

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ทำความเย็นในร้านสะดวกซื้อ

รัชดาพร ศาลากิจ

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2561

ASSESSMENT OF ENERGY CONSERVATION POTENTIAL FOR THE COOLING EQUIPMENT
IN CONVENIENCE STORE

Ratchadaporn Salakij

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2018

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ทำ
ความเย็นในร้านสะดวกซื้อ

โดย

รัชดาพร ศาลากิจ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส)

.....กรรมการ

(ดร. กรกฎ เหมสถาปัตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

รัชดาพร ศาลากิจ : การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ทำความเย็นในร้านสะดวกซื้อ. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ, 112 หน้า.

ร้านสะดวกซื้อที่ให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเขตชุมชนเมืองและพื้นที่ชนบทของประเทศไทย ภายในร้านค้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าติดตั้งมากมายสำหรับการทำความเย็น การปรับอากาศ การส่องสว่าง การอุ่นอาหาร และอื่นๆ จึงต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ร้านสะดวกซื้อหลายแบรนด์ได้ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ต้องการทราบลักษณะการใช้พลังงานของร้านค้า เหตุปัจจัยรวมถึงกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน โดยได้สำรวจภาคสนามร้านสะดวกซื้อจำนวน 10 แห่ง การวิเคราะห์พลังงานจากผลตรวจวัดทำให้ทราบว่า ร้านสะดวกซื้อมีการใช้ไฟฟ้าสูงในระดับ 172,800 kWh/year หรือ 823 kWh/m².year และค่าความเข้มของการใช้พลังงานสูงกว่าอาคารสำนักงานและห้างสรรพสินค้า ระบบทำความเย็นเป็นระบบที่ใช้พลังงานรวมสูงที่สุดร้อยละ 60-80 โดยระบบปรับอากาศใช้พลังงานประมาณร้อยละ 25 ขณะที่การส่องสว่างด้วยไฟฟ้าใช้พลังงานไม่เกินร้อยละ 5 ผลงานวิจัยนำเสนอเทคโนโลยีและแนวทางอนุรักษ์พลังงาน อาทิ การใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ การใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับตู้เย็นแบบเปิดและแบบวอร์คอิน การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า ซึ่งมาตรการทั้งหมดนี้สามารถลดการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อและประเมินได้ว่ามีความคุ้มค่าเชิงต้นทุน ระยะเวลาคืนทุน 0.8-5.9 ปี

RATCHADAPORN SALAKIJ : ASSESSMENT OF ENERGY CONSERVATION POTENTIAL
FOR THE COOLING EQUIPMENT IN CONVENIENCE STORE. ADVISOR : ASST. PROF.
DR. WIPAWADEE WONGSUWAN, 112 PP.

The convenience stores that provide services for 24 hours have been growing in urban and countryside. The store contained many electric appliances for refrigeration, air-conditioning, lighting, food heating, etc. that require so much electricity. Particular convenience stores have been continually conducted energy conservation measures. This research investigated energy usage pattern, factors, and activities that affect the energy utilization. The energy analysis from field energy audits of 10 convenience stores showed that the stores used electricity at 172,800 kWh/year or 823 kWh/m².year. The energy intensity was higher than an office building and a department store. The refrigeration system used large energy portion at 60-80%, the air-conditioning used 25%, and the electric lighting system used less than 5%. The potential technology and guidelines of energy conservation measures has been proposed; e.g., inverter air-conditioner, inverter compressor for refrigeration of the open showcase and walk-in, solar rooftop PV. All these measures could reduce energy usage of such convenience store cost- effectively with a payback period of 0.8-5.9 years.

TNI

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2018

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชาวดี วงษ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ โดยได้สละเวลา ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยัง ช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และให้ คำแนะนำร่วมถึงให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านในการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ถิรมิจระจรส์ และดร. กรกฏ เหมสถาปัตย์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ มากยิ่งขึ้น

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณอาจารย์ เพื่อนๆ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใน ความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

รัชดาพร ศาลากิจ

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 การใช้พลังงานและอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อ.....	4
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	6
1.6 แผนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์.....	6
2 บรรณกรรมวิจัย.....	8
2.1 ร้านสะดวกซื้อ (Convenience Store).....	8
2.2 การอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อในต่างประเทศ.....	11
2.3 การอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย.....	16
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 การทบทวนวรรณกรรมวิจัย.....	22
3.2 ร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยและการอนุรักษ์พลังงาน.....	23
3.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ.....	42
3.4 การวิเคราะห์แนวทางอนุรักษ์พลังงาน.....	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4	การตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงาน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และศักยภาพ
	การประหยัดพลังงานของร้านสะดวกซื้อ..... 54
4.1	การใช้พลังงานรวมของร้านค้า..... 54
4.2	ระบบปรับอากาศ..... 59
4.3	ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง 72
4.4	ห้องเย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in)..... 74
4.5	ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase)..... 78
4.6	การนำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์จากการตรวจวัด..... 82
4.7	ลักษณะอาคารร้านสะดวกซื้อตามแบบจำลองและอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า..... 84
4.8	แบบจำลองการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อและมาตรการอนุรักษ์พลังงาน..... 86
4.9	ประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 86
4.10	การวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ 89
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 93
5.1	สรุปผลการวิจัย..... 93
5.2	ข้อเสนอแนะ 98
บรรณานุกรม	 99
ภาคผนวก	 102
ภาคผนวก ก. แสดงข้อมูลเทคนิคของมาตรการต่างๆ	 103
ประวัติย่อผู้วิจัย	 112

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 อัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมค้าปลีกในไทยระหว่างปี 2553-2558 (ครึ่งปี)	2
1.2 จำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยระหว่างปี 2555-2559	3
1.3 แผนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์	6
2.1 มาตรการการปรับปรุงการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	15
2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมของการเก็บรักษาลิธัมต์ (°C)	15
3.1 จำนวนเครื่องปรับอากาศตามขนาดร้านค้าและพื้นที่ขาย	27
3.2 จำนวนหลอดไฟฟ้าติดตั้งสำหรับร้านค้าแต่ละประเภท	29
3.3 การตรวจวัดพลังงานในร้านสะดวกซื้อ	46
3.4 รายการอุปกรณ์ตรวจวัดและข้อมูลจำเพาะ	50
4.1 การใช้อาคารของร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจ	55
4.2 การใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจ	56
4.3 การใช้ไฟฟ้าในช่วง 7 วันที่ดำเนินการตรวจวัด	58
4.4 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศของร้านสะดวกซื้อที่สำรวจ	63
4.5 การทำงานของเครื่องปรับอากาศ	64
4.6 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศโดยรวม	66
4.7 ระบบส่องสว่างของร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจ	73
4.8 การทำงานของตู้เย็นแบบ Walk-in	76
4.9 ข้อมูลจำเพาะของตู้แช่เย็นแบบเปิด Open Showcase	79
4.10 การทำงานของตู้แช่เย็นแบบเปิด Open Showcase	82
ก.1 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและบุนวนหลังคา	104
ก.2 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและติดตั้งบุนวน ใต้หลังคา	105
ก.3 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์	106
ก.4 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ อินเวอร์เตอร์	107
ก.5 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งตู้แช่เย็นแบบโอเพ่นโชว์เคสด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ อินเวอร์เตอร์	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.6 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการติดตั้งตู้แช่เย็นแบบเปิดด้วยคอมเพรสเซอร์ อินเวอร์เตอร์	109
ก.7 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งห้องเย็นแบบวอล์คอินด้วยคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์	110
ก.8 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการติดตั้งคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็น แบบปิด	111



สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	พลังงานไฟฟ้าที่จำหน่ายและใช้ของการไฟฟ้านครหลวง พ.ศ. 2554-2558..... 1
1.2	เป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2558–2579..... 3
2.1	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อในอเมริกา 8
2.2	สัดส่วนการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อในอเมริกา 9
2.3	การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในร้านสะดวกซื้อ : ได้หวั่น..... 10
2.4	การใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อจากการศึกษาโดย DTE Energy 10
2.5	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ..... 20
3.1	วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 23
3.2	ลักษณะของร้านค้าสะดวกซื้อ 24
3.3	ผังการจัดพื้นที่ภายในร้านสะดวกซื้อ 25
3.4	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 28
3.5	หลอดไฟฟ้าส่องสว่าง..... 29
3.6	ห้องแช่แบบ Walk-in Cold Room..... 31
3.7	ตู้แช่แบบเปิด Open Showcase..... 32
3.8	ตู้แช่อาหารแช่แข็ง (ข้าวกล่องและเนื้อสัตว์) 33
3.9	ตู้แช่ไอศกรีม..... 34
3.10	ตู้แช่น้ำแข็งยูนิค..... 34
3.11	ตู้แช่เย็นแบบฝาพับ..... 35
3.12	เครื่องผลิตน้ำแข็งพร้อมจ่าย..... 36
3.13	เครื่องกदन้าหวาน JETSPRAY..... 36
3.14	เครื่อง Slurpee..... 37
3.15	เครื่องผลิตน้ำแข็ง (สำหรับน้ำอัดลม/กาแฟ)..... 37
3.16	เตาไมโครเวฟ..... 38
3.17	ตู้ขนมจีบ ซาลาเปา..... 39
3.18	เครื่องย่างไส้กรอก 40
3.19	หม้อต้มน้ำร้อน..... 40
3.20	เครื่องปั่นน้ำผลไม้..... 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.21	ปั้มน้ำ..... 42
3.22	การลงทุน ค่าใช้จ่ายและมูลค่าปัจจุบันของระบบหรืออุปกรณ์..... 52
4.1	ความต้องการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ (ตัวอย่าง) 58
4.2	ตัวอย่างผลตรวจวัดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (อินเวอร์เตอร์) 60
4.3	การวิเคราะห์การทำงานของเครื่องปรับอากาศ 65
4.4	การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ความเร็วรอบคงที่ (ร้านค้า ST-10)... 67
4.5	เครื่องปรับอากาศนี้มีขนาด 18,000 BTU/H ชนิดติดผนัง 70
4.6	การตรวจวัดพลังงานของห้องเย็นแบบ Walk-in 74
4.7	การวิเคราะห์สมรรถนะของห้องเย็นแบบ Walk-in 76
4.8	การถ่ายโอนความร้อนของประตูห้องเย็นแบบ Walk-in 78
4.9	การตรวจวัดพลังงานของตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase)..... 81
4.10	สัดส่วนการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย..... 83
4.11	สัดส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในร้านสะดวกซื้อจากแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์..... 86
4.12	แนวโน้มจำนวนร้านสาขาและการใช้ไฟฟ้าในปี 2561–2570 (GWh/yr)..... 89
4.13	แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าเดี่ยว 91
4.14	แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในอาคารพาณิชย์..... 91

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

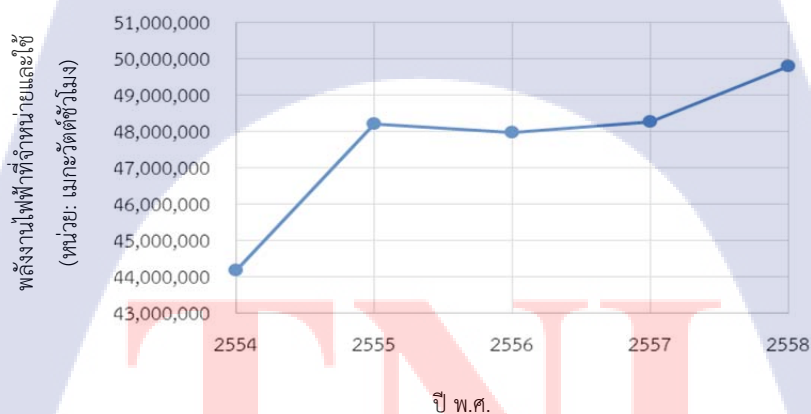
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาพรวมสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในไตรมาสที่ 1 ของปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการใช้อยู่ที่ 43,278 ล้านหน่วย (กิกะวัตต์ชั่วโมง) เพิ่มขึ้นจากปี 2558 ร้อยละ 6.6 และเกิดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak power) หรือ พีคใหม่ เมื่อเวลา 20.29 น. วันที่ 24 เมษายน 2562 ในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่ 30,120.2 เมกะวัตต์ โดยอุณหภูมิของกรุงเทพมหานคร 32.6 องศาเซลเซียส ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้รับผลจากการใช้ไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรม ร้อยละ 44 ภาคอาคารที่ประกอบด้วยอาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ร้อยละ 43 และภาคเกษตรกรรม และอื่นๆ อีกร้อยละ 3 [1]

เมื่อพิจารณาข้อมูลสถิติการจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง จำแนกตามประเภทผู้ใช้ ช่วงปี พ.ศ. 2554–2558 ซึ่งครอบคลุมเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการและนนทบุรี ดังรูปที่ 1.1 พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของปี 2558 เพิ่มขึ้นจากปี 2554 ถึงร้อยละ 12.7



รูปที่ 1.1 พลังงานไฟฟ้าที่จำหน่ายและใช้ของการไฟฟ้านครหลวง พ.ศ. 2554-2558 [2]

การใช้พลังงานในภาคอาคารธุรกิจส่วนหนึ่งมาจากร้านสะดวกซื้อ (Convenience Store) ซึ่งปัจจุบันสามารถพบเห็นได้ทั่วไป เนื่องจากร้านค้าสามารถอำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการทั้งสิ่งอุปโภคและบริโภคได้ทุกเพศ ทุกวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชุมชนเมืองที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและประชาชนต้องการความรวดเร็ว ความสะดวกสบาย ภายในเวลาที่ค่อนข้างจำกัด

ร้านสะดวกซื้อ เป็นร้านค้าขายสินค้ายุคใหม่ (Modern Trade) ที่ถูกพัฒนารูปแบบจากร้านขายของชำรูปแบบเดิมในมิติต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเลือกทำเลที่ตั้งให้ง่ายต่อการเข้าถึงของลูกค้า การจัดร้านค้าที่เป็นระเบียบสามารถค้นหาสินค้าได้สะดวก ภายในร้านค้าปรับอากาศเพื่อให้รู้สึกสบาย สินค้าที่หลากหลาย มีบริการอาหารสำเร็จพร้อมทาน บริการอุ่นอาหาร รับชำระเงิน ส่งพัสดุไปรษณีย์ ซักรีด ถ่ายเอกสาร ฝากถอนเงิน ฯลฯ รวมถึงเป็นการให้บริการแบบ 24 ชั่วโมง จึงสามารถสนองและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี

ในธุรกิจค้าปลีกของประเทศไทย ร้านสะดวกซื้อที่มีอัตราการขยายตัวค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเภทธุรกิจค้าปลีกอื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน เช่น ซูเปอร์มาร์เก็ต ไฮเปอร์มาร์เก็ต และห้างสรรพสินค้า นอกจากนี้ร้านสะดวกซื้อจะเติบโตอย่างมากในประเทศไทยแล้ว กลุ่มภูมิภาคอาเซียนก็มีอัตราการเติบโตสูงตามๆ กัน โดยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศในกลุ่มอาเซียนอุตสาหกรรมค้าปลีกของประเทศไทยมีขนาดใหญ่เป็นอันดับที่ 3 รองจาก อินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ [3] ดังตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลอัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมค้าปลีกในไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2558 (ครึ่งปี)

ตารางที่ 1.1 อัตราการขยายตัวของอุตสาหกรรมค้าปลีกในไทยระหว่างปี 2553-2558 (ครึ่งปี) [4]

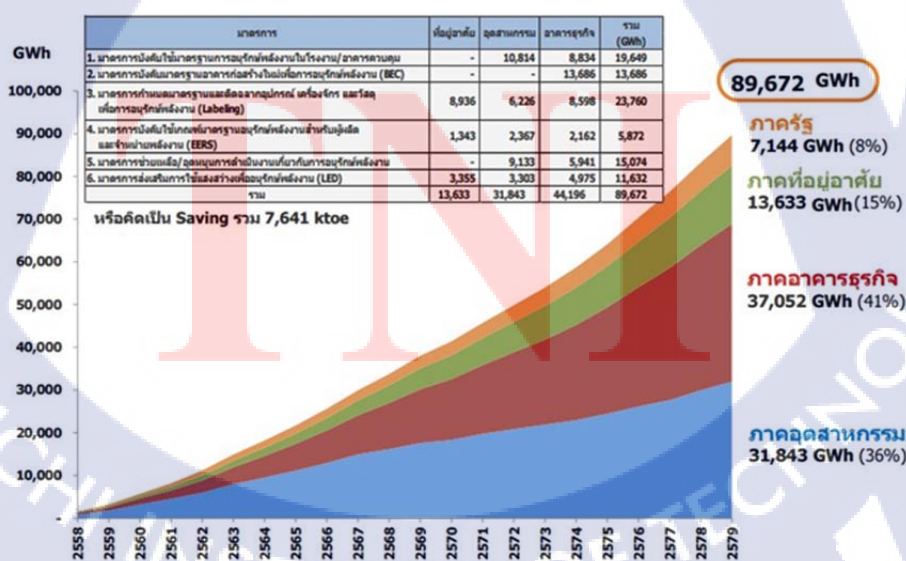
ประเภทธุรกิจค้าปลีก	ปี พ.ศ.					
	2553	2554	2555	2556	2557	2558
ร้านสะดวกซื้อ (Convenience Store)	19.3	15	18	10	4	2.8
ไฮเปอร์มาร์เก็ต (Hypermarket)	9.1	8.3	10	3.5	2.6	1.8
ดีพาร์ทเมนต์ สโตร์ (Department Store)	6.2	9.6	12	5.5	3.4	3
ร้านค้าเฉพาะทาง (Specialty Store)	10.6	12	18	8.5	4.5	1.7
ซูเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket)	8.8	8.5	10	8	6.5	8.5

จากการรวบรวมข้อมูลโดยทีมวิจัยธนาคารกรุงศรีอยุธยา พบว่าในปี พ.ศ. 2559 มีสาขาร้านสะดวกซื้อจำนวน 15,325 แห่งทั่วประเทศ ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.2 จากปี พ.ศ. 2558 โดยเป็นการขยายการลงทุนจากผู้ประกอบการชั้นนำทุกราย โดยเซเว่น-อีเลฟเว่น เพิ่มขึ้น 773 สาขา (8.9%) แฟมิลีมาร์ท เพิ่มขึ้น 50 สาขา (4.6%) และโลว์สัน 108 เพิ่มขึ้น 52 สาขา (11.7%) เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2555-2559 สรุปได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 จำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยระหว่างปี 2555-2559 [5]

ร้านสะดวกซื้อ	จำนวนร้านสาขาทั้งหมด				
	2555	2556	2557	2558	2559
7-Eleven	6,822	7,429	8,127	8,727	9,500
Lawson 108	600	540	531	446	498
Family Mart	764	1,048	1,060	1,080	1,130
Lotus Express	1,071	1,305	1,421	1,471	1,477
Mini Big C	126	278	316	391	473
Top Daily	119	15	24	51	75
Maxvalu Tanjai	32	40	47	48	53
อื่นๆ	2,347	2,341	2,037	2,078	2,119
รวม	11,881	12,996	13,563	14,292	15,325

ด้วยเหตุที่ประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น กระทรวงพลังงานจึงได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2558–2579 (Energy Efficiency Plan 2015-2036 : EEP 2015) โดยมีเป้าหมายลดการใช้พลังงานในภาพรวมของประเทศลง 89,672 GWh ในปี 2579 และเป้าหมายรายสาขาในภาคอุตสาหกรรม 31,843 GWh อาคารธุรกิจ 37,052 GWh บ้านอยู่อาศัย 13,633 GWh และภาครัฐ 7,144 GWh ตามลำดับ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เป้าหมายของแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2558–2579 [6]

ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี กำหนดให้ผู้ให้บริการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ต้องมีบทบาทในกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม

ด้วยแนวโน้มความต้องการใช้ไฟฟ้าและจำนวนสาขาร้านสะดวกซื้อที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว ข้างต้น การอนุรักษ์ และ/หรือ การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในร้านสะดวกซื้อจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายจากความสูญเสียที่ไม่จำเป็นแก่ผู้ประกอบการ อีกทั้งเป็นการสนับสนุนให้การดำเนินงานอนุรักษ์พลังงานสามารถบรรลุเป้าหมายตามแผนอนุรักษ์พลังงานของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 การใช้พลังงานและอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อ

ร้านสะดวกซื้อที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานสูงเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะกลุ่มอุปกรณ์ทำความเย็น การใช้พลังงานของอุปกรณ์เหล่านี้ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นหนึ่งในต้นทุนหลักและมีผลกระทบต่อผลประกอบการของธุรกิจ ร้านสะดวกซื้อเหล่านี้มีพื้นที่ของร้านค้าน้อยเมื่อเทียบกับไฮเปอร์มาร์เก็ตหรือห้างสรรพสินค้า แต่หากพิจารณาดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ต่อปีแล้วจะมีค่าที่สูงกว่ามาก ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลจากการที่ร้านค้าเปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง

ในประเทศไทย ธุรกิจร้านสะดวกซื้อได้ดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดต้นทุนพลังงานและภาวะโลกร้อน ขณะที่การบริการยังคงต้องสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ซึ่งกิจกรรมครอบคลุมการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง การพัฒนาระบบจัดการพลังงาน การบำรุงรักษาเครื่องจักร และการสร้างจิตสำนึกตลอดจนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของพนักงาน ผลการดำเนินงานส่วนหนึ่งสามารถเห็นได้จากการพัฒนาร้านค้าต้นแบบที่อนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมของแต่ละแบรนด์ธุรกิจ

สำหรับกรอบหรือเปลือกอาคารของร้านสะดวกซื้อ พบว่ามีการประยุกต์ใช้วัสดุฉนวนการใช้สีสะท้อนความร้อน การใช้พัดลมระบายอากาศใต้หลังคา เพื่อลดความร้อนที่จะลงมาในพื้นที่ขายสินค้าที่มีการปรับอากาศ การติดตั้งฟิล์มสะท้อนความร้อนเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อลดความร้อนจากหน้าต่างกระจก ในส่วนของระบบไฟฟ้าส่องสว่างพบว่าหลอด LED ถูกนำมาทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 ทั้งในพื้นที่ขายสินค้าและหลอดไฟฟ้าที่ใช้กับตู้แช่หรือห้องแช่ทั้งหมด สำหรับการปรับอากาศซึ่งมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงพบว่าอินเวอร์เตอร์คอมเพรสเซอร์เป็นเทคโนโลยีที่ถูกเลือกใช้ สารทำความเย็นมีการเปลี่ยนจาก R22 เป็น R410a และ R32 และสำหรับระบบทำความเย็นเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้เช่นกัน

นอกเหนือจากการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการโดยธุรกิจร้านสะดวกซื้อเองแล้ว หน่วยงานภาครัฐก็มีส่วนในการส่งเสริมและผลักดันให้การอนุรักษ์พลังงานเกิดขึ้นจริงและสัมฤทธิ์ผล โครงการเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (เบอร์ 5) โดย กฟผ. การพัฒนาฉนวนกั้นความร้อนอนุรักษ์พลังงาน โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) รวมถึงโครงการอาคารประหยัดพลังงาน โดย กฟน. ล้วนมีส่วนผลักดันให้การอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อเป็นรูปธรรม

จากลักษณะของอาคารและการใช้พลังงานที่สูงของร้านสะดวกซื้อ เทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงานที่หลากหลายสำหรับระบบทำความเย็น ระบบปรับอากาศ ระบบส่องสว่าง และกรอบอาคารที่มีความพร้อมในเชิงพาณิชย์ และการสนับสนุนของกองทุนการเงินเพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่จัดสรรอยู่ในปัจจุบันโดยหน่วยงานภาครัฐ คาดว่าการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานกับกลุ่มอาคารร้านสะดวกซื้อ สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 20 และนำไปสู่แนวทางการวางแผนอนุรักษ์พลังงานในอนาคต

การขยายผลของโครงการนี้ยังช่วยให้ผู้ให้บริการพลังงานเกิดการประหยัดต้นทุน โดยการชะลอการลงทุนในหน่วยผลิตไฟฟ้าใหม่ๆ อีกทั้งยังเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่ผู้ให้บริการไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการตรวจสอบการใช้พลังงานยังสถานที่จริงหรือร้านสะดวกซื้อ ศึกษาและวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ โดยเน้นที่อุปกรณ์ทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศซึ่งมีส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.3.1 เพื่อตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ และปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความเย็นในร้านสะดวกซื้อ

1.3.2 เพื่อศึกษาแนวทางอนุรักษ์พลังงานและประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์ทำความเย็นของร้านสะดวกซื้อ และประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบลักษณะการใช้พลังงานและอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ทำความเย็นของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย

1.4.2 ได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ทำความเย็น และมาตรการสนับสนุนด้านการเงินที่จำเป็นในการผลักดันโครงการอนุรักษ์พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อ (ในอนาคต) ให้สัมฤทธิ์ผล

[illegible]

ตารางที่ 1.3 แผนการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี 2561							ปี 2562				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
6. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของร้านสะดวกซื้อและทำตรวจวัดและพิสูจน์												
7. สรุปและรายงานผลการวิเคราะห์												
8. เขียนและแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์												
9. เขียน ส่ง และนำเสนอบทความวิชาการในที่ประชุมวิชาการ												
10. สอบป้องกันวิทยานิพนธ์												



TNI

บทที่ 2

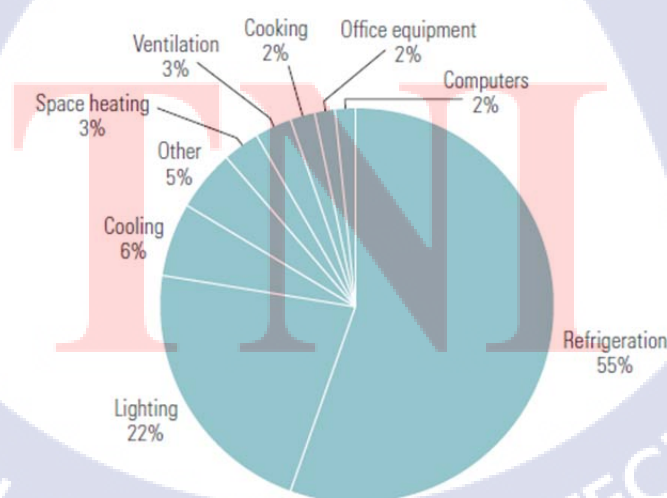
วรรณกรรมวิจัย

บทนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ มาตรการที่ดำเนินการแล้วกับร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยโดยผู้ประกอบการต่างๆ และมาตรการของร้านค้าในต่างประเทศ รวมถึงแนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ (Measurement and Verification) ที่เป็นกระบวนการประเมินผลประหยัดจากการปรับปรุงระบบที่ใช้พลังงาน (Energy-Consuming System)

2.1 ร้านสะดวกซื้อ (Convenience Store)

ธุรกิจร้านสะดวกซื้อเป็นกลุ่มธุรกิจบริการที่มีการใช้ปริมาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยแปรผันตามการเติบโตของธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นเพิ่มชนิดและจำนวนของอุปกรณ์ร้านค้ารวมถึงการเพิ่มจำนวนร้านสาขา ในขณะที่มีช่วงระยะเวลาการเปิดบริการตลอด 24 ชั่วโมง

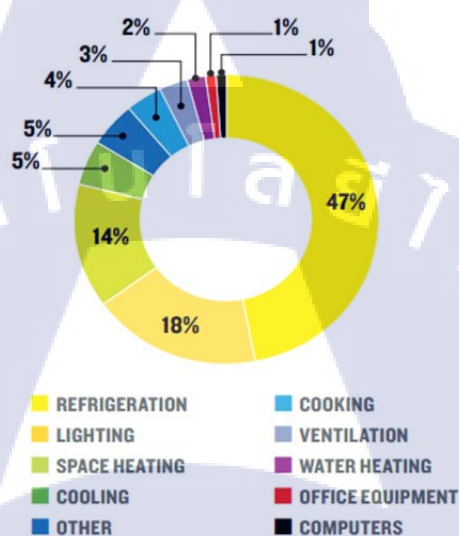
ในสหรัฐอเมริกา ร้านสะดวกซื้อมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 564.8 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร จากข้อมูลของ U.S Energy Information Administration (EIA) ได้ระบุว่าสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าหลักอยู่ที่ ระบบการทำความเย็น (Refrigeration) ที่ร้อยละ 55 รองลงมา คือ ระบบการส่องสว่าง (Lighting) อยู่ที่ร้อยละ 22 ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อในอเมริกา [7]

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานที่ครอบคลุมทุกชนิดของแหล่งเชื้อเพลิงหลัก ได้แก่ ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเพื่อทำความร้อน (Heating Oil) พบว่า เครื่องทำความเย็น ระบบแสงสว่าง และการทำความร้อน มีสัดส่วนการใช้พลังงานรวมกันประมาณร้อยละ 85 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ดังรูปที่ 2.2

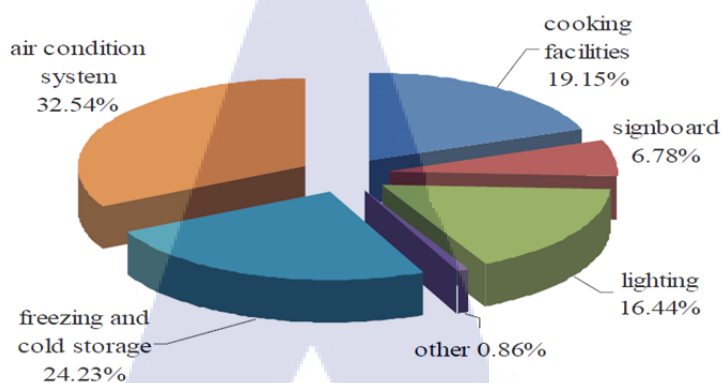
**ELECTRICITY CONSUMPTION
BY END USE—CONVENIENCE STORES**



Source: U.S. Energy Information Administration

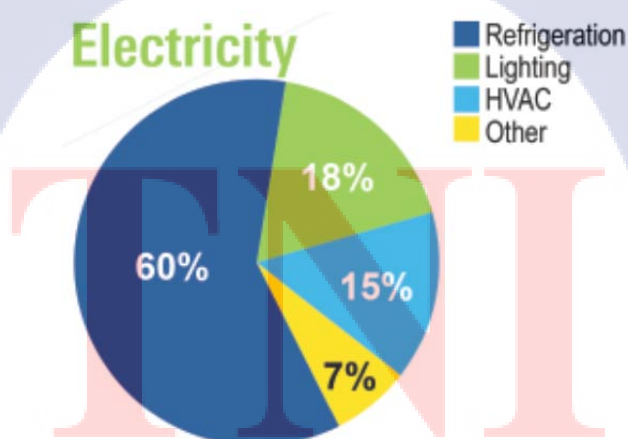
รูปที่ 2.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อในอเมริกา [7]

ในประเทศไต้หวัน H. Y. Weng [8] ได้ศึกษาพฤติกรรมการประหยัดพลังงานในร้านสะดวกซื้อและระบุว่าไต้หวันมีร้านสะดวกซื้อ 9,204 ร้าน โดยจะมีร้านค้าอย่างน้อย 1 ร้านค้าต่อจำนวนประชากรในพื้นที่ 2,500 คน โดยรูปที่ 2.3 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อในไต้หวัน ซึ่งระบบที่ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด คือ ระบบปรับอากาศร้อยละ 32.5 และรองลงมา คือ การทำความเย็นร้อยละ 24.2 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด



รูปที่ 2.3 การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในร้านสะดวกซื้อ : ได้หวัน

นอกจากนี้ DTE Energy [9] ได้ศึกษาการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในหลายๆ แห่ง พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติในปริมาณมาก และถือได้ว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่มีมูลค่าสูงเป็นลำดับต้นๆ ของการดำเนินธุรกิจ ซึ่งพบว่าในระบบทำความเย็นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 60 ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนระบบส่องสว่างมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ร้อยละ 18 และร้อยละ 15 ในระบบ HVAC ดังรูปที่ 2.4 เมื่อสมมติว่าร้านสะดวกซื้อมีกำไรเฉลี่ยร้อยละ 2.5 ของยอดขาย ซึ่งหากประหยัดพลังงานได้สัปดาห์ละ 250 เหรียญ จะเทียบเท่ากับยอดขายที่เพิ่มขึ้นของร้านสะดวกซื้อถึง 10,000 เหรียญต่อสัปดาห์



รูปที่ 2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อจากการศึกษาโดย DTE Energy [9]

2.2 การอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อในต่างประเทศ

จากการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูง การดำเนินมาตรการในการลดการใช้พลังงานกับร้านสะดวกซื้อจึงมีศักยภาพสูง ในสหรัฐอเมริกา กลุ่มวิจัยของ The National Renewable Energy Laboratory (NREL) [10] ระบุว่าร้านสะดวกซื้อสามารถปรับปรุงให้มีสมรรถนะพลังงานเหนือกว่ามาตรฐาน ASHRAE 90.1-2004 และสามารถลดพลังงานลงได้ถึง 50% ทั้งนี้ การศึกษามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) กำหนดคุณลักษณะทางสถาปัตยกรรมของร้านสะดวกซื้อ และสร้างเป็นแบบจำลองของร้านค้าตัวแทน
- (2) สร้างเส้นฐานของการใช้พลังงานจากแบบจำลองร้านค้าในแต่ละโซนภูมิอากาศ
- (3) กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Design Measures: EDMs) และวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยใช้แบบจำลองร้านค้า
- (4) ใช้ข้อคิดเห็นจากภาคอุตสาหกรรม เพื่อยืนยันว่าแบบจำลองร้านค้าและมาตรการพลังงานมีความเหมาะสม สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง
- (5) การจำลองสภาพ (Simulation) และเลือกมาตรการ เพื่อให้ร้านค้าลดการใช้พลังงานได้เกินกว่าร้อยละ 50 สำหรับแต่ละโซนภูมิอากาศ รวมถึงจัดลำดับของมาตรการตามค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 5 ปี (Life Cycle Cost)

ในงานวิจัยของ The National Renewable Energy Laboratory (NREL) [10] ได้สร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของร้านค้าสะดวกซื้อ กำหนดให้มีพื้นที่ $4,181 \text{ m}^2$ เป็นร้านค้าทรงฉากชั้นเดียว มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (Aspect Ratio) เท่ากับ 1.5 และหน้าร้านค้ามีพื้นที่กระจก 130 m^2 (อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนังด้านหน้าเท่ากับร้อยละ 27) ขณะที่พื้นที่หน้าต่างต่อผนังทั้งอาคารเท่ากับร้อยละ 8

