh/m^2 และ 403.22 kWh/m^2 ตามลำดับ ส่วนค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้งานจริงสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ คือ เดือนมีนาคม มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 34.90 kWh/m^2 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของร้านสะดวกซื้อก่อนหน้านี้ด้วยนั่นเอง

6.2 ข้อเสนอแนะ

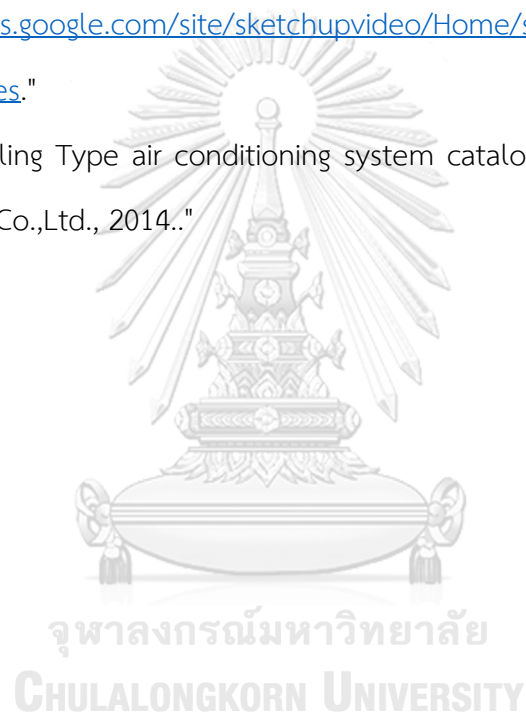
การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับร้านสะดวกซื้อ โดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน สามารถอธิบายได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในลักษณะไขนโดยรวมมากกว่า เนื่องจากเมื่อทำการแบ่งไขนอุณหภูมิในการพิจารณาแล้วจะทำให้มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการใช้โปรแกรมจำลองพลังงาน และถ้าหากมีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในร้านสะดวกซื้อในตำแหน่งให้มีความเหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างของร้านสะดวกซื้อแห่งนี้ก็จะส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน

บรรณานุกรม

- [1] D. A. Elraheim, O. E. Mahmoud, M. J. I. J. o. A.-C. Fatouh, and Refrigeration, "Experimental assessment of a domestic split type air-conditioner working with R410A," vol. 24, no. 04, p. 1650021, 2016.
- [2] S. M. J. E. Zubair, "Improvement of refrigeration/air-conditioning performance with mechanical sub-cooling," vol. 15, no. 5, pp. 427-433, 1990.
- [3] W. J. A. t. e. Chen, "A comparative study on the performance and environmental characteristics of R410A and R22 residential air conditioners," vol. 28, no. 1, pp. 1-7, 2008.
- [4] D.-c. Chou, C.-S. Chang, Y.-Z. J. E. Hsu, and Buildings, "Investigation and analysis of power consumption in convenience stores in Taiwan," vol. 133, pp. 670-687, 2016.
- [5] A. Bahman, L. Rosario, and M. M. J. A. e. Rahman, "Analysis of energy savings in a supermarket refrigeration/HVAC system," vol. 98, pp. 11-21, 2012.
- [6] T. Markis, J. J. E. Paravantis, and Buildings, "Energy conservation in small enterprises," vol. 39, no. 4, pp. 404-415, 2007.
- [7] H.-x. Zhao, F. J. R. Magoulès, and S. E. Reviews, "A review on the prediction of building energy consumption," vol. 16, no. 6, pp. 3586-3592, 2012.
- [8] E. M. Barreira, C. O. Negrão, and C. J. J. A. T. E. Hermes, "Thermoeconomic analysis and optimization of residential split-type air conditioners," vol. 50, no. 1, pp. 629-636, 2013.
- [9] H. Witt, "Simulation of energy use in UK super-markets using EnergyPlus. IN: Mathur, J. and Garg, V," in *Proceedings of the 14th International Conference of the International Building Performance Simulation Association (BS2015), 7th-9th December, 2015*, pp. 1095-1102: cC International Building Performance Simulation Association (IBPSA).

- [10] F. Hill, R. Edwards, G. J. B. S. E. R. Levermore, and Technology, "Influence of display cabinet cooling on performance of supermarket buildings," vol. 35, no. 2, pp. 170-181, 2014.
- [11] M. Basarkar, X. Pang, L. Wang, P. Haves, and T. Hong, "Modeling and simulation of HVAC faults in EnergyPlus," Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States)2011.
- [12] S. Zhu and J. J. I. J. o. L.-C. T. Chen, "A simulation study for a low carbon consumption HVAC project using EnergyPlus," vol. 7, no. 3, pp. 248-254, 2012.
- [13] Z. Mylona, M. Kolokotroni, and S. Tassou, "A study of Improving Energy Efficiency of small supermarkets by modelling interaction between building, HVAC, Refrigeration and display product," 2018.
- [14] S. Yu, Y. Cui, X. Xu, and G. J. P. E. Feng, "Impact of civil envelope on energy consumption based on EnergyPlus," vol. 121, pp. 1528-1534, 2015.
- [15] Y. Ge, S. J. P. o. t. I. o. M. E. Tassou, Part A: Journal of Power, and Energy, "Mathematical modelling of supermarket refrigeration systems for design, energy prediction and control," vol. 214, no. 2, pp. 101-114, 2000.
- [16] S. J. A. J. o. M. Alghoul and I. Engineering, "A comparative study of energy consumption for residential hvac systems using EnergyPlus," vol. 2, no. 2, pp. 98-103, 2017.
- [17] D. B. Crawley *et al.*, "EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program," vol. 33, no. 4, pp. 319-331, 2001.
- [18] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, "การตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน ระบบปรับอากาศ กระทบพลังงาน," คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับ วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, pp. 5-2 - 5-6, 2555.
- [19] ส. ศูนย์เผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม สถาบันพลังงานเพื่อ อุตสาหกรรม, "การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน."

- [20] *Openstudio 2.8.0 User Documentation*. Available:
<http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/>
- [21] "E. Documentation, EnergyPlus Input Output Reference. Washington, DC.: National Laboratory of the U.S. Department of Energy.."
- [22] "Toshiba Carrier, "Engineering Data Book of Under Ceiling Type cooling only RAV-TE1001A8-T and RAV-SE1001CP-T."."
- [23] ""SketchUp," 2017. [Online]. Available:
[https://sites.google.com/site/sketchupvideo/Home/sketchup-getting-startedseries.](https://sites.google.com/site/sketchupvideo/Home/sketchup-getting-startedseries)"
- [24] "Under Ceiling Type air conditioning system catalog document, Toshiba Carrier (Thailand) Co.,Ltd., 2014.."