ผนังของอาคารตัวแทนเป็นชนิดก่ออิฐฉาบปูน หลังคาติดตั้งฉนวน ระบบปรับอากาศใช้เครื่องปรับอากาศแบบเป็นชุด (Package Unit) ขนาด 10 ตันความเย็น ติดตั้งบนหลังคา มีเตาก๊าซธรรมชาติสำหรับทำความร้อน และมีคอยล์ทำความเย็นเป็นแบบน้ำยา (Direct-Expansion Coils) และคอนเดนเซอร์เป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ภาระการทำความเย็นของห้องเย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in) และตู้เย็นเท่ากับ 274 kW สัดส่วนคอมเพรสเซอร์แบบอุณหภูมิทำงานปานกลาง (Medium Temperature) และอุณหภูมิทำงานต่ำ (Low Temperature) เท่ากับร้อยละ 78 : 22

มาตรการพลังงาน (EDMs) ที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- (1) เทคโนโลยีการส่องสว่าง (Lighting Technologies) การลดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง การควบคุมการเปิดหลอดไฟฟ้าเมื่อมีผู้อยู่ในร้านค้า และการใช้แสงธรรมชาติ
- (2) ระบบหน้าต่าง (Fenestration) จำนวนและประเภทของกระจกด้านหน้าร้านค้า และการใช้กันสาดบังแดด

(3) กรอบอาคาร (Envelope) ฉนวนสำหรับผนังทึบ การป้องกันอากาศรั่วที่โถงทางเข้าอาคาร

(4) อุปกรณ์ปรับอากาศ (HVAC Equipment) การใช้อุปกรณ์และพัฒมประสิทธิภาพสูงขึ้น การใช้ไอโคโนโมเซอร์ การระบายอากาศที่ควบคุมตามความต้องการ (Demand Control Ventilation : DCV) และเครื่องระบายอากาศแบบนำพลังงานกลับมาใช้ (Energy Recovery Ventilators : ERVs)

(5) อุปกรณ์ทำความเย็น (Refrigeration Equipment) ตู้เย็นที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนโดยการระเหย (Evaporatively Cooled Condensers)

(6) การผลิตพลังงาน (Power Generation) แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า

ผลการศึกษาในงานวิจัยของ NREL [10] แสดงให้เห็นว่าร้านค้าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 50 และมีความคุ้มค่าในการลงทุน แต่เทคโนโลยีการผลิตพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไม่จำเป็นต้องได้ตามเป้าหมายการผลิตพลังงานในทุกโซนของสภาพอากาศ สำหรับมาตรการพลังงานที่แนะนำให้ใช้ได้ในทุกพื้นที่อากาศ ได้แก่

(1) การลดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างลงร้อยละ 47 และติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวในพื้นที่เก็บสินค้า ห้องเครื่อง ห้องน้ำ และออฟฟิศ

(2) เพิ่มโถงทางเข้าอาคารไปที่ด้านหน้าร้าน เพื่อลดการรั่วไหลของอากาศ

(3) การติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ใช้พัฒมประสิทธิภาพสูง

(4) ติดตั้งเซนเซอร์ควบคุมระดับแสงที่ 500 lux

(5) ใช้ตู้แช่ไอศกรีมและอาหารแช่แข็งที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นรุ่นที่มีประตูปิด และละลายน้ำแข็งด้วยก๊าซร้อน

(6) ใช้ตู้แช่เนื้อและผลิตภัณฑ์จากนมแบบเปิดที่มีประสิทธิภาพสูง และเป็นรุ่นที่มีประตู

(7) ใช้ตู้แช่เนื้อสัตว์ที่ติดตั้งพัฒมประสิทธิภาพสูง มีระบบควบคุมการละลายผ้า การละลายน้ำแข็งด้วยไฟฟ้า และประตูแบบเลื่อน

(8) การลดสัดส่วนของหน้าต่างด้านทิศใต้เหลือร้อยละ 50

ในปี พ.ศ. 2555 มีการศึกษาความเป็นไปได้ของร้านสะดวกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยและในเวียดนาม [11] โดยมีการประเมินโอกาสทางธุรกิจ การเงิน และการลงทุนด้านสิ่งแวดล้อม โครงการนี้แบ่งเป็นสองระยะ ช่วงปีแรกเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง Bilateral Offset Credit Mechanism (BOCM) ผ่านการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในร้านค้าสะดวกซื้อในประเทศไทยและเวียดนาม ทั้งนี้ เน้นที่การศึกษาผลประหยัดจากการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ หลอดไฟฟ้าส่องสว่าง และตู้เย็นแบบโซว์เคส ให้เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

โครงการนี้เริ่มต้นด้วยการหาข้อมูลเกี่ยวกับนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศเป้าหมาย คือ ประเทศไทยและเวียดนาม และการนำ BOCM มาใช้ประโยชน์กับประเทศทั้งสอง การใช้พลังงานของทั้งสองประเทศเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงคาดหวังถึงการตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานในภาคธุรกิจรวมถึงร้านสะดวกซื้อที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต จากนั้นโครงการได้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในร้านสะดวกซื้อจำนวน 7 ร้านค้า ในทั้งสองประเทศ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากการอนุรักษ์พลังงาน และพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงประมาณ 30% โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และมีการศึกษาการพัฒนาวิธีการ MRV สำหรับร้านค้าจำนวนหนึ่งที่จะอนุรักษ์พลังงานภายใต้กรอบ BOCM โดย 2 วิธีการ ได้แก่ (1) การคำนวณตามรายการอุปกรณ์ และ (2) การคำนวณตามการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งร้านค้า

วิธีการแรกจะรวมถึงเครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าส่องสว่างและตู้แช่เย็นแบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งได้มีการคำนวณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละอุปกรณ์ จากนั้นในวิธีการที่สองได้ทำการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งร้าน และนำมาเปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าที่คำนวณจากสมการของแบบจำลองร้านค้าทั้งก่อนและหลังการทำโครงการ ซึ่งแบบจำลองนั้นสร้างมาจากข้อมูลทางสถิติที่ได้จากข้อมูลของร้านค้าที่ติดตั้งอุปกรณ์ชุดเดิม วิธีการนี้ใช้ข้อเท็จจริงที่ว่าร้านสะดวกซื้อทั้งหมดถูกออกแบบบนฐานของคุณลักษณะจำเพาะที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงไม่จำเป็นต้องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นรายอุปกรณ์ และวิธีการนี้ได้รับการพิจารณาแล้วว่าสามารถทำได้ดีกับร้านสะดวกซื้อ

หากสมมติว่าโครงการใช้เงินลงทุนของแฟมิลีมาร์ทเอง จะใช้เวลา 2-3 ปีที่จะได้ค่าลงทุนคืน และพิจารณารับรองถึงความเหมาะสมของโครงการ โดยกำหนดเงื่อนไขสำหรับโครงการที่จะสนับสนุนและหาร้านค้าที่เหมาะสมกับเงื่อนไขแทนที่จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากการลงทุน

สำหรับผลกระทบจากการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าคาร์บอนเครดิตที่สร้างได้คือ 9-10 ตัน CO₂/ปี/ร้าน และ 10,800-12,000 เยน/ปี ทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาโครงการ สำหรับประเทศไทยและเวียดนาม ทั้งสิ้น 7,480 ตัน CO₂/ปี

ดังนั้น ถ้าโครงการนี้ขยายไปจนครอบคลุมร้านแฟมิลีมาร์ทในประเทศไทยและเวียดนาม ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง 12,900 ตัน CO₂/ปี และลดได้ 659,000 ตัน CO₂/ปี เมื่อโครงการนี้ขยายไปครอบคลุมร้านสะดวกซื้อในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศจีน ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาว่าโครงการนี้มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีส่วนต่อการอนุรักษ์พลังงานและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยและเวียดนาม

โครงการนี้แสดงให้เห็นว่าการนำอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นเทคโนโลยีของญี่ปุ่นมาใช้กับระบบส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบตู้แช่เย็นแบบโซลาร์เซลล์ จะลดการใช้ไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 75 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ โดยเทียบกับกรณีฐานของร้านค้าในปัจจุบัน (ขณะนั้น)

ที่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าของฟิลลิปส์ เครื่องปรับอากาศจากสหรัฐอเมริกา หรือผู้ผลิตในเอเชีย และตู้แช่เย็นแบบโอเพนโชว์เคสที่เป็นผู้ผลิตในประเทศ ในขณะที่ยังไม่มี การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ในร้านค้าที่สำรวจ

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงประกอบด้วยบาลาสต์แบบอินเวอร์เตอร์ จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 27% เพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างในหน่วย lm/w ได้ 140% ที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั่วไป สามารถเปิดติดได้ทันทีเพราะอิเล็กทรอนิกส์ใช้เวลาในการพรีฮีทน้อยกว่าลดการกระพริบของหลอดไฟฟ้า และลดเสียงที่เกิดจากอุปกรณ์ได้

สำหรับระบบปรับอากาศทั้งส่วนที่อยู่ภายในและภายนอกอาคารสามารถทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน โดยใช้อินเวอร์เตอร์และการควบคุมให้ทำงานในสภาวะที่เหมาะสม (Optimal Control) และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 46% และการใช้ไฟฟ้าจะลดลงได้อีกหากมีการจัดการวางการทำงานรายสัปดาห์

สำหรับตู้เย็นและตู้แช่เย็นแบบโชว์เคส จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ 27% หากกำหนดให้ทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน โดยการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างจาก LED การใช้อินเวอร์เตอร์และการควบคุมช่วงการทำงานที่ระดับความดันต่ำ รวมถึงการเชื่อมโยงการทำงานที่ความแม่นยำสูง (High-Precision Linkage Operation) โดยการทำงานที่มีสวิตช์ระหว่างการเปิดและปิดบ่อยครั้ง และการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่น้อยมากจะช่วยลดการใช้พลังงาน และสามารถปรับประสิทธิภาพของระบบตู้เย็นตามสัญญาณที่ได้รับจากหน่วยในตู้เย็นแบบโชว์เคส เพื่อที่จะทำให้ระบบทำงานที่อุณหภูมิคงที่

การศึกษาของ D. J. Alexander [12] ได้ระบุว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของระบบแสงสว่างและการทำความเย็นในร้านสะดวกซื้อสามารถสร้างผลกำไรที่สูงขึ้นได้ไม่มากนักด้วยการ

(1) เปลี่ยนใช้หลอดไฟ LED ที่ทันสมัย เนื่องจากช่วยลดภาระความร้อนลงได้ 10-20% เช่น Walmart สามารถลดการใช้พลังงานเฉลี่ยในตู้ทำความเย็นในร้านค้า 500 สาขาได้ 70% จากการเปลี่ยนใช้หลอด LED ที่ตู้แช่เย็น

(2) ติดตั้งระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว (Sensors) เพื่อควบคุมการเปิดปิดไฟในบริเวณที่การใช้งานไม่สม่ำเสมอ

(3) ติดตั้งระบบควบคุมการทำความเย็น Packaged Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) Unit Controls ซึ่งประกอบด้วย Advanced Digital Economizer Controls (ADECs) Demand Control Ventilation (DCV) และ Enhanced Ventilation Controls (EVCs)

(4) ทำให้มั่นใจได้ว่าประตูตู้แช่ปิดสนิท ติดตั้งระบบปิดประตูอัตโนมัติและตรวจสอบรอยรั่วอยู่เสมอ

(5) ใช้มาตรการ Anti-sweat heater controls ซึ่งสร้างผลประหยัดสูงถึง 60-70%

สำหรับมาตรการอื่นๆ ได้แสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรการการปรับปรุงการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

มาตรการด้านพลังงานไฟฟ้า	ผลประหยัด (%)
Anti-sweat heater controls	60-70
Energy Conservation Measure (ECM) fan drives for reach-in cases	30-70
ECM fan drives for walk-in boxes	30-70
LED door case lighting	40-50
Vertical night covers	5-10

นอกจากนี้ ENERGY STAR ซึ่งเป็นหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา U.S. Environmental Protection Agency (EPA) ได้ให้แนวทางการประหยัดพลังงานในร้านสะดวกซื้อ อาทิ

- (1) ตรวจสอบการตั้งค่าอุณหภูมิให้เหมาะสม โดยแนะนำให้ตั้งค่าอุณหภูมิดังนี้
 - อุณหภูมิช่องแช่แข็งระหว่าง -25.6 ถึง -22.2 องศาเซลเซียส
 - อุณหภูมิช่องเย็นระหว่าง 1.7 ถึง 3.3 องศาเซลเซียส
- (2) ทำความสะอาดคอยล์เย็นด้านหลังของทุกเครื่อง เนื่องจากฝุ่นที่สะสมจะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพลดลง

สำหรับการตั้งค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาสินค้าที่เหมาะสม ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป จะสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยรายละเอียดอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยบริษัท ไอ.ที.ซี (1993) จำกัด [13] ซึ่งเป็นบริษัทคนไทย ซึ่งกำหนดระดับอุณหภูมิในตู้แช่ในแนวทางเดียวกับ EPA ของอเมริกา แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (°C) [14]

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (°C)
สินค้าบรรจุในกระป๋องและน้ำขวด	7 - 10
ผักและผลไม้	5 - 8
ผลิตภัณฑ์แป้ง (Cooked Pastry)	3 - 5
ผลิตภัณฑ์นม	3 - 5
ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ทำสุกแล้ว	3 - 5

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (°C) (ต่อ) [14]

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (°C)
ครีม	2 - 4
เนื้อสด	-1 ~ +1
เนื้อสัตว์ปีก (สด)	-1 ~ +1
ปลาและอาหารทะเลสด	-2 ~ 0
อาหารกึ่งสำเร็จรูปพร้อมรับประทาน	-21 ~ -18
อาหารทะเลและเนื้อแข็ง	-21 ~ +18
ไอศกรีม	-23 ~ -21

นอกจากแนวทางที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีแนวทางการอนุรักษ์พลังงานอื่นๆ เช่น Emerson Climate Technologies [14] ซึ่งเป็นบริษัทชั้นนำด้านระบบทำความเย็นและการปรับอากาศสำหรับที่พักอาศัย อุตสาหกรรมและการพาณิชย์ ได้มีการบูรณาการระหว่างฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และระบบบริการอัจฉริยะ Intelligent Store™ ทำให้ธุรกิจค้าปลีกสามารถติดตามการใช้พลังงาน การแจ้งเตือนของอุปกรณ์ การส่งเจ้าหน้าที่ออกไปให้บริการ และข้อมูลการดำเนินงานต่างๆ ซึ่งครอบคลุมทั่วทั้งองค์กรได้จากที่เดียว ซึ่งในบางกรณีสามารถช่วยให้ประหยัดได้มากถึง 14,000 ดอลลาร์สหรัฐต่อร้านอีกด้วย

2.3 การอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย

การดำเนินธุรกิจร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย ประสิทธิภาพพลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ เนื่องจากร้านค้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานสูงจำนวนมาก โดยเฉพาะในกลุ่มอุปกรณ์ทำความเย็น รวมถึงการให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ยังทำให้ธุรกิจต้องดำเนินกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานเพื่อควบคุมต้นทุนและสร้างผลตอบแทนสูงสุด ขณะที่คุณภาพของการให้บริการยังคงเป็นที่พึงพอใจของลูกค้า การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานยังรวมถึงการเสริมสร้างจิตสำนึกให้กับพนักงาน การพัฒนาได้มีร้านค้าต้นแบบที่ใช้พลังงานน้อยและนำระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้แล้ว ข้อมูลโดยสังเขปรวบรวมได้ดังนี้

2.3.1 เซเว่น อีเลฟเว่น

ร้านค้าในแบรนด์ เซเว่น อีเลฟเว่น ได้คำนึงถึงเรื่องการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก กลุ่มธุรกิจมีการดำเนินนโยบายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการพัฒนาอย่าง

ยั่งยืน ภายใต้แนวคิด “7 Go Green” (เซเว่น โก กรีน) โดยที่ผ่านมาได้เปิดตัวร้านต้นแบบประหยัดพลังงานแห่งแรกของไทยที่ผ่านการรับรองอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทยในระดับสูงสุด แพลทตินัม (Platinum) จากสถาบันอาคารเขียวไทย และนับเป็นร้านค้าปลีกแห่งแรกของเมืองไทยที่ทำได้ตามเกณฑ์นี้

นโยบายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้แนวคิด 7 Go Green มี 4 โครงการหลัก ได้แก่

- (1) โครงการรณรงค์ใช้ถุงพลาสติกอย่างมีความรับผิดชอบ
- (2) โครงการประหยัดพลังงานในศูนย์กระจายสินค้า
- (3) โครงการสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และ
- (4) โครงการร้านค้าปลีกประหยัดพลังงาน

ร้านค้าสาขาราสแควร์ ถนนแจ้งวัฒนะ เป็นร้านค้าปลีกสาขาแรกของไทยที่ผ่านเกณฑ์การประเมินระดับสูงสุดแพลทตินัม (Platinum) จากสถาบันอาคารเขียวไทย นับเป็นร้านค้าปลีกอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงานอย่างครบวงจรแห่งแรกของ เซเว่นฯ ครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบและก่อสร้างอาคาร การบริหารจัดการอาคาร ผังบริเวณและภูมิทัศน์ การประหยัดน้ำพลังงานและบรรยากาศ วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง คุณภาพของสภาวะแวดล้อมในอาคาร การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในร้านและนวัตกรรมอื่นๆ โดยสาขาดังกล่าวสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 668 ตันต่อปี

ร้านเซเว่น อีเลฟเว่น ได้เปิดตัวสาขาสาธิต PIM บริเวณโรงเรียนสาธิตปัญญาวัด เป็นสาขาที่ปรับปรุงจากสาขาเดิม พร้อมเพิ่มพื้นที่ใช้งานจาก 250 ตารางเมตร เป็น 270 ตารางเมตร การพัฒนาองค์ประกอบภายในร้าน รวมทั้งความสามารถในการสร้างประโยชน์ให้กับชุมชนและสังคมที่อยู่โดยรอบร้าน

2.3.2 แฟมิลีมาร์ท

แฟมิลีมาร์ทเป็นร้านสะดวกซื้อที่ก่อตั้งในปี 2535 โดยในปี 2552 ได้ร่วมลงทุนกับกลุ่มเซ็นทรัล จำกัด ในการดำเนินการพัฒนารูปแบบร้าน สินค้า บริการ รวมทั้งขยายจำนวนสาขาเพิ่มขึ้นเป็น 1,100 ร้านค้า ครอบคลุมเกือบทุกภูมิภาคของประเทศไทย

ร้านแฟมิลีมาร์ทดำเนินธุรกิจตามแนวคิดการประหยัดพลังงานขององค์กรทั้งระบบ ตั้งแต่สำนักงานใหญ่ ร้านค้าสาขาและพนักงานทุกคน การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานอยู่ภายใต้โครงการ “กรีนแฟมิลีมาร์ท” ซึ่งเน้นการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเป็นลำดับแรก ซึ่งวิธีการหลักเป็นการอนุรักษ์พลังงานของร้านค้า โดยมาตรการที่ดำเนินการจะใช้กับทุกร้านค้า การเลือกและกำหนดมาตรการจะพิจารณาจากความเหมาะสม การลงทุน ผลตอบแทน และค่าพลังงานที่ประหยัดได้ โดยไม่กระทบต่อความสะดวกสบายของลูกค้า

การอนุรักษ์พลังงานจะดำเนินการควบคู่กับกิจกรรมอื่นๆ เช่น โครงการรณรงค์ทำ ความสะอาด โครงการลดขยะแยกขยะ ประหยัดกระดาษ จากการดำเนินโครงการที่ผ่านมาแฟมิลี มาร์ทได้ วิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดและพบว่าระบบเครื่องเย็น ไม่ว่าจะเป็นตู้เย็น ตู้แช่แข็ง หรือเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 45 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ดังนั้น แฟมิลีมาร์ทจึงมีการวางแผนร้านโดยพิจารณาทิศทางของแสงแดด การเลือกวัสดุป้องกันความร้อน ติด ฉนวนผนัง การออกแบบให้ช่องใต้หลังคามีการระบายความร้อนออกสู่ภายนอกเพื่อลดภาระการปรับ อากาศ ในส่วนอุปกรณ์ทำความเย็น แฟมิลีมาร์ทได้เปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ และร่วมกับ บริษัท Panasonic เพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ปรับอากาศจากเมืองหนาวให้เหมาะสมกับภาวะอากาศ ร้อนชื้นของประเทศไทย การกำหนดตำแหน่งของตู้เย็นหรือเครื่องทำความเย็นเป็นไปอย่างระมัดระวัง ไม่ให้ตั้งในจุดที่รับความร้อน เช่น ใกล้ประตู หรือมีแดดส่อง

ด้านการจัดการพลังงาน ร้านค้าจะต้องส่งข้อมูลการใช้พลังงานให้บริษัทหลักที่ญี่ปุ่น แบบเรียลไทม์ และเมื่อสิ้นเดือนจะมีรายงานกลับมา หากสาขาใดมีการใช้ไฟฟ้าสูงผิดปกติ

ปัจจุบันร้านแฟมิลีมาร์ทที่เปิดให้บริการเป็น Eco Store จำนวน 317 สาขา โดย ร้านค้าทั้งหมด 1,900 สาขา จะเป็น Eco Store ในอีก 5 ปีข้างหน้า ที่ผ่านมามีโครงการความร่วมมือ กับรัฐบาลไทยและรัฐบาลญี่ปุ่นเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งแฟมิลีมาร์ทมี ส่วนร่วมในโครงการเพื่อลดการปล่อยได้ถึง 4,000 ตันต่อปี มีการเข้าร่วมโครงการส่งเสริมการปรับปรุง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารกับ กฟน.

ในปี 2559 มีการแลกเปลี่ยนความรู้แนวคิดด้านเทคโนโลยีและวิธีปฏิบัติ ซึ่งทำให้ สามารถลดการใช้พลังงานได้มากยิ่งขึ้น ในอนาคต แฟมิลีมาร์ทมุ่งพัฒนาและศึกษาเทคโนโลยีใหม่ๆ ทั้งด้านระบบทำความเย็น วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งระบบควบคุมอุณหภูมิภายในร้านและ พลังงานทดแทน หากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ สำหรับมาตรการอนุรักษ์พลังงานบางส่วนประกอบ ด้วย การเปลี่ยนใช้ EC มอเตอร์กับพัดลม และหลอด LED สำหรับตู้ Open Showcase และตู้ Walk-in การเปลี่ยนใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ การเปลี่ยนใช้หลอด LED สำหรับส่องสว่างในร้านค้า และการติดตั้ง Motion Sensor

2.3.3 เทสโก้ โลตัส เอ็กซ์เพรส

เทสโก้ โลตัส มีนโยบายในการสร้างกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน โดยได้ตั้งเป้าที่จะลด การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 50 ในปี 2563 เทียบกับปี 2549 โดยในปี 2559 เทสโก้ โลตัส เอ็กซ์เพรส ได้เข้าร่วมโครงการส่งเสริมการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารกับ กฟน. โดยได้ส่งร้านค้าตัวแทนทั้งหมด 7 สาขา เข้าร่วมโครงการ

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า โลตัสเอ็กซ์เพรส มีการใช้ไฟฟ้ากว่าร้อยละ 50 มาจากตู้แช่เย็น ไม่ว่าจะเป็นเครื่องดื่ม อาหารสด ของสด ผัก ผลไม้ ส่วนค่าไฟฟ้าอีกร้อยละ 20-25 เป็นของระบบปรับอากาศ อีกร้อยละ 15 มาจากระบบส่องสว่างและอุปกรณ์อื่นๆ

เทสโก้ โลตัส มีโปรแกรม Energy Awareness ซึ่งมีการดำเนินการทุกปีเพื่อให้ความรู้แก่พนักงานส่วนกลาง และสาขาเอ็กซ์เพรส มีคู่มือเรื่องพลังงานให้พนักงานเข้าใจง่ายๆ ว่าสาขาที่ทำงานอยู่มีการใช้ไฟฟ้าในระบบตู้แช่ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง อย่างไร

มีการทำตารางตรวจเช็คอุปกรณ์รายชั่วโมง นอกเหนือจากนี้ยังมีมาตรการประหยัดพลังงานในด้านอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนระบบควบคุมคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศเป็นระบบดิจิทัล การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง

ส่วนร้านค้าแบบ stand alone ฝ้าเพดานจะได้รับความร้อนจากหลังคาสูง อุณหภูมิภายในฝ้าเพดานสูงถึง $40-50^{\circ}\text{C}$ ในเวลากลางวัน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานเข้ามาภายในร้านค้าเป็นการระของระบบปรับอากาศ จึงมีมาตรการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนออกจากฝ้าเพดาน มาตรการที่ได้มีการดำเนินการในร้านค้าประกอบด้วย การเปลี่ยน Expansion Valve จาก Thermostatic เป็นแบบ Electronic การรวม Condensing Unit ของตู้เก็บของหลังร้านหรือ Back Stock และตู้ Show Case การติดตั้งม่านอากาศ การติดตั้งพัดลมเพื่อระบายความร้อนบนฝ้าเพดาน การเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T5 เป็นหลอด LED การติดตั้ง Motion Sensor บริเวณพื้นที่ขาย การติดตั้งฟิล์มเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.3.4 มินิบิ๊กซี

มินิบิ๊กซี เป็นร้านสะดวกซื้อที่เปิดให้บริการ 24 ชั่วโมง ซึ่งแต่ละสาขาดังอยู่ในทำเลกลางย่านชุมชน จำหน่ายสินค้าจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้สด มินิบิ๊กซีมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง บริษัทจึงมีนโยบายการประหยัดพลังงาน ขณะเดียวกันก็ตั้งอยู่บนหลักการสำคัญของงานบริการเพื่อสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า

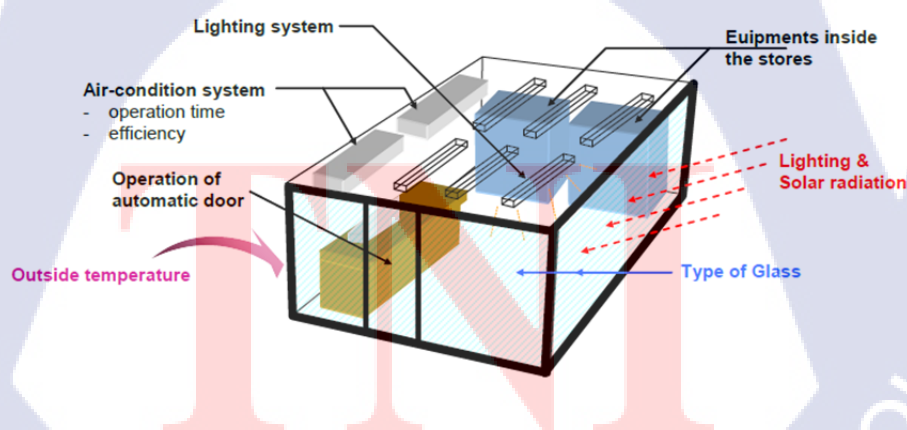
ในปี 2559 มินิบิ๊กซี เข้าร่วมโครงการนำร่องและเข้าประกวด MEA Energy Saving Awards 2016 โดยมีการปรับปรุงระบบแสงสว่างด้วยการเปลี่ยนหลอด T5 เป็นหลอด LED ทั้งในพื้นที่ขายและตู้แช่ ส่วนร้านค้าแห่งใหม่จะใช้หลอด LED ทั้งหมด

สำหรับระบบทำความเย็น ตู้เย็นใหม่ประตูจะปิดสนิทรักษาความเย็นไว้ได้ ตู้แช่ใช้ระบบซิลเลอร์ทำความเย็น ขณะที่ตู้แช่แข็งใช้ระบบสำหรับการแช่แข็งโดยเฉพาะ และใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (EC Motor) เช่นเดียวกันกับพื้นที่ในร้านที่เปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5

นอกจากนี้บีกซีเริ่มวางแผนไปถึงการใช้ซอฟต์แวร์มาช่วยควบคุมการใช้พลังงานทั้งหมดในร้านทั้งระบบไฟฟ้า แสงสว่าง ระบบทำความเย็นของห้างสรรพสินค้า โดยมีผู้ติดตามดูแล้วว่า ปัจจุบันใช้ไฟฟ้าไปเท่าไร และจะประหยัดพลังงานได้อย่างไร ทั้งหมดนี้ทำควบคู่ไปกับการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภค จากการเข้าร่วมโครงการทำให้ร้านสะดวกซื้อมินิบีกซีสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 28 เทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าก่อนเข้าร่วมโครงการ

2.3.5 อื่นๆ

นอกเหนือจากกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการโดยกลุ่มธุรกิจเอง Kritsanawonghong et al. [15] ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ โดยประเมินการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ในร้านค้า (ยกเว้นเครื่องปรับอากาศ และหลอดไฟฟ้า) วัตต์ 112,128 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และของอุปกรณ์ส่องสว่างที่ 23,652 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี สำหรับร้านสะดวกซื้อทั่วไปที่มีพื้นที่ 100 ตารางเมตร ผลการศึกษาระบุว่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ในร้านคิดเป็นร้อยละ 58 ระบบปรับอากาศร้อยละ 30 และระบบส่องสว่างร้อยละ 12 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม และได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ โดยระบุว่าการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ เช่น รั่วซึมจากแสงแดดผ่านทางหน้าต่างกระจก จำนวนผู้ใช้บริการในร้าน ความถี่ในการทำงานของประตูอัตโนมัติ เป็นต้น สรุปดังรูปที่ 2.5 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ

นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้ระบุการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ

$$E_{\text{total}} = E_{\text{EQ}} + E_{\text{AC}} + E_{\text{LGT}} + \text{Other} \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

- เมื่อ E_{total} คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh)
 E_{EQ} คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ในร้าน (kWh)
 E_{AC} คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศ (kWh)
 E_{LGT} คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ส่องสว่าง (kWh)
 Other คือ อื่นๆ (kWh)

ผลการวิจัยระบุว่า การปล่อยความร้อนจากอุปกรณ์ ร่างกายมนุษย์ และการรั่วไหลของอากาศเย็นจากเครื่องปรับอากาศจากการเปิดปิดประตูอัตโนมัติ ล้วนเป็นปัจจัยโดยอ้อมที่มีผลกระทบต่อการทำความเย็น สำหรับสัดส่วนของผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ต่อการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ คิดเป็นร้อยละ 23 สำหรับระบบปรับอากาศ ร้อยละ 67 สำหรับผลกระทบของรังสีจากแสงแดดผ่านอาคาร และร้อยละ 10 จากความร้อนที่ปลดปล่อยจากอุปกรณ์และระบบส่องสว่างภายในร้าน

TNI

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนวิจัยของการศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อ โดยรวมแล้ว การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

- (1) การทบทวนวรรณกรรมวิจัยด้านอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ
- (2) การศึกษาลักษณะและการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ
- (3) การวิเคราะห์เทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงานและความคุ้มค่าทางการเงิน
- (4) การประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน

3.1 การทบทวนวรรณกรรมวิจัย

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อทั้งในและต่างประเทศจากเอกสารและบทความวิชาการ รวมถึงการสัมภาษณ์บุคคลในกลุ่มธุรกิจร้านสะดวกซื้อ เช่น ผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน รวมถึงบริษัทผู้จำหน่ายอุปกรณ์ภายในร้านค้า การทบทวนวรรณกรรมต้องการทราบถึง

3.1.1 ทิศทางของธุรกิจร้านสะดวกซื้อ

โดยการรวบรวมข้อมูลการเติบโตของจำนวนร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยจากปัจจุบัน สู่อนาคตตามแผนธุรกิจ กลุ่มประเภทสินค้าในร้านสะดวกซื้อ และความเชื่อมโยงกับแนวโน้มการใช้พลังงาน

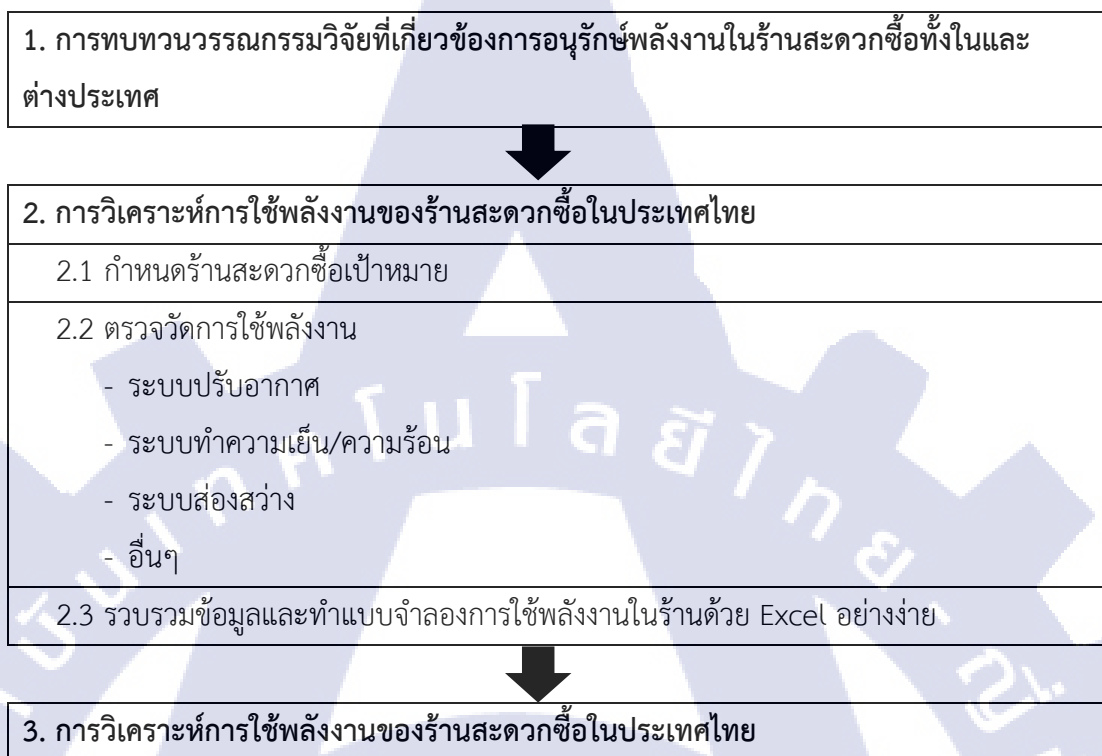
3.1.2 ระบบและอุปกรณ์ในร้านค้า

รวบรวมข้อมูลของระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าในร้านค้า ทั้งนี้จะจำแนกเป็นระบบกรอบอาคาร ไฟฟ้าส่องสว่าง การปรับอากาศ การทำความเย็น และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ข้อมูลที่รวบรวมจะครอบคลุมการใช้งานและข้อกำหนดของร้านค้า ซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละแบรนด์ของกลุ่มธุรกิจนี้