ภาคผนวก ก. ข้อมูล Specification data สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



2-1. Specifications

<Single type>

Model	Indoor unit RAV-SE		1001CP-T	1251CP-T
	Outdoor unit RAV-TE		1001A8-T	1251A8-T
Cooling capacity	(kW)		9.7(4.0-11.2)	11.0(4.0-12.5)
Power supply	3 phase 380 – 415V 50Hz			
Electrical characteristics	Running current	(A)	5.70 (2.43 – 7.96)	6.50 (2.43 – 10.76)
	Power consumption	(kW)	3.00 (0.80 – 3.77)	3.40 (0.80 – 5.10)
	Power factor	(%)	80 (50 – 72)	79 (50 – 72)
	EER		3.23 (5.00 – 2.97)	3.23 (5.00 – 2.45)
	Maximum current	(A)	13.5	13.5
Outer dimension	Main unit	Height	(mm)	235
		Width	(mm)	1269
		Depth	(mm)	690
Total weight	Main unit	(kg)	30	35
Fan unit	Fan	Centrifugal		
	Standard air flow	H/M/L (m ³ /min.)	29.2/25.3/19.7	31.0/22.5/17.0
	Motor	(W)	94	139
Air filter	Standard filter attached (Long life filter)			
Sound pressure level	H/M/L	(dB•A)	50/46/39	51/47/40
Sound power level	H/M/L	(dB•A)	65/61/54	66/62/55
Connecting pipe	Gas side	(mm)	φ15.9	
	Liquid side	(mm)	φ 9.5	
	Drain port	(mm)	VP20	

*1 : The cooling capacities and electrical characteristics are measured under the conditions specified by JIS B 8615 based on the reference piping. The reference piping consists of 7.5 m of main piping with 0 meter height.

*2 : The sound level are measured in an anechoic chamber in accordance with JIS B 8616. Normally, the values measured in the actual operating environment become larger than the indicated values due to the effects of external sound.

Note :

Rated conditions: Indoor air temperature 27°C DB/19°C WB, Outdoor air temperature 35°C DB

ก.1 Specifications data สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ประเภท Ceiling Type
รุ่น RAV-SE 1001CP-T (Indoor unit) / RAV-TE 1001A8-T (Outdoor unit)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2-4. Sensible Capacity Table

Stable Power Inverter 4, 5HP Sensible Heat Capacity

RAV-SE1001CP-T, RAV-TE1001A8-T

Unit size		Indoor Air temperature																		
		Outdoor air temp.	14.0 °CWB		15.0 °CWB		16.0 °CWB		17.0 °CWB		18.0 °CWB		19.0 °CWB		20.0 °CWB		22.0 °CWB		24.0 °CWB	
		°C DB	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC
1001	10.0	9.96	8.17	10.31	8.35	11.00	8.70	11.26	8.88	11.78	9.24	12.13	9.21	12.47	9.19	13.21	9.07	13.81	8.86	
	12.0	9.82	8.05	10.16	8.23	10.84	8.57	11.10	8.75	11.61	9.11	11.95	9.08	12.29	9.06	13.02	8.94	13.62	8.74	
	14.0	9.65	7.92	9.98	8.09	10.66	8.43	10.91	8.60	11.41	8.96	11.75	8.93	12.08	8.91	12.80	8.79	13.38	8.59	
	16.0	9.48	7.78	9.81	7.95	10.47	8.28	10.72	8.45	11.21	8.80	11.54	8.77	11.87	8.75	12.57	8.64	13.15	8.44	
	18.0	9.34	7.66	9.66	7.83	10.31	8.15	10.56	8.33	11.04	8.67	11.37	8.64	11.69	8.62	12.38	8.51	12.95	8.31	
	20.0	9.20	7.55	9.52	7.72	10.16	8.04	10.40	8.21	10.88	8.54	11.20	8.51	11.52	8.49	12.20	8.38	12.76	8.19	
	21.0	9.08	7.45	9.40	7.62	10.03	7.93	10.27	8.10	10.74	8.43	11.06	8.40	11.37	8.38	12.05	8.28	12.60	8.08	
	23.0	8.95	7.34	9.26	7.51	9.88	7.81	10.12	7.98	10.58	8.30	10.89	8.28	11.20	8.26	11.87	8.15	12.41	7.96	
	25.0	8.79	7.21	9.09	7.37	9.71	7.67	9.94	7.84	10.39	8.16	10.70	8.13	11.01	8.11	11.65	8.01	12.19	7.82	
	27.0	8.62	7.07	8.92	7.23	9.52	7.53	9.75	7.69	10.20	8.00	10.50	7.97	10.80	7.96	11.43	7.85	11.96	7.67	
	29.0	8.49	6.96	8.78	7.12	9.37	7.41	9.59	7.57	10.04	7.88	10.33	7.85	10.63	7.83	11.25	7.73	11.77	7.55	
	31.0	8.31	6.82	8.60	6.97	9.18	7.26	9.39	7.41	9.83	7.71	10.12	7.69	10.41	7.67	11.02	7.57	11.53	7.40	
	33.0	8.17	6.70	8.45	6.85	9.02	7.13	9.23	7.28	9.66	7.58	9.94	7.55	10.23	7.54	10.83	7.44	11.33	7.27	
	35.0	7.97	6.54	8.24	6.68	8.80	6.96	9.01	7.10	9.42	7.39	9.70	7.37	9.98	7.35	10.57	7.26	11.05	7.09	
	37.0	7.85	6.44	8.12	6.58	8.67	6.85	8.87	7.00	9.28	7.28	9.55	7.26	9.83	7.24	10.41	7.15	10.89	6.99	
	39.0	7.85	6.44	8.12	6.58	8.67	6.85	8.87	7.00	9.28	7.28	9.55	7.26	9.83	7.24	10.41	7.15	10.89	6.99	
	43.0	7.15	5.86	7.39	5.99	7.89	6.24	8.08	6.37	8.45	6.63	8.70	6.61	8.95	6.60	9.48	6.51	9.91	6.36	
46.0	6.84	5.61	7.08	5.74	7.56	5.98	7.74	6.10	8.09	6.35	8.33	6.33	8.57	6.32	9.07	6.23	9.49	6.09		

TC: Total Capacity [kW], SHC: Sensible Heat Capacity [kW]

ก.2 Technical data สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ประเภท Ceiling Type
รุ่น RAV-SE 1001CP-T (Indoor unit) / RAV-TE 1001A8-T (Outdoor unit)

ภาคผนวก ข. วิธีการหากราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve)



ข. วิธีการหากราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve)

จากสมการ Biquadratic Curve คือ $Z = C_1 + C_2X + C_3X^2 + C_4Y + C_5Y^2 + C_6XY$ ซึ่งจะประกอบด้วย 2 สมการ คือ สมการ Capacity และสมการ EIR ของระบบปรับอากาศนั้น ๆ มาเป็นฟังก์ชันในการสร้างเส้นกราฟประสิทธิภาพ

ขั้นตอนในการหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ของกราฟประสิทธิภาพ

1) นำข้อมูลเชิงเทคนิค (Technical data) จากภาคผนวก ก.2 โดยนำค่าอุณหภูมิและค่าความสามารถทำความเย็น (Total Cooling Capacity) รวมกับค่ากำลังของพัดลม (Fan Power Input) ที่สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ มาใส่ในตาราง Excel ดังรูป ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ

		Indoor Air Temperature																	
		14.0 °C WB		15.0 °C WB		16.0 °C WB		17.0 °C WB		18.0 °C WB		19.0 °C WB		20 °C WB		22.0 °C WB		24.0 °C WB	
Unit size	Outdoor air temp. °C DB	20.0 °C DB		21.0 °C DB		23.0 °C DB		24.0 °C DB		26.0 °C DB		27.0 °C DB		28.0 °C DB		30.0 °C DB		32.0 °C DB	
		TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC	TC	SHC
1001	10.0	9.96	8.17	10.31	8.35	11.00	8.70	11.26	8.88	11.78	9.24	12.13	9.21	12.47	9.19	13.21	9.07	13.81	8.86
	12.0	9.82	8.05	10.16	8.23	10.84	8.57	11.10	8.75	11.61	9.11	11.95	9.08	12.29	9.06	13.02	8.94	13.62	8.74
	14.0	9.65	7.92	9.98	8.09	10.66	8.43	10.91	8.60	11.41	8.96	11.75	8.93	12.08	8.91	12.80	8.79	13.38	8.59
	16.0	9.48	7.78	9.81	7.95	10.47	8.28	10.72	8.45	11.21	8.80	11.54	8.77	11.87	8.75	12.57	8.64	13.15	8.44
	18.0	9.34	7.66	9.66	7.83	10.31	8.15	10.56	8.33	11.04	8.67	11.37	8.64	11.69	8.62	12.38	8.51	12.95	8.31
	20.0	9.20	7.55	9.52	7.72	10.16	8.04	10.40	8.21	10.88	8.54	11.20	8.51	11.52	8.49	12.20	8.38	12.76	8.19
	21.0	9.08	7.45	9.40	7.62	10.03	7.93	10.27	8.10	10.74	8.43	11.06	8.40	11.37	8.38	12.05	8.28	12.60	8.08
	23.0	8.95	7.34	9.26	7.51	9.88	7.81	10.12	7.98	10.58	8.30	10.89	8.28	11.20	8.26	11.87	8.15	12.41	7.96
	25.0	8.79	7.21	9.09	7.37	9.71	7.67	9.94	7.84	10.39	8.16	10.70	8.13	11.01	8.11	11.65	8.01	12.19	7.82
	27.0	8.62	7.07	8.92	7.23	9.52	7.53	9.75	7.69	10.20	8.00	10.50	7.97	10.80	7.96	11.43	7.85	11.96	7.67
	29.0	8.49	6.96	8.78	7.12	9.37	7.41	9.59	7.57	10.04	7.88	10.33	7.85	10.63	7.83	11.25	7.73	11.77	7.55
	31.0	8.31	6.82	8.60	6.97	9.18	7.26	9.39	7.41	9.83	7.71	10.12	7.69	10.41	7.67	11.02	7.57	11.53	7.40
	33.0	8.17	6.70	8.45	6.85	9.02	7.13	9.23	7.28	9.66	7.58	9.94	7.55	10.23	7.54	10.83	7.44	11.33	7.27
	35.0	7.97	6.54	8.24	6.68	8.80	6.96	9.01	7.10	9.42	7.39	9.70	7.37	9.98	7.35	10.57	7.26	11.05	7.09
	37.0	7.85	6.44	8.12	6.58	8.67	6.85	8.87	7.00	9.28	7.28	9.55	7.26	9.83	7.24	10.41	7.15	10.89	6.99
39.0	7.85	6.44	8.12	6.58	8.67	6.85	8.87	7.00	9.28	7.28	9.55	7.26	9.83	7.24	10.41	7.15	10.89	6.99	
43.0	7.15	5.86	7.39	5.99	7.89	6.24	8.08	6.37	8.45	6.63	8.70	6.61	8.95	6.60	9.48	6.51	9.91	6.36	
46.0	6.84	5.61	7.08	5.74	7.56	5.98	7.74	6.10	8.09	6.35	8.33	6.33	8.57	6.32	9.07	6.23	9.49	6.09	

TC: Total Capacity [kW]
SHC: Sensible Heat Capacity [kW]

รูปที่ ข.1 การนำข้อมูลเชิงเทคนิคของเครื่องปรับอากาศมาใช้ในเครื่องมือ

CurveFitTool ใน Microsoft Excel

Max.	CFM	TWB, °C	TDB, °C	CAP, kW	Total POWER, kW	GROSS CAP, kW	POWER, kW
894	22	29	11.25	9.48	11.3440	3.3854	
894	19	29	10.33	9.19	10.4240	3.1008	
894	17	29	9.59	2.97	9.6840	2.8720	
894	16	29	9.37	2.90	9.4640	2.8039	
894	14	29	8.49	2.63	8.5840	2.5318	
894	22	35	10.57	3.27	10.6640	3.1751	
894	17	35	9.01	2.79	9.1040	2.6926	
894	16	35	8.80	2.72	8.8940	2.6276	
894	14	35	7.97	2.46	8.0640	2.3709	
894	22	39	10.41	3.22	10.5040	3.1256	
894	19	39	9.55	2.95	9.6440	2.8596	
894	17	39	8.87	2.74	8.9640	2.6493	
894	16	39	8.67	2.68	8.7640	2.5874	
894	14	39	7.85	2.43	7.9440	2.3338	
894	22	46	9.07	2.81	9.1840	2.7112	
894	19	46	8.33	2.58	8.4240	2.4823	
894	17	46	7.74	2.39	7.8340	2.2998	
894	16	46	7.56	2.34	7.6540	2.2441	
894	14	46	6.84	2.12	6.9340	2.0215	

รูปที่ ข.2 การใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel เพื่อคำนวณกราฟประสิทธิภาพ

2) นำค่าที่ได้มาทำการ Validation โดยใช้เครื่องมือ CurveFitTool และเลือก Tab Sheet ในหัวข้อ Input ให้ทำการกดปุ่มคำสั่งที่เขียนว่า “Press to Generate Curves” ดังรูปที่ ข.3

Rated Data:	Rated Indoor Air Wet-Bulb Temperature	Rated Outdoor Air Dry-Bulb Temperature	Rated Gross Total Cooling Capacity	Rated Compressor Plus Outdoor Coil Fan Power
	19	35.0	9794.0	2906.0

Performance Data:	Indoor Air Wet-Bulb Temperature	Outdoor Air Dry-Bulb Temperature	Gross Total Cooling Capacity	Compressor Plus Outdoor Coil Fan Power
	oC	oC	W	W
	22	29	11344.0	3385.4
	19	29	10424.0	3100.8
	17	29	9684.0	2872.0
	16	29	9464.0	2803.9
	14	29	8584.0	2531.8
	22	35	10664.0	3175.1
	19	35	9794.0	2906.0
	17	35	9104.0	2692.6
	16	35	8894.0	2627.6
	14	35	8064.0	2370.9
	22	39	10504.0	3125.6
	19	39	9644.0	2859.6
	17	39	8964.0	2649.3
	16	39	8764.0	2587.4
	14	39	7944.0	2333.8
	22	46	9164.0	2711.2
	19	46	8424.0	2482.3
	17	46	7834.0	2299.8
	16	46	7654.0	2244.1
	14	46	6934.0	2021.5