3.1.3 กิจกรรมการอนุรักษ์พลังงาน

ร้านสะดวกซื้อมีการให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง การใช้พลังงานจึงสูง ที่ผ่านมาร้านสะดวกซื้อต่างๆ มีการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อลดการใช้พลังงานซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนทางธุรกิจ การรวบรวมข้อมูลจะทำให้ทราบถึงเทคโนโลยีต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

สรุปภาพรวมวิธีการดำเนินงานวิจัยของงานวิจัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2 ร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยและการอนุรักษ์พลังงาน

3.2.1 ลักษณะของร้านสะดวกซื้อ

ร้านสะดวกซื้อเป็นร้านค้าปลีกยุคใหม่ (Modern Trade) ที่ได้รับความนิยมและเข้ามาทดแทนร้านค้าปลีกดั้งเดิม (โชห่วย) จากการที่ร้านมีสินค้าจำนวนมาก (2,000-5,000 รายการ) มีการปรับอากาศ มีทำเลที่ตั้งกระจายตามชุมชนและให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้สามารถสนองต่อความต้องการและสร้างความพึงพอใจของลูกค้าได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบัน ผู้นำตลาดธุรกิจร้านสะดวกซื้อประกอบด้วย เซเว่นอีเลฟเว่น แฟมิลี่มาร์ค โลดส์เอ็กซ์เพรส และมินิบิ๊กซี

โดยทั่วไป ร้านสะดวกซื้อจะตั้งอยู่ในอาคารพาณิชย์ซึ่งมีขนาดพื้นที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่ 1-3 คูหา ร้านค้าลักษณะนี้พบในชุมชนเมืองเป็นหลัก โดยร้านอีกลักษณะหนึ่งเป็นร้านค้าเดี่ยวซึ่งมักพบได้ในชุมชนที่อยู่ชานเมืองออกไป นอกจากนี้ ยังมีร้านสะดวกซื้อประเภท Corner หรือ Kiosk ที่มีพื้นที่จำกัด ดังรูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของร้านค้าทั้งสามรูปแบบ



(ก) ร้านค้าอาคารพาณิชย์ 3 คูหา



(ข) ร้านสะดวกซื้อในอาคารสำนักงาน



(ค) ร้านสะดวกซื้อขนาดเล็ก



(ง) ร้านสะดวกซื้อในปั้มน้ำมัน



(จ) ร้านค้าเดี่ยว Stand Alone

รูปที่ 3.2 ลักษณะของร้านค้าสะดวกซื้อ

ในปี 2560 เซเวนอีเลฟเว่น มีจำนวนร้านค้าในกรุงเทพฯ 4,45 ร้านค้า และต่างจังหวัด 5,552 ร้านค้า โดยสัดส่วนของร้านค้าในอาคารพาณิชย์ต่อร้านค้าเดี่ยวเท่ากับ 60 : 40 และมีจำนวนสาขารวมทั้งหมด 10,007 สาขา โดยตั้งเป้าเปิดจำนวนร้านค้า 13,000 สาขา ภายในปี 2564

3.2.2 การจัดพื้นที่ร้านค้า

ร้านสะดวกซื้อในอาคารพาณิชย์จะมี 2-3 คูหา โดยจะมีพื้นที่ประมาณ 36-64 ตร.ม. ร้านค้าเดี่ยวมักจะมีขนาดใหญ่กว่าซึ่งมีพื้นที่ 100-300 ตร.ม. ขณะที่ร้านแบบ Corner หรือ Kiosk มีพื้นที่ขาย 13-15 ตร.ม. ดังรูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการจัดพื้นที่ใช้สอยของร้านค้าแบบเดี่ยว



รูปที่ 3.3 ผังการจัดพื้นที่ภายในร้านสะดวกซื้อ

จากรูปที่ 3.3 พื้นที่ใช้สอยของร้านค้าแบ่งเป็นสองส่วน คือ พื้นที่แสดงและจำหน่ายสินค้า และพื้นที่หลังร้านสำหรับใช้เป็นสำนักงานและการสต็อกสินค้า บริเวณจำหน่ายสินค้าจะมีการจัดวางชั้นสินค้าเป็นแถว ชั้นวางมีความสูงประมาณ 1.5 ม. สำหรับบริเวณกลางร้าน และสูง 1.8 ม. สำหรับบริเวณผนังร้าน ห้องแช่เย็น (Walk-in Cold Room) ตั้งอยู่ด้านข้างหรือหลังพื้นที่จำหน่ายสินค้า ตู้แช่อาหารและน้ำแบบเปิด (Open Showcase) วางเรียงตามแนวผนังร้าน ช่องทางเดินมีความกว้าง 0.9-1.4 ม. ซึ่งการจัดวางเน้นที่การอำนวยความสะดวก ง่ายต่อลูกค้าที่มาใช้บริการ

3.2.3 ระบบและอุปกรณ์ในร้านสะดวกซื้อ

ร้านสะดวกซื้อที่มีระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก อีกทั้งส่วนใหญ่ใช้พลังงานสูง ในหัวข้อนี้ได้จำแนกระบบในร้านค้าออกเป็น ระบบปรับอากาศ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในร้านค้า เทคโนโลยีต่างๆ ที่มีการใช้งานในแต่ละระบบได้รวบรวมไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ระบบปรับอากาศ

สำหรับระบบปรับอากาศ ค่า Overall Thermal Transfer Value (OTTV) และ Roof Thermal Transfer Value (RTTV) ของร้านสะดวกซื้อสามารถคำนวณได้โดยใช้ข้อมูลจากแบบสถาปัตยกรรมของอาคารร้านสะดวกซื้อซึ่งได้ระบุวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ ความหนาของวัสดุ ซึ่งสามารถใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมของผนัง (U_w) และประกอบกับเมื่อทราบทิศทางของผนังจะสามารถคำนวณค่า T_{Deq} ค่า ESR และ DT จากตารางที่จัดเตรียมไว้ในคู่มือการคำนวณเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานอาคาร สมการที่ 3.1 แสดงการคำนวณค่า OTTV ของผนัง และสำหรับการคำนวณปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านหลังคา RTTV สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน

$$OTTV_i = U_w \cdot (1 - WWR) \cdot T_{Deq} + U_f \cdot WWR \cdot DT + WWR \cdot SHGC \cdot SC \cdot ESR \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

เมื่อ

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมของผนัง ($W/m^2/K$),

WWR คือ สัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นรวมของผนัง (-),

T_{Deq} คือ ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ($^{\circ}C$),

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมของกระจก ($W/m^2/K$),

DT คือ ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน ($W/m^2/K$),

$SHGC$ คือ ค่า SHGC ของกระจก (-)

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังเงาของอุปกรณ์บังแดด (-),

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบบนผิวกระจก

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

เมื่อคำนวณค่า OTTV ของผนังภายนอกของร้านค้าในแต่ละทิศตามสมการที่ 3.1 ค่า OTTV เฉลี่ยของทั้งอาคารสามารถคำนวณโดยการเฉลี่ยค่า OTTV ของผนังแต่ละทิศถ่วงน้ำหนักด้วยพื้นที่ผนังนั้นๆ ตามสมการที่ 3.2

(2) ระบบปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อมีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เครื่องปรับอากาศเป็นแบบ แยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (Split-Type Air-Conditioner) ขนาดทำความเย็น 2-3 ตัน ความเย็นอุณหภูมิภายในร้านค้าอยู่ระหว่าง 24-26°C ขึ้นกับนโยบายของแต่ละแบรนด์ธุรกิจ พนักงานในร้านค้าเป็นผู้รับผิดชอบควบคุมการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม ทั้งนี้เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งจะมีชุดสำหรับสลับหมุนเวียนใช้งาน สำหรับร้านค้าทั่วไป 2-3 คูหา จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 4 ชุด แต่หากเป็นร้านค้าเดี่ยวหรือร้านค้าขนาด 4-6 คูหา จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 5-6 ชุด ดังตารางที่ 3.1 สรุปขนาดร้านค้า พื้นที่ขาย และการกำหนดจำนวนเครื่องปรับอากาศของร้านสะดวกซื้อ

ตารางที่ 3.1 จำนวนเครื่องปรับอากาศตามขนาดร้านค้าและพื้นที่ขาย

ขนาดร้านค้า	พื้นที่ขาย (ตร.ม.)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
Booth	< 40	1
1 คูหา	40-60	2
2 คูหา	60-100	3
3 คูหา	100-140	4
4 คูหา	140-180	5
5 คูหา	180-220	5
6 คูหา	> 220	6
Stand Alone	200-300	6

ในอดีต เครื่องปรับอากาศที่ใช้เป็นชนิด Rotary Fixed Speed Compressor และเปลี่ยนมาเป็น Scroll Compressor โดยต่อมาได้มีการเปลี่ยนเป็น Inverter Compressor และน้ำยาทำความเย็นเปลี่ยนจาก R22 เป็น R410a และ R32 การเลือกใช้เทคโนโลยีเหล่านี้เปลี่ยนไปตามการพัฒนาของเทคโนโลยีที่เข้ามาในตลาด สำหรับร้านสะดวกซื้อที่เปิดทำการในปัจจุบันจะพบ

เทคโนโลยีเหล่านี้ได้ทั้งหมด ซึ่งเครื่องปรับอากาศมีอายุตั้งแต่ 1 ปี ถึง 8 ปี รูปที่ 3.4 แสดงภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ปัจจุบัน ร้านค้ายังไม่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดแปรเปลี่ยนอัตราการไหลน้ำยา (Variable Refrigerant Flow) เนื่องจากมีความเสี่ยงเพราะร้านค้าเปิดบริการตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งระบบซับซ้อนกว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เจ้าหน้าที่ประจำร้านไม่เข้าใจระบบและขาดความพร้อมในการบำรุงรักษา



รูปที่ 3.4 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

เครื่องปรับอากาศของร้านสะดวกซื้อล้างบ่อยประจำทุกเดือน และล้างใหญ่ทุก 6 เดือน เนื่องจากภายในร้านมีฝุ่น ละอองน้ำมัน น้ำในอาหาร เชื้อโรค และเพื่อรักษาสมรรถนะของเครื่องให้อยู่ในระดับดีตลอดเวลา

(3) ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างติดตั้งในพื้นที่ต่างๆ ของร้านค้า เดิมหลอดไฟฟ้าที่ใช้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ อย่างไรก็ตามได้เปลี่ยนเป็นหลอด LED ตั้งแต่ปี 2011 เนื่องจากให้ปริมาณแสงสูงกว่า จึงลดจำนวนหลอดที่ติดตั้งลงได้ และในปี 2015 ได้เปลี่ยนใช้หลอด LED ในทุกพื้นที่ (ฟลูออเรสเซนต์ผลิตน้อยลง ราคาเริ่มสูงขึ้น ในขณะที่ LED มีแนวโน้มถูกลงเรื่อยๆ และประสิทธิภาพก็ดีขึ้น) โดยตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนหลอดไฟฟ้า LED ที่ติดตั้งสำหรับร้านค้าแต่ละประเภท

ตารางที่ 3.2 จำนวนหลอดไฟฟ้าติดตั้งสำหรับร้านค้าแต่ละประเภท

ขนาดห้อง	พื้นที่ขาย (ตร.ม.)	จำนวนหลอดไฟ
Booth	<40	17
1 คูหา	40-60	22
2 คูหา	60-100	40
3 คูหา	100-140	58
4 คูหา	140-180	77
5 คูหา	180-220	95
6 คูหา	>220	114
Stand Alone		100

ตามกฎหมาย กลุ่มอาคารสรรพสินค้าจะต้องการมีระดับแสงสว่างที่ 750 lux สำหรับร้านสะดวกซื้อกำหนดระดับความสว่างไว้ที่ 800 lux พื้นที่หลังร้าน 300 lux สำหรับหลอดไฟป้ายร้านค้า เดิมใช้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ 3 หลอด และได้ลดมาเป็น หลอด LED 1 หลอด ขนาด 14W และยังมีการใช้หลอด LED แบบ 15.3W และ 8W อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.5



(ก) หลอด LED 15.3W



(ข) หลอด LED 8W

รูปที่ 3.5 หลอดไฟฟ้าส่องสว่าง

(4) เครื่องทำความเย็นและตู้แช่

นอกเหนือจากระบบปรับอากาศ ร้านสะดวกซื้อมีเครื่องทำความเย็นและตู้แช่หลากหลายประเภท อีกทั้งสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับระบบอื่น สำหรับเครื่องไฟฟ้าในกลุ่มนี้ประกอบด้วย ห้องแช่เย็นแบบ Walk in Cold Room ตู้ Open Showcase ตู้แช่อาหารแช่แข็ง ตู้แช่น้ำแข็งยูนิต ตู้แช่ไอศกรีม เครื่องกदन้าหวานแบบโฟ Jet Spray เครื่องปั่นหวานเกล็ดหิมะ (สเลอปี้) เครื่องผลิตน้ำแข็ง เครื่องทำไอศกรีม Soft Serve รายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์รวบรวมได้ดังนี้

(ก) ห้องแช่เย็นแบบ Walk-in Cold Room

ห้องแช่แบบ Walk-in cold room เป็นตู้แช่บิ้วอิน (Built-in) ที่ด้านหน้ามีประตูปิดเพื่อรักษาความเย็นของสินค้าภายในห้องแช่ ประตูห้องแช่เป็นบานเปิดประกอบด้วยกระจกสองชั้นหรือสามชั้นกรอบอะลูมิเนียม เป็นกระจก Low Emission (Low-E) ทั้งหมด ส่วนของกรอบมีฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนป้องกันการเกิดหยดน้ำ ผนังของห้องแช่เป็นผนังทึบติดตั้งฉนวน โพลียูรีเทน (PU) หนา 0.05 เมตร ชนิด Rigid PU ป้องกันการสูญเสียความเย็นภายในห้อง พื้นห้องแช่เย็นติดตั้งฉนวนด้วยเช่นกัน ในร้านสะดวกซื้อ ห้องแช่เย็นนี้จะใช้แช่สินค้าจำพวกน้ำขวดต่างๆ (น้ำอัดลม เบียร์ น้ำหวาน) รวมถึงใช้แช่เย็นสินค้าสดๆอื่นๆ เนื่องจากห้องมีพื้นที่มาก โดยรูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของห้องแช่แบบ Walk-in Cold Room ซึ่งมีขนาดตั้งแต่นานประตู 4-8 บาน

การทำความเย็นของห้องแช่อาศัยคอยล์เย็น 2-3 ชุด อุณหภูมิภายในห้องแช่อยู่ระหว่าง 2-4°C การทำความเย็นดังกล่าว สารทำความเย็นที่คอยล์เย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C จึงต้องมีระบบละลายน้ำแข็งที่คอยล์ (Defrost System) ครีบอลูมิเนียมของคอยล์เย็นจะมีระยะห่างกว่าคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศทั่วไปเพื่อป้องกันความเสียหายจากการเกาะตัวและดันครีบอลูมิเนียมฉีกขาด เทคโนโลยีการละลายน้ำแข็งมีส่วนต่อการอนุรักษ์พลังงานของห้องแช่ วิธีการละลายน้ำแข็งในปัจจุบันประกอบด้วย

- การตั้งเวลาเปิด-ปิดการละลายน้ำแข็ง

วิธีนี้อาศัยอุปกรณ์ตั้งเวลาเปิดฮีตเตอร์ความร้อนเพื่อละลายน้ำแข็ง โดยกำหนดช่วงเวลาการทำงานให้นานพอที่จะละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นได้หมด เช่น เปิดฮีตเตอร์ 4 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 30 นาที (6:00-6:30, 12:00-12:30, 18:00-18:30 และ 0:00-0:30) ทั้งนี้การกำหนดเวลาและช่วงการเปิด-ปิด ฮีตเตอร์อาศัยประสบการณ์ของผู้ติดตั้งและการทดลองปรับตามแต่ละพื้นที่ใช้งาน วิธีการละลายน้ำแข็งนี้เป็นวิธีที่ง่าย ราคากระชับ แต่ประสิทธิภาพไม่ดีนักเนื่องจากหากการตั้งเวลาเปิดปิดยาวเกินไปจะมีความร้อนจากการละลายน้ำแข็งมาเป็นภาระของห้องแช่หรือหากระยะเวลาสั้นเกินไปน้ำแข็งที่คอยล์จะละลายไม่หมดทำให้สมรรถนะการทำความเย็นของคอยล์ลดลง

- การตั้งเวลาเปิดแต่ปิดระบบละลายน้ำแข็งอัตโนมัติ

วิธีนี้อาศัยอุปกรณ์ตั้งเวลาเปิดฮีตเตอร์ความร้อนเพื่อละลายน้ำแข็ง โดยระบุเวลาที่จะเริ่มละลายน้ำแข็งที่แน่นอน เช่น 4 ครั้งต่อวัน (6:00, 12:00, 18:00 และ 0:00 เป็นต้น) แต่การปิดการทำงานฮีตเตอร์จะอาศัยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตรวจสอบว่าน้ำแข็งได้ละลายออกจากคอยล์เย็นหมดแล้ว วิธีการนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีแรก เนื่องจากจะไม่มีความร้อนส่วนเกินจากการละลายน้ำแข็งมาเป็นภาระของห้องแช่ วิธีนี้การกำหนดเวลาและความถี่ของเปิดฮีตเตอร์ยังอาศัยประสบการณ์ของผู้ติดตั้งและการทดลองปรับตามแต่ละพื้นที่ใช้งาน

- การเปิด-ปิดระบบละลายน้ำแข็งอัตโนมัติ (Defrost on Demand)

วิธีนี้อาศัยเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิลมเย็นจากคอยล์และอุณหภูมิลมเย็นกลับสู่คอยล์ ช่วงของอุณหภูมิทั้งสองที่เปลี่ยนไป (เช่น กว้างขึ้น หรือแคบลง) และการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำให้ประเมินได้ว่ามีน้ำแข็งเกาะที่คอยล์เย็นหรือไม่ มากน้อยเพียงใด เมื่อระบบมีการวิเคราะห์ว่ามีน้ำแข็งเกาะที่คอยล์ระบบจะตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และอาศัยความร้อนภายในห้องแช่เย็นเองเป็นตัวละลายน้ำแข็ง เนื่องจากอุณหภูมิห้องแช่เย็นเองยังสูงกว่า 0°C วิธีการนี้ทำให้ลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยฮีตเตอร์และของคอมเพรสเซอร์ของห้องเย็น โดยห้องเย็นยังคงรักษาอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด



รูปที่ 3.6 ห้องแช่แบบ Walk-in Cold Room

- (ข) ตู้แช่แบบเปิด

ตู้แช่เย็นแบบเปิดมีลักษณะเป็นตู้แช่เย็นเปิดด้านหน้าซึ่งลูกค้าสะดวกในการมองเห็นและเข้าถึงสินค้า ในร้านสะดวกซื้อตู้แช่เย็นแบบเปิดใช้แช่อาหารสดพร้อมทานซึ่งตั้งอุณหภูมิสำหรับสินค้าไว้ที่ $2-4^{\circ}\text{C}$ สินค้าภายในตู้แช่ประกอบด้วย นมสด แขนวิส อาหารหวาน อาหารมื่อที่อายุ

2-4 วัน สินค้าในตู้แช่แบบเปิดจะแยกออกจากสินค้าของตู้แช่แบบปิดดังรูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของตู้แช่แบบเปิด Open Showcase

สำหรับตู้แช่เย็นแบบเปิด สินค้าในตู้แช่จะถูกแช่เย็นมาก่อนแล้ว สินค้าจะถูกขนลงจากรถบรรทุกเล็กเข้าแช่ในตู้แช่เย็นทันที สินค้าที่เหลือจะถูกสต็อกในตู้แช่เย็นหลังร้านค้า ดังนั้น การทำความเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิของสินค้าทั้งหมดเป็นความเย็นที่สูญเสียจากตู้แช่เย็นทั้งด้านหน้าที่เป็นพื้นที่เปิดโล่ง ด้านข้างซึ่งเป็นกระจก ด้านหลัง ด้านบน และด้านล่างของตู้ซึ่งเป็นผนังทึบเพื่อเป็นการลดการสูญเสียความเย็นจากตัวตู้ ด้านหน้าตู้ที่เปิดโล่งจะมีระบบม่านอากาศ ด้านข้างซึ่งเป็นกระจกจะใช้กระจกสองชั้น ส่วนด้านหลัง ด้านบน และด้านล่างของตู้จะติดตั้งฉนวน PU



รูปที่ 3.7 ตู้แช่แบบเปิด Open Showcase

เนื่องจากตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase ที่การทำความเย็นในลักษณะเดียวกับห้องแช่เย็นแบบ Walk-in Cold Room คอยล์เย็นจึงต้องมีระบบละลายน้ำแข็งด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจร้านค้ายังไม่พบว่าเทคโนโลยีการละลายน้ำแข็งเป็นแบบเปิด-ปิดอัตโนมัติ หรือ Defrost on Demand

เทคโนโลยีที่ใช้ในส่วนของคอมเพรสเซอร์พบทุกแบบทั้งแบบโรตารีและความเร็วรอบคงที่ (Rotary Fixed Speed) แบบสกรอลล์และดิจิทัล (Digital Scroll) และแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter Compressor) ประเภทของสารทำความเย็นที่ใช้คือ R404a

นอกเหนือจากการสำรวจลักษณะและเทคโนโลยีของตู้แช่เย็นแบบเปิด การสำรวจยังทำให้ทราบถึงปัญหาจากการใช้ตู้แช่เย็น ซึ่งพบว่าที่ผนังกระจกมีน้ำเกาะตลอดเวลา รวมถึงการเกิดเชื้อราที่ผนังอาคารของห้องข้างเคียง เนื่องจากความเย็นจากตู้แช่เย็นถ่ายเทผ่านผนังและพื้นของร้านค้า

(ค) ตู้แช่อาหารแช่แข็ง (ข้าวกล่องและเนื้อสัตว์)

ตู้แช่อาหารแช่แข็ง (ข้าวกล่องและเนื้อสัตว์) เป็นตู้แช่ทรงสูงดังแสดงในรูปที่ 3.8 สินค้าในตู้แช่เป็นผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งอายุสินค้า 6 เดือน อุณหภูมิภายในตู้แช่ตั้งไว้ที่ประมาณ -20°C ผนังของตู้แช่เป็นแผงอะลูมิเนียมเคลือบสีมีฉนวนกันความร้อน ด้านหน้าเป็นประตูกระจกสองชั้นลดการสูญเสียความร้อน โดยกรอบของประตูมีฮีตเตอร์ความร้อน เพื่อละลายฝ้าจากการเกิดไอน้ำเมื่อมีการเปิดปิดฝาตู้



รูปที่ 3.8 ตู้แช่อาหารแช่แข็ง (ข้าวกล่องและเนื้อสัตว์)

ตู้แช่แข็งนี้กรอบประตูจะมีฮีตเตอร์ความร้อนป้องกันฝ้าทำงานตลอดเวลา คอยล์เย็นมีระบบละลายน้ำแข็ง ชุดคอมเพรสเซอร์ติดตั้งเป็นชุดเดียวกับตัวตู้แช่เย็น ความร้อนทั้งหมดจึงถ่ายเทให้กับอากาศภายในร้านค้า

(ง) ตู้แช่ไอศกรีม

ตู้แช่ไอศกรีมมีลักษณะเป็นตู้แช่แนวนอน ฝาเปิดด้านบน ห้องแช่แข็งภายในตู้ไม่มีพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศเช่นในตู้แช่แบบปิดและแบบเปิด หรือตู้แช่อาหารกล่อง อุณหภูมิภายในห้องแช่เย็นตั้งไว้ระหว่าง -14°C ถึง -25°C ดังรูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของตู้แช่ไอศกรีมในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 3.9 ตู้แช่ไอศกรีม

เช่นเดียวกับตู้แช่แข็ง ตู้ไอศกรีมนี้รอบประตูจะมีฮีตเตอร์ความร้อนป้องกันฝ้าทำงานตลอดเวลา คอยล์เย็นมีระบบละลายน้ำแข็ง ชุดคอมเพรสเซอร์ติดตั้งเป็นชุดเดียวกับตู้แช่เย็น ความร้อนทั้งหมดจึงถ่ายเทให้กับอากาศภายในร้านค้าโดยตรง

(จ) ตู้แช่น้ำแข็งยูนิค

ตู้แช่น้ำแข็งยูนิคมีลักษณะและการใช้งานคล้ายคลึงกับตู้แช่ไอศกรีมอุณหภูมิกภายในห้องแช่น้ำแข็งควบคุมไว้ระหว่าง -18°C ถึง -29°C ภายในตู้แช่ไม่มีพัดลมหมุนเวียนอากาศ แต่จะการใช้การแผ่ความเย็นจากผิวด้านในของตู้ซึ่งมีคอยล์เย็นฝังอยู่ ดังแสดงใน รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของตู้แช่น้ำแข็งยูนิค



รูปที่ 3.10 ตู้แช่น้ำแข็งยูนิค

(ฉ) ตู้แช่เย็นแบบฝาพับ

ตู้แช่เย็นแบบฝาพับเป็นตู้แช่แข็งติดตั้งใช้งานในพื้นที่หลังร้าน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ตู้แช่ใช้สำหรับแช่สินค้าแช่แข็งก่อนเคลื่อนย้ายไปหน้าร้าน ตู้แช่พับมีลักษณะคล้ายคลึงกับตู้แช่ไอศกรีมและตู้แช่น้ำแข็งยูนิค เนื่องจากตู้แช่นี้มีการใช้งานหลังร้านซึ่งไม่ปรับอากาศ การใช้พลังงานของอุปกรณ์นี้ต่อปริมาณสินค้าจึงสูงกว่า



รูปที่ 3.11 ตู้แช่เย็นแบบฝาพับ

(ซ) เครื่องผลิตน้ำแข็งพร้อมจ่ายบริเวณเคาน์เตอร์

เครื่องผลิตน้ำแข็งพร้อมจ่ายเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตน้ำแข็งสำหรับสินค้าประเภทน้ำหวานกดจากตู้ ดังรูปที่ 3.12 ตัวเครื่องเป็นเครื่องตั้งโต๊ะประกอบด้วยชุดผลิตน้ำแข็งและถังเก็บน้ำแข็ง การทำงานของเครื่องเป็นแบบอัตโนมัติ โดยเมื่อเปิดเครื่อง มอเตอร์เกียร์จะเริ่มทำงานก่อนที่จะผลิตน้ำแข็ง จากนั้นคอมเพรสเซอร์จะเริ่มผลิตน้ำแข็งเต็มให้เต็มถังเก็บ และจะหยุดทำงานในกรณีที่น้ำแข็งเต็มถังเก็บเกินกว่า 1 นาที มอเตอร์เกียร์จะหยุดทำงาน ขณะที่มีการกดน้ำแข็งออกไปใช้ เครื่องพร้อมจะผลิตน้ำแข็งทันที เมื่อหยุดทำงานเกิน 3 นาที เมื่อกดสวิตช์จ่ายน้ำแข็ง ประตูลังเก็บจะเปิด น้ำแข็งจะไหลออกมาทางช่องทางออก แต่ในกรณีที่มีการกดสวิตช์จ่ายน้ำแข็งติดต่อกันเกิน 20 ครั้ง ภายใน 1 นาที ประตูลังเก็บจะไม่ทำงานต้องเว้นช่วงการทำงานเป็นเวลา 1 นาที จึงจะกลับมาทำงานตามปกติอีกครั้ง (เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น)



รูปที่ 3.12 เครื่องผลิตน้ำแข็งพร้อมจ่าย

(ซ) เครื่องกदन้าหวานและกาแฟ

เครื่องกदन้าหวานประกอบด้วยส่วนทำความเย็นและถังบรรจุน้าหวาน ด้านบนดังรูปที่ 3.13 ภายในถังบรรจุมีใบกวนน้าหวานเพื่อให้ความเย็นกระจายทั่วถึง เครื่องกदन้าหวานถูกออกแบบให้ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งในกรณีที่การจำหน่ายน้าหวานใช้เพียงบางถังบรรจุ ถังที่เหลือจะต้องเติมน้าเปล่าลงไปบางส่วน



รูปที่ 3.13 เครื่องกदन้าหวาน JETSPRAY

(ฉ) เครื่อง Slurpee



รูปที่ 3.14 เครื่อง Slurpee

(ญ) เครื่องผลิตน้ำแข็ง (สำหรับน้ำอัดลม/กาแฟ)

เครื่องผลิตน้ำแข็งสำหรับน้ำอัดลมและกาแฟเป็นตู้ตั้งโต๊ะขนาดกะทัดรัด ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ใช้ในการผลิตน้ำแข็งเกล็ด



รูปที่ 3.15 เครื่องผลิตน้ำแข็ง (สำหรับน้ำอัดลม/กาแฟ)

(4) อุปกรณ์ไฟฟ้าด้านความร้อน

อุปกรณ์ไฟฟ้าด้านความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนและใช้สำหรับการอุ่นอาหาร ปิ้งอาหารให้กับลูกค้า ซึ่งจากการใช้งานที่ต้องอำนวยความสะดวกให้ลูกค้า ทำให้เวลาเป็นจุดสำคัญในการออกแบบ อีกทั้งความแข็งแรงคงทนก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยเช่นกัน ดังนั้น อุปกรณ์เหล่านี้แม้จะมีภาพลักษณ์เป็นอุปกรณ์ที่เห็นทั่วไป แต่ประสิทธิภาพจะแตกต่าง เช่น ไมโครเวฟ ตู้แช่ปลา เตาย่าง เครื่องย่างไส้กรอก เครื่องอบแซนวิช หม้อต้มน้ำซุป เตาย่างขนมปัง เครื่องชงกาแฟ หม้อทอด Air Fryer ตู้อุ่นร้อนอาหาร เตอบ Bakery

เนื่องจากผู้ให้บริการต่างมีวัตถุประสงค์ที่จะอำนวยความสะดวก ทำให้อุปกรณ์อุ่นและปิ้งอาหารมีเพิ่มมาในร้าน ทำให้ออกจากปล่อยความร้อนเข้าไปในพื้นที่ขายแล้ว ยังปล่อยปริมาณความชื้นของอาหารด้วยเช่นกัน

(ก) ไมโครเวฟ

เตาไมโครเวฟเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าในครัวที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่อาหาร โดยคลื่นไมโครเวฟ ในร้านสะดวกซื้อ เตาไมโครเวฟใช้สำหรับการอุ่นอาหารแช่เย็น และแช่เยือกแข็งต่างๆ การกำหนดระดับความร้อนและระยะเวลาการอุ่นอาหารจะเป็นไปตามข้อชี้แจงบนบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสามารถตั้งเป็นโปรแกรมและมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละแบรนด์ของร้านสะดวกซื้อ ในปัจจุบันที่สินค้าประเภทอาหารเป็นรายได้หลักของร้านสะดวกซื้อ อัตราการใช้ไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟจึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รูปที่ 3.16 แสดงรูปของเตาไมโครเวฟที่ใช้กันในร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 3.16 เตาไมโครเวฟ

(ข) ตู้ขนมจีบ ซาลาเปา

ตู้ขนมจีบ-ซาลาเปาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้อุ่นขนมจีบ-ซาลาเปา ดังรูปที่ 3.17 การใช้งานตู้จะต้องเติมน้ำเข้าไปในฐานเก็บน้ำของตู้ ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตู้จะใช้ในการต้มน้ำให้ร้อนเพื่อให้ภายในตู้มีระดับอุณหภูมิ 70°C และรักษาให้คงที่ตลอดเวลา ในปัจจุบันการใช้ตู้ขนมจีบซาลาเปาลดลงไปมาก การอุ่นขนมจีบและซาลาเปาจะใช้เตาไมโครเวฟเป็นหลักเนื่องจากสูญเสียไฟฟ้าน้อยกว่า



รูปที่ 3.17 ตู้ขนมจีบ ซาลาเปา

(ค) เครื่องย่างไส้กรอก

เครื่องย่างไส้กรอกเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนไส้กรอกผ่านแท่งย่างที่หมุนเข้าหากัน ดังรูปที่ 3.18 การปรับระดับความร้อนของเครื่องย่างทำได้ 2 ระดับ โดยระดับแรกเครื่องจะทำความร้อนให้กับแท่งย่างชุดหน้า (5-6 แท่งแรก) และระดับที่สองเครื่องจะให้ความร้อนกับแท่งย่างทั้งหมด ปัจจุบันการใช้เครื่องย่างไส้กรอกลดลงและมาใช้เครื่องไมโครเวฟแทน



รูปที่ 3.18 เครื่องย่างไส้กรอก

(ง) หม้อต้มน้ำร้อนสำหรับชงกาแฟ เครื่องต้มชงร้อน

หม้อต้มน้ำร้อนดังรูปที่ 3.19 ใช้ในการอุ่นน้ำร้อนให้ได้อุณหภูมิประมาณ 92-94°C สำหรับการชงเครื่องต้มร้อนต่างๆ เช่น กาแฟ โอวัลติน ชา และใช้สำหรับปรุงบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โดยในกรณีที่ต้องการความรวดเร็ว จะนำบะหมี่ที่เติมน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำร้อนเข้าให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟอีกที



รูปที่ 3.19 หม้อต้มน้ำร้อน

(จ) เครื่องทำแซนวิช

เครื่องทำแซนวิชเป็นเครื่องอุ่นแซนวิช ปัจจุบันในสถานะที่เร่งรีบของชุมชนเมือง การรับประทานแซนวิชเป็นอาหารหลักและอาหารว่างมีมากขึ้น การใช้งานและพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำแซนวิชจึงมีสูงขึ้นโดยลำดับ

(ฉ) เครื่องชงกาแฟ

เครื่องชงกาแฟเป็นอุปกรณ์ที่เริ่มมีเข้ามาในร้านค้า ในระยะหลังจากความนิยมดื่มกาแฟสด เครื่องชงกาแฟเป็นหนึ่งในเครื่องประกอบอาหารที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง

(ช) เครื่องปั่นน้ำผลไม้

เครื่องปั่นน้ำผลไม้มั้ดรูปที่ 3.20 ใช้สำหรับทำเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพประเภทน้ำผลไม้ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า และพบในบางร้านเท่านั้น



รูปที่ 3.20 เครื่องปั่นน้ำผลไม้

(5) อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

(ก) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เป็นกลุ่มอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงระบบจัดการสินค้า การจำหน่ายสินค้าและควบคุมการขาย ได้แก่ อุปกรณ์ POS เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ เครื่องสำรองไฟระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องกระจาย Wi-Fi เครื่องคิดเงิน เครื่องตรวจนับชนิดสินค้า กล้องวงจรปิดและบันทึกภาพ เป็นต้น

(ข) ป้อนน้ำ

ป้อนน้ำดังรูปที่ 3.21 ช่วยในการส่งจ่ายน้ำไปยังพื้นที่ใช้งานทั่วร้าน



รูปที่ 3.21 ป้อนน้ำ

(ค) อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

นอกเหนือจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กล่าวมาข้างต้น ร้านสะดวกซื้อยังมีอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ อาทิ ประตูอัตโนมัติไฟฟ้า เครื่องไฟฉุกเฉิน รุ่น DYNO LD-115 และหลอด LED 3X2W หรือ 35W เป็นต้น

3.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ

การศึกษาลักษณะและการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อทำให้ทราบลักษณะของร้านค้า รูปแบบการใช้พลังงานในปัจจุบัน รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ประกอบด้วย กิจกรรมภายในร้านค้า เทคโนโลยีของอุปกรณ์ไฟฟ้า และสมรรถนะด้านพลังงานของเทคโนโลยีที่มีอยู่

การศึกษาการใช้พลังงานประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การสัมภาษณ์บุคลากรที่รับผิดชอบด้านพลังงานของร้านค้า และการตรวจวัดการใช้พลังงาน ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ร้านค้า

การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ด้านพลังงานของร้านสะดวกซื้อ เป็นขั้นตอนแรกของการรวบรวมการใช้พลังงาน การสัมภาษณ์นี้มุ่งให้ทราบถึงประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ภาพรวมของการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ
- กิจกรรมการอนุรักษ์พลังงานที่ผ่านมาและแผนการดำเนินงานในอนาคต
- การเยี่ยมชมร้านสะดวกซื้อต้นแบบที่อนุรักษ์พลังงาน

3.3.2 การสำรวจและตรวจวัดพลังงาน

ผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนและประเภทของร้านสะดวกซื้อ ระบบ อุปกรณ์ รวมถึงระยะเวลาที่จะเข้าทำการสำรวจวัดพลังงาน ผลสำรวจจะทำให้ทราบการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในร้าน ข้อมูลเชิงปริมาณของพลังงานที่ใช้ในร้าน และสมรรถนะของเทคโนโลยีต่างๆ ในสภาพแวดล้อมจริง อันจะนำไปสู่โอกาสที่จะอนุรักษ์พลังงาน

(1) การกำหนดลักษณะของร้านค้า

การสำรวจการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อกำหนดให้มีจำนวน 10 แห่ง ซึ่งร้านค้าที่เลือกจะกระจายให้ครอบคลุมลักษณะของอาคาร พื้นที่ร้านค้า อายุร้านค้า อุปกรณ์ที่ใช้งาน เพื่อใช้วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบการใช้พลังงานของร้านค้าที่ใช้เทคโนโลยีแตกต่างกัน

(2) วิธีการและเครื่องมือตรวจวัดพลังงาน

วิธีตรวจวัดการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประยุกต์จากรูปแบบของการตรวจวัดการใช้พลังงานโดยละเอียด (Detailed Energy Audit: DEA) ซึ่งทำให้ทราบลักษณะการใช้พลังงานรวมของร้านค้าในช่วงที่ทำการตรวจวัด การใช้พลังงานและสมรรถนะของระบบหลักในร้านค้า ประกอบด้วย ระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ทำความเย็น

(ก) ร้านค้า

ข้อมูลประกอบด้วย ผังรูปด้านและพื้นที่ของร้านค้าซึ่งแบ่งเป็นส่วนจำหน่ายสินค้าที่มีการปรับอากาศและพื้นที่จัดเก็บสินค้าหลังร้านที่ไม่ปรับอากาศ การหันทิศทางของร้านค้า จำนวนพนักงานในร้าน การจัดวางชั้นแสดงสินค้า อุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกระหว่างช่วงที่ทำการตรวจวัด รวมถึงข้อมูลเชิงบรรยายของสภาพแวดล้อมโดยรอบของร้านค้า และปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ จะใช้ประเมินค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) ของร้าน

(ข) ห้องแช่เย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in Cold Room)

ห้องแช่เย็นแบบวอล์คอินเป็นอุปกรณ์หนึ่งในร้านค้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ห้องแช่เย็นประกอบด้วยโครงสร้างผนังและพื้นที่เป็นฉนวน มีประตูกระจกเปิด-ปิดสำหรับลูกค้าหยิบ

สินค้า ชุดคอยล์เย็นติดตั้งภายในห้องแช่เย็นทำหน้าที่ให้ความเย็นและหมุนเวียนอากาศ การตรวจวัดพลังงานของห้องแช่เย็น ประกอบด้วย

- i. ค่าพลังไฟฟ้าของห้องแช่เย็น (W)
- ii. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ของลมจ่ายและลมกลับของคอยล์เย็น
- iii. อัตราการส่งลมเย็น (m^3/s)

ผลการตรวจวัดสามารถนำมาประเมินภาระการทำความเย็น (ตามสมการที่ 3.3) สมรรถนะพลังงานของห้องเย็น (ตามสมการที่ 3.4) การสูญเสียความเย็นภายในห้องผ่านประตูและผนังของห้องเย็น (ตามสมการที่ 3.5)

$$Q = \rho \cdot V \cdot (h_r - h_s) \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

- เมื่อ Q คือ อัตราการทำความเย็น (W_{th})
 ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)
 V คือ อัตราการจ่ายลมเย็น (m^3/s)
 h_s คือ เอนทัลปีของลมจ่าย (kJ/kg)
 h_r คือ เอนทัลปีของลมจ่าย (kJ/kg)

$$\text{COP} = \frac{Q}{P_{\text{elec}}} \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

- เมื่อ COP คือ สมรรถนะการทำความเย็น (-)
 Q คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก (W_{th})
 P_{elec} คือ พลังไฟฟ้าที่ใช้ (W_{elec})

$$q_w = U_w \cdot (T_o - T_i) \quad (\text{สมการที่ 3.5})$$

- เมื่อ q_w คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนผ่านประตูกระจกหรือผนังทึบ (W/m^2)
 U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมของประตูกระจกหรือผนังทึบ ($\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)

T_o คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องแช่เย็น ($^{\circ}\text{C}$)

T_i คือ อุณหภูมิอากาศภายในห้องแช่เย็น ($^{\circ}\text{C}$)

(ค) ตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase

ตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูง ตู้แช่เย็นสินค้าแบบนี้ด้านหน้าตู้จะเปิด โดยมีผนังเฉพาะด้านข้างและด้านหลัง เพื่อลดการสูญเสียความเย็นหน้าตู้จะติดตั้งม่านอากาศ ในการศึกษาการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์นี้จะเป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานรวมของตู้แช่เย็นเป็นหลัก โดยจะมีการวัดการกระจายของอุณหภูมิอากาศหน้าตู้แช่เย็น การตรวจวัดพลังงานของตู้แช่เย็นประกอบด้วย

i. ค่าพลังไฟฟ้ารวมของตู้แช่เย็น (W)

ii. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ของลมจ่ายและลมกลับของคอยล์เย็น

iii. อัตราการส่งลมเย็น (m^3/s)

จากการตรวจวัดข้อมูลข้างต้น ผลตรวจวัดสามารถนำมาประเมินภาระการทำงาน ความเย็น สมรรถนะพลังงานของตู้แช่เย็น การสูญเสียความเย็นภายในห้องผ่านผนัง (ตามสมการที่ 3.3-3.5)

TNI

ตารางที่ 3.3 การตรวจวัดพลังงานในร้านสะดวกซื้อ

ระบบ/อุปกรณ์	ข้อมูลตรวจวัด	ความถี่	ผลตรวจวัด	การวิเคราะห์เทคโนโลยี/ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน
ร้านค้า	- พลังไฟฟ้ารวม - ชนิด/จำนวนอุปกรณ์ - พื้นที่ปรับอากาศ/ไม่ปรับอากาศ - จำนวนพนักงานหน้าร้าน - อุณหภูมิความชื้นอากาศภายนอก	- 15 นาที - นับ - นับ - นับ - 5 นาที	- รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ - การใช้พลังงานต่อพื้นที่, ต่อลูกค้า - สัดส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในร้าน	- การใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ของร้านสะดวกซื้อ $SEC = \frac{E_{store}}{A_{store}}, \dots$ - แบบจำลองการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ - ประเมินการใช้ไฟฟ้าจากสมรรถนะอุปกรณ์ในร้าน $E_{Store} = E_{ac} + E_{lt} + E_{ref} + E_{eq}$
ห้องเย็นแบบ Walk-in	- พลังงานไฟฟ้า - อุณหภูมิความชื้นอากาศในตู้ - อุณหภูมิความชื้นอากาศจ่าย - อุณหภูมิคอยล์เย็น - อัตราการไหลอากาศ	- 15 นาที - 1 นาที - 1 นาที - 1 นาที - 1 นาที - 1 นาที - นับ	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - การทำงานของคอนเดนเซอร์และอีวาโปเรเตอร์ - พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นสินค้า - พลังงานที่สูญเสียผ่านส่วนต่างๆ ของตู้แช่	- คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ - พัดลมชนิด EC - Demand-Based Defrost - ประตุกระจก 3 ชั้น - ฉนวนสุญญากาศ (Vacuum Insulation Panel) $E_{ref} = \left(\frac{L_{good} + L_{reheat} + L_{loss}}{COP} \right)$
ตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase	- พลังงานไฟฟ้า - อุณหภูมิความชื้นอากาศในตู้ - อุณหภูมิคอยล์เย็น - อัตราการไหลอากาศ - ความเย็นสูญเสียผ่านผนัง	- 15 นาที - 1 นาที - 1 นาที - ครึ่งเดียว - 1 นาที	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นสินค้า - พลังงานที่สูญเสียผ่านส่วนต่างๆ ของตู้แช่	- คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ - พัดลมชนิด EC - Demand-Based Defrost - ฉนวนสุญญากาศ (Vacuum Insulation Panel)

ตารางที่ 3.3 การตรวจวัดพลังงานในร้านสะดวกซื้อ (ต่อ)

ระบบ/อุปกรณ์	ข้อมูลตรวจวัด	ความถี่	ผลตรวจวัด	การวิเคราะห์เทคโนโลยี/ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน
ตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase	- พลังงานไฟฟ้า - อุณหภูมิความชื้นอากาศในตู้ - อุณหภูมิคอยล์เย็น - อัตราการไหลอากาศ - ความเย็นสูญเสียผ่านผนัง	- 15 นาที - 1 นาที - 1 นาที - ครั้งเดียว - 1 นาที	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นสินค้า - พลังงานที่สูญเสียผ่านส่วนต่างๆ ของตู้แช่	- คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ - พัดลมชนิด EC - Demand-Based Defrost - ฉนวนสุญญากาศ (Vacuum Insulation Panel)
ตู้แช่อื่นๆ น้ำแข็ง ไอศกรีม (ฝาเปิด บน)	- พลังงานไฟฟ้า - อุณหภูมิความชื้นอากาศ	- 5 นาที - ครั้งเดียว	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - พลังงานที่สูญเสียผ่านส่วนต่างๆ ของตู้แช่ - ความร้อนทั้งภายในร้าน	- คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ - Demand-Based Defrost
เครื่องปรับอากาศ	- พลังงานไฟฟ้า - อุณหภูมิความชื้นอากาศในร้าน	- 15 นาที - 5 นาที	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - สมรรถนะการปรับอากาศ	- คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ - พัดลมชนิด EC - ระบบปรับอากาศแบบ VRV - การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ $E_{ac} = \left(\frac{L_{store}}{COP} \right)$

ตารางที่ 3.3 การตรวจวัดพลังงานในร้านสะดวกซื้อ (ต่อ)

ระบบ/อุปกรณ์	ข้อมูลตรวจวัด	ความถี่	ผลตรวจวัด	การวิเคราะห์เทคโนโลยี/ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน
ไฟฟ้าส่องสว่าง	- พลังงานไฟฟ้า - ระดับแสงในร้าน	- ครั้งเดียว	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - การกระจายของระดับแสง	- หลอดไฟฟ้าชนิดปรับหรี่ได้ - การใช้ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง $E_{lt} = \frac{I_{req}}{CU \cdot (Lf / P)} \cdot A$
เครื่องไม่โครเวฟ และอุปกรณ์ ไฟฟ้าอื่นๆ	- พลังงานไฟฟ้า	- 5 นาที	- ลักษณะ/ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - การใช้พลังงานต่อสินค้า	- การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์

(ง) ระบบปรับอากาศ

การตรวจวัดระบบปรับอากาศดำเนินการเช่นเดียวกับห้องเย็นและตู้แช่แบบเปิด
ครอบคลุมทั้งด้านพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ข้อมูลตรวจวัดระบบปรับอากาศจะประกอบด้วย

- ค่าพลังไฟฟ้า (W)
- อุณหภูมิ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ของลมจ่ายและลมกลับของคอยล์เย็น
- อัตราการส่งลมเย็น (m^3/s)

ในการตรวจวัดค่าการใช้ไฟฟ้า จะเป็นค่าผลรวมของเครื่องปรับอากาศทุกตัว
ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนเครื่องมือวัด ระยะเวลาการตรวจวัด และพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องมือ
และสำหรับอัตราการส่งลมเย็นจะใช้ค่าอ้างอิงจากข้อมูลจำเพาะของตัวเครื่อง

จากการตรวจวัดข้อมูลข้างต้น ผลตรวจวัดสามารถนำมาประเมินภาระการทำความเย็น และสมรรถนะพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (ตามสมการที่ 3.3-3.4)

(จ) ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

การตรวจวัดพลังไฟฟ้าของระบบส่องสว่างใช้วิธีการตรวจวัดครั้งเดียว เนื่องจาก
หลอดไฟฟ้าเกือบทั้งหมดอยู่ในพื้นที่จำหน่ายสินค้าซึ่งเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของ
ค่ากำลังไฟฟ้าของระบบกับเวลานี้น้อยมาก การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะใช้จำนวนชั่วโมงใช้งาน
คูณโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ตามสมการที่ 3.7

$$P_{LT} = N_L \cdot p_L \quad (\text{สมการที่ 3.6})$$

เมื่อ P_{LT} คือ กำลังไฟฟ้ารวมของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W)

N_L คือ จำนวนหลอดไฟฟ้า (set)

p_L คือ กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้า (W/set)

$$E_{LT} = P_{LT} \cdot t \quad (\text{สมการที่ 3.7})$$

เมื่อ E_{LT} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (W.hr)

t คือ จำนวนชั่วโมงใช้งาน (hr)

(ฉ) อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

สำหรับการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์อื่นๆ ในร้านค้าจะเป็นการวัดค่าผลรวมทั้งหมด โดยคำนวณจากค่าตรวจวัดการใช้พลังงานรวมของทั้งร้านค้า หักออกด้วยค่าตรวจวัดของระบบและอุปกรณ์หลักที่ได้กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้มีการติดตั้งมิเตอร์ขนาดเล็กเพื่อวัดการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอุปกรณ์บางตัวด้วย

3.3.3 อุปกรณ์ตรวจวัด

ในการตรวจวัดการใช้และสมรรถนะพลังงานของอุปกรณ์ในร้านสะดวกซื้อ เครื่องมือที่ใช้มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายการอุปกรณ์ตรวจวัดและข้อมูลจำเพาะ

ลำดับ	เครื่องมือตรวจวัด	ข้อมูลจำเพาะ
1	เครื่องบันทึกการใช้ไฟฟ้า	Data Logger
2	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นอากาศ	TESTO
3	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิผิว	PT-100
4	เซนเซอร์วัดการส่งผ่านความร้อน	EKO
5	เซนเซอร์วัดรังสีอาทิตย์	Pyranometer

3.4 การวิเคราะห์แนวทางอนุรักษ์พลังงาน

การสำรวจร้านสะดวกซื้อ นอกจากการตรวจวัดการใช้พลังงานแล้ว ยังทำให้ทราบเทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ในปัจจุบัน ในการวิเคราะห์แนวทางอนุรักษ์พลังงานจะเป็นการประเมินเชิงเปรียบเทียบของสมรรถนะพลังงานของเทคโนโลยีเหล่านั้นกับต้นทุน เพื่อให้ทราบความคุ้มค่าทางการเงินและจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการส่งเสริมเทคโนโลยีของประเทศไทย

3.4.1 สมรรถนะพลังงานของเทคโนโลยี

การวิเคราะห์สมรรถนะพลังงานเป็นการเปรียบเทียบผลต่างของการใช้พลังงานของเทคโนโลยีเทียบกับกรณีฐานซึ่งจะเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอยู่ทั่วไปและมีการใช้พลังงานมากที่สุด ซึ่งค่าผลต่างนี้จะพลังงานที่สามารถอนุรักษ์หรือประหยัดได้ของเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า การประเมินผลอนุรักษ์จะเป็นค่าบนฐานระยะเวลา 1 ปี ซึ่งแสดงได้ตามสมการที่ 3.8

$$S_i = E_i - E_{base} \quad (\text{สมการที่ 3.8})$$

เมื่อ S_i คือ พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปีของเทคโนโลยี i เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีฐาน (kWh/year)

E_i คือ การใช้พลังงานต่อปีของเทคโนโลยี i (kWh/year)

E_{base} คือ การใช้พลังงานต่อปีของเทคโนโลยีฐาน (kWh/year)

3.4.2 ความคุ้มค่าทางการเงิน

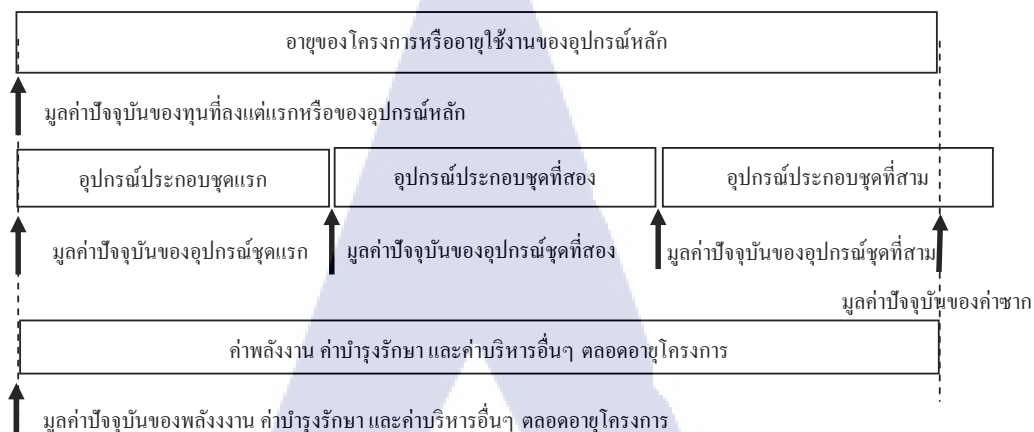
ความคุ้มค่าทางการเงินเป็นการเปรียบเทียบผลของพลังงานที่อนุรักษ์ได้เทียบกับงบประมาณลงทุน โดยงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินจะใช้ดัชนีค่าใช้จ่ายตลอดอายุเทคโนโลยี (Life Cycle Costing) และดัชนีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

(1) ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเทคโนโลยี (Life Cycle Costing)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าโดยพิจารณามูลค่ารวมตลอดอายุของระบบหรืออุปกรณ์เป็นวิธีวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ที่ครอบคลุมค่าใช้จ่ายลงทุน ค่าใช้จ่ายการบริหารงาน ค่าพลังงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าจัดการเมื่อสิ้นสุดโครงการ ค่ารีไซเคิลและกำจัดอุปกรณ์ที่หมดอายุ

หลักการวิเคราะห์โดยสรุปของวิธีนี้ คือ การพิจารณามูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายของโครงการ ระบบ หรืออุปกรณ์ โดยนับถึงอัตราเสื่อมค่า (Discount Rate) หรือมูลค่าตามเวลาของเงิน (Time Value of Money) อัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate) และการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของราคาพลังงาน (Escalation Rate) หรือส่วนประกอบส่วนอื่น เช่น ค่าจ้าง

รูปที่ 3.22 แสดงวิธีคำนวณมูลค่าของส่วนประกอบต่างๆ ของโครงการ หรือของอุปกรณ์หลักซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบที่มีอายุใช้งานสั้นกว่าอายุของโครงการหรืออายุของอุปกรณ์หลัก ค่าใช้จ่ายทุกส่วนซึ่งรวมถึงค่าลงทุนเบื้องต้น ค่าอุปกรณ์ประกอบชุดต่างๆ ที่ต้องใช้ทดแทนอุปกรณ์ประกอบที่หมดอายุก่อน และค่าพลังงานและค่าบริหารจะต้องนำมาหามูลค่าปัจจุบัน และรวมกับค่าลงทุนเบื้องต้นและหักด้วยมูลค่าปัจจุบันของค่าซากของอุปกรณ์ที่เหลือเมื่อสิ้นสุดโครงการ เพื่อรวมเป็นมูลค่าปัจจุบันรวมของทั้งโครงการหรือของระบบ



รูปที่ 3.22 การลงทุน ค่าใช้จ่ายและมูลค่าปัจจุบันของระบบหรืออุปกรณ์

โดยทั่วไป ค่าพลังงานและค่าบริหารของอาคารของระบบและอุปกรณ์ใช้พลังงานตลอดอายุใช้งานมีมูลค่าปัจจุบันเป็นหลายเท่าของมูลค่าต้นของค่าก่อสร้างระบบและอุปกรณ์ ดังนั้นระบบและอุปกรณ์ที่มีศักยภาพอนุรักษ์พลังงานได้ดีกว่ามักจะมีมูลค่ารวมปัจจุบันน้อยกว่า วิธีวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับวิธีพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Analysis)

(2) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน อีกทั้งสามารถเข้าใจได้ง่ายสำหรับบุคคลทั่วไป ระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้ง่ายๆ โดยการนำเงินลงทุนของระบบหรืออุปกรณ์หารด้วยผลประโยชน์ที่จะได้รับในแต่ละปี ดังนั้นระบบหรืออุปกรณ์ยังมีระยะเวลาคืนทุนสั้นก็จะมีที่น่าสนใจและคุ้มค่าที่จะลงทุน แต่ข้อด้อยที่สำคัญของวิธีนี้ คือ การคำนวณไม่สนใจผลการอนุรักษ์พลังงานหลังจากเวลาคืนทุนผ่านไปแล้ว

3.4.3 ศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน

ศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน เป็นการวิเคราะห์ผลอนุรักษ์เชิงเทคนิคหาเทคโนโลยีประสิทธิภาพพลังงานถูกนำมาปฏิบัติใช้กับร้านสะดวกซื้อที่มีอยู่และกำลังเติบโตอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย ขั้นตอนในการประเมินศักยภาพมีลำดับดังนี้

(1) การประเมินจำนวนของร้านสะดวกซื้อ

เป็นการรวบรวมข้อมูลจำนวนและประเภทของร้านสะดวกซื้อในปัจจุบันและที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต การสืบค้นสามารถทำได้จากรายงานประจำปีของแผนธุรกิจร้านสะดวกซื้อแบรนด์ต่างๆ ที่ได้จัดทำขึ้น หรือจากข้อมูลของแต่ละแบรนด์โฆษณาเป้าหมายจำนวนร้านในอินเทอร์เน็ต

(2) การกำหนดลักษณะและการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ

เป็นการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลจากร้านค้าที่ได้ทำการสำรวจ 10 ร้านค้า เพื่อกำหนดร้านที่เป็นตัวแทนซึ่งสามารถสะท้อนลักษณะอาคาร สมรรถนะของเทคโนโลยีของระบบต่างๆ ของร้านค้า ซึ่งเมื่อใช้ประกอบกับข้อมูลจำนวนร้านค้าจะสามารถประเมินการใช้พลังงานของอาคารกลุ่มธุรกิจร้านสะดวกซื้อ

(3) การกำหนดเทคโนโลยีประสิทธิภาพพลังงาน

เป็นการเลือกเทคโนโลยีประสิทธิภาพพลังงานที่มีความพร้อมใช้ และประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานและความคุ้มค่าเชิงต้นทุนของเทคโนโลยีเหล่านั้น สำหรับทดแทนในร้านสะดวกซื้อ

(4) การประเมินศักยภาพมาตรการของร้านสะดวกซื้อ

เป็นการกำหนดกรณีศึกษาต่างๆ เมื่อเทคโนโลยีประสิทธิภาพพลังงานเริ่มนำเข้ามาใช้ในร้านสะดวกซื้อที่เปิดขึ้นใหม่ และเปลี่ยนไปใช้ในร้านสะดวกซื้อเดิมที่เปิดดำเนินการแล้วที่เข้าสู่วงจรของการปรับปรุงร้าน (Renovation) เพื่อคาดการณ์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานเชิงเทคนิคในอนาคต

บทที่ 4

การตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงาน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และ ศักยภาพการประหยัดพลังงานของร้านสะดวกซื้อ

บทนี้นำเสนอผลการดำเนินงานในสองส่วน คือ การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ ซึ่งประกอบด้วย การใช้ไฟฟ้ารวมของร้านค้า สมรรถนะพลังงานของระบบและอุปกรณ์ (กรอบอาคาร เครื่องปรับอากาศ ห้องแช่เย็น ตู้แช่เย็น หลอดไฟฟ้า และเครื่องไฟฟ้าอื่นๆ) รวมถึงข้อมูลภาวะอากาศและการส่องสว่างภายในร้านค้า

ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดข้างต้น โดยแบบจำลองนี้จะใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อประเมินการใช้พลังงานในภาคธุรกิจร้านสะดวกซื้อรวมถึงวิเคราะห์ศักยภาพของการลดการใช้พลังงานเมื่อมีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์เชิงเทคนิคต่างๆ

4.1 การใช้พลังงานรวมของร้านค้า

ร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจมี 10 ร้านค้า (รหัส ST01-10) โดยแต่ละร้านค้ามีลักษณะรูปแบบ ขนาดพื้นที่ อายุการใช้งาน จำนวนผู้ปฏิบัติงาน เทคโนโลยีและอุปกรณ์ในร้านต่างๆ กัน ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าสืบเนื่องของร้านค้า

ในตารางที่ 4.1 แสดงภาพรวมการใช้อาคารของร้านสะดวกซื้อ โดยร้านค้ารหัส ST02 และ ST03 ตั้งอยู่ในอาคารพาณิชย์ (Commercial building: CB) ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในชุมชนหรือในเขตเมือง ขณะที่ร้าน ST01, ST04, ST05, ST06, ST07, ST08, ST09 เป็นร้านค้าเดี่ยว (Stand Alone : SA) ที่ปัจจุบันขยายจำนวนมากขึ้นตามบริเวณรอบเมือง หรือในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยร้าน ST10 เป็นสหกรณ์ที่ตั้งในอาคารโรงอาหาร ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) ซึ่งพิจารณาได้ว่าเป็นตัวแทนของร้านขายสินค้ารูปแบบเก่าหรือโซ่หน่วย หมายเลขรหัสร้านค้าในตารางแสดงการลำดับการเข้าสำรวจก่อนหลัง

ตารางที่ 4.1 การใช้อาคารของร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจ

อาคาร	ลักษณะ	อายุ (ปี)	พนักงาน (คน)	พื้นที่ปรับ อากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ปรับ อากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่ใช้สอย รวม (ตร.ม.)	สัดส่วนพื้นที่ ปรับอากาศ (%)
ST01	SA	8	5	155.0	48.0	203.0	76
ST02	CB	10	4	141.0	74.3	215.3	65
ST03	CB	6	4	86.4	75.6	162.0	53
ST04	SA	2	7	193.7	72.9	265.6	73
ST05	SA	2	7	193.7	72.9	265.6	73
ST06	SA	5	5	129.6	24.0	153.6	84
ST07	SA	3	7	203.3	89.2	292.5	70
ST08	SA	5	7	212.4	78.3	290.7	73
ST09	SA	5	7	130.0	25.0	155.0	84
ST10	CB	6	4	294.8	0.0	294.8	100
เฉลี่ย*		5	6	160.6	62.2	222.6	72.3

หมายเหตุ : CB = ร้านค้าในอาคารพาณิชย์ SA = ร้านค้าเดี่ยว

*การคำนวณค่าเฉลี่ยไม่รวมร้านค้า ST10 เนื่องจากมีกิจกรรมการขายและการใช้ไฟฟ้าแตกต่างจากร้านค้าอื่นมาก

จากการสำรวจพบว่าร้านค้าจะมีพนักงานทำงาน 4-7 คน ต่อผลัด หมุนเวียนกันทำงาน ตลอด 24 ชั่วโมง ร้านค้ามีพื้นที่ปรับอากาศ 86.4–212.4 ตร.ม. พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 24–89.2 ตร.ม. และพื้นที่ใช้สอยรวม 153.6–292.5 ตร.ม. สัดส่วนของพื้นที่ปรับอากาศอยู่ระหว่างร้อยละ 53–84 โดยรวมแล้ว ร้านค้าในอาคารพาณิชย์จะมีพื้นที่น้อยกว่าร้านค้าเดี่ยว ในขณะที่ร้านค้าเดี่ยวเองมีแนวโน้มของขนาดที่ขยายใหญ่ขึ้น

ในกิจกรรมตรวจวัด ผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดไฟฟ้าต่อเนื่อง 1 สัปดาห์ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2 จากตารางร้านค้ามีการใช้ไฟฟ้า 11,062-17,382 หน่วยต่อเดือน ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ 487-1,104 หน่วยต่อพื้นที่ต่อปี ความแตกต่างนี้เป็นผลจากสมรรถนะของอุปกรณ์ที่ใช้ การบำรุงรักษา และปริมาณการขายสินค้า ในปัจจุบันพบว่าร้านสะดวกซื้อมีการจำหน่ายอาหารปรุงสำเร็จในสัดส่วนที่สูงขึ้น มีเครื่องทำกาแฟสด มีครัวทำขนม อุปกรณ์เหล่านี้ล้วนเพิ่มความต้องการไฟฟ้าและภาระให้เครื่องปรับอากาศดังตัวอย่างเช่นร้านค้า ST05 ที่ใช้พลังงานสูงถึง 1,104

kWh/m²/year ขณะที่ร้านค้า ST04 ใช้พลังงานต่ำสุดที่ 555 kWh/m²/year เพราะเป็นร้านที่เพิ่งเปิดบริการ อุปกรณ์ใช้เทคโนโลยีใหม่ และยังเป็นร้านค้าต้นแบบที่รอบอาคารเป็นระบบฉนวนทั้งหมด

ตารางที่ 4.2 การใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจ

ร้านค้า	พื้นที่รวม (m ²)	การใช้ไฟฟ้า (หน่วยต่อเดือน)						การใช้พลังงานต่อพื้นที่รวม (kWh/m ² /year)
		ปรับอากาศ	ไฟฟ้าส่องสว่าง	ห้องและตู้แช่เย็น	เครื่องเย็นอื่นๆ	อื่นๆ	รวม	
ST01	203	4,619	727	5,814	3,182	1,809	16,151	955
ST02	215	3,947	658	8,333	3,323	608	16,869	940
ST03	162	3,982	774	5,199	996	110	11,062	819
ST04	266	2,235	835	5,746	2,419	1,044	12,279	555
ST05	266	5,041	869	5,736	3,424	2,312	17,382	785
ST06	154	3,958	565	6,785	1,272	1,555	14,135	1,104
ST07	292	3,191	855	4,406	2,338	1,080	11,870	487
ST08	291	3,967	848	9,581	1,440	160	15,995	660
ST09	155	3,982	568	6,826	1,280	1,564	14,220	1,101
ST10	295	1,495	41	1,169	-	14	2,718	111
ค่าเฉลี่ย	223	3,880	744	6,492	2,186	1,138	14,440	823
ร้อยละ (%)		26.87	5.15	44.96	15.14	7.88	100.00	

หมายเหตุ : การคำนวณค่าเฉลี่ยไม่รวมร้านค้า ST10 เนื่องจากมีกิจกรรมการขายและการใช้ไฟฟ้าแตกต่างจากร้านค้าอื่นมาก

ตามตารางที่ 4.2 ร้านสะดวกซื้อมีค่าการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 823 kWh/m²/year เมื่อเทียบกับอาคารสำนักงานที่มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 180-220 kWh/m²/year หรือห้างสรรพสินค้าที่ค่าเฉลี่ย 600-700 kWh/m²/year นับว่าร้านสะดวกซื้อมีการใช้ไฟฟ้าสูงอย่างมาก

การปรับอากาศและการแช่เย็น (ตู้แช่เย็นแบบเปิด/แบบปิด และห้องเย็นแบบ Walk-in) เป็นสองระบบหลักที่ใช้พลังงานสูง คิดเป็นสัดส่วนรวมกันถึงร้อยละ 71.8 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบส่องสว่างใช้พลังงานร้อยละ 5.2 ขณะที่อุปกรณ์อื่นๆ ใช้ไฟฟ้ารวมกันร้อยละ 23.0 อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์อื่นๆ ในร้านสะดวกซื้อจัดอยู่ในกลุ่มอุปกรณ์ทำความเย็นเกือบทั้งหมดเช่นกัน อาทิ ตู้น้ำหวาน ตู้ทำน้ำแข็งกด ตู้แช่น้ำแข็งยูนิต ตู้ไอศกรีม ตู้แช่อาหารสำเร็จรูปหลังร้าน ซึ่งหากรวม

การใช้พลังงานของอุปกรณ์ส่วนนี้เข้ากับตู้แช่แบบเปิดและตู้แช่แบบ Walk-in แล้วการใช้ไฟฟ้าของการทำความเย็นสินค้าจะสูงขึ้นถึงกว่าร้อยละ 60.1 โดยการใช้พลังงานของอุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อุปกรณ์ทำความเย็นจะมีค่าร้อยละ 7.9 ของการใช้ไฟฟ้าของร้านค้า