รูปที่ ข.3 การใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel หัวข้อ Input

3) เมื่อได้นำค่ามาที่ทำการ Validation มาใส่ในเครื่องมือ CurveFitTool เรียบร้อยแล้ว และเลือก Tab sheet หัวข้อ Output เพื่อนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ไปใส่ในสมการ Biquadratic Curve และทำการบันทึกโดยกดปุ่มที่มีชื่อว่า “Save Curve Objects to a File” ดังรูปที่ ข.4

Output File Name:	EPlusCurveObjects
Output File Path:	C:\EnergyPlus-Dev\EnergyPlusV8-2-0\PreProcess\HVACCurveFitTool\
! 0.9998 R Squared	
Curve:Cubic	
HPCoolingCAPFFF	!- Name
0.4556232491	!- Coefficient1 Constant
0.9696391032	!- Coefficient2 x
-0.5361571798	!- Coefficient3 x**2
0.1108948275	!- Coefficient4 x**3
0.8900000000	!- Minimum Value of x
1.3600000000	!- Maximum Value of x
0.97	!- Minimum Curve Output
1.06	!- Maximum Curve Output
Dimensionless	!- Input Unit Type for X
Dimensionless	!- Output Unit Type
! 0.999 R Squared	
Curve:Cubic	
HPCoolingEIRFFF	!- Name
1.28172941	!- Coefficient1 Constant
-0.550651488	!- Coefficient2 x
0.3442970488	!- Coefficient3 x**2
-0.0753749709	!- Coefficient4 x**3
0.8900000000	!- Minimum Value of x
1.3600000000	!- Maximum Value of x
0.9795000000	!- Minimum Curve Output
1.0108000000	!- Maximum Curve Output
Dimensionless	!- Input Unit Type for X
Dimensionless	!- Output Unit Type

รูปที่ ข.4 การใช้ในเครื่องมือ CurveFitTool ใน Microsoft Excel หัวข้อ Output

4) จากนั้นนำค่าตัวแปรที่ได้ไปใส่ในสมการ Biquadratic Curve ซึ่งจะประกอบด้วย 2 สมการ คือ สมการ Capacity และสมการ EIR ของระบบปรับอากาศนั้น ๆ มาเป็นฟังก์ชันในการสร้างเส้นกราฟประสิทธิภาพ เพื่อมาใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ในหัวข้อ “Curve: Biquadratic” ดังรูปที่ ข.5

The screenshot shows the EnergyPlus software interface with the following components:

- Class List:** A list of object classes including BranchList, NodeList, OutdoorAirNode, AvailabilityManager, SetpointManager, Curve, LifeCycleCost, and Output.
- Comments from IDF:** A section for entering IDF comments.
- Explanation of Object and Content:** A section providing a description of the object and its parameters.
- Field Description:** A table listing the fields for the Biquadratic Curve object, including coefficients and minimum/maximum values for x and y.

Two orange callout boxes are present:

- Capacity equation for Biquadratic Curve:** Points to the 'Coefficient1 Constant' field in the table.
- EIR equation for Biquadratic Curve:** Points to the 'Coefficient5 y^2' field in the table.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		OS:Curve:Biquadrat	OS:Curve:Biquadrat	Biquadratic Toshiba	Biquadratic Toshiba
Coefficient1 Constant		0.42415	1.23649	-0.1953121858	0.937844731
Coefficient2 x		0.04426	-0.02431	0.0725875208	0.0042287205
Coefficient3 x^2		-0.00042	0.00057	-0.0007291035	-0.0000933742
Coefficient4 y		0.00333	-0.01434	0.0224702665	0.0009888979
Coefficient5 y^2		-0.00008	0.00063	-0.0003562519	-0.0000252867
Coefficient6 x*y		-0.00021	-0.00038	-0.0003838825	0.0000192601
Minimum Value of x	varies	17	17	14	14
Maximum Value of x	varies	22	22	22	22
Minimum Value of y	varies	13	13	29	29
Maximum Value of y	varies	46	46	46	46
Minimum Curve Output	varies				
Maximum Curve Output	varies				
Input Unit Type for X					
Input Unit Type for Y					
Output Unit Type					

รูปที่ ข.5 การนำสมการ Capacity และสมการ EIR ของระบบปรับอากาศ มาใส่โปรแกรม EnergyPlus

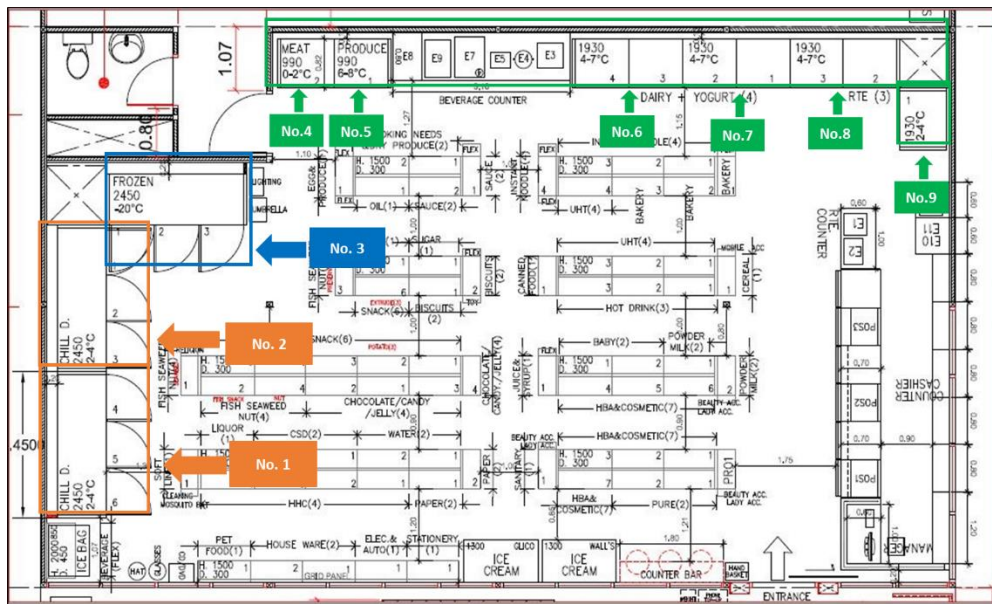


ภาคผนวก ค. วิธีการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค. วิธีการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น

การตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็นที่อยู่ภายในร้านสะดวกซื้อนั้น จำเป็นต้องทราบถึงตำแหน่งการติดตั้งของตู้เย็นภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อให้สามารถวางแผนและกำหนดวิธีการสำหรับการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น ดังรูปที่ ค.1 และตารางที่ ค.1



รูปที่ ค.1 ตำแหน่งการติดตั้งสำหรับตู้เย็นภายในร้านสะดวกซื้อ

ตารางที่ ค.1 ตำแหน่งการติดตั้งสำหรับตู้เย็นที่ใช้งานจริงและใช้ในการจำลองการใช้พลังงาน