ร้านค้า ST04 เป็นร้านที่มีการปรับปรุงกรอบอาคารโดยการติดตั้งฉนวน การปรับปรุงกรอบอาคารด้วยการใส่ฉนวนของร้านค้าจะทำให้ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศลดลง ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศลงได้ครึ่งหนึ่งสำหรับร้านที่มีพื้นที่ร้านเท่ากัน โดยพบว่าร้านค้า ST04 ใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศประมาณครึ่งหนึ่งของร้านค้า ST05 แต่ร้านนี้มีสัดส่วนการใช้พลังงานของห้องเย็นและตู้แช่เย็น 45% ซึ่งห้องแช่เย็นและตู้แช่เย็นมักจะใช้โมเดลเดียวกันจึงปรับปรุงไม่ได้มาก อีกทั้งห้องเย็นและตู้แช่เย็นไม่ได้รับอิทธิพลของกรอบอาคารมากนัก การใช้พลังงานของห้องแช่เย็นจึงขึ้นกับจำนวนลูกค้าเป็นหลัก จึงควรเน้นการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 4.3 แสดงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ (Power Consumption Profile) ซึ่งพบว่าค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak Period (9:00-22:00) อยู่ระหว่าง 27-42 kW และในช่วง Off Peak (22:00-9:00) อยู่ระหว่าง 22-38 kW แสดงว่าค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ต่างกันมากนักระหว่าง Peak period และ Off-peak period โดยค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่วัดได้ (ในช่วง 7 วัน) เท่ากับ 2,581-3,855 kWh หรือ ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 369-551 kWh/day และเมื่อคำนวณค่าตัวประกอบภาระต่ำสุด ได้ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 55-83 และค่าตัวประกอบภาระสูงสุด ได้ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 73-84

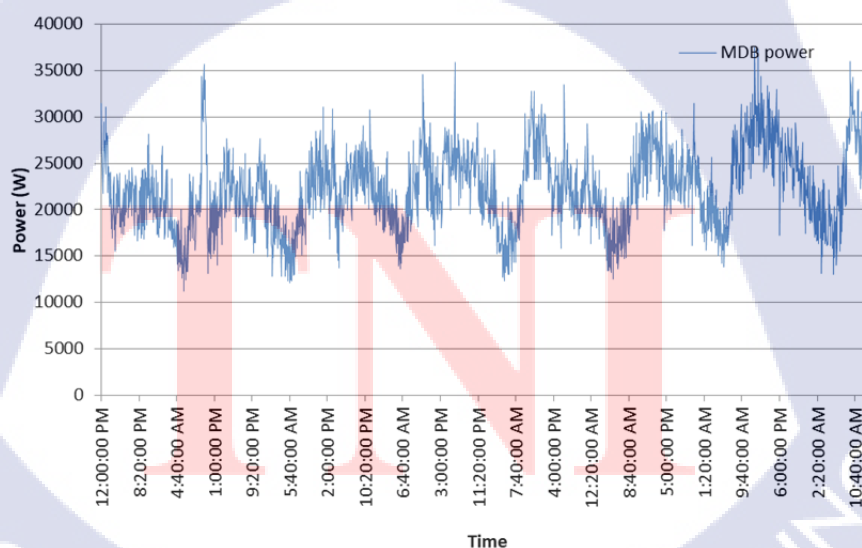
อนึ่ง ร้านค้า ST05 และ ST08 มีค่าพลังไฟฟ้าช่วง Peak Period สูงถึง 38 kW และ 42 kW ตามลำดับ เนื่องจากร้านค้านี้มีครัวที่ประกอบด้วยเครื่องเตรียมขนมและเตาอบไฟฟ้าภายในร้านค้า

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของผลตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าหนึ่ง จากรูปความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงบ่าย 14:00-16:00 และต่ำสุดในช่วงกลางคืนใกล้เช้า (3:00-6:00) การเปลี่ยนแปลงนี้ค่อนข้างสอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่สูงในช่วงบ่าย การเปลี่ยนแปลงยังสัมพันธ์กับจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในร้าน โดยในบางร้านค้า ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถปรากฏในช่วงเวลาเย็นและค่าที่จำนวนลูกค้ามาก

ตารางที่ 4.3 การใช้ไฟฟ้าในช่วง 7 วันที่ดำเนินการตรวจวัด

การไฟฟ้า ในช่วง 7 วันที่ตรวจวัด	พลังไฟฟ้าสูงสุด (kW)		พลังไฟฟ้า เฉลี่ย (kW)	พลังงานไฟฟ้า (7 วัน) (kWh)	พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ยต่อวัน (kWh)	ตัวประกอบ ภาระต่ำสุด (%)	ตัวประกอบ ภาระสูงสุด (%)
	Peak Period	Off-peak Period					
ST01	34	27	22.95	3,855	551	70	81
ST02	27	28	21.00	3,530	504	78	82
ST03	23	22	15.38	2,581	369	63	81
ST04	29	23	15.88	2,664	381	55	80
ST05	38	32	22.17	3,724	532	57	73
ST06	33	25	19.62	3,298	471	62	73
ST07	34	29	16.37	2,770	396	48	64
ST08	42	38	22.91	3,732	533	83	84
ST09	34	24	20.10	3,384	474	65	79
ST10	9	10	2.89	951	136	52	94
ค่าเฉลี่ย	33	28	20	3,282	468	65	77

หมายเหตุ : การคำนวณค่าเฉลี่ยไม่รวมร้านค้า ST10 เนื่องจากมีกิจกรรมการขายและการใช้ไฟฟ้าแตกต่างจากร้านค้าอื่นมาก



รูปที่ 4.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ (ตัวอย่าง)

4.2 ระบบปรับอากาศ

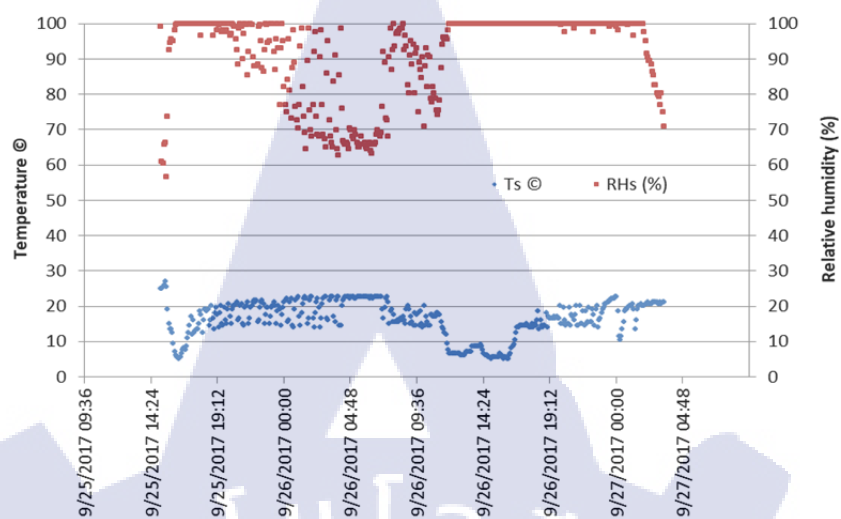
การปรับอากาศในร้านสะดวกซื้อใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Split-Type Air-Conditioner) เครื่องปรับอากาศประเภทนี้ติดตั้งสะดวก ใช้งานง่าย ดูแลรักษาดำ อีกทั้งเทคโนโลยีคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงชันมาก ในอดีต ร้านสะดวกซื้อมีการศึกษาทดลองเทคโนโลยีปรับอากาศต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน เช่น ระบบแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบปรับอากาศที่สามารถนำความร้อนทิ้งมาอุ่นน้ำร้อน อย่างไรก็ตาม พบว่าต้นทุนของระบบสูง การใช้งานซับซ้อน การบำรุงรักษายาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับธุรกิจที่มีจำนวนร้านค้ามาก และกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดเครื่องปรับอากาศของร้านค้าที่เข้าสำรวจเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในร้านค้ามีจำนวน 3-5 เครื่อง เปิดสลับกันทำงานตามตารางที่กำหนดโดยพนักงานของร้านค้า เครื่องมีขนาดทำความเย็นพิกัด 7,600-12,000 W_{th} (หรือ 25,000-40,944 Btu/hr) สมรรถนะ EER ระหว่าง 9.6-11.4 Btu/Wh (COP 2.81-3.34) โดยเครื่องปรับอากาศใหม่ที่มีอายุ 2-3 ปี ใช้สารทำความเย็น R-410a และ R32 นอกนั้นยังคงใช้สารทำความเย็น R-22 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตรวจวัดค่าได้ 69-162 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หรือ 24,948-50,172 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 94-321 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี

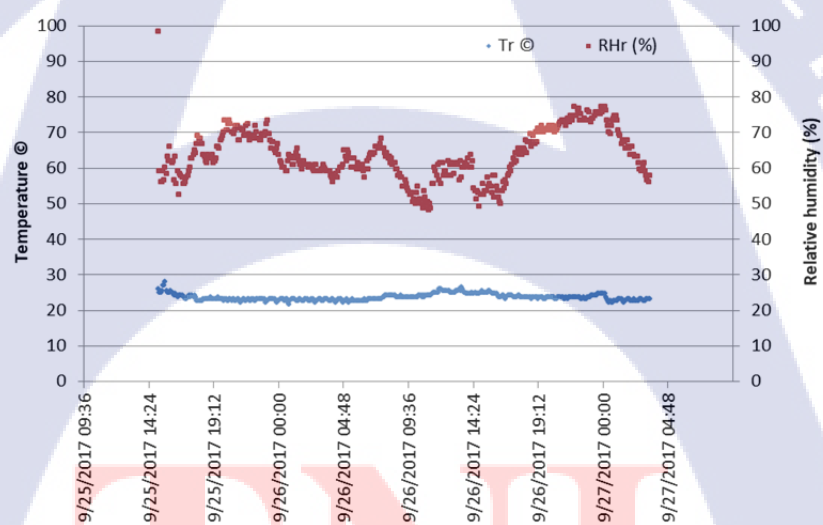
สำหรับร้านค้า ST04 การใช้ไฟฟ้าและดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ต่ำที่สุด เพราะเป็นร้านค้าต้นแบบที่ติดตั้งฉนวนโพรยูรีเทนโฟม (PU) กับผนังและหลังคา แม้ว่าขนาดทำความเย็นติดตั้งของเครื่องปรับอากาศจะเท่ากับร้าน ST05 แต่มีการใช้ไฟฟ้าต่อปีเพียงร้อยละ 42.7 ของร้าน ST05

ร้านค้า ST06 มีดัชนีการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่สูงที่สุด จากตารางที่ 4.2 เพราะอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพไม่สูง ไม่ได้เน้นการประหยัดพลังงานมากนัก ส่วนร้านค้า ST03 มีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่รองลงมา แม้ว่าจะมีกำลังไฟฟ้สำหรับการทำความเย็นติดตั้งน้อยก็ตาม อนึ่ง ร้านค้าทั้งสองนี้ (ST03 และ ST06) มีการติดตั้งใช้งานพัดลมหมุนเวียนอากาศและม่านอากาศ ซึ่งการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์นี้คิดเป็น 113-173 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน และถูกนับรวมเข้าในค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศด้วย

ผู้วิจัยได้ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature and Relative Humidity) ของลมจ่ายและลมกลับ (Supply and Return Air) ปริมาณลมจ่าย (Air Flow Rate) และค่าพลังไฟฟ้า (Power Consumption) ของเครื่องปรับอากาศ เพื่อคำนวณภาระ (Cooling Load) และสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างผลตรวจวัดเครื่องปรับอากาศของร้านค้า ST05 ซึ่งเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์แต่ละเครื่องมีขนาดทำความเย็นพิกัด 11 kW_{th} โดยปกติจะเปิดใช้งาน 3 เครื่องจากทั้งหมด 5 เครื่อง

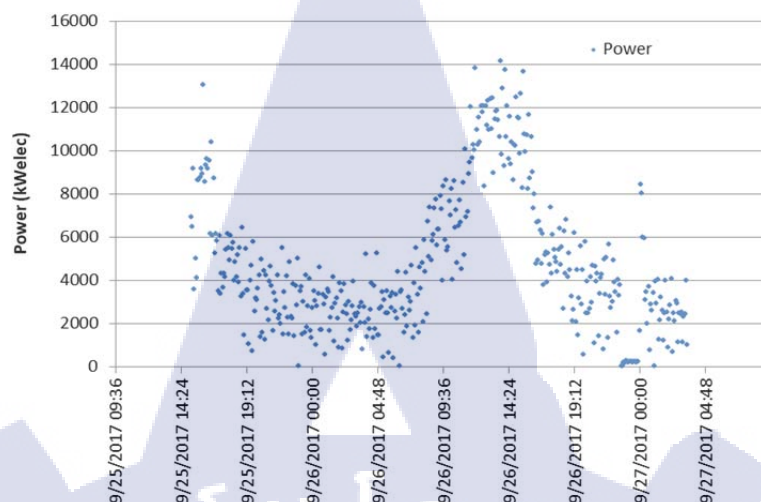


(ก) ภาวะลมจ่าย

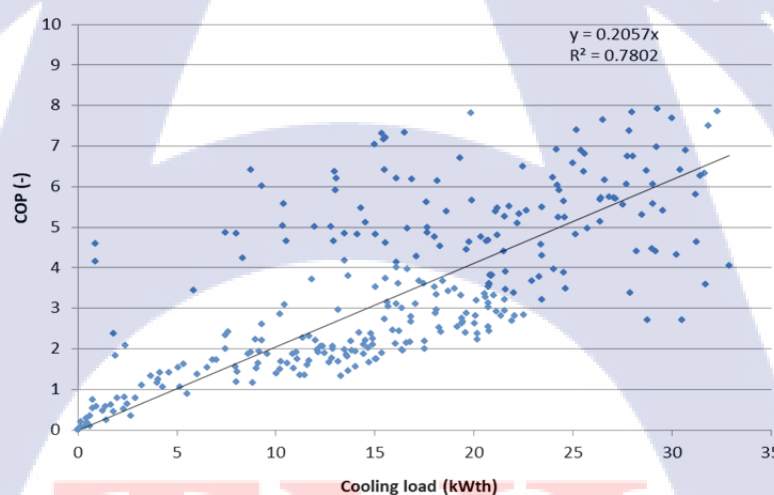


(ข) ภาวะลมกลับ

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลตรวจวัดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (อินเวอร์เตอร์)



(ค) ความต้องการพลังงานไฟฟ้า



(ง) สมรรถนะการปรับอากาศ (COP)

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลตรวจวัดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (อินเวอร์เตอร์) (ต่อ)

รูปที่ 4.2 (ก)-(ข) แสดงตัวอย่างการตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและลมกลับ ซึ่งพบว่าลมจ่ายมีอุณหภูมิระหว่าง 5.0-15.0°C และมีค่า %RH เกือบ 100% ตลอดเวลา หากประเมินค่าอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) ก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นผลจากคอยล์อินเวอร์เตอร์รุ่นใหม่จะมีครีบทึ่หนาขึ้น ทำให้ค่า %RH เกือบ 100% สำหรับลมกลับหรืออีกนัยหนึ่งอุณหภูมิอากาศ

ในร้านค้า มีอุณหภูมิระหว่าง $24-26^{\circ}\text{C}$ รูปที่ 4.2 (ค) แสดงข้อมูลพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่กำลังทำงาน (จำนวนรวม 3 เครื่อง) ซึ่งวัดค่าได้สูงสุด $14.0 \text{ kW}_{\text{elec}}$

ผู้วิจัยได้ใช้ค่าปริมาณลมจ่ายรวมของเครื่องปรับอากาศ (จำนวน 3 เครื่อง) คำนวณภาระการปรับอากาศ ซึ่งเมื่อหารด้วยค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะเดียวกันแล้ว จะประเมินค่าสมรรถนะรวมของการปรับอากาศดังรูปที่ 4.2 (ง) ผลประเมินนี้แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะมีแนวโน้มแปรเปลี่ยนเป็นเชิงเส้นกับภาระการปรับอากาศ



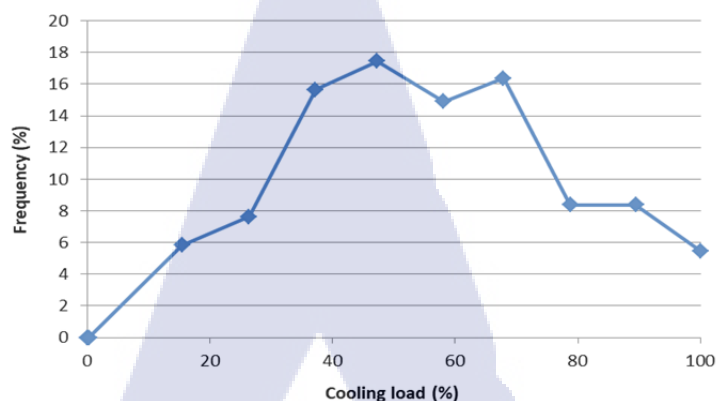
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศของร้านสะดวกซื้อที่สำรวจ

รายการ	หน่วย	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05	ST06	ST07	ST08	ST09	ST10
ขนาดทำความเย็นตามพิกัด	W_{th}	12,000	12,000	7,600	11,500	11,500	10,800	11,500	11,500	10,800	4,669
ขนาดทำความเย็นตามพิกัด	Btu/hr	40,944	40,944	25,000	39,275	39,275	36,000	39,275	39,275	36,000	40,000
สมรรถนะ EER	Btu/hr/ W_{th}	11.40	9.60	11.33	11.33	11.33	11.03	11.33	11.33	11.03	9.781
สมรรถนะ COP	-	3.34	2.81	3.32	3.00	3.30	3.23	3.30	3.30	3.23	2.84
กระแสที่ค่าพิกัด	A	6.07	N/A	10.50	8.10	8.10	15.50	8.10	8.10	15.5	7.47
กำลังไฟฟ้า	Welec	3,538	4,265	2,325	3,830	3,830	3,333	3,830	3,830	3,333	4,090
สารทำความเย็น	-	R-22	R-22	R-22	R410a	R410a	R-22	R410a	R410a	R-22	R-22
อายุใช้งาน	ปี	8	10	6	2	2	5	3	1	5	6
จำนวน	เครื่อง	4	4	3	5	5	3	5	5	3	3
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อวัน	kWh/day	139	123	119	69	162	131	162.2	132	133	42
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อเดือน	kWh/month	4,181	3,689	3,563	2,079	4,867	3,937	4,866.5	3,967	3,982	1,495
ไฟฟ้าของพัดลมหมุนเวียนอากาศ (กำลังไฟฟ้า 20W)	kWh/month			72			173			174	
ไฟฟ้าของพัดลมผ่านอากาศ (กำลังไฟฟ้า 57W)	kWh/month			41							
การใช้ไฟฟ้ารวมของระบบปรับอากาศ	kWh/month	4,181	3,689	3,676	2,079	4,867	4,110	4,866.5	3,967	3,982	1,495
การใช้ไฟฟ้ารวมของระบบปรับอากาศ	kWh/year	50,172	44,265	44,115	24,948	58,398	49,316	58,398	47,604	47,782	17,936
พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	m^2	155	141	86	194	194	130	194	212	130	295
ดัชนีการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ	kWh/ m^2 /yr	324	314	511	129	301	380	301	224.11	368	61

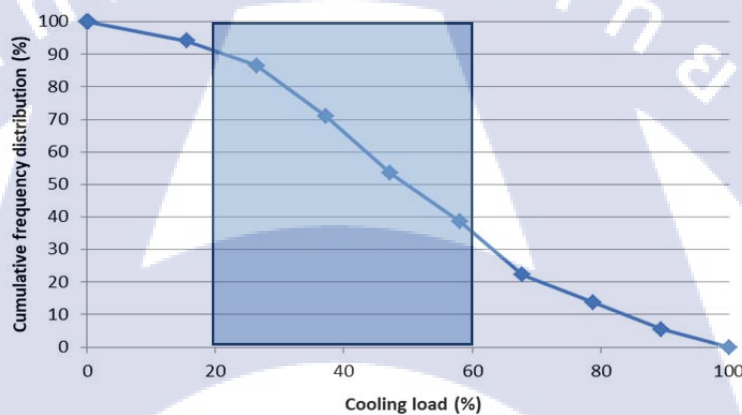
ผู้วิจัยได้วิเคราะห์การทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยการแบ่งภาระการปรับอากาศออกเป็น 10 ช่วงย่อยดังแสดงในตารางที่ 4.5 จากตาราง ภาระการปรับอากาศ (Cooling Load) ที่ร้อยละ 0-10 ไม่เกิดขึ้นเลย ค่าภาระที่ร้อยละ 10-20 เกิดขึ้นร้อยละ 15.5 ของเวลาใช้งาน ค่าภาระที่ร้อยละ 20-30 เกิดขึ้นร้อยละ 26.4 ของเวลาใช้งาน โดยค่าภาระการปรับอากาศที่ร้อยละ 40-50 ของภาระพิกัด เกิดขึ้นที่ความถี่สูงสุดที่ร้อยละ 17.5 ของเวลาใช้งาน เป็นต้น รูปที่ 4.3 (ก) แสดงค่าความถี่ที่ภาระการปรับอากาศในระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.5 การทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ลำดับ	ภาระการปรับอากาศ (kW_{th})				ความถี่		ความถี่สะสม		1-Cum
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ (%)	จำนวน	(%)	Cum.	(%)	(%)
1	0	3.3	0.1	0.3	0	0.0	0	0.0	100.0
2	3.3	6.6	4.9	15.5	16	5.8	16	5.8	94.2
3	6.6	9.9	8.3	26.4	21	7.6	37	13.5	86.5
4	9.9	13.2	11.7	37.2	43	15.6	80	29.1	70.9
5	13.2	16.5	14.8	47.3	48	17.5	128	46.5	53.5
6	16.5	19.8	18.2	58.1	41	14.9	169	61.5	38.5
7	19.8	23.1	21.2	67.9	45	16.4	214	77.8	22.2
8	23.1	26.4	24.7	78.8	23	8.4	237	86.2	13.8
9	26.4	29.7	28.0	89.5	23	8.4	260	94.5	5.5
10	29.7	33.0	31.3	100.0	15	5.5	275	100.0	0.0



(ก) ความถี่ของการเกิดภาระการปรับอากาศ (ร้อยละของภาระเต็มพิกัด)



(ข) ความถี่สะสมของภาระการปรับอากาศ

รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์การทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ทั้งนี้ สามารถแปลงข้อมูลในรูปที่ 4.3 (ก) เป็นกราฟความถี่สะสม (1-Cumulative) ของภาระการปรับอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข) กราฟความถี่สะสมนี้สามารถใช้ในการประเมินความถี่ของการเกิดภาระการปรับอากาศในช่วงใดๆ ได้ เช่น จากกราฟ ความถี่ของการเกิดภาระการปรับอากาศที่ร้อยละ 20-60 เกิดขึ้นร้อยละ 54 (90-36) ของเวลาใช้งาน เราสามารถใช้รูปที่ 4.2 (ง) ซึ่งแสดงค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่สัมพันธ์กันภาระการปรับอากาศ ร่วมกับรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงความถี่ของภาระการปรับอากาศที่เกิดขึ้นในการคำนวณสมรรถนะเฉลี่ยและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ จากตารางที่ 4.6 ร้านสะดวกซื้อมีสมรรถนะเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ COP สูงเท่ากับ 3.63 ที่ภาระการปรับอากาศประมาณร้อยละ 60 เนื่องจากเครื่องปรับอากาศใช้เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์

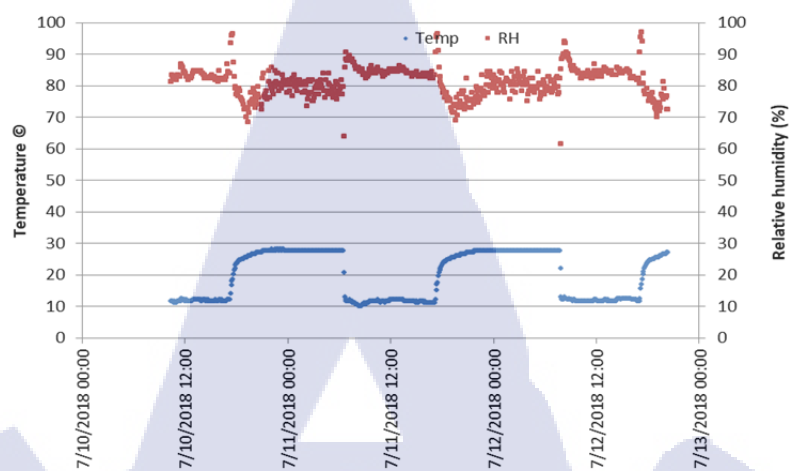
ตารางที่ 4.6 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศโดยรวม

ลำดับ	ภาระการปรับอากาศ	ความถี่	สมรรถนะ
1	0.1	0.0	0.02
2	4.9	5.8	1.01
3	8.3	7.6	1.71
4	11.7	15.6	2.41
5	14.8	17.5	3.04
6	18.2	14.9	3.74
7	21.2	16.4	4.36
8	24.7	8.4	5.08
9	28.0	8.4	5.76
10	31.3	5.5	6.44
สมรรถนะเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก			3.63

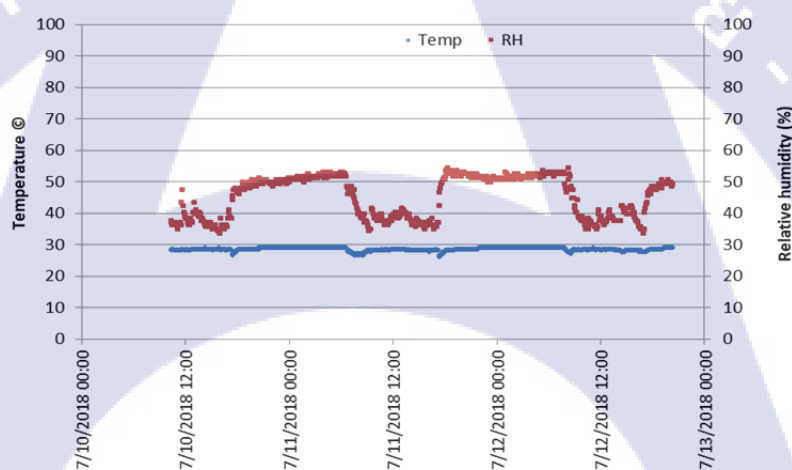
4.2.1 เครื่องปรับอากาศชนิดคอมเพรสเซอร์ความเร็วรอบคงที่

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในร้านสะดวกซื้อพบทั้งชนิดคอมเพรสเซอร์ความเร็วรอบคงที่ (Fixed Speed Compressor) และคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ (Inverter Compressor)

ในการสำรวจนี้ ผู้วิจัยได้ตรวจวัดการทำงานต่อเนื่องของเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ความเร็วรอบคงที่เครื่องหนึ่งของร้านค้า ST-10 (ร้านสหกรณ์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) การทำงานของคอมเพรสเซอร์มี 2 สถานะ คือ ทำงานเต็มกำลัง (100%) และหยุดทำงาน (0%) รูปที่ 4.4 แสดงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จากรูปเครื่องปรับอากาศจะเปิดใช้งานช่วง 7:00-17:00 ของวันทำงาน ลมเย็นตรวจวัดอุณหภูมิได้ 12°C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ร้อยละ 60-80 ดังรูปที่ 4.4 (ก)

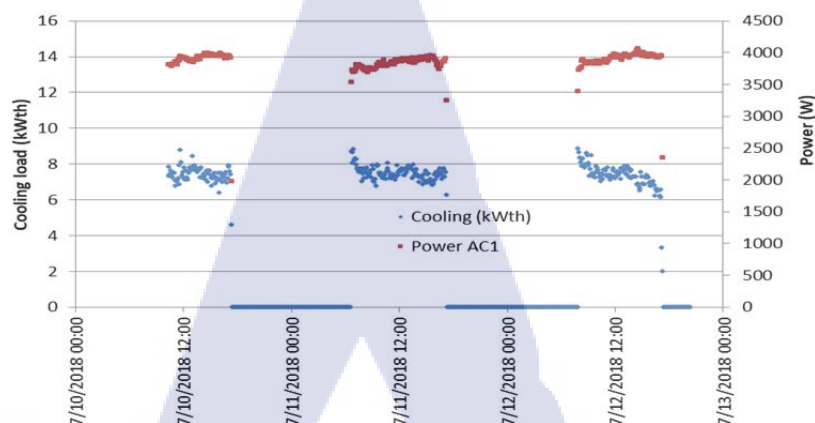


(ก) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย

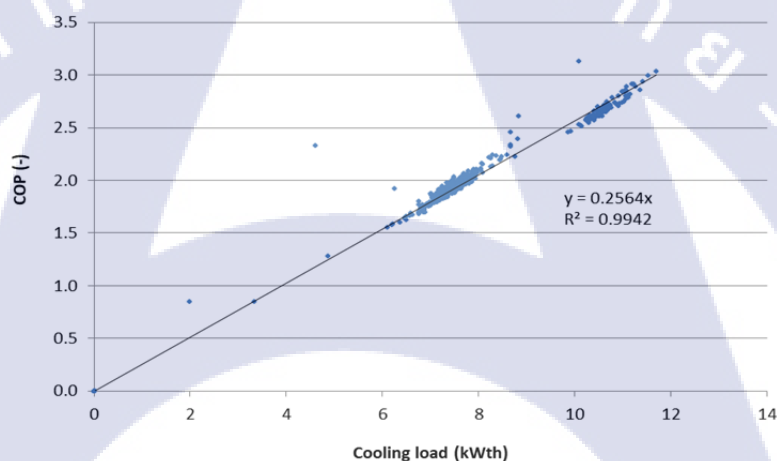


(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ

รูปที่ 4.4 การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ความเร็วรอบคงที่ (ร้านค้า ST-10)



(ค) ภาระการปรับอากาศและพลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ



(ง) ความสัมพันธ์ของสมรรถนะทำความเย็นและภาระการปรับอากาศ

รูปที่ 4.4 การทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์ความเร็วรอบคงที่ (ร้านค้า ST-10) (ต่อ)

สำหรับอุณหภูมิกลับวัดได้ $28-30^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าปกติสำหรับการปรับอากาศทั่วไป ดังรูปที่ 4.4 (ข) เนื่องจากในช่วงที่เข้าสำรวจเครื่องปรับอากาศ 2 เครื่องที่เหลือชำรุดและรอการตรวจสอบ เครื่องปรับอากาศจึงมีภาระปรับอากาศสูง และเดินเครื่องตลอดเวลาในช่วงที่ทำการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม เครื่องไม่ได้ทำงานที่ภาระพิกัดตลอดเวลา ดังรูปที่ 4.4 (ค) แสดงให้เห็นว่าภาระการปรับอากาศอยู่ในช่วง $9-13 \text{ kW}_{\text{th}}$ ค่าพลังไฟฟ้าวัดได้ใกล้เคียงพิกัดที่ $3.8 \text{ kW}_{\text{elec}}$ สำหรับรูปที่ 4.4 (ง) แสดงความสัมพันธ์ของสมรรถนะทำความเย็นและภาระการปรับอากาศ จากรูปที่ 4.4 (ง) หากเราสามารถตรวจวัดภาระของเครื่องปรับอากาศได้ก็จะสามารถประเมินสมรรถนะของเครื่อง ณ ขณะนั้นๆ ได้

4.2.2 เครื่องปรับอากาศชนิดคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

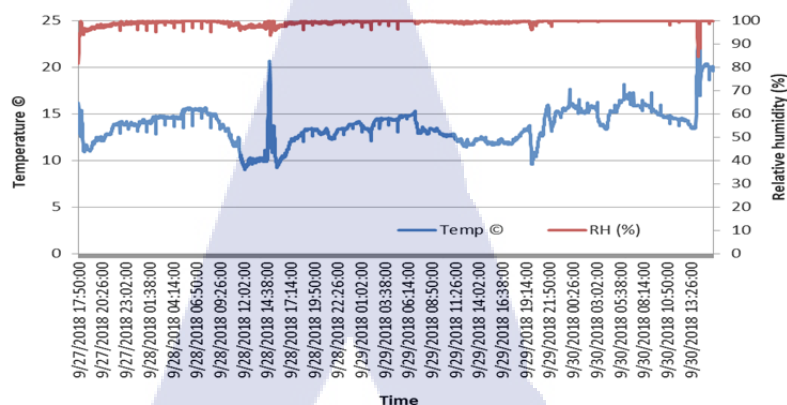
นอกจากการตรวจวัดภาคสนามเครื่องปรับอากาศที่ร้านสะดวกซื้อแล้ว ผู้วิจัยได้ตรวจวัดสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งใช้งานในอาคารเรียนภายในมหาวิทยาลัย เครื่องปรับอากาศที่ทำการตรวจวัดมีขนาด 18,000 BTU/H

ในการตรวจวัด ผู้วิจัยได้ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของลมจ่ายและลมกลับที่ชุดส่งลมเย็น (Fan Coil Unit : FCU) และติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าที่ชุดคอนเดนซิ่ง (Condensing Unit : CDU) เพื่อวัดค่ากระแสไฟ (A) แรงดันไฟฟ้า (V) พลังไฟฟ้า (W) ตัวประกอบกำลัง (PF) การตรวจวัดยังครอบคลุมการวัดอุณหภูมิสารทำความเย็น โดยการติดเทอร์โมคัปเปิลบนผิวท่อทองแดงที่ตำแหน่งก่อนสารทำความเย็นเข้าอีวาโพเรเตอร์ (T1) ตำแหน่งก่อนสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์ (T2) ตำแหน่งก่อนสารทำความเย็นเข้าคอนเดนเซอร์ (T3) และตำแหน่งหลังสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์ (T4)

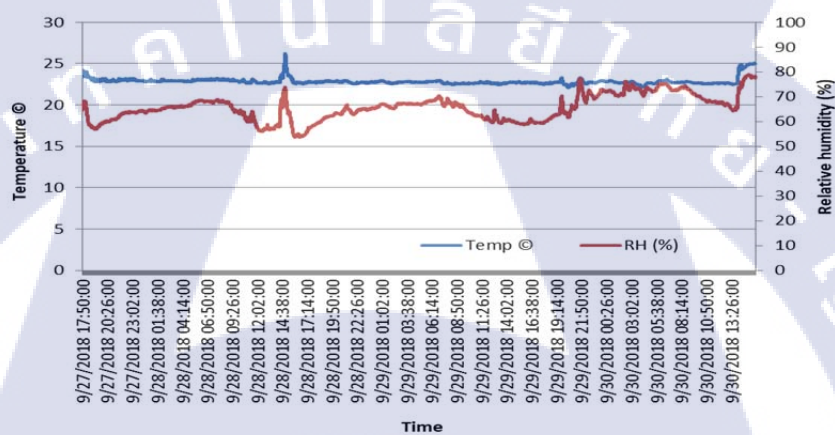
รูปที่ 4.5 แสดงผลของการตรวจวัด จากรูปที่ 4.5 (ก) อุณหภูมิลมจ่ายจากชุดส่งลมเย็นเปลี่ยนแปลงในช่วง 10-15°C ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียง 100 ทั้งนี้ ในการตรวจวัดผู้วิจัยได้ปรับตั้งอุณหภูมิในห้องเท่ากับ 23°C โดยมีการปรับอุณหภูมิขึ้นเป็น 25°C ในช่วงท้ายของการตรวจวัด ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิลมกลับในรูปที่ 4.12 (ข) แล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์พบว่าอยู่ระหว่างร้อยละ 50-80

รูปที่ 4.5 (ค) แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกอาคารก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ผลตรวจวัดพบว่าค่าอุณหภูมิลอยในช่วง 25-35°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-90 สำหรับรูปที่ 4.5 (ง) แสดงอุณหภูมิของลมที่ออกจากเครื่องคอนเดนซิ่งยูนิตพบว่าสูงขึ้นเนื่องจากการรับความร้อนจากเครื่องปรับอากาศ

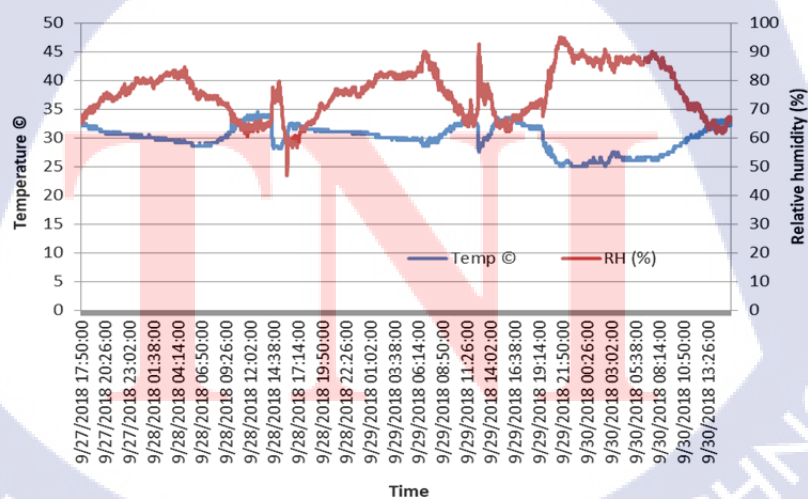
TNI



(ก) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลมง่าย

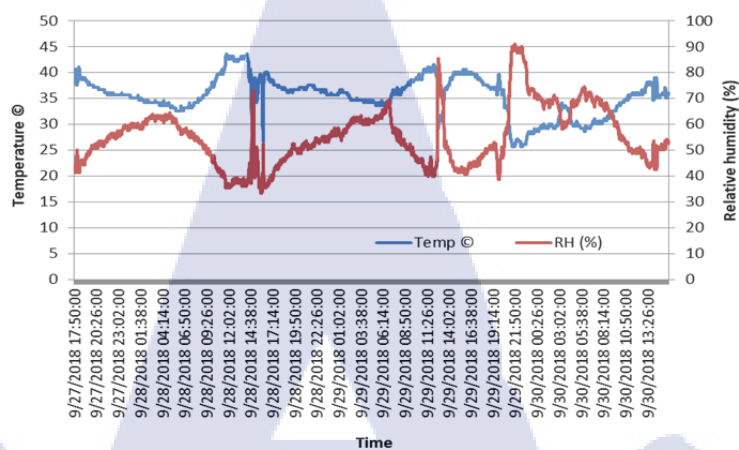


(ข) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลมกลับ

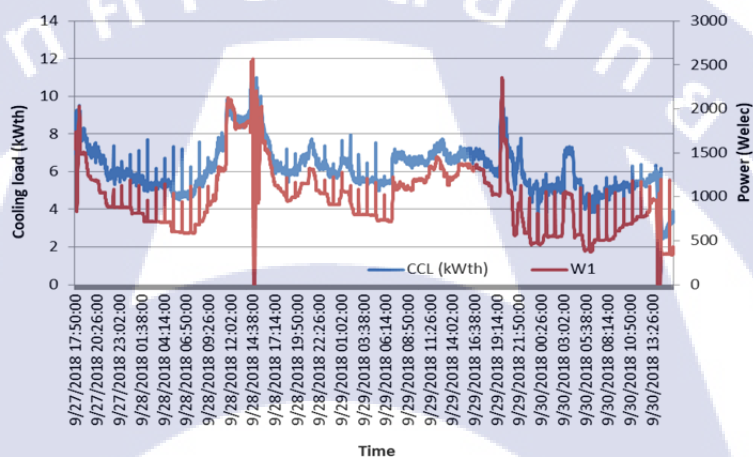


(ค) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลมเข้าคอนเดนซิ่งยูนิต

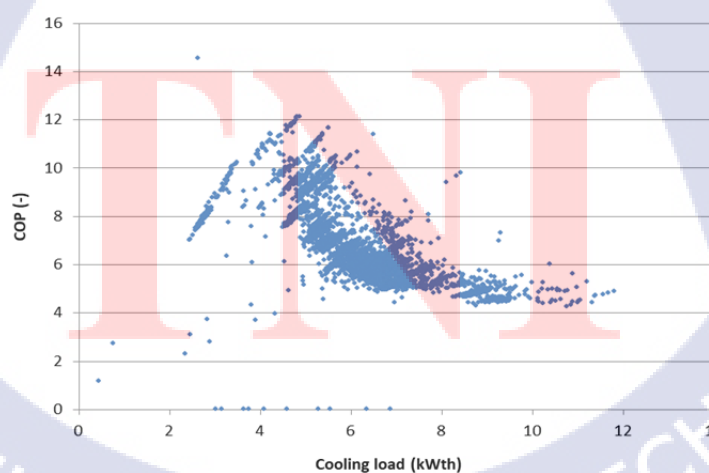
รูปที่ 4.5 เครื่องปรับอากาศนี้มีความ 18,000 BTU/H ชนิดติดผนัง



(ง) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลมออกคอนเดนซิ่งยูนิต



(จ) ภาระการปรับอากาศและค่าพลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ



(ฉ) ภาระการทำความเย็นและสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 4.5 เครื่องปรับอากาศนี้ขนาด 18,000 BTU/H ชนิดติดผนัง (ต่อ)

รูปที่ 4.5 (จ) แสดงภาระการปรับอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาของการตรวจวัดซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยค่าภาระจะสูงในช่วงเที่ยงและบ่าย และต่ำสุดในช่วงใกล้เช้า การเปลี่ยนแปลงภาระนี้พบว่ามีค่าสอดคล้องกับค่าพลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ตรวจวัดได้ ทั้งนี้จะสามารถสังเกตได้ชัดเจนว่าในขณะที่ภาระการปรับอากาศลดลง ค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้ปรับลดลงมากกว่า สำหรับรูปที่ 4.5 (ฉ) แสดงแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานที่ภาระบางส่วน (Part Load) สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศจะสูงขึ้น อนึ่ง ในกรณีศึกษาที่ภาระการทำงานเต็มที่ ค่าสมรรถนะ COP ของเครื่องปรับอากาศประเมินได้ 4.5 และสูงขึ้นเป็น 12 เมื่อภาระปรับอากาศเท่ากับร้อยละ 30 ของภาระพิกัด

4.3 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างในร้านสะดวกซื้อใช้หลอดชนิด LED ทั้งหมด ซึ่งผลสำรวจสรุปได้ดังในตารางที่ 4.7 ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด LED ที่ใช้มีความแตกต่างกันตามขนาดของหลอดและตามที่ตั้งและแบรนด์ธุรกิจเลือกใช้ เช่น 15.3 W, 18 W และ 20 W ส่วนหลอดขนาด 8 W มีใช้ไม่มากนัก จากการตรวจวัดค่าระดับแสง ณ ตำแหน่งต่างๆ ในร้านพบว่ามีความในช่วง 530–2,400 lux ค่าเฉลี่ยของระดับแสงในร้านอยู่ระหว่าง 710.8–1,149.5 lux การใช้พลังงานไฟฟ้าส่องสว่างต่อเดือนมีค่าระหว่าง 518.4–892.3 kWh/month ทั้งนี้แม้ว่าปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกปรับเปลี่ยนมาเป็นหลอด LED แล้ว แต่ยังเห็นได้ว่าในกลุ่มของหลอด LED เองยังมีสมรรถนะเชิงแสง (Luminous Efficacy) หรือสัดส่วนของแสงสว่างที่ให้จากหลอดต่อกำลังไฟฟ้าป้อนที่แตกต่างกันกว่าร้อยละ 5

หลอดชนิด LED นอกจากจะช่วยลดการใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าส่องสว่างเองแล้ว ยังช่วยการลดภาระความร้อนให้กับระบบปรับอากาศในร้าน การทำงานในอุณหภูมิที่ปรับอากาศก็ช่วยให้หลอด LED มีประสิทธิภาพดีกว่าพื้นที่ซึ่งไม่ปรับอากาศ รวมถึงช่วยยืดอายุการใช้งานหลอด LED ให้เป็นไปตามรอบอีกด้วย

ตารางที่ 4.7 แสดงพลังไฟฟ้าระบบส่องสว่างที่ติดตั้ง (kW_{elec}) ความเข้มของการส่องสว่าง (W/m^2) การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปี ($kWh/year$) และดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ ($kWh/m^2/year$) ซึ่งจะพบว่าค่าพลังไฟฟ้าของระบบส่องสว่างที่ติดตั้งใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 0.72–1.24 kW ความเข้มของการส่องสว่าง 4.03–5.07 W/m^2 การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 6,221–10,708 $kWh/year$ และคิดเป็นดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่รวมของร้านค้า 35–45 $kWh/m^2/year$

จากผลการสำรวจ เป็นที่ชัดเจนว่าแม้ร้านค้าจะมีผนังกระจกด้านหน้าร้าน แสงธรรมชาติจากภายนอกไม่ได้ทำให้การใช้ไฟฟ้าของระบบส่องสว่างลดลง เนื่องจากไม่มีการปรับหรี่หรือปิดหลอดไฟฟ้าเมื่อแสงธรรมชาติอยู่ในระดับที่เพียงพอ

ตารางที่ 4.7 ระบบส่องสว่างของร้านสะดวกซื้อที่ทำการสำรวจ

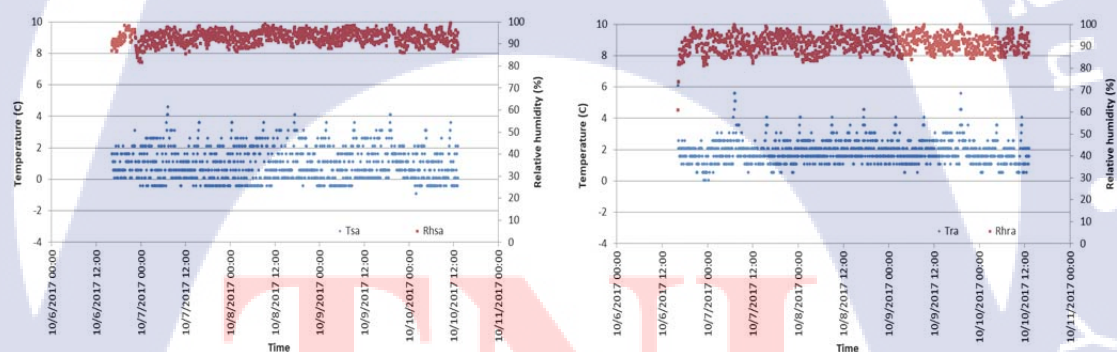
ตารางสรุประบบไฟฟ้าส่องสว่าง		ST01(SA)	ST02(CB)	ST03(CB)	ST04(SA)	ST05(SA)	ST06(SA)	ST07(SA)	ST08(SA)	ST09(SA)	ST10(CB)
1	หลอด T8 ชนิด LED										หลอด T5
1.1	หลอดกำลังไฟฟ้า15.3W ที่ให้ฟลักซ์ของแสง (lm)	2,300	2,300	กำลังไฟฟ้า 20 W	2,300	2,300	กำลังไฟฟ้า 18 W	2,300	2,300	กำลังไฟฟ้า 18 W	กำลังไฟฟ้า
	ประสิทธิภาพเชิงแสงของหลอด (lm/W)	150.3	150.3		150.3	150.3		150.3	150.3		28W
	จำนวนหลอดไฟฟ้า(หลอด)	71	53		72	81		80	78		25หลอด
1.2	หลอดกำลังไฟฟ้า8W ที่ให้ฟลักซ์ของแสง (lm)	1,100	1,100			1,100			1,100		1,100
	ประสิทธิภาพเชิงแสงของหลอด (lm/W)	137.5	137.5			137.5			137.5		137.5
	จำนวนหลอดไฟฟ้า (หลอด)	8	7					4			15
1.3	หลอดกำลังไฟฟ้า 20W หรือ 18 W			42			40			41	
2	ผลตรวจวัดค่าของระดับแสงภายในร้าน (lux)	651-892	530-1300	636-850	743-2400	813-1011	664-1045				
3	ค่าเฉลี่ยการตรวจวัด (lux)	765.8	784.5	710.8	1149.5	898.3	710.8				
4	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน (kWh)	740	624.17	604.8	793.2	892.3	565	881.3	882.3	568	41
5	พลังงานไฟฟ้าระบบส่องสว่างที่ติดตั้ง (kW_e)	1.15	0.87	0.84	1.1	1.24	0.72	1.22	1.23	0.75	0.82
6	ความเข้มการส่องสว่าง (W/m^2)	5.67	4.03	5.19	4.15	4.67	4.69	4.18	4.22	4.84	2.78
7	การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (kWh/year)	8,885	7,490	7,258	9,518	10,708	6,221	10,576	10,587	6,821	489
8	ดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ (kWh/m ² /year)	44	35	45	36	40	41	36	36	44	2

4.4 ห้องเย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in)

ห้องเย็นแบบ Walk-in มีใช้งานในร้านค้า ST01, 02, 04 และ 05 ซึ่งขนาดห้องเมื่อนับจากจำนวนประตูจะมีตั้งแต่ 5-8 บาน ห้องแช่เย็นนี้ใช้แช่สินค้าประเภทเครื่องดื่มเย็น รวมถึงการสต็อกสินค้าอื่นๆ ที่เป็นสินค้าในกลุ่มแช่เย็น เพื่อรอจำหน่าย ห้องเย็นแบบ Walk-in จะติดตั้งเครื่องส่งลมเย็น (Fan Coil Unit) 2-3 ชุด และคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) 1-2 ชุด ขนาดและจำนวนของอุปกรณ์ขึ้นกับขนาดห้องแช่เย็น ซึ่งการออกแบบจะมีความเฉพาะและแตกต่างกันไปตามข้อกำหนดของแต่ละแบรนด์ธุรกิจร้านสะดวกซื้อ ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลจำเพาะห้องแช่เย็น

รูปที่ 4.6 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในห้องเย็น (ของร้านค้า ST05) ซึ่งลมจ่ายจากคอยล์เย็นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -1°C ถึง 4°C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85–100 อุณหภูมิของลมกลับระหว่าง $0-5^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80–100 ซึ่งสูงขึ้น $1-2^{\circ}\text{C}$ จากลมจ่าย

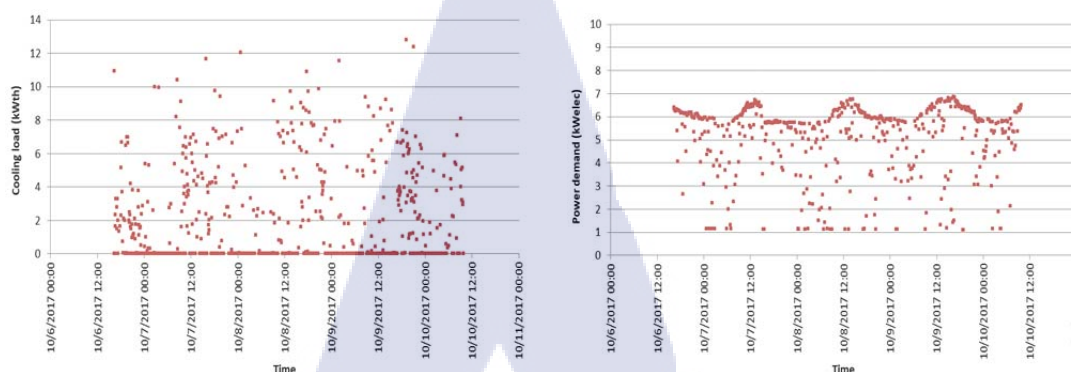
ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลภาวะลมจ่ายและลมกลับในรูปที่ 4.6 ประเมินภาระความเย็นของห้องแช่เย็น ซึ่งผลคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 (ค) จากรูปห้องเย็นมีภาระการทำความเย็นสูงสุด $10-12 \text{ kW}_{\text{th}}$ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของห้องเย็นสูงสุด $6-7 \text{ kW}_{\text{elec}}$ ตารางที่ 4.6 (ง) แสดงข้อมูลไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ จากรูปพลังไฟฟ้าต่ำสุดของห้องเย็นมีค่าประมาณ $1 \text{ kW}_{\text{elec}}$ ซึ่งเป็นไฟฟ้าที่ใช้ในการอุ่นโครงสร้างของห้องเย็น เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศบนตัวห้องเย็น



(ก) ลมจ่าย

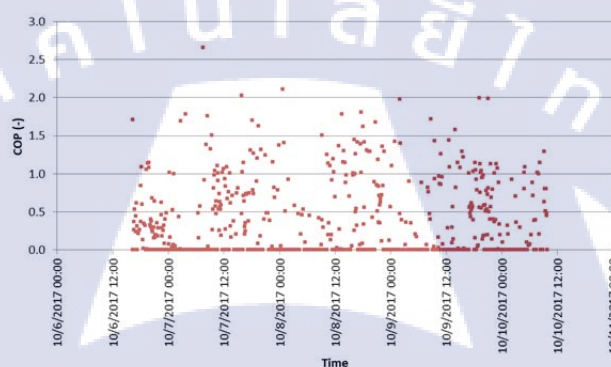
(ข) ลมกลับ

รูปที่ 4.6 การตรวจวัดพลังงานของห้องเย็นแบบ Walk-in



(ค) ภาระความเย็น

(ง) ความต้องการพลังไฟฟ้า



(จ) สมรรถนะการทำความเย็น

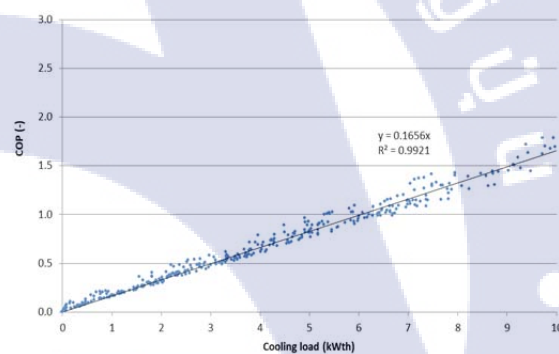
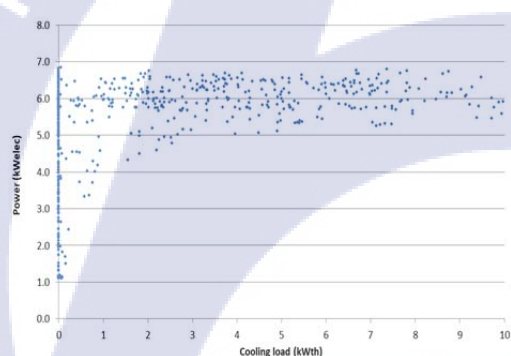
รูปที่ 4.6 การตรวจวัดพลังงานของห้องเย็นแบบ Walk-in (ต่อ)

รูปที่ 4.6 (จ) แสดงสมรรถนะของห้องเย็นที่ช่วงเวลาต่างๆ ของการตรวจวัด จากรูปสมรรถนะ COP มีค่าสูงสุดที่ 2.0 ทั้งนี้ในการคำนวณได้หักค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อนกับโครงสร้างห้องเย็นแล้ว

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์การทำงานของห้องแช่เย็นเพิ่มเติมโดยการแบ่งภาระความเย็นของห้องที่วัดได้ออกเป็นช่วงๆ 10 ช่วงดังแสดงในตารางที่ 4.8 ข้อมูลในตารางแสดงความถี่และความถี่สะสมของแต่ละช่วงภาระความเย็นซึ่งเห็นว่าห้องแช่เย็นมีภาระความเย็นเท่ากับหรือใกล้ 0 kW_{th} คิดเป็นร้อยละ 30 ของเวลาใช้งาน และมีภาระความเย็นสูงเกินกว่าร้อยละ 80 ไม่เกินร้อยละ 5 ของเวลาใช้งาน ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นของห้องแช่เย็นทำงานที่ภาระบางส่วนกว่าร้อยละ 60 ในรูปที่ 4.7 ผู้วิจัยได้แสดงความสัมพันธ์ของภาระความเย็นและอัตราการเกิดในรูปความถี่สะสม

ตารางที่ 4.8 การทำงานของตู้เย็นแบบ Walk-in

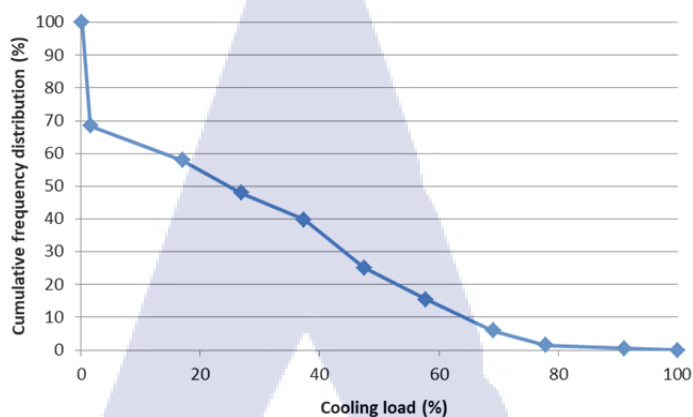
ลำดับ	ภาระการปรับอากาศ (kW _{th})				ความถี่		ความถี่สะสม		1-Cum
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ(%)	จำนวน	(%)	Cum.	(%)	(%)
1	0.03	1.31	0.015	0.1	0	0.0	0	0.0	100.0
2	1.31	2.59	0.19	1.6	352	31.5	352	31.5	68.5
3	2.59	3.87	2.06	17.0	118	10.6	470	42.1	57.9
4	3.87	5.15	3.25	26.9	111	9.9	581	52.0	48.0
5	5.15	6.43	4.52	37.4	92	8.2	673	60.3	39.7
6	6.43	7.70	5.74	47.5	164	14.7	837	74.9	25.1
7	7.70	8.98	6.99	57.8	108	9.7	945	84.6	15.4
8	8.98	10.26	8.36	69.1	106	9.5	1051	94.1	5.9
9	10.26	11.54	9.43	78.0	50	4.5	1101	98.6	1.4
10	11.54	12.82	11.01	91.1	10	0.9	1111	99.5	0.5



(ก) ความสัมพันธ์ของความต้องการพลังงานไฟฟ้า
และภาระการทำความเย็น

(ข) ความสัมพันธ์ของสมรรถนะพลังงาน
และภาระการทำความเย็น

รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์สมรรถนะของห้องเย็นแบบ Walk-in



(ค) ความถี่สะสมของภาระความเย็นของห้องเย็น

รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์สมรรถนะของห้องเย็นแบบ Walk-in (ต่อ)

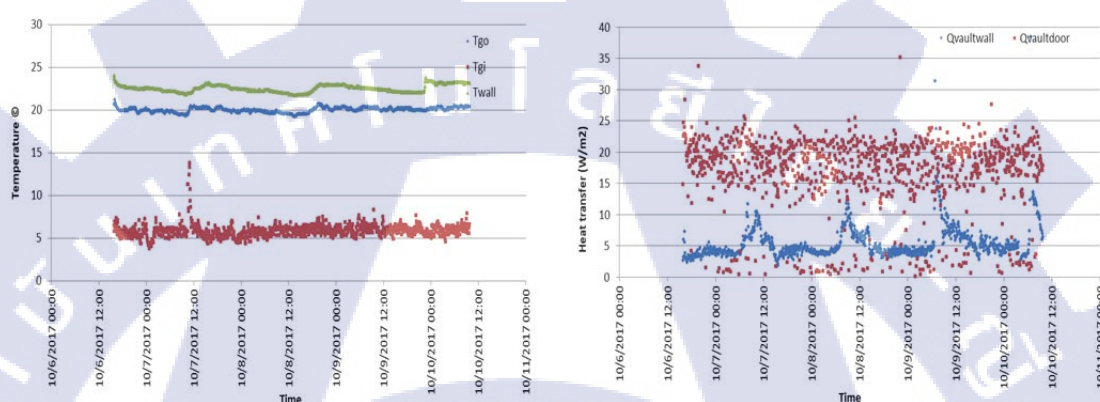
นอกเหนือจากการแสดงภาระความเย็น ความต้องการพลังไฟฟ้า และสมรรถนะพลังงานของห้องแช่เย็นกับเวลาตามรูปที่ 4.6 แล้ว ผู้วิจัยยังได้แสดงความสัมพันธ์ของพลังไฟฟ้าที่ใช้กับภาระความเย็นดังในรูปที่ 4.7 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าที่ภาระความเย็นใดๆ ค่าพลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ที่ 6-7 kW_{th} ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าสมรรถนะพลังงานโดยรวมของห้องแช่เย็นต่ำ เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ของเครื่องทำงานที่ภาระความเย็นต่ำเกือบตลอดเวลา โดยค่าภาระความเย็นเฉลี่ยคำนวณได้เท่ากับ 3.8 kW_{th} ดังนั้น ค่าสมรรถนะการทำความเย็น COP เฉลี่ยเท่ากับ 0.67

รูปที่ 4.7 (ข) ความสัมพันธ์ของสมรรถนะพลังงานและภาระการทำความเย็น พบว่ากราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงอย่างมาก เพราะค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบใช้จะคงที่ ในขณะที่ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) จะเปลี่ยนแปลงค่าไปเรื่อยๆ ดังนั้น สมรรถนะพลังงาน (COP) จึงแปรผันตามการทำความเย็น (Cooling Load) เป็นเชิงเส้น

รูปที่ 4.8 แสดงผลตรวจวัดอุณหภูมิผิวของกระฉากแผ่นใน (T_{so}) และแผ่นนอก (T_{su}) ของประตูห้องเย็นแบบ Walk-in สำหรับประตูนี้จะเป็นบานกระฉาก 3 ชั้น กระฉากแผ่นในวัดอุณหภูมิได้ 5-7°C ขณะที่อุณหภูมิของกระฉากแผ่นนอกประมาณ 20°C เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิลมกลับในรูปที่ 4.6 (ข) จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวของกระฉากแผ่นในมีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากการทำเพดานของห้องเย็นมีลักษณะโค้งเพื่อบังคับให้ลมจ่ายจากคอยล์เย็นไม่สัมผัสกับกระฉากโดยตรง หากพิจารณาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในร้านค้าที่ 25°C และ 55% อุณหภูมิควบแน่น (Dew Point Temperature) ของอากาศคำนวณได้เท่ากับ 15.4°C ดังนั้น บานประตูกระฉากจึงไม่จำเป็นต้องใช้ฮีตเตอร์ที่กรอบบานในการเพิ่มอุณหภูมิกระฉากให้สูงกว่าอุณหภูมิควบแน่น เพื่อป้องกันการเกิดฝ้า (Anti-Sweat Heater Control) ที่กระฉาก โดยกระฉาก 3 ชั้นจะใช้ฮีตเตอร์ที่กรอบบานเท่านั้น แต่กระฉาก 2 ชั้นพบว่าอุณหภูมิ

กระจกแผ่นนอกจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าทำให้เกิดการควบแน่นได้ ซึ่งพบว่าจะต้องใส่ฮีตเตอร์ที่กระจกบานละ 100 W

ในรูปที่ 4.8 (ก) ยังเห็นว่าส่วนของผนังทึบของห้องเย็นซึ่งบุฉนวน PU ทั้งหมด มีอุณหภูมิผิว (T_{wall}) ประมาณ 23°C (สูงกว่าอุณหภูมิผิวของกระจกแผ่นนอก) รูปที่ 4.8 (ข) แสดงผลตรวจวัดค่าการถ่ายโอนความร้อนระหว่างประตูกระจกและอากาศ ($Q_{vaultdoor}$) ในพื้นที่จำหน่ายสินค้าซึ่งมีค่า $15\text{--}20\text{ W/m}^2$ และสำหรับผนังทึบของห้องเย็น ($Q_{vaultwall}$) ค่าการถ่ายเทความร้อนอยู่ระหว่าง $4\text{--}10\text{ W/m}^2$ ซึ่งต่ำกว่าเนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิน้อยกว่า



(ก) อุณหภูมิผิวของประตูและผนังของห้องแช่เย็น (ข) ความร้อนถ่ายโอนประตูและผนังของห้องแช่เย็น

รูปที่ 4.8 การถ่ายโอนความร้อนของประตูห้องเย็นแบบ Walk-in

4.5 ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase)

ตู้แช่เย็นแบบเปิด Open Showcase ซึ่งติดตั้งในร้านค้า ST01, 02, 04, 05, 07 และ 08 มีขนาดหน้ากว้างสองขนาด คือ 1.8 m และ 0.9 m มีจำนวนรวม 3-4 ชุดต่อร้านค้า ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลจำเพาะของตู้แช่เย็นแบบเปิด

ในการศึกษาสมรรถนะของตู้แช่เย็นแบบเปิด ผู้วิจัยได้ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและลมกลับของตู้แช่ และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการตรวจวัดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 (ก) อุณหภูมิลมจ่ายของตู้แช่เย็นมีค่าระหว่าง -2°C ถึง 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ขณะที่อุณหภูมิลมกลับวัดได้ระหว่าง $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-100 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ระหว่าง 1.5-3.5 kW ซึ่งเมื่อใช้ข้อมูลตรวจวัดข้างต้น เราสามารถคำนวณค่าสมรรถนะของตู้แช่เย็นแบบเปิดได้ดังรูปที่ 4.9 (ง) ซึ่งความสัมพันธ์ของสมรรถนะและภาระการทำความเย็นมีลักษณะเช่นเดียวกันกับห้องเย็นแบบ Walk-in

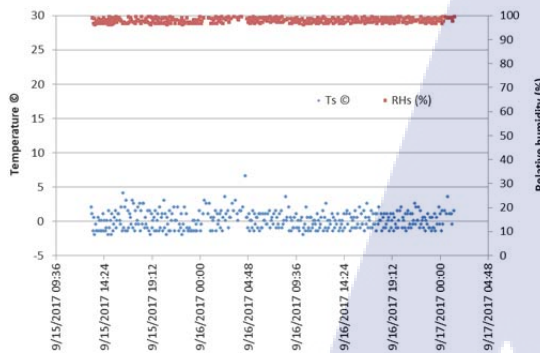
ในการศึกษาการทำงานของตู้แช่เย็นแบบเปิด ผู้วิจัยใช้แบ่งภาระความเย็นของตู้แช่ออกเป็น 10 ช่วงตามตารางที่ 4.10 ซึ่งในแต่ละช่วงได้แสดงค่าความถี่ของการเกิดไว้ รูปที่ 4.9 (จ) แสดงกราฟความถี่สะสมของภาระการทำงานความเย็นของตู้แช่เย็น ซึ่งหากเปรียบเทียบกับห้องเย็นแบบ Walk-in แล้ว ตู้แช่เย็นแบบเปิดจะมีภาระการทำงานสูงกว่า

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลจำเพาะของตู้แช่เย็นแบบเปิด Open Showcase

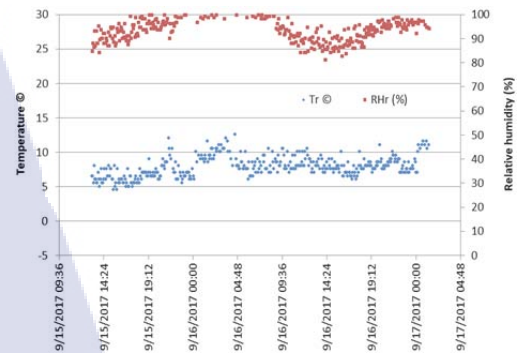
	Description	Unit	Model	
			No.1	No.2
General Features	Cooling temperature	°C	+2° - +4°	+2° - +4°
	Suction temperature	°C	N/A	N/A
	Net Weight	Kg	161	297
	Cooling capacity	Watt	2458	4047
		BTU/H	8390	13810
	Power Source	V/Ph/Hz	220/1/50	220/1/50
	Power Consumption	Watts	1730	2420
	E.E.R	BTU/h/Watt	N/A	N/A
	COP.	W/W	2.89	2.17
	Running Current (RLA)	Amp	7.9	11.8
	Indoor air circulation	Vs	< 0.2 m/s	< 0.2 m/s
	Color		Cream/White	Cream/White
Cabinet	Dimension (WxDxH)	Mm	987.5x750x1930	1920x750x1930
	Gross Capacity	Liter	480	923
	Insulation		PU foam	PU foam
	Shelves	Pcs	6, 7	12, 14
	Canopy Lighting	Watt	30	70
	External Material		Sheet Metal	Sheet Metal

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลจำเพาะของตู้แช่เย็นแบบเปิด Open Showcase (ต่อ)

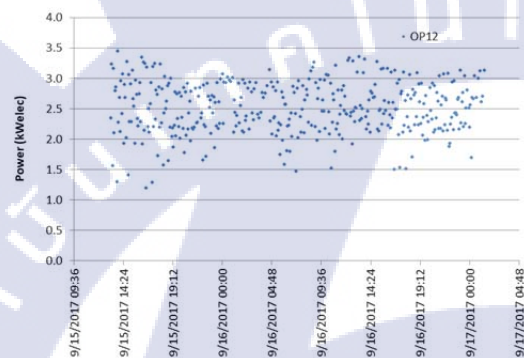
Description		Unit	Model	
			No.1	No.2
Indoor Unit	Dimension Unit (WxDxH)	Mm	937.5x750x1930	1875x750x1930
	Machine weight Unit	Kg	161	297
	Fan Speed	RPM	1300	1300
	Air Direction Control		Blow	Blow
Outdoor Unit	Compressor (Motor Output)	Watts	1320	2130
	Compressor Type		Reciprocating	Reciprocating
	Power Supply		220/1/50	220/1/50
	Refrigerant		R22/R404	R22/R404
	Refrigerant charge	Kg	3.8	4.8
	Sound level (H/L)	dBA	75	75
	Dimension Unit (WxDxH)	Mm	600x350x1145	1050x350x1145
	Machine weight Unit	Kg	62.5	85
	Condensing fan motor	Watt	130	350
	Evaporator fan motor	Watt	36	36
	Defrost heater	Watt	N/A	N/A
	Drain	Mm	25.4	25.4
	Voltage	Volt	220	220
	Operation range	CDB	220	220



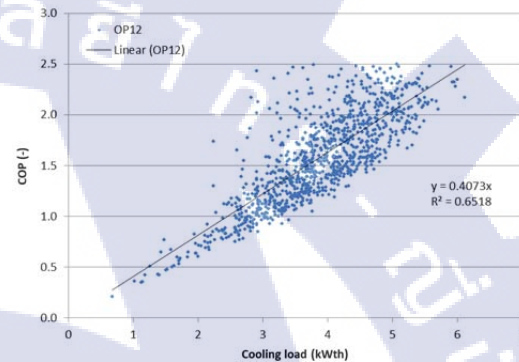
(ก) ลมจ่าย



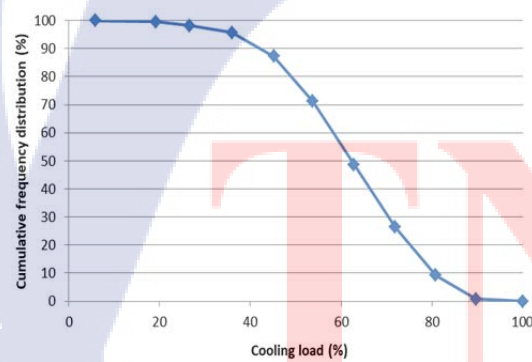
(ข) ลมกลับ



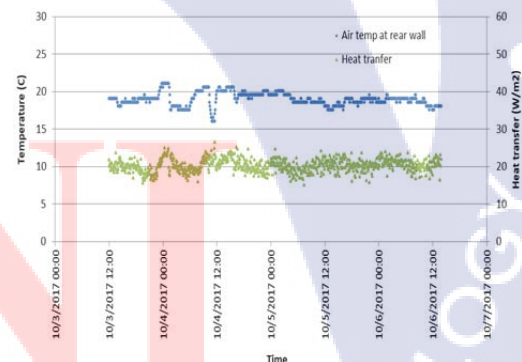
(ค) ความต้องการพลังงานไฟฟ้า



(ง) สมรรถนะการทำความเย็น



(จ) ความต้องการพลังงานไฟฟ้า



(ฉ) อุณหภูมิผิวและการถ่ายโอนความร้อนผ่านผนังของตู้แช่แบบเปิด

รูปที่ 4.9 การตรวจวัดพลังงานของตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase)

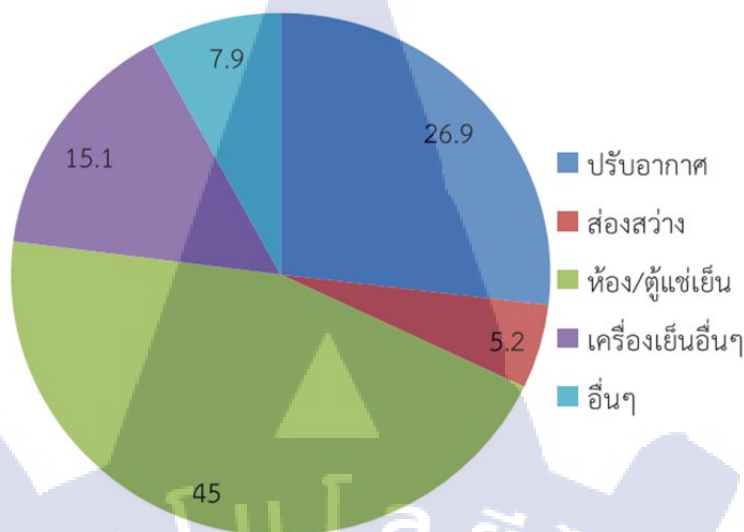
ตารางที่ 4.10 การทำงานของตู้แช่แบบเปิด Open Showcase

ลำดับ	ภาระการปรับอากาศ (kW _{ch})				ความถี่		ความถี่สะสม		1-Cum
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ(%)	จำนวน	(%)	Cum.	(%)	(%)
1	0.03	1.31	0.015	0.1	0	0.0	0	0.0	100.0
2	1.31	2.59	0.19	1.6	352	31.5	352	31.5	68.5
3	2.59	3.87	2.06	17.0	118	10.6	470	42.1	57.9
4	3.87	5.15	3.25	26.9	111	9.9	581	52.0	48.0
5	5.15	6.43	4.52	37.4	92	8.2	673	60.3	39.7
6	6.43	7.70	5.74	47.5	164	14.7	837	74.9	25.1
7	7.70	8.98	6.99	57.8	108	9.7	945	84.6	15.4
8	8.98	10.26	8.36	69.1	106	9.5	1051	94.1	5.9
9	10.26	11.54	9.43	78.0	50	4.5	1101	98.6	1.4
10	11.54	12.82	11.01	91.1	10	0.9	1111	99.5	0.5

4.6 การนำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์จากการตรวจวัด

จากการตรวจวัดพลังงานในแต่ละร้านค้าอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าร้านค้าจะใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 172,800 kWh/year โดยมีค่าเฉลี่ยพลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 20 kW ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งกลางวันหรือกลางคืน ทั้งนี้สามารถประเมินค่าเฉลี่ยความเข้มของการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อยู่ 823 kWh/m².year สำหรับพื้นที่ร้านค้าเฉลี่ยอยู่ที่ 220 ตารางเมตร

การใช้ไฟฟ้าของร้านค้าสัมพันธ์กับกิจกรรมของธุรกิจ โดยระบบเครื่องเย็น/ห้องแช่เย็นใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 60.1 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบปรับอากาศใช้ไฟฟ้าในระดับรองลงมาที่ร้อยละ 26.9 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างอยู่ที่ร้อยละ 5.2 โดยการใช้ไฟฟ้าในส่วนที่เหลือเป็นของอุปกรณ์ให้ความร้อนและอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 สัดส่วนการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย

โดยร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการขายสินค้าอาหารพร้อมทานให้มากขึ้น ร้านค้าจึงมีแนวโน้มของการใช้ไฟฟ้าที่สูงขึ้นในอนาคต

ข้อมูลการตรวจวัดได้รับการพัฒนาเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ โดยแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะร้านค้า สมรรถนะของระบบหรืออุปกรณ์กับความต้องการพลังไฟฟ้า (Power Demand) และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy Consumption) ซึ่งความสัมพันธ์แสดงได้ตามสมการที่ 4.1

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{LPD_i + EQD_i + OTHER_i}{COP_i} \right\} \right] n_h \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

$$+ \sum_{i=1}^n A_i (LPD_i + EQD_i) n_h$$

เมื่อ	$OTTV_i$	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (W_{th}/m^2)
	$RTTV_i$	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (W_{th}/m^2)
	A_{wi}	คือ พื้นที่ผนังภายนอก (m^2)
	A_{ri}	คือ พื้นที่หลังคา (เฉพาะส่วนที่ต่อกับพื้นที่จำหน่ายสินค้า) (m^2)
	LPD_i	คือ การใช้ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่าง (W_{elec}/m^2)
	EQD_i	คือ การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (W_{elec}/m^2)
	$OTHER_i$	คือ แหล่งความร้อนอื่นๆ (W_{th}/m^2)

COP_i	คือ สมรรถนะพลังงานของระบบปรับอากาศ (-)
A_i	คือ พื้นที่ใช้สอย (m^2)
n_h	คือ จำนวนชั่วโมงทำงานตลอดทั้งปี (ชั่วโมง)

จากสมการที่ 4.1 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าของร้านค้าจะถูกแบ่งตามพื้นที่เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนจำหน่ายสินค้า และส่วนจัดเก็บสินค้า พื้นที่ทั้งสองนี้มีเครื่องไฟฟ้าและการใช้พลังงานแตกต่างกัน โดยแต่ละพื้นที่จำแนกการใช้ไฟฟ้าเป็น 3 ส่วน คือ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเป็นผลจากภาระความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคาร (หลังคาและผนังร้านค้า) ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นผนังทึบและกระจก ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าและจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ปรับอากาศ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังและหลังคาประเมินจากผลค่านวนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับผนังและหลังคา หรือ Overall Thermal Transfer Value (OTTV) และ Roof Thermal Transfer Value (RTTV) ตามลำดับ โดยอ้างอิงเกณฑ์สมรรถนะพลังงานของอาคารที่ก่อสร้างใหม่ ร่วมกับการตรวจวัดการถ่ายเทความร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมจริง โดยใช้ฮีตฟลักซ์เซนเซอร์ (Heat Flux Sensor) สำหรับความร้อนจากหลอดไฟฟ้า และจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ประเมินจากการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งค่าพลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากการตรวจวัดเป็นรายอุปกรณ์

4.7 ลักษณะอาคารร้านสะดวกซื้อตามแบบจำลองและอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า

(1) ลักษณะอาคาร

แบบจำลองร้านสะดวกซื้อแบบร้านค้าเดี่ยว (Standalone) กำหนดให้มีพื้นที่ 265.6 m^2 โดยแบ่งเป็นสองส่วน คือ พื้นที่จำหน่ายสินค้า (ปรับอากาศ) ขนาด 200 m^2 และพื้นที่หลังร้านจัดเก็บสินค้าที่ไม่ปรับอากาศ 66 m^2

กรอบอาคารของร้านสะดวกซื้อ ประกอบด้วย ผนังด้านหน้าร้านที่เป็นกระจก ผนังด้านซ้ายของร้านติดกับนอกอาคาร ส่วนด้านขวาและด้านหลังร้านจะติดกับพื้นที่ไม่ปรับอากาศ ข้อมูลจำเพาะด้านอาคารของแบบจำลอง ประกอบด้วย พื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมด พื้นที่ผนังทึบ พื้นที่กระจก พื้นที่หลังคา พื้นที่ปรับอากาศ พื้นที่ไม่ปรับอากาศ พื้นที่ผนังภายใน และชั่วโมงใช้งานอาคารตลอดปี

(2) กรอบอาคาร

จากผลการสำรวจและการคำนวณ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และของหลังคา (RTTV) ของร้านค้า ได้ค่าสมรรถนะของกรอบอาคาร คือ OTTV $40 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$ และ RTTV $9.4 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$

(3) ระบบปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Split-Type Air-Conditioner) สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ COP 2.8 ขนาดทำความเย็นพิกัดรวม 120,000 BTU/H แต่เปิดใช้ 3 เครื่อง กำลังไฟฟ้ารวม (3 เครื่อง) $5,292 \text{ W}_{\text{elec}}$

(4) ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในร้านสะดวกซื้อเป็นหลอด T8 ชนิด LED ประสิทธิภาพเชิงแสง 150.3 lm/W หลอดไฟฟ้าถูกจัดเรียงตามแนวทางเดิน มีการวัดค่าความเข้มของการส่องสว่างในพื้นที่จำหน่ายสินค้าและพื้นที่เก็บสินค้า

(5) ห้องแช่เย็นแบบ Walk-in

ห้องแช่เย็นแบบวอล์คอินเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าสูง ห้องแช่เย็นประกอบด้วยผนังและพื้นที่เป็นฉนวน ผนังด้านที่ 1 เป็นผนังที่ติดกับพื้นที่ปรับอากาศ ผนังด้านที่ 2 ติดกับพื้นที่ไม่ปรับอากาศ หลังร้าน ห้องแช่มีประตูกระจก 5-8 บานสำหรับหยิบสินค้า ในห้องมีคอยล์เย็น 2-3 ชุด ทำหน้าที่ให้ความเย็นและหมุนเวียนอากาศ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของห้องเย็น COP_{va} 2.0 กำลังไฟฟ้า Power (P_{va}) $2,606 \text{ W}_{\text{elec}}$ มีการวัดค่าความร้อนผ่านประตูกระจกของห้องเย็น พื้นที่ประตูกระจก พื้นที่ผนัง และค่าความร้อนผ่านผนังติดพื้นที่จำหน่ายสินค้าปรับอากาศ รวมถึงความร้อนผ่านผนังติดพื้นที่เก็บสินค้าหลังร้าน

(6) ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open showcase)

ร้านค้านี้มีตู้แช่เย็นแบบเปิด 2-4 ชุด ด้านหน้าจะเปิดโล่งไม่มีประตู โดยมีผนังเฉพาะด้านข้างและด้านหลัง หน้าตู้ติดตั้งม่านอากาศเพื่อลดการสูญเสียความเย็น การทำความเย็นให้กับสินค้ามีลักษณะคล้ายคลึงกับห้องแช่เย็นแบบ Walk-in สัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้แช่เย็นแบบเปิด COP_{oc} 2.2 กำลังไฟฟ้า Power (P_{va}) $4,922 \text{ W}_{\text{elec}}$ มีการวัดความร้อนผ่านกระจกด้านข้างของตู้แช่และพื้นที่ของกระจกด้านข้าง

(7) อุปกรณ์อื่นๆ

อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ จำแนกเป็นกลุ่มที่ทำความเย็น กลุ่มทำความร้อน และส่วนที่เหลืออีกเล็กน้อย การใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ได้จากการตรวจวัดจริงแล้วนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่ที่อุปกรณ์ตั้งอยู่

(ก) กลุ่มทำความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ อาทิ ตู้ไอศกรีม 2 ตอน ตู้น้ำแข็งยูนิต ตู้แช่ข้าวกล่องแนวตั้ง ตู้น้ำอัดลม ตู้น้ำหวาน ตู้สเลอปี้ ตู้น้ำแข็งกด

(ข) กลุ่มทำความร้อนในพื้นที่ปรับอากาศ อาทิ เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องทำกาแฟ ไมโครเวฟ ตู้ชาลาเปา เครื่องคิดเงิน เครื่องอบแซนวิช และอุปกรณ์อื่นๆ ทางด้านหน้าร้าน

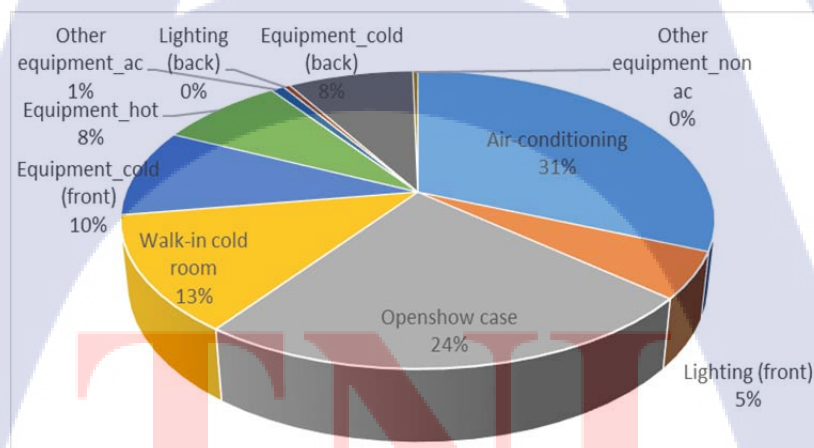
(ค) กลุ่มทำความเย็นหลังร้าน ได้แก่ ตู้แช่แบบปิด และตู้ทำน้ำแข็ง

(ง) อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ ปิมน้ำ พัดลม และอื่นๆ

(จ) แหล่งความร้อนอื่นๆ ได้แก่ ความร้อนจากคนและจากอากาศรั่ว

4.8 แบบจำลองการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อและมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองพลังงานของร้านสะดวกซื้อ แสดงดังแผนภาพวงกลมในรูปที่ 4.11 และเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ลงในสมการที่ 4.1 การใช้พลังงานของร้านค้าจะเท่ากับ 14,962 kWh/month ค่าพลังไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 kW ซึ่งใกล้เคียงกับผลสำรวจ สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ คือ 31% ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase) คือ 24% และตามด้วยตู้แช่เย็นแบบ Walk-in คือ 13% และอุปกรณ์ทำความเย็นอื่นๆ ทางด้านหน้าร้านเป็น 10%



รูปที่ 4.11 สัดส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในร้านสะดวกซื้อจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.9 ประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการสำรวจและตรวจวัดพลังงาน ผู้วิจัยได้กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน วิเคราะห์ผลประหยัดไฟฟ้าจากสมรรถนะของเทคโนโลยี และประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุวัฏจักร (อายุมาตรการ) ซึ่งประกอบด้วยต้นทุน ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษา คำนวณ ณ ปีฐาน (ปีที่ 0) ค่าพารามิเตอร์ประกอบการวิเคราะห์กำหนดดังนี้

ค่าไฟฟ้า	3.50	บาท/หน่วย
อัตราค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น	2.5	%/ปี
อัตราดอกเบี้ย	6.5	%/ปี
อายุการใช้งาน	ขึ้นกับมาตรการ	

ทั้งนี้อัตราดอกเบี้ย 6.5% ที่ใช้ อ้างอิงมาจากดอกเบี้ยเงินกู้ Commercial Loan โดยเป็นข้อมูลจากลูกค้าชั้นดี ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดอกเบี้ยผ่อนบ้านหลังจากพ้น 3 ปี ไปแล้ว

ยกตัวอย่างมาตรการที่มีศักยภาพสูงทางด้านการเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มาตรการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Roof) มาตรการเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์ มาตรการคอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์สำหรับตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase) มาตรการคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็นแบบปิด (Walk-in Cold Room)

4.9.1 มาตรการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Roof)

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์มีการพัฒนาให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ขณะที่ราคาลดลงอย่างรวดเร็ว ร้านสะดวกซื้อแบบเดียวนั้นหลังคามิพื้นที่มากและเป็นส่วนที่รับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถให้ประโยชน์ทั้งการผลิตไฟฟ้าและการบังเงาเพื่อลดความร้อนผ่านหลังคา มาตรการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ขนาด 15 kWp ทำให้ลดการใช้ไฟฟ้าต่อปีลงทั้งสิ้น 38,853 kWh_{elec}/yr มีต้นทุน 782,800 บาท ตลอดอายุมาตรการ 20 ปี ค่าไฟฟ้าของร้านลดลงจาก 8,636,350 บาท เหลือเท่ากับ 6,772,183 บาท สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,864,167 บาท เมื่อคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 3.50 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยผลประหยัดคำนวณจากการผลิตไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่ลดลงของระบบปรับอากาศ ผลการคำนวณแสดงว่ามาตรการนี้มีระยะเวลาคืนทุน 5.9 ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Cost of Save Energy : CSE) 1.94 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

4.9.2 มาตรการเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์

ร้านสะดวกซื้อปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าลงได้มาก ปัจจุบัน เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับคอมเพรสเซอร์ ระบบควบคุมที่ชาญฉลาดช่วยเสริมให้สมรรถนะพลังงานของเครื่องปรับอากาศสูงกว่าอดีตมาก การเปลี่ยนใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์สำหรับร้านสะดวกซื้อคาดว่าจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 เงินลงทุนเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ 40,000 BTU/h จำนวน 3 เครื่อง เท่ากับ 185,000 บาท มาตรการนี้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 9,204 kWh_{elec}/yr

และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี คือ 262,558 บาท และเมื่อคิดค่าบำรุงรักษาหรือค่าล้างเครื่องปรับอากาศปีละสองครั้งจะมีผลต่างของค่าใช้จ่ายตลอดโครงการกรณีเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์เทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาเป็นเงิน 237,398 บาท เมื่อวิเคราะห์ทางการเงินคิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 0.8 ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 2.80 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

4.9.3 มาตรการคอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์สำหรับตู้แช่เย็นแบบเปิด

การทำความเย็นของตู้แช่เย็นแบบเปิดอาศัยวงจรทำความเย็นแบบอัดไอเช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศ แต่ภาวะการทำงานต่างกัน คอมเพรสเซอร์ของตู้แช่เย็นแบบเปิดในปัจจุบันเป็นชนิดสกรูหรือดีดิลสกรู ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นชนิดอินเวอร์เตอร์เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงภาระความเย็นบางส่วน ในอดีตมีการทดลองใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ทดแทนคอมเพรสเซอร์ดีดิลสกรู และพบว่าผลประหยัดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 15 ขณะที่ราคาคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ยังสูงอยู่มากจึงยังไม่มีการใช้คอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์อย่างแพร่หลายสำหรับตู้แช่แบบเปิด ในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์แพร่หลายมากขึ้นในระบบทำความเย็น จากการสอบถามผู้ผลิตและจำหน่ายคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์พบว่าราคาลดลงมาอยู่ที่ 30,000 บาทต่อแรงม้า จากการประเมินการใช้ไฟฟ้าของตู้แช่แบบเปิดที่ใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์คาดว่าจะลดการใช้ไฟฟ้าได้ $7,138 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{yr}$ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ลดลง 146,626 บาท ตลอดอายุมาตรการ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 2.3 ปี ค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีแรกเท่ากับ 26.90 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และคิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 3.74 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

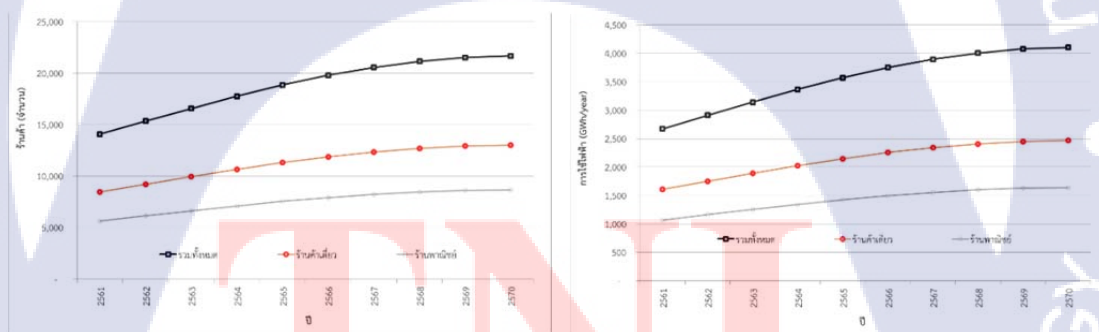
4.9.4 มาตรการคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็นแบบปิด

การทำความเย็นของห้องเย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in Cold Room) ใช้วงจรทำความเย็นแบบอัดไอเช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบันยังคงเป็นแบบความเร็วรอบคงที่ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นชนิดอินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนบอร์ดควบคุมให้เหมาะสม การเปลี่ยนมาติดตั้งคอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์พร้อมบอร์ดใหม่กับห้องแช่เย็นแบบวอล์คอิน คาดว่าจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 20 (สูงกว่าตู้แช่แบบเปิดเนื่องจากมีช่วงเวลาการทำงานที่ภาระบางส่วนมากกว่า) ค่าชุดคอมเพรสเซอร์ใหม่แบบอินเวอร์เตอร์พร้อมบอร์ดควบคุมที่ราคาประเมินประมาณ 30,000 บาทต่อแรงม้า จึงคาดว่าระบบอินเวอร์เตอร์จะลดการใช้ไฟฟ้าของ Walk-in Cold Room ได้ $5,711 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{yr}$ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ลดลง 115,401 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 2.4 ปี ค่าใช้จ่ายใน

ดำเนินมาตรการนี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีแรก 28.02 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และคิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 3.90 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

4.10 การวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ

ผลคาดการณ์จากการนำ 4 มาตรการสำคัญดังกล่าวข้างต้น มาติดตั้งใช้กับร้านค้าสะดวกซื้อ พิจารณาความเป็นไปได้ทั้งแบบติดตั้งเป็นรายมาตรการและการติดตั้งร่วมกันหลายมาตรการ สำหรับร้านสะดวกซื้อ 5 แบรินด์ ที่คาดการณ์ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2561 ถึง 2570 โดยสมมติว่าอัตราการเติบโตจะลดลงเรื่อยๆ จากปี 2561 เป็นต้นไป คิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นในช่วงปี 2561-2564 โดยเฉลี่ยร้อยละ 6.7 จากนั้นในช่วงปี 2564-2567 โดยเฉลี่ยร้อยละ 4.4 และสำหรับปี 2568-2570 โดยเฉลี่ยร้อยละ 1.5 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ก) ซึ่งแสดงแนวโน้มของจำนวนร้านค้าซึ่งแบ่งเป็นร้านค้าเดี่ยวร้อยละ 60 และร้านค้าในอาคารพาณิชย์ร้อยละ 40 หากการใช้พลังงานของร้านค้าเหล่านี้เป็นเช่นปัจจุบัน (Business as usual) หรือไม่มีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์ใดๆ เพิ่มเติม การใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อจะเป็นไปตามรูปที่ 4.12 (ข) จากการประเมินโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อจะเพิ่มเป็น 4,104 GWh/yr ในปี 2570 หรือเติบโตขึ้น 1.50 เท่า ในอีก 10 ปีข้างหน้า



(ก) จำนวนร้านค้า

(ข) การใช้พลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 4.12 แนวโน้มจำนวนร้านสาขาและการใช้ไฟฟ้าในปี 2561–2570 (GWh/yr)

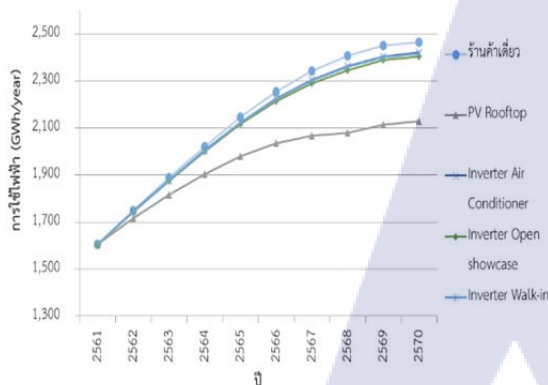
จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานข้างต้น ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองร้านสะดวกซื้อประเมินผลประหยัดต่อเดือนจากการดำเนินมาตรการ โดยมาตรการที่เกี่ยวข้องกับหลังคาจะดำเนินการเฉพาะกับร้านค้าเดี่ยว และโดยทั่วไปร้านสะดวกซื้อจะมีการปรับปรุงใหม่ทุก 7 ปี จึงสมมุติให้ร้านค้าที่ปรับปรุง

ในแต่ละปีดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะแล้วเสร็จทั้งหมดใน 7 ปี รูปที่ 4.13 (ก) แสดงแนวโน้มของการใช้พลังงานในกรณีฐานเทียบกับกรณีดำเนินแต่ละมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยแสดงเฉพาะมาตรการที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งมีศักยภาพสูง สำหรับร้านสะดวกซื้อแบบร้านค้าเดี่ยว ซึ่งจะเห็นชัดเจนว่า มาตรการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดการใช้พลังงานลงได้มากที่สุดที่เกือบร้อยละ 20 ของพลังงานทั้งหมด ตามด้วยการประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ในระบบปรับอากาศ และการใช้อินเวอร์เตอร์ในห้องแช่เย็นที่แต่ละโครงการจะลดลงไม่เกินร้อยละ 5

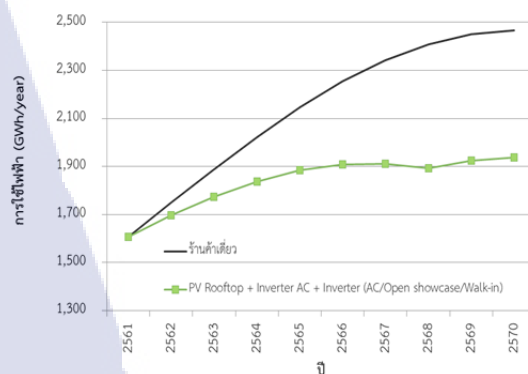
ทั้งนี้หากลงทุนกับร้านค้าเดี่ยวโดยติดตั้งและดำเนินการหลายมาตรการร่วมกัน ก็ย่อมนำมาซึ่งการใช้พลังงานที่ลดลงมากกว่า แต่ก็ต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางการเงินด้วย รูปที่ 4.13 (ข) แสดงแนวโน้มการใช้พลังงานที่ลดลง เมื่อร้านค้ามีการดำเนินหลายๆ มาตรการร่วมกัน คือ หลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (Inverter Air-Conditioner) ตู้แช่เย็นแบบเปิดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Open Showcase) ห้องแช่เย็นแบบปิดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Walk-in) ซึ่งเมื่อรวมทั้ง 4 มาตรการ พบว่าสามารถช่วยลดพลังงานได้ถึงร้อยละ 25

สำหรับในช่วงปี 2568 เส้นกราฟในรูปที่ 4.13 (ก) และ (ข) จะมีรอยหยักลงมา ซึ่งแสดงการลดการใช้พลังงานที่ตกลงเล็กน้อย เนื่องจากการขยายตัวของร้านค้าเริ่มอิ่มตัว ทำให้มีร้านเปิดใหม่น้อยลง ยกตัวอย่าง เบรนด์เซเว่นอีเลฟเว่นที่คาดว่าจะขยายสาขาจนมีจำนวนถึง 15,000 สาขาในปี 2568 โดยวิธีการทำนายนี้นี้เป็นแบบ Bottom Up เป็นการเริ่มจากฐานด้านล่าง แตกต่างจากการประเมินแบบ Top Down ซึ่งจะได้กราฟที่เรียบมากกว่า ในช่วงแรกกราฟแสดงการลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่า เพราะจำนวนร้านสาขาที่เปิดใหม่มีมากกว่า แต่เมื่อครบ 7 ปี ซึ่งก็คือในปี 2568 จะติดตั้งมาตรการได้ครอบคลุมทุกสาขาทั้งหมดแล้ว ทำให้ปีต่อมาติดตั้งมาตรการในร้านค้าใหม่ได้ลดลง สัดส่วนการประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นจึงลดลง

รูปที่ 4.14 (ก) และ (ข) แสดงแนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในอาคารพาณิชย์ ซึ่งกลุ่มร้านค้านี้จะไม่สามารถดำเนินมาตรการที่เกี่ยวข้องกับหลังคาได้ ทำให้ศักยภาพในการลดการใช้พลังงานต่ำกว่ากรณีร้านค้าเดี่ยว ทั้งนี้มาตรการใดที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่ำกว่า ก็ย่อมน่าสนใจที่จะติดตั้งก่อนมาตรการอื่น

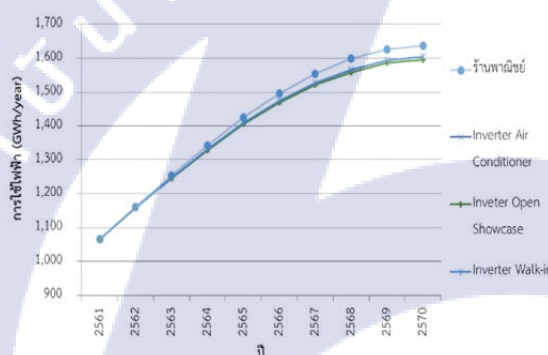


(ก) เมื่อดำเนินการเป็นรายการฯ

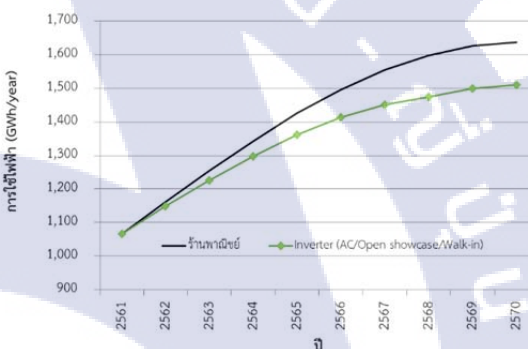


(ข) เมื่อดำเนินหลายมาตรการฯ ร่วมกัน

รูปที่ 4.13 แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าเดี่ยว



(ก) เมื่อดำเนินการเป็นรายการฯ



(ข) เมื่อดำเนินหลายมาตรการฯ ร่วมกัน

รูปที่ 4.14 แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในอาคารพาณิชย์

แม้ว่าร้านสะดวกซื้อจะมีการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง แต่ก็มีศักยภาพเชิงเทคนิคที่จะลดการใช้พลังงานได้อีกมาก อาทิ การลดภาระความร้อนของอาคาร การใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และการผลิตไฟฟ้า ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ถึงร้อยละ 25-30 โดยเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้มีความพร้อมเชิงพาณิชย์และสามารถประยุกต์ใช้กับร้านค้าที่มีอยู่แล้วและร้านค้าก่อสร้างใหม่

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพสูงสำหรับร้านสะดวกซื้อทั้งแบบร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ได้แก่ การเปลี่ยนมาใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์กับห้องแช่เย็นแบบ Walk-in และตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 40 ของการ

ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยปัจจุบันคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับห้องแช่เย็นแบบปิดและตู้แช่เย็นแบบเปิดยังเป็นคอมพิวเตอร์แบบความเร็รรอบคงที่ทั้งหมด

มาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ จะมีความคุ้มค่าหากมีต้นทุนของค่าใช้จ่ายต่อหน่วยไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) ต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิง มาตรการทั้ง 4 ที่นำเสนอข้างต้น เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ หากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงได้



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ และแสดงปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความเย็นในร้านสะดวกซื้อ จากนั้นจึงนำเสนอแนวทางอนุรักษ์พลังงานและประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์ทำความเย็นของร้านสะดวกซื้อ และประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

5.1 สรุปผลการวิจัย

ร้านสะดวกซื้อเป็นอาคารธุรกิจที่ให้บริการจำหน่ายสินค้าหลากหลายตลอด 24 ชั่วโมงมีทั้งแบบอาคารเดี่ยวหรือร้านที่ตั้งอยู่ในอาคารพาณิชย์ จากการตรวจวัดพลังงานร้านสะดวกซื้อ 10 ร้านพบว่า (รหัส ST01-10) โดยแต่ละร้านคามีลักษณะ รูปแบบ ขนาดพื้นที่ อายุการใช้งาน จำนวนผู้ปฏิบัติงาน เทคโนโลยีและอุปกรณ์ในร้านต่างๆ กัน ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าสืบเนื่องจากร้านค้า

ผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อต่อเนื่อง 1 สัปดาห์ พบว่ามีการใช้ไฟฟ้า 11,062-17,382 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ต่อเดือน ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ 487-1,104 หน่วยต่อตารางเมตรต่อปี ความแตกต่างนี้เป็นผลจากสมรรถนะของอุปกรณ์ที่ใช้ การบำรุงรักษา และปริมาณการขายสินค้า ปัจจุบันพบว่าร้านสะดวกซื้อมีการจำหน่ายอาหารปรุงสำเร็จในสัดส่วนที่สูงขึ้น มีเครื่องทำกาแฟสด มีครัวทำขนม อุปกรณ์เหล่านี้ล้วนเพิ่มความต้องการไฟฟ้าและภาระให้เครื่องปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 172,800 kWh/year โดยค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 20 kW ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งกลางวันหรือกลางคืน ค่าการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ต่อปี 823 kWh/m²/year เมื่อเทียบกับอาคารสำนักงานที่มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 180-220 kWh/m²/year หรือห้างสรรพสินค้าที่ค่าเฉลี่ย 600-700 kWh/m²/year นับว่าร้านสะดวกซื้อมีการใช้ไฟฟ้าสูงกว่ามาก

การปรับอากาศและการแช่เย็น (ตู้แช่เย็นแบบเปิด หรือ Open Showcase และห้องเย็นแบบปิด หรือ Walk-in) เป็นสองระบบหลักที่ใช้พลังงานสูง คิดเป็นสัดส่วนรวมกันถึงร้อยละ 71.8 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบส่องสว่างใช้พลังงานร้อยละ 5.2 ขณะที่อุปกรณ์อื่นๆ ใช้ไฟฟ้ารวมกันร้อยละ 23.0

อุปกรณ์อื่นๆ ในร้านสะดวกซื้อจัดอยู่ในกลุ่มอุปกรณ์ทำความเย็นเกือบทั้งหมดเช่นกัน อาทิ ตู้น้ำหวาน ตู้ทำน้ำแข็งกด ตู้แช่น้ำแข็งยูนิค ตู้ไอศกรีม ตู้แช่อาหารสำเร็จรูปหลังร้าน ซึ่งหากรวมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ส่วนนี้เข้ากับตู้แช่แบบเปิดและตู้แช่แบบ Walk-in แล้วการใช้ไฟฟ้าของการทำ

ความเย็นสินค้าจะสูงขึ้นถึงกว่าร้อยละ 60.1 โดยการใช้พลังงานของอุปกรณ์อื่นๆ ที่ไม่ใช่อุปกรณ์ทำความเย็นจะมีค่าร้อยละ 7.9 ของการใช้ไฟฟ้าของร้านค้า

ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak Period (9:00–22:00) อยู่ระหว่าง 27–42 kW และในช่วง Off Peak (22:00–9:00) อยู่ระหว่าง 22–38 kW แสดงว่าค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ต่างกันมากนักระหว่าง Peak Period และ Off-Peak Period

5.1.1 ระบบปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Split-Type Air-Conditioner) เครื่องปรับอากาศมีขนาดทำความเย็นพิกัด 7,600–12,000 W_{th} (หรือ 25,000–40,944 Btu/hr) สมรรถนะ EER ระหว่าง 9.6–11.4 Btu/Wh (COP 2.81–3.34) โดยเครื่องปรับอากาศใหม่ที่อายุ 2–3 ปี ใช้สารทำความเย็น R-410a และ R32 นอกนั้นยังคงใช้สารทำความเย็น R-22 การใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตรวจวัดค่าได้ 69–162 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หรือ 24,948–50,172 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 94–321 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์ซึ่งทำงานที่ภาระบางส่วน (Part Load) สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศจะสูงขึ้น ที่ภาระงานเต็มทีค่าสมรรถนะ COP ของเครื่องปรับอากาศประเมินได้ 4.5 และสูงขึ้นเป็น 12 เมื่อภาระปรับอากาศเท่ากับร้อยละ 30 ของภาระพิกัด

5.1.2 ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างในร้านสะดวกซื้อใช้หลอดชนิด LED ทั้งหมด ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอด LED ที่ใช้มีความแตกต่างกันตามขนาดของหลอดและตามทีแต่ละแบรนด์ธุรกิจเลือกใช้ เช่น 15.3 W, 18 W และ 20 W ส่วนหลอดขนาด 8 W มีใช้ไม่มากนัก ค่าระดับแสง ณ ตำแหน่งต่างๆ มีค่าในช่วง 530–2,400 lux ค่าเฉลี่ยของระดับแสงในร้านอยู่ระหว่าง 710.8–1,149.5 lux การใช้พลังงานไฟฟ้าส่องสว่างต่อเดือนมีค่าระหว่าง 518.4–892.3 kWh/month ค่าพลังไฟฟ้าของระบบส่องสว่างที่ติดตั้งใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 0.72–1.24 kW ความเข้มของการส่องสว่าง 4.03–5.07 W/m² การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 6,221–10,708 kWh/year และคิดเป็นดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่รวมของร้านค้า 35–45 kWh/m²/year

5.1.3 ห้องเย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in)

ห้องเย็นแบบ Walk-in มีใช้งานในร้านค้า ST01, 02, 04 และ 05 ซึ่งขนาดห้องเมื่อนับจากจำนวนประตูจะมีตั้งแต่ 5-8 บาน ห้องแช่เย็นนี้ใช้แช่สินค้าประเภทเครื่องดื่มเย็น รวมถึงการสต็อกสินค้าอื่นๆ ที่เป็นสินค้าในกลุ่มแช่เย็น เพื่อรอจำหน่าย ห้องเย็นแบบ Walk-in จะติดตั้งเครื่องส่งลมเย็น (Fan Coil Unit) 2-3 ชุด และคอนเดนซิงยูนิต (Condensing Unit) 1-2 ชุด ห้องเย็นมีการทำความเย็นสูงสุด $10-12 \text{ kW}_{th}$ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของห้องเย็นสูงสุด $6-7 \text{ kW}_{elec}$ พลังไฟฟ้าต่ำสุดของห้องเย็นมีค่าประมาณ 1 kW_{elec} ซึ่งเป็นไฟฟ้าที่ใช้ในการอุ่นโครงสร้างของห้องเย็น เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศบนตัวห้องเย็น ระบบทำความเย็นของห้องแช่เย็นทำงานที่ภาระบางส่วนกว่าร้อยละ 60 ที่ภาระความเย็นใดๆ ค่าพลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ที่ $6-7 \text{ kW}_{th}$ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าสมรรถนะพลังงานโดยรวมของห้องแช่เย็นต่ำ เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ของเครื่องทำงานที่ภาระความเย็นต่ำเกือบตลอดเวลา โดยค่าภาระความเย็นเฉลี่ยคำนวณได้เท่ากับ 3.8 kW_{th} ดังนั้น ค่าสมรรถนะการทำความเย็น COP เฉลี่ยเท่ากับ 0.67

5.1.4 ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase)

ตู้แช่เย็นแบบเปิด Open showcase ซึ่งติดตั้งในร้านค้า ST01, 02, 04, 05, 07 และ 08 มีขนาดหน้ากว้างสองขนาด คือ 1.8 m และ 0.9 m มีจำนวนรวม 3-4 ชุดต่อร้านค้า อุณหภูมิลมจ่ายของตู้แช่เย็นมีค่าระหว่าง -2°C ถึง 2°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ขณะที่อุณหภูมิลมกลับวัดได้ระหว่าง $5-10^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-100 ค่าพลังไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ระหว่าง 1.5-3.5 kW หากเปรียบเทียบกับห้องเย็นแบบ Walk-in แล้ว ตู้แช่เย็นแบบเปิดจะมีภาระการทำงานสูงกว่า

5.1.5 แบบจำลองคณิตศาสตร์จากการตรวจวัด

ข้อมูลการตรวจวัดได้รับการพัฒนาเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ โดยแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของลักษณะร้านค้า สมรรถนะของระบบหรืออุปกรณ์กับความต้องการพลังไฟฟ้า (Power Demand) และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy Consumption) การใช้ไฟฟ้าของร้านค้าสัมพันธ์กับกิจกรรมของธุรกิจ โดยระบบเครื่องเย็น/ห้องแช่เย็นใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 60.1 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบปรับอากาศใช้ไฟฟ้าในระดับรองลงมาที่ร้อยละ 26.9 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างอยู่ที่ร้อยละ 5.2 โดยการใช้ไฟฟ้าในส่วนที่เหลือเป็นของอุปกรณ์ให้ความร้อนและอื่นๆ

แบบจำลองร้านสะดวกซื้อแบบร้านค้าเดี่ยวกำหนดให้มีพื้นที่ 265.6 m^2 โดยแบ่งเป็นสองส่วน คือ พื้นที่จำหน่ายสินค้าปรับอากาศ 200 m^2 และพื้นที่หลังร้านจัดเก็บสินค้าที่ไม่ปรับอากาศ 66 m^2 ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Split-

Type Air-Conditioner) สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ COP 2.8 ขนาดทำความเย็นพิกัดรวม 120,000 BTU/H แต่เปิดใช้ 3 เครื่อง กำลังไฟฟ้ารวม (3 เครื่อง) $5,292 \text{ W}_{\text{elec}}$ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างภายในร้านสะดวกซื้อเป็นหลอด T8 ชนิด LED ประสิทธิภาพเชิงแสง 150.3 lm/W ห้องแช่เย็นแบบปิดมีประตูกระจก 5-8 บานสำหรับหยิบสินค้า ในห้องมีคอล์ยเย็น 2-3 ชุด ทำหน้าที่ให้ความเย็นและหมุนเวียนอากาศ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของห้องเย็น COP_{va} 2.0 กำลังไฟฟ้า Power (P_{va}) $2,606 \text{ W}_{\text{elec}}$ มีตู้แช่เย็นแบบเปิด 2-4 ชุด ด้านหน้าจะเปิดโล่งไม่มีประตู สัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้แช่เย็นแบบเปิด COP_{oc} 2.2 กำลังไฟฟ้า Power (P_{va}) $4,922 \text{ W}_{\text{elec}}$ อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ จำแนกเป็นกลุ่มที่ทำความเย็นและกลุ่มทำความร้อนเป็นหลัก ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองพลังงานของร้านสะดวกซื้อ การใช้พลังงานของร้านค้าจะเท่ากับ $14,962 \text{ kWh/month}$ ค่าพลังไฟฟ้าเท่ากับ 20.7 kW ซึ่งใกล้เคียงกับผลสำรวจ สัดส่วนการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ คือ 31% ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase) คือ 24% และตามด้วยตู้แช่เย็นแบบ Walk-in คือ 13% และอุปกรณ์ทำความเย็นอื่นๆ ทางด้านหน้าร้านเป็น 10% พลังงาน ผลการวิเคราะห์ผลประหยัดไฟฟ้าจากสมรรถนะของเทคโนโลยี และประเมินความคุ้มค่าของการลงทุน โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุวัฏจักร (อายุมาตรการ)

มาตรการที่มีศักยภาพสูงทางด้านการเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มาตรการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Roof) มาตรการเครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์ มาตรการคอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์สำหรับตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open Showcase) มาตรการคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็นแบบปิด (Walk-in Cold Room)

จากการนำเสนอเทคโนโลยีและแนวทางอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพเชิงเทคนิคที่จะลดการใช้พลังงาน สามารถจำแนกมาตรการตามศักยภาพได้ 2 กลุ่ม คือ

(1) มาตรการที่มีศักยภาพทางด้านการเงิน ได้แก่

(ก) มาตรการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Roof) ซึ่งลดการใช้ไฟฟ้าต่อปีลงทั้งสิ้น $38,853 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{yr}$ เมื่อคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 3.50 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง อายุตลอดโครงการที่ 20 ปี จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,864,167 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 5.9 ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Cost of Save Energy : CSE) 1.94 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

(2) มาตรการที่มีศักยภาพในด้านพลังงาน เนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานได้มาก แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้สูงกว่าอัตราค่าไฟฟ้า 3.50 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ได้แก่

(ก) มาตรการคอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์สำหรับตู้แช่เย็นแบบเปิด การใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์คาดว่าจะลดการใช้ไฟฟ้าได้ $7,138 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{yr}$ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ลดลง 146,626 บาท ตลอดอายุมาตรการ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน

2.3 ปี ค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการนี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีแรกเท่ากับ 26.90 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และคิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 3.74 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

(ข) มาตรการคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็นแบบปิด ระบบอินเวอร์เตอร์ คาดว่าจะลดการใช้ไฟฟ้าได้ 5,711 kWh_{elec}/yr ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ลดลง 115,401 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 2.4 ปี ค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการนี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีแรกเท่ากับ 28.02 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และคิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 3.90 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

5.1.6 ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ

จากการพิจารณาความเป็นไปได้ทั้งแบบติดตั้งเป็นรายมาตรการและการติดตั้งร่วมกันหลายมาตรการ สำหรับร้านสะดวกซื้อ 5 แบรินด์ ที่คาดการณ์ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2561 ถึง 2570 หากการใช้พลังงานของร้านค้าเหล่านี้เป็นเช่นปัจจุบัน (Business as Usual) หรือไม่มีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์ใดๆ เพิ่มเติม การใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อจะเพิ่มเป็น 4,104 GWh/yr ในปี 2570 หรือเติบโตขึ้น 1.50 เท่า ในอีก 10 ปีข้างหน้า จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานข้างต้น ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองร้านสะดวกซื้อประเมินผลประหยัดต่อเดือนจากการดำเนินมาตรการ โดยมาตรการที่เกี่ยวข้องกับหลังคาจะดำเนินการเฉพาะกับร้านค้าเดียว และโดยทั่วไปร้านสะดวกซื้อจะมีการปรับปรุงใหม่ทุก 7 ปี จึงสมมุติให้ร้านค้าที่ปรับปรุงในแต่ละปีดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะแล้วเสร็จทั้งหมดใน 7 ปี มาตรการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ลดการใช้พลังงานลงได้มากที่สุดที่เกือบร้อยละ 20 ของพลังงานทั้งหมด ตามด้วยการประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์ในระบบปรับอากาศ และการใช้อินเวอร์เตอร์ในห้องแช่เย็นที่แต่ละโครงการจะลดลงมาไม่เกินร้อยละ 5

สำหรับร้านค้าเดียวที่มีการดำเนินหลายๆ มาตรการร่วมกัน คือ หลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar PV Rooftop) เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (Inverter Air-Conditioner) ตู้แช่เย็นแบบเปิดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Open Showcase) ห้องแช่เย็นแบบปิดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Walk-in) ซึ่งเมื่อรวมทั้ง 4 มาตรการ พบว่าสามารถช่วยลดพลังงานได้ถึงร้อยละ 25

กลุ่มร้านค้าในอาคารพาณิชย์จะไม่สามารถดำเนินมาตรการที่เกี่ยวข้องกับหลังคาได้ ทำให้ศักยภาพในการลดการใช้พลังงานต่ำกว่ากรณีร้านค้าเดียว ทั้งนี้มาตรการใดที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ที่ต่ำกว่า ก็ย่อมน่าสนใจที่จะติดตั้งก่อนมาตรการอื่น

โดยสรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพสูงสำหรับร้านสะดวกซื้อทั้งแบบร้านค้าเดียวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ได้แก่ การเปลี่ยนมาใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์กับห้องแช่เย็นแบบ Walk-in และตู้แช่เย็นแบบ Open Showcase เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 40 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยปัจจุบันคอมเพรสเซอร์ที่ใช้กับห้องแช่เย็นแบบปิดและตู้แช่เย็นแบบเปิดยังเป็นคอมเพรสเซอร์แบบความเร็วรอบคงที่ทั้งหมด

5.2 ข้อเสนอแนะ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ จะมีความคุ้มค่าหากมีต้นทุนของค่าใช้จ่ายต่อหน่วยไฟฟ้า (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) ต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิง มาตรการทั้ง 4 ที่นำเสนอข้างต้น เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ หากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงได้

ร้านสะดวกซื้อยังมีศักยภาพเชิงเทคนิคที่จะลดการใช้พลังงานได้อีกมากผ่านมาตรการต่างๆ ทั้งการลดภาระความร้อนของอาคาร การใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงจากได้ถึงร้อยละ 25-30

สำหรับการตรวจพิสูจน์ (Measurement and Verification) ผลประหยันั้น สามารถดำเนินการตามกรอบของ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) ยกตัวอย่าง สำหรับมาตรการเครื่องปรับอากาศแยกส่วนแบบอินเวอร์เตอร์ แม้ว่าร้านสะดวกซื้อใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์มากขึ้น แต่ยังคงมีร้านค้าเก่าที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบความเร็วรอบคงที่ สมรรถนะต่ำ และมีศักยภาพที่จะลดพลังงานโดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ การประเมินผลประหยัดของมาตรการด้านปรับอากาศสามารถใช้วิธีที่ 2 ตาม IPMVP ด้วยการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของเครื่อง (COP) ที่สัมพันธ์กับภาระความร้อน (Cooling Load) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

อีกตัวอย่าง สำหรับห้องแช่เย็นแบบ Walk-in ใช้คอมเพรสเซอร์แบบความเร็วรอบคงที่ (Fixed-Speed) การทำความเย็นของระบบจะควบคุมอุณหภูมิห้องเย็น 2-4°C โดยแต่ละแบรนด์ธุรกิจมีวิธีการออกแบบและกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตนเอง จากการตรวจวัดภาระการทำความเย็นพบว่าห้องแช่เย็นมีการทำงานที่ภาระบางส่วน (Part Load) สูง ซึ่งคอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์คาดว่าจะมีศักยภาพสูงในการลดการใช้พลังงาน การประเมินผลประหยัดของมาตรการใช้วิธีการที่ 2 ตาม IPMVP เช่นเดียวกับมาตรการในระบบปรับอากาศ

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติและการไฟฟ้านครหลวง, “จำนวนการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง จำแนกเป็นรายจังหวัด พ.ศ. 2556-2558,” [Online]. Available : <http://service.nso.go.th/nso/govstat/GR/GR1.html>. [Accessed : 9 พฤษภาคม 2559].
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, “รายงานประจำปี 2554-2558,” [Online]. Available : <http://www.mea.or.th/e-magazine/2786>. [Accessed : 9 พฤษภาคม 2559].
- [3] กรุงเทพธุรกิจ, “ค่าปลีกอาเซียนขยายตัวสูง,” [Online]. Available : <http://daily.bangkokbiznews.com/detail/237620>. [Accessed : 5 พฤษภาคม 2558].
- [4] Positioning, “กำลังซื้อหด ค่าปลีกสะท้อน ปี 58 โตแค่ 3.2%,” [Online]. Available : <http://www.positioningmag.com/61092>. [Accessed : 28 กรกฎาคม 2558].
- [5] พูลสุข นิลกิจศรานนท์ และปิยะนุช สถาพงศ์ภักดิ์, “แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2560-62 ธุรกิจร้านค้าปลีกสมัยใหม่,” [Online]. Available : https://www.krungsri.com/bank/getmedia/f1e844b6-74af-44df-9ba4-23dc9d0f7427/IO_Modern_Trade_2017_TH.aspx. [Accessed : 10 พฤษภาคม 2560].
- [6] สำนักนโยบายอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2558-2579,” [Online]. Available : <http://www.enconfund.go.th/pdf/index/eep2015.pdf>. [Accessed : 10 พฤษภาคม 2559].
- [7] U.S Energy Information Administration (EIA), “2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey : Energy Usage Summary,” [Online]. Available from : <https://www.eia.gov/consumption/commercial/reports/2012/energyusage/>. [Accessed : March 18, 2016].
- [8] H. Y. Weng, “The Strategy of Saving Energy in Convenience Stores in Taiwan,” [Online]. Available : from : https://www.nodai.ac.jp/cip/iss/english/9th_iss/fullpaper/2-2-2nchu-haoyuwng.pdf. [Accessed : July 10, 2017].
- [9] DTE Energy, “Energy Profile : Grocery/Convenience Stores,” [Online]. Available from : <https://webtools.dnvgl.com/projects/Portals/8/Public%20Files/2015%20Energy%20profile-grocery.pdf?ver=2018-10-05-204828-190>. [Accessed : December 5, 2018].

- [10] M. Leach et al., *"Grocery Store 50% Energy Savings Technical Support Document,"* [Online]. Available from : <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/46101.pdf>. [Accessed : September 27, 2013].
- [11] New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) and NTT Data Institute of Management Consulting INC., *"Feasibility Study on Green Convenience Stores with High-Efficiency Equipment in Thailand and Vietnam, Feasibility Studies with the Aim of Developing a Bilateral Offset Credit Mechanism FY2012,"* [Online]. Available from : <https://www.nedo.go.jp/content/100510132.pdf>. [Accessed : November 28, 2012].
- [12] D. J. Alexander, *"6 Products That Help Reduce Energy Costs in Grocery and Convenience Stores,"* [Online]. Available from : <https://www.pge.com/en/mybusiness/save/smbblog/article12/6-products-that-help-reduce-energy-costs-in-grocery-and-convenience-stores.page>. [Accessed : December 5, 2015].
- [13] บริษัท ไอ.ที.ซี (1993) จำกัด, *"ข้อแนะนำการใช้ระบบทำความเย็น,"* [Online]. Available : https://www.itc-group.co.th/user_guide.php. [Accessed : 5 ธันวาคม 2559].
- [14] Emerson Climate Technologies, *"Enhance Food Safety With Less Cost,"* [Online]. Available from : <https://www.emerson.cn/documents/commercial581-residential/emerson-climate-technologies-china-cold-chain-study-eng-nov-3-final-003-zh-cn/1524718.pdf>. [Accessed : December 5, 2016].
- [15] Kritsanawonghong et al., *"Feasibility Study of Optimal Sizing of Micro-Cogeneration System for Convenience Stores in Bangkok,"* [Online]. Available from : <https://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=45563>. [Accessed : December 5, 2016].

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

แสดงข้อมูลเทคนิคของมาตรการต่างๆ

TNI

ภาคผนวก ก.1 เซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับติดตั้งบนหลังคาร้านสะดวกซื้อ

เซลล์แสงอาทิตย์	: Polycrystalline
ประสิทธิภาพ	: 15%
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	: 15 kWp
พื้นที่ติดตั้ง	: 140 m ²

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและบุนนวนหลังคา

ข้อมูลจำเพาะ	กรณีฐาน	มาตรการ
วัสดุหลังคา	อะลูมิเนียม 3 มม.	อะลูมิเนียม 3 มม.
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	-	ติดตั้งบนหลังคา
ประสิทธิภาพแผงเซลล์	-	15%
พื้นที่ติดตั้ง Solar Roof 15 kW _p	-	140 ตร.ม.
พื้นที่หลังคา	260 ตร.ม.	260 ตร.ม.
ช่องอากาศใต้หลังคา	0.7-1.0 ม.	0.7-1.0 ม.
ความหนาฉนวน	0 ซม.	4 ซม.
สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (COP)	2.80	2.80
อายุมาตรการ		20 ปี
สมรรถนะพลังงาน		
ค่าการถ่ายโอนความร้อน	109.55 kWh _{th} /m ² .yr	31.261 kWh _{th} /m ² .yr
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	10,172 kWh _{elec} /yr	2,903 kWh _{elec} /yr
ผลประหยัด		7,269 + 31,584 kWh _{elec} /yr
ความคุ้มค่า		
ต้นทุน	-	782,800 บาท
ค่าพลังงาน	8,636,350 บาท	6,772,183 บาท
ค่าบำรุงรักษา	- บาท	47,980
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งาน	8,636,350 บาท	7,602,962 บาท
ผลประหยัด	-	1,033,387 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	5.9 ปี	

จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และใช้หลังคาฉนวนทำให้ค่าฟลักซ์ความร้อนลดจากเดิม $109.55 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2/\text{yr}$ เหลือ $31.26 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2/\text{yr}$ หรือลดลง $78.28 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2/\text{yr}$ คิดเป็นร้อยละ 71.5 ทำให้ความร้อนถ่ายโอนผ่านหลังคาต่อปีลดลง $20,354 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{yr}$ เท่ากับการลดพลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศลง $7,269 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{yr}$ อนึ่ง เนื่องจากเมื่อแผงเซลล์อาทิตย์ทำงาน ผิวของแผงเซลล์จะมีอุณหภูมิสูงทำให้ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ผ่านหลังคาสูงกว่ากรณีการใช้หลังคาฉนวน PU เท่านั้น

ผลการวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับมาตรการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเปรียบเทียบกับกรณีฐานแสดงได้ดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและติดตั้งฉนวนใต้หลังคา

		Implemented case		Base case	
Description	Item	Cost		Cost	
Investment	Solar PV roof	760,000	Baht	-	Baht
	Labor cost		Baht	-	Baht
	Commissioning	22,800	Baht		Baht
	Total	782,800	Baht	-	Baht
Energy	Energy consumption	141,147	kWh/year	180,000	kWh/year
	Unit price	3.50	Baht/kWh	3.50	Baht/kWh
	Total	6,772,183	Baht	8,636,350	Baht
Maintenance	Materials		Baht/year		Baht/year
	Labor cost	3,500	Baht/year		Baht/year
	Total	47,980	Baht	-	Baht
Total project	Total	7,602,962	Baht	8,636,350	Baht
Annualized cost	Investment	71,044	Baht/year	-	Baht/year
	Energy	614,619	Baht/year	783,804	Baht/year
	Maintenance	4,354	Baht/year	-	Baht/year
	Total	690,017	Baht/year	783,804	Baht/year
First-year CSE		20.15	Baht/kWh		
Levelized CSE		1.94	Baht/kWh saved		
First-year CSE/Levelized CSE		10.38	times		
Payback period		5.91	Year		
IRR		16.06	%		

การประหยัดพลังงานจากมาตรการนี้ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศลดลง และสามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อทดแทนไฟฟ้าจากระบบสายส่ง ทำให้มาตรการนี้จะช่วยลดการใช้ไฟฟ้าต่อปีลงทั้งสิ้น $38,853 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{yr}$ เมื่อคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 3.50 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง อายุตลอดโครงการที่ 20 ปี จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,864,167 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 5.9 ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 1.94 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ภาคผนวก ก.2 เครื่องปรับอากาศชนิดอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ข้อมูลจำเพาะ	กรณีฐาน	มาตรการ
ข้อมูลจำเพาะ		
เครื่องปรับอากาศ	คอมเพรสเซอร์ความเร็ว	คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์
ขนาดทำความเย็น (ต่อเครื่อง)	รอบคงที่	35,170 kW _{th}
จำนวนเครื่องที่ทำงาน/ที่ติดตั้ง	35,170 kW _{th}	3/5
สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ (COP)	3/5	3.50
อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศ	2.80	10
สมรรถนะพลังงาน		
ภาระความร้อน	128,856 kWh _{th} /yr	128,856 kWh _{th} /yr
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	46,020 kWh _{elec} /yr	36,816 kWh _{elec} /yr
ผลประหยัด		9,204 kWh _{elec} /yr
ความคุ้มค่า		
ต้นทุน	159,840 บาท	185,000 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	1,312,790 บาท	1,050,232 บาท
ค่าบำรุงรักษา	45,642 บาท	45,642 บาท
ผลประหยัด		262,558 บาท
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งาน	1,518,272 บาท	1,280,874 บาท
ระยะเวลาคืนทุน		0.78 ปี

มาตรการนี้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 9,204 kWh_{elec}/yr และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี คือ 262,558 บาท เมื่อคิดค่าบำรุงรักษาหรือค่าล้างเครื่องปรับอากาศปีละสองครั้งจะมีผลต่างของค่าใช้จ่ายตลอดโครงการกรณีเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์เทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาเป็นเงิน 237,398 บาท เมื่อวิเคราะห์ทางการเงินคิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 0.8 ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้านี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 2.80 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์แสดงดังตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการเครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

		Implemented case		Base case	
Description	Item	Cost		Cost	
Investment	Inverter Air Conditioner	145,000	Baht	119,840	Baht
	Labor cost	40,000	Baht	40,000	Baht
	Commissioning		Baht		Baht
	Total	185,000	Baht	159,840	Baht
Energy	Energy consumption	36,816	kWh/year	46,020	kWh/year
	Unit price	3.50	Baht/kWh	3.50	Baht/kWh
	Total	1,050,232	Baht	1,312,790	Baht
Maintenance	Materials		Baht/year		Baht/year
	Labor cost	5,600	Baht/year	5,600	Baht/year
	Total	45,642	Baht	45,642	Baht
Total project	Total	1,280,874	Baht	1,518,272	Baht
Annualized cost	Investment	25,734	Baht/year	22,234	Baht/year
	Energy	146,092	Baht/year	182,615	Baht/year
	Maintenance	6,349	Baht/year	6,349	Baht/year
	Total	178,176	Baht/year	211,199	Baht/year
First-year CSE		20.10	Baht/kWh		
Levelized CSE		2.80	Baht/kWh saved		
First-year CSE/Levelized CSE		7.19	times		
Payback period		0.78	Year		
IRR		11.60	%		

ภาคผนวก ก.3 คอมเพรสเซอร์แบบอินเวอร์เตอร์สำหรับตู้แช่เย็นแบบเปิด

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งตู้แช่เย็นแบบโอเพนโวลต์เคสด้วยระบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

รายละเอียด	กรณีฐาน	มาตรการ
ข้อมูลจำเพาะ		
ขนาดตู้แช่แบบเปิด	ตู้แช่ 2 ชุด ขนาดหน้ากว้าง 1.8m 1 ชุด และ 0.9m 1 ชุด	ตู้แช่ 2 ชุด ขนาดหน้ากว้าง 1.8m 1 ชุด และ 0.9m 1 ชุด
ชนิดคอมเพรสเซอร์	แบบความเร็วรอบคงที่	แบบความเร็วรอบแปรผัน
สมรรถนะระบบทำความเย็น (COP)	< 2.0	สูงกว่าคอมเพรสเซอร์แบบความเร็วรอบคงที่ร้อยละ 10
สมรรถนะพลังงาน		
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	47,558 kWh _{elec} /yr	40,449 kWh _{elec} /yr
ผลประหยัด		7,138 kWh _{elec} /yr
ความคุ้มค่า		
ต้นทุน	135,000 บาท	192,000 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	1,357,505 บาท	1,153,880 บาท
ค่าบำรุงรักษา	-	-
ผลประหยัด		203,626 บาท
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งาน	1,492,505 บาท	1,345,880 บาท
ระยะเวลาคืนทุน		2.3 ปี

การใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์คาดว่าจะลดการใช้ไฟฟ้าได้ 7,138 kWh_{elec}/yr ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ลดลง 146,626 บาท ตลอดอายุมาตรการ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 2.3 ปี

ค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการนี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีแรกเท่ากับ 26.90 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 7.19 เท่าของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการที่ 2.28 ตารางที่ ก.6 แสดงผลวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการตู้แช่เย็นแบบเปิดด้วยเทคโนโลยีคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

ตารางที่ ก.6 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการติดตั้งตู้แช่เย็นแบบเปิดด้วยคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

		Implemented case		Base case	
Description	Item	Cost		Cost	
Investment	Inverter Open showcase	192,000	Baht	135,000	Baht
	Labor cost		Baht		Baht
	Commissioning		Baht		Baht
	Total	192,000	Baht	135,000	Baht
Energy	Energy consumption	40,449	kWh/year	47,588	kWh/year
	Unit price	3.50	Baht/kWh	3.50	Baht/kWh
	Total	1,153,880	Baht	1,357,505	Baht
Maintenance	Materials		Baht/year		Baht/year
	Labor cost		Baht/year		Baht/year
	Total	-	Baht	-	Baht
Total project	Total	1,345,880	Baht	1,492,505	Baht
Annualized cost	Investment	26,708	Baht/year	18,779	Baht/year
	Energy	160,510	Baht/year	188,835	Baht/year
	Maintenance	-	Baht/year	-	Baht/year
	Total	187,218	Baht/year	207,614	Baht/year
First-year CSE		26.90	Baht/kWh		
Levelized CSE		3.74	Baht/kWh saved		
First-year CSE/Levelized CSE		7.19	times		
Payback period		2.28	Year		
IRR		5.10	%		

ภาคผนวก ก.4 คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็นแบบปิด

ตารางที่ ก.7 รายละเอียดของมาตรการติดตั้งห้องเย็นแบบวอร์คอินด้วยคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

ข้อมูลจำเพาะ	กรณีฐาน	มาตรการติดตั้ง คอมเพรสเซอร์ แบบอินเวอร์เตอร์
ขนาดตู้แช่ ชนิดคอมเพรสเซอร์ สมรรถนะระบบทำความเย็น (COP)	ตู้แช่ 6 ประตู แบบความเร็วรอบคงที่ < 2.0	ตู้แช่ 6 ประตู แบบความเร็วรอบแปรผัน สูงกว่าคอมเพรสเซอร์แบบ ความเร็วรอบคงที่ร้อยละ 15
สมรรถนะพลังงาน		
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ผลประหยัด	28,553 kWh _{elec} /yr	22,842 kWh _{elec} /yr 5,711 kWh _{elec} /yr
ความคุ้มค่า		
ต้นทุน	112,500 บาท	160,000 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	814,503 บาท	651,603 บาท
ค่าบำรุงรักษา	-	-
ผลประหยัด		115,401 บาท
ค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งาน	927,003 บาท	811,603 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	2.3 ปี	

ระบบอินเวอร์เตอร์คาดว่าจะลดการใช้ไฟฟ้าได้ 5,711 kWh_{elec}/yr ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ลดลง 115,401 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 2.3 ปี ค่าใช้จ่ายในดำเนินมาตรการนี้ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีแรกเท่ากับ 28.02 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 7.19 เท่าของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการที่ 3.90 ตารางที่ ก.8 แสดงผลวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการตู้แช่เย็นแบบเปิดด้วยเทคโนโลยีคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

ตารางที่ ก.8 การวิเคราะห์ทางการเงินของมาตรการติดตั้งคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์สำหรับห้องเย็นแบบปิด

Implemented case				Base case	
Description	Item	Cost		Cost	
Investment	Inverter walk-in cold room	160,000	Baht	112,500	Baht
	Labor cost		Baht		Baht
	Commissioning		Baht		Baht
	Total	160,000	Baht	112,500	Baht
Energy	Energy consumption	22,842	kWh/year	28,553	kWh/year
	Unit price	3.50	Baht/kWh	3.50	Baht/kWh
	Total	651,603	Baht	814,503	Baht
Maintenance	Materials		Baht/year		Baht/year
	Labor cost		Baht/year		Baht/year
	Total	-	Baht	-	Baht
Total project	Total	811,603	Baht	927,003	Baht
Annualized cost	Investment	22,257	Baht/year	15,649	Baht/year
	Energy	90,641	Baht/year	113,301	Baht/year
	Maintenance	-	Baht/year	-	Baht/year
	Total	112,898	Baht/year	128,950	Baht/year
First-year CSE		28.02	Baht/kWh		
Levelized CSE		3.90	Baht/kWh saved		
First-year CSE/Levelized CSE		7.19	times		
Payback period		2.38	Year		
IRR		4.26	%		