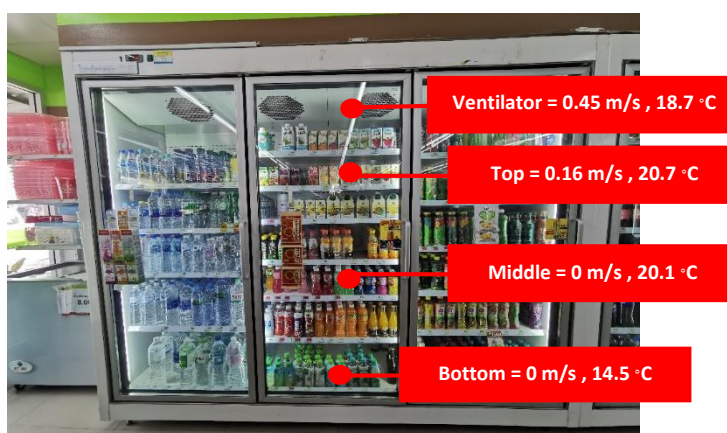
ชุดที่	การใช้งานจริง	การจำลองการใช้พลังงาน
ชุดที่ 1 (No.1)	ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม	REF - C
ชุดที่ 2 (No.2)	ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม	REF - B
ชุดที่ 3 (No.3)	ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง	REF - D
ชุดที่ 4 (No.4)	ตู้เย็นแบบประตูเปิดสำหรับแช่เนื้อและผัก	REF - A
ชุดที่ 5 (No.5)	ตู้เย็นแบบประตูเปิดสำหรับแช่เนื้อและผัก	
ชุดที่ 6 (No.6)	ตู้เย็นแบบประตูเปิดสำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม	REF - A
ชุดที่ 7 (No.7)	ตู้เย็นแบบประตูเปิดสำหรับแช่โยเกิร์ต	
ชุดที่ 8 (No.8)	ตู้เย็นแบบประตูเปิดสำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน	
ชุดที่ 9 (No.9)	ตู้เย็นแบบประตูเปิดสำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน	

จากนั้นนำไปวิเคราะห์และทำนายผลการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อโดยใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน ซึ่งได้ทำการวัด 3 ค่า ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ และขนาดช่องปล่อยลมเย็น ดังนี้

1. การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิ

ผู้วิจัยได้ทำการวัดที่บริเวณตู้เย็นแต่ละชุด ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง และทำการวัดค่าเป็นจำนวน 10 ครั้ง สำหรับตู้เย็นที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่จริง ทั้งหมด 9 ชุด จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปปรับใช้งานในการกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น สามารถอธิบายได้ ดังนี้

1.1) ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1)

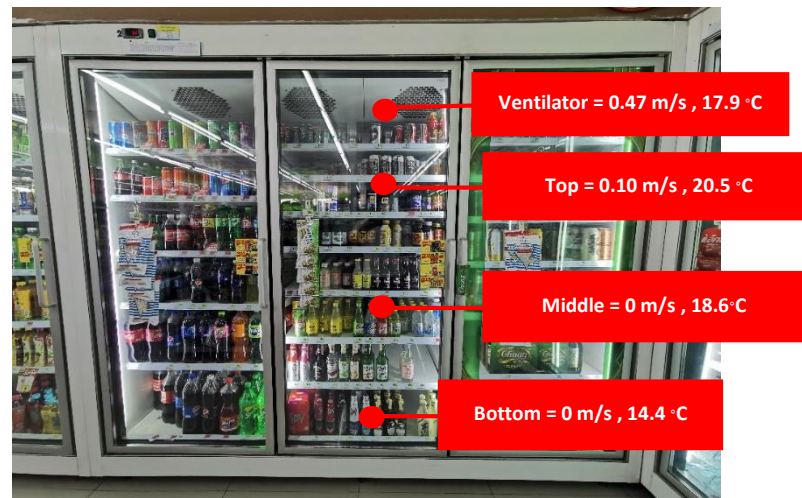


รูปที่ ค.2 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1)

ตารางที่ ค.2 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.2	0	0	0.4	20.2	21.3	17.0	17.9
2	0.2	0	0	0.5	20.2	20.7	16.8	18.2
3	0.2	0	0	0.4	20.5	20.7	15.9	18.4
4	0.2	0	0	0.4	20.6	20.4	14.5	18.5
5	0.2	0	0	0.4	20.7	20.5	14.2	18.6
6	0.1	0	0	0.5	20.9	19.8	14	18.9
7	0.2	0	0	0.5	20.8	19.6	13.5	18.9
8	0.1	0	0	0.5	21.0	19.5	13.3	19.0
9	0.1	0	0	0.4	21.1	19.3	12.8	19.1
10	0.1	0	0	0.5	21.3	19.5	12.5	19.1
ค่าเฉลี่ย	0.16	0	0	0.45	20.7	20.1	14.5	18.7

1.2) ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2)

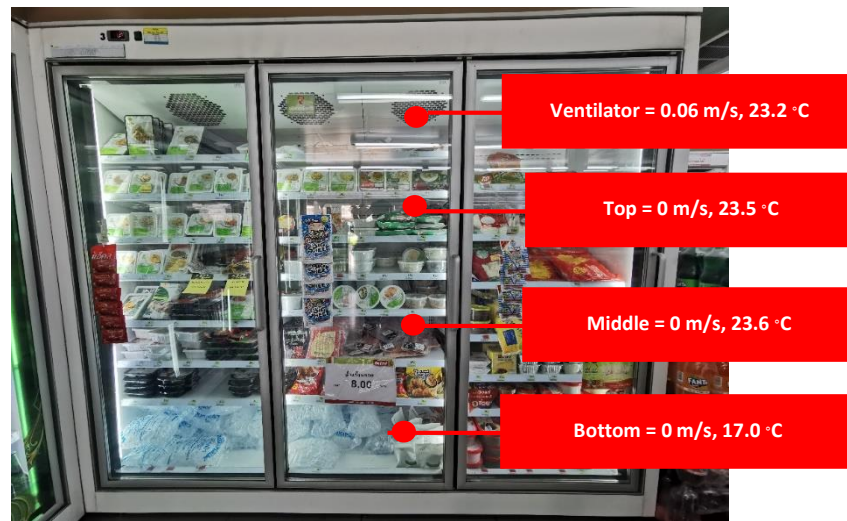


รูปที่ ค.3 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2)

ตารางที่ ค.3 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0	0	0.2	19.6	19.3	15.3	17.3
2	0.1	0	0	0.2	19.9	19.2	15.2	17.8
3	0.1	0	0	0.4	19.9	19.1	15	17.7
4	0.1	0	0	0.5	20	18.9	14.7	17.9
5	0.1	0	0	0.5	20.3	18.6	14.5	18.1
6	0.1	0	0	0.5	20.7	18.6	14.3	18.1
7	0.1	0	0	0.6	20.9	18.5	14	17.9
8	0.1	0	0	0.6	21.1	18.2	13.9	18.2
9	0.1	0	0	0.6	21.3	18	13.5	18.1
10	0.1	0	0	0.6	21.4	18	13.3	18.3
ค่าเฉลี่ย	0.1	0	0	0.47	20.5	18.6	14.4	17.9

1.3) ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)



รูปที่ ค.4 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)

ตารางที่ ค.4 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0	0	0	23.4	23.6	20.1	23.0
2	0.1	0	0	0.1	23.4	23.6	19.5	23.2
3	0.1	0	0	0.1	23.5	23.6	18.3	23.2
4	0.1	0	0	0.1	23.6	23.6	17.1	23.2
5	0.1	0	0	0.1	23.6	23.6	16.9	23.3
6	0.1	0	0	0	23.6	23.7	16.5	23.3
7	0.1	0	0	0	23.5	23.6	15.9	23.2
8	0.1	0	0	0.1	23.6	23.7	15.4	23.2
9	0.1	0	0	0.1	23.6	23.6	15.1	23.4
10	0.1	0	0	0	23.6	23.7	14.9	23.3
ค่าเฉลี่ย	0.1	0	0	0.06	23.5	23.6	17.0	23.2

1.4) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (จุดที่ 4 และจุดที่ 5)



รูปที่ ค.5 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (จุดที่ 4 และจุดที่ 5)

ตารางที่ ค.5 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (จุดที่ 4 และจุดที่ 5)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0.1	0.1	1.8	16.5	16.6	15.0	15.7
2	0.15	0.1	0.15	1.8	16.4	16.5	14.9	15.9
3	0.1	0.1	0.15	1.7	16.4	16.4	14.8	15.8
4	0.15	0.1	0.15	1.8	16.3	16.3	14.7	15.7
5	0.1	0.1	0.1	1.9	16.1	16.2	14.8	15.5
6	0.2	0.1	0.2	1.8	16.2	16.1	14.5	15.2
7	0.2	0.1	0.2	1.8	15.9	16	14.4	15.2
8	0.2	0.1	0.15	1.7	15.8	15.9	14.3	15.1
9	0.2	0.1	0.2	1.8	15.6	15.7	14.3	15.1
10	0.2	0.1	0.2	1.9	15.4	15.5	14.2	15.2
ค่าเฉลี่ย	0.16	0.1	0.16	1.79	16.1	16.1	14.6	15.4

1.5) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6)



รูปที่ ค.6 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6)

ตารางที่ ค.6 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0.1	0.2	1.8	12.0	10.9	10.5	13.0
2	0.2	0.2	0.2	1.7	11.8	10.7	10.5	13.0
3	0.2	0.2	0.3	1.7	11.6	10.5	10.4	13.0
4	0.1	0.2	0.2	1.7	11.4	10.2	10.4	13.1
5	0.1	0.3	0.3	1.8	11.3	10.3	10.2	13.5
6	0.2	0.3	0.3	1.8	10.9	10.4	10.2	14.1
7	0.2	0.4	0.3	1.8	10.8	9.9	10.2	14.5
8	0.3	0.3	0.4	1.8	10.7	9.8	10.1	14.3
9	0.3	0.3	0.3	1.8	10.6	9.7	10.0	14.1
10	0.2	0.4	0.4	1.8	10.5	9.6	10.0	14.2
ค่าเฉลี่ย	0.19	0.27	0.29	1.77	11.2	10.2	10.3	13.7

1.6) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7)



รูปที่ ค.7 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7)

ตารางที่ ค.7 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0.1	0.1	0.7	12.4	11.1	10.8	13.3
2	0.2	0.1	0.1	0.8	11.9	10.8	10.5	13.1
3	0.2	0.1	0.2	0.8	11.8	10.4	10.5	13.1
4	0.2	0.2	0.2	0.9	11.5	10.4	10.4	13.1
5	0.2	0.3	0.3	0.9	11.3	10.3	10.2	13.5
6	0.2	0.3	0.4	1.0	11.1	10.4	10.1	13.9
7	0.2	0.4	0.4	1.0	10.9	10.0	10.1	14.5
8	0.3	0.4	0.4	1.0	10.7	9.8	10.1	14.4
9	0.3	0.4	0.4	1.0	10.6	9.6	10.0	14.5
10	0.2	0.4	0.4	1.0	10.5	9.6	10.0	14.2
ค่าเฉลี่ย	0.21	0.27	0.29	0.91	11.3	10.2	10.3	13.8

1.7) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8)



รูปที่ ค.8 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8)

ตารางที่ ค.8 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0.1	0.2	0.7	13.4	13.6	12.3	13.4
2	0.2	0.1	0.2	0.8	13.2	13.3	12.1	13.9
3	0.1	0.1	0.3	0.8	13.1	12.9	12.2	13.8
4	0.2	0.1	0.3	0.9	12.9	12.7	12.1	13.5
5	0.2	0.2	0.4	0.9	12.7	12.7	12.0	13.3
6	0.2	0.3	0.4	1.0	12.5	12.5	12.0	13.2
7	0.3	0.3	0.4	1.0	12.5	12.2	11.9	13.2
8	0.3	0.3	0.5	1.0	12.3	12.3	11.8	13.3
9	0.3	0.4	0.5	1.0	12.3	12.1	11.7	13.4
10	0.3	0.4	0.5	1.0	12.1	12	11.6	12.9
ค่าเฉลี่ย	0.22	0.23	0.37	0.91	12.7	12.6	12.0	13.4

1.8) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9)



รูปที่ ค.9 ตำแหน่งการวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9)

ตารางที่ ค.9 การวัดค่าความเร็วลมและอุณหภูมิของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9)

ครั้งที่	ความเร็วลม (m/s)				อุณหภูมิ (°C)			
	Top	Middle	Bottom	Ventilator	Top	Middle	Bottom	Ventilator
1	0.1	0.1	0.2	0.6	12.5	13.2	13.0	15.5
2	0.1	0.1	0.1	0.6	12.5	13.1	12.8	15.5
3	0.1	0.1	0.1	0.7	12.0	13.9	12.7	14.9
4	0.2	0.2	0.2	0.7	12.0	13.8	12.8	14.8
5	0.1	0.2	0.2	0.8	12.4	13.5	12.4	13.4
6	0.2	0.2	0.3	0.8	12.8	13.3	12.9	13.1
7	0.3	0.2	0.2	0.9	12.8	13.2	12.9	12.5
8	0.2	0.3	0.2	0.8	12.7	12.8	12.5	12.3
9	0.3	0.3	0.2	0.8	12.7	12.5	12.3	12.3
10	0.3	0.3	0.3	0.8	12.8	12.4	11.9	12.4
ค่าเฉลี่ย	0.19	0.2	0.2	0.75	12.5	13.2	12.6	13.7

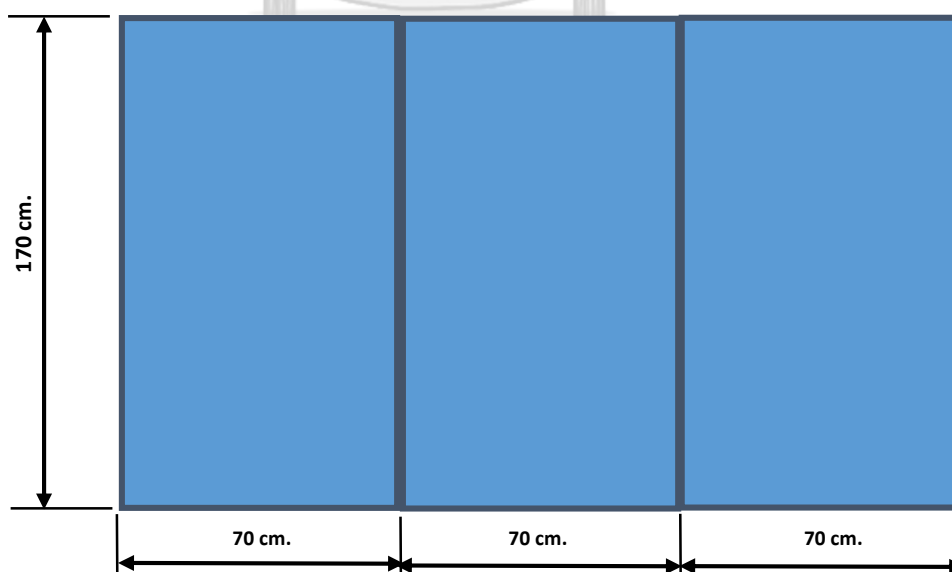
2. การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็น

ผู้วิจัยได้ทำการวัดที่บริเวณตู้เย็นแต่ละชุด สำหรับตู้เย็นที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่จริงภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อนำไปปรับใช้งานในการกำหนดค่าต่าง ๆ ของตู้เย็น สามารถอธิบายได้ ดังนี้

2.1) ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1)



รูปที่ ค.10 ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1)

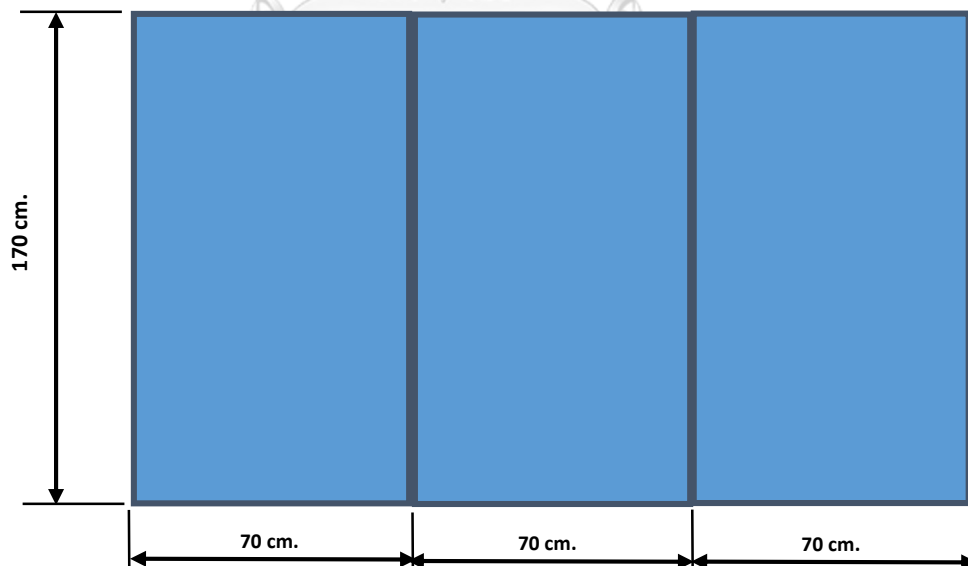


รูปที่ ค.11 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 1)

2.2) ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2)



รูปที่ ค.12 ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2)

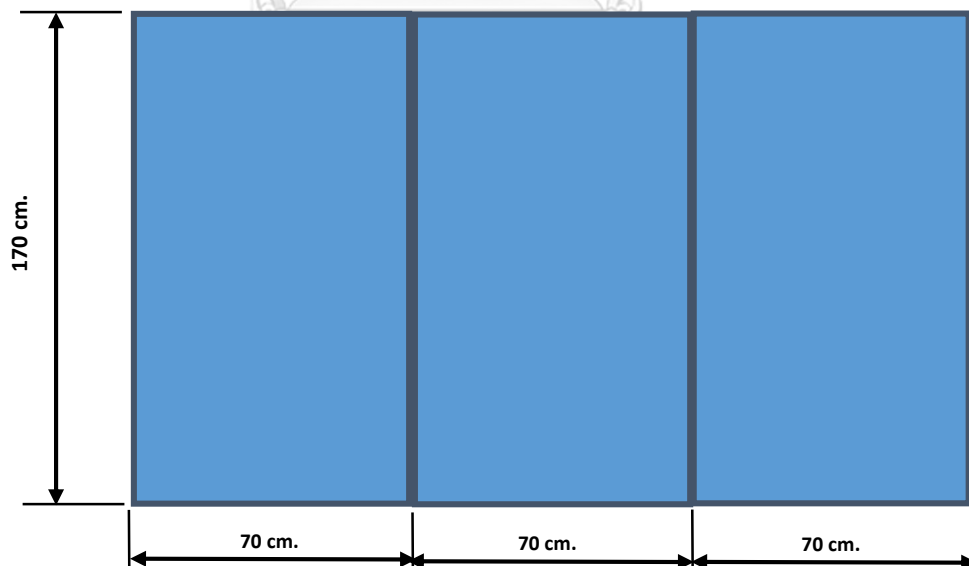


รูปที่ ค.13 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน
สำหรับแช่เครื่องดื่ม (ชุดที่ 2)

2.3) ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)



รูปที่ ค.14 ตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)

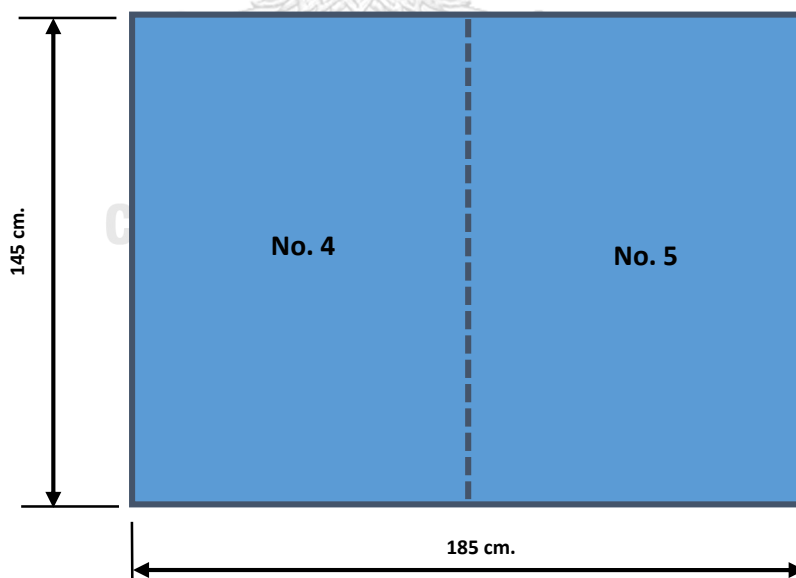


รูปที่ ค.15 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูปิด 3 บาน สำหรับอาหารแช่แข็ง (ชุดที่ 3)

2.4) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (ชุดที่ 4 และชุดที่ 5)



รูปที่ ค.16 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (ชุดที่ 4 และชุดที่ 5)

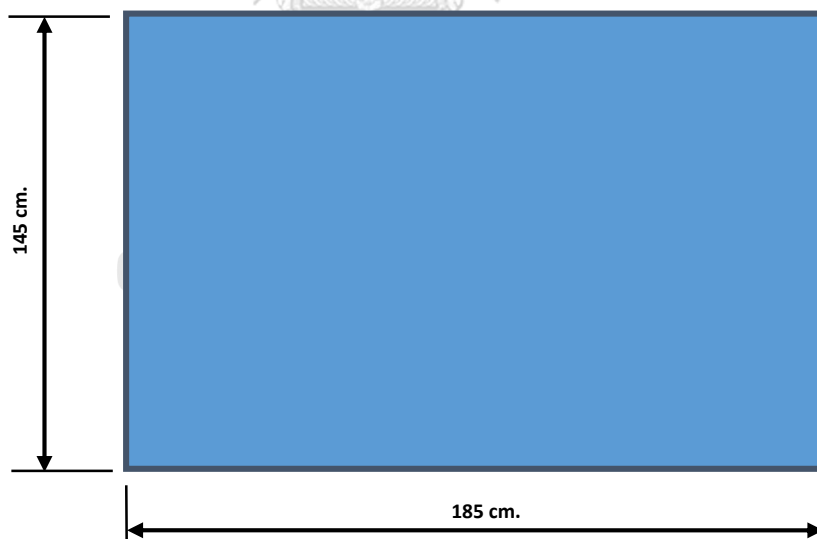


รูปที่ ค.17 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่เนื้อและผัก (ชุดที่ 4 และชุดที่ 5)

2.5) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6)



รูปที่ ค.18 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6)

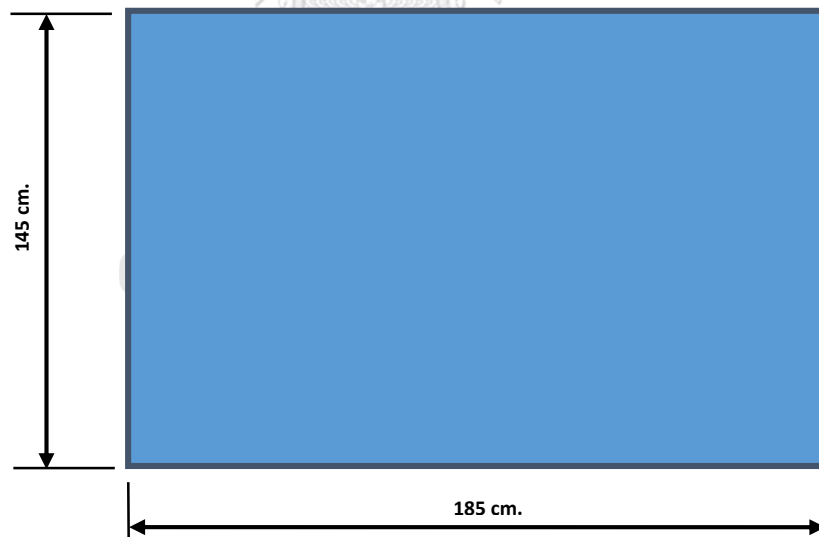


รูปที่ ค.19 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์นม (ชุดที่ 6)

2.6) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7)



รูปที่ ค.20 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7)

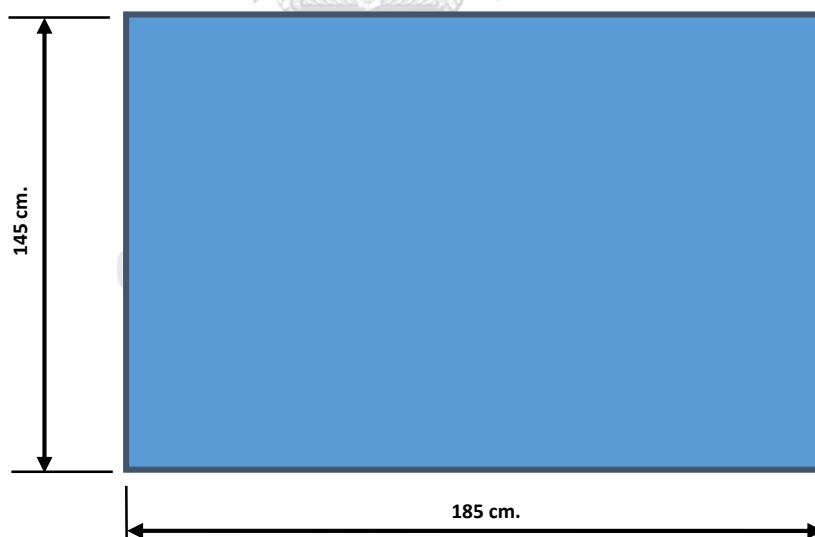


รูปที่ ค.21 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่โยเกิร์ต (ชุดที่ 7)

2.7) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8)



รูปที่ ค.22 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8)

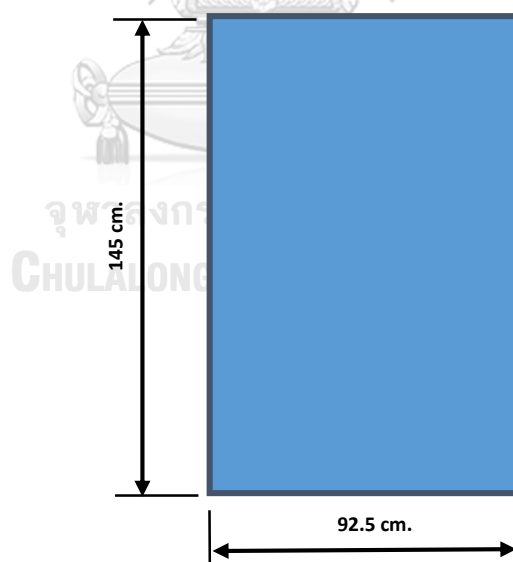


รูปที่ ค.23 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 8)

2.7) ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9)



รูปที่ ค.24 ตู้เย็นแบบประตูเปิด สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9)



รูปที่ ค.25 การวัดขนาดช่องปล่อยลมเย็นของตู้เย็นแบบประตูเปิด
สำหรับแช่อาหารพร้อมรับประทาน (ชุดที่ 9)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ไกรวิชญ์ เศาภายน
วัน เดือน ปี เกิด	31 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสมเด็จพระสังฆราช องค์ที่ 17 จังหวัดสุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	74/8 ถนนราษฎร์อุทิศ ตำบลสองพี่น้อง อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี 72110



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY