การศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย

วิภาวดี วงษ์สุวรรณ์[1*] พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล[2] อภิญญา พัวพัฒนกุล[3] อธิคม บางวิวัฒน์[4]

[1]*หลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย*
[2,3,4]*บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย*

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : wipawadee@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 21 สิงหาคม 2562 ; รับบทความฉบับแก้ไข: 19 กันยายน 2562; ตอบรับบทความ: 3 ตุลาคม 2562
เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

บทคัดย่อ

ร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเขตชุมชนเมืองและพื้นที่ชนบท ร้านค้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการแช่เย็น ปรับอากาศ ส่องสว่าง อุ่นอาหาร อีกทั้งให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง จึงมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง แม้ที่ผ่านมาร้านสะดวกซื้อได้ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง แต่ก็ยังมีศักยภาพที่จะลดการใช้พลังงานอยู่

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวิเคราะห์พลังงานและผลตรวจวัดทำให้ทราบลักษณะการใช้พลังงานของร้านค้า ปัจจัยรวมถึงกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน การสำรวจภาคสนามร้านสะดวกซื้อ 9 แห่ง ทำให้ทราบว่าร้านสะดวกซื้อใช้ไฟฟ้าสูงถึง 173,284 kWh/year ค่าเฉลี่ยพลังไฟฟ้าสูงสุด 20 kW ค่าเฉลี่ยความเข้มการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 823 kWh/m^2.year ระบบและอุปกรณ์แช่เย็นมีการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 59-64 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบปรับอากาศใช้ไฟฟ้าในระดับรองลงมาที่ร้อยละ 26–28 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างร้อยละ 5 การศึกษาได้เสนอ 8 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพเชิงเทคนิค ได้แก่ (1) หลังคาสีเซรามิกส์สะท้อนแสง (2) หลังคาฉนวนกันความร้อน (3) การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (4) การลดพื้นที่กระจก (5) เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (6) ตู้แช่เย็นแบบเปิดอินเวอร์เตอร์ (7) ห้องแช่เย็นแบบปิดอินเวอร์เตอร์ (8) กระจก 3 ชั้นสำหรับห้องแช่เย็นแบบปิดหรือวอร์คอิน

จากการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับร้านค้าเพื่อประเมินการใช้พลังงานในแต่ละระบบและการใช้พลังงานโดยรวมของร้านและในภาพรวมของประเทศได้ทำนายผลการประหยัดพลังงานตั้งแต่ปี 2562–2570 และการใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อทั้งแบบร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์ที่ติดตั้งในรายมาตรการและหลายมาตรการร่วมกัน พบว่าจะลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 9.9 ทั้งนี้ มาตรการอนุรักษ์พลังงานเหล่านี้ควรได้รับการประเมินว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุนต่อไป

คำสำคัญ : ร้านสะดวกซื้อ การอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไฟฟ้า คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ หลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า

TNI Journal of Engineering and Technology
Vol.7 No.2 July - December 2019

Investigation of Energy Conservation Potential for Convenience Stores in Thailand

Wipawadee Wongsuwan[1*] Pipat Chaiwiwatworakul[2] Apinya Puapattanakul[3] Athikom Bangviwat[4]

[1]*Graduate School, and Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*
[2,3,4]*The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Bangkok, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: wipawdee@tni.ac.th

Received: 21 August 2019; Revised: 19 September 2019; Accepted: 3 October 2019
Published online: 25 December 2019

Abstract

The convenience stores in Thailand presents its continuing growth in both urban and rural areas. The stores possess various electric equipment for refrigeration, air-conditioning, lighting, cooking, with 7/24 service; resulting in high electricity demand. Those stores have been persistently conducted energy conservation; however, there is still a great potential for energy consumption reduction.

This research conducted detailed energy auditing to investigate the energy usage and its influencing factors. Nine convenience stores participated in the study. The results showed that the stores consumed electricity at 173,284 kWh/year, average peak power 20 kW, energy intensity 823 kWh/m^2.year. The refrigeration shares 59–64% of the total energy consumption. The air-conditioning came the second with the consumption of 26-28% while the electric lighting consumed about 5%. This study proposed eight energy conservation measures including (1) Reflective ceramics painted roof, (2) Insulated roof for heat resistance, (3) Solar photovoltaic rooftop, (4) Reduction of glazed area, (5) inverter air-conditioner, (6) Inverter compressor for refrigerated open showcase, (7) Inverter compressor for walk-in cold room, and (8) 3-layers glass for walk-in cold room.

A mathematical model was developed for the store to present the energy usage in each system and the whole shop. For Thailand, the estimated conserved energy in the standalone and the commercial building's store, implementing particular measure and combined measures, from 2019 – 2027 is about 9.9%. Therefore, these measures should be further evaluated for their investment worthiness.

Keywords: Convenience store, Energy conservation, Electrical Energy, Inverter compressor, Solar PV rooftop

1) บทนำ

ร้านสะดวกซื้อ (Convenience store) ให้บริการจำหน่ายสินค้าตลอด 24 ชั่วโมง ร้านค้าตั้งในทำเลที่เข้าถึงสะดวก มีการปรับอากาศ ทำให้เป็นที่นิยมใช้บริการของประชาชนทั่วไป ร้านสะดวกซื้อมีทั้งประเภทอาคารเดี่ยวและร้านที่ตั้งอยู่ในอาคารพาณิชย์ ภายในร้านค้ามีเครื่องไฟฟ้าจำนวนมาก อาทิ เครื่องปรับอากาศ ตู้แช่เย็นอาหารและเครื่องดื่ม ตู้ไอศกรีม ตู้น้ำแข็งยูนิต หลอดไฟฟ้า เครื่องอุ่นอาหาร ฯลฯ โดยบริเวณหลังร้านใช้เก็บสต๊อกสินค้าซึ่งไม่ปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ในปี 2559 จำนวนสาขาร้านสะดวกซื้อเพิ่มจากปี 2558 ประมาณ 7.2% [1], [2] นอกจากนั้น ร้านยังขยายพื้นที่จากเดิมทำให้รองรับสินค้าและอุปกรณ์ได้มากขึ้น และมีความต้องการไฟฟ้าสูงขึ้น [3]

งานวิจัยหลายชิ้นในต่างประเทศได้นำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ อาทิ The National Renewable Energy Laboratory (NREL)[4] ระบุว่าร้านสะดวกซื้อสามารถปรับปรุงให้มีสมรรถนะพลังงานสูงกว่ามาตรฐาน ASHRAE 90.1-2004 ซึ่งเป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบส่องสว่าง ระบบหน้าต่าง กรอบอาคาร อุปกรณ์ปรับอากาศ อุปกรณ์ทำความเย็น การผลิตพลังงาน โดยสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 50 [4]

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) [5] ศึกษาความเป็นไปได้ของร้านสะดวกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยและในเวียดนามเมื่อปี 2555 โดยตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ 7 สาขาในไทยและในเวียดนาม มีการนำเสนออุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงจากญี่ปุ่นมาใช้กับระบบส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และตู้แช่เย็น ซึ่งพบว่าจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 27

งานวิจัยอีกชิ้นของไต้หวันได้ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อของไต้หวันจำนวน 30 ร้าน [6] ค่าเฉลี่ยความเข้มการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อในไต้หวันเท่ากับ 2,346 kWh/m^2.year ซึ่งสูงกว่าค่าของอาคารสำนักงานและโรงแรม มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกคือการเปลี่ยนตู้แช่และเก็บอาหารที่เป็นอุปกรณ์เก่าและล้าสมัยให้เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย และปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของร้านค้า เพื่อนำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความเป็นไปได้เชิงเทคนิคกับร้านสะดวกซื้อ

3) วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการทบทวนวรรณกรรมการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ การสัมภาษณ์บุคลากรในกลุ่มธุรกิจ เพื่อให้ทราบทิศทางของธุรกิจร้านสะดวกซื้อ ระบบและอุปกรณ์ในร้านค้า จากนั้นกำหนดร้านสะดวกซื้อที่จะทำการสำรวจ โดยร้านมีลักษณะอาคาร พื้นที่ อายุ และอุปกรณ์ต่างกัน

การตรวจวัดพลังงานของร้านค้าเป็นการวัดต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง อย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานของทั้งร้านค้า และเป็นรายระบบอุปกรณ์ การตรวจวัดยังครอบคลุมการวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมเย็นของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ และการถ่ายโอนความร้อนผ่านกรอบอาคาร ทั้งนี้ผลตรวจวัดทั้งหมดจะนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์การใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ แบบจำลองนี้แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะร้านค้า สมรรถนะของระบบ/อุปกรณ์ กับความต้องการพลังไฟฟ้า (Power demand) และปริมาณการใช้พลังงาน (Electrical energy consumption) ดังสมการที่ (1)

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

$OTTV_i$	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอก (W_{th}/m^2)
$RTTV_i$	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W_{th}/m^2)
A_{wi}	คือ พื้นที่ผนังภายนอก (m^2)
A_{ri}	คือ พื้นที่หลังคา (เฉพาะส่วนที่ต่อกับพื้นที่จำหน่ายสินค้า) (m^2)
LPD_i	คือ การใช้ไฟฟ้าเพื่อส่องสว่าง (W_{elec}/m^2)
EQD_i	คือ การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (W_{elec}/m^2)
$OTHER_i$	คือ แหล่งความร้อนอื่น ๆ (W_{th}/m^2)
COP_i	คือ สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (-)
A_i	คือ พื้นที่ใช้สอย (m^2)
n_h	คือ จำนวนชั่วโมงทำงานตลอดทั้งปี (ชั่วโมง)

จากการสำรวจและการใช้แบบจำลองข้างต้น ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงาน โดยครอบคลุมการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และการลดความร้อนถ่ายเทผ่านกรอบอาคาร และประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อในระดับมหภาค เป็นการประเมินเปรียบเทียบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานของร้านค้าตามการเพิ่มจำนวนของร้านในกรณีที่ไม่มีการดำเนินการใดๆ หรือ Business as Usual (BAU) และกรณีที่ร้านค้าดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ

4) ผลการวิจัย

4.1) การสำรวจร้านสะดวกซื้อ

ร้านสะดวกซื้อที่สำรวจมี 9 ร้านค้า ตารางที่ 1 แสดงอายุร้านค้า พื้นที่ใช้สอยรวม พื้นที่จำหน่ายสินค้า การใช้พลังงานรวม และค่าการถ่ายโอนความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV และ RTTV) โดยร้านค้ารหัส ST01 ST04 ST05 ST06 ST07 ST08 และ ST09 เป็นร้านค้าเดี่ยว และร้านค้ารหัส ST02 และ ST03 เป็นร้านค้าในอาคารพาณิชย์

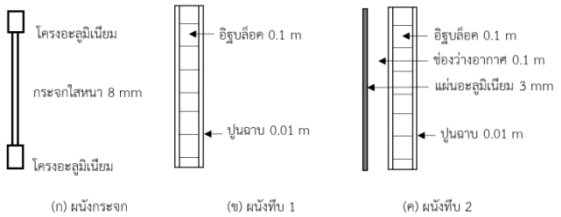
ตารางที่ 1 ภาพรวมร้านสะดวกซื้อ

ร้านค้า	อายุ (ปี)	พื้นที่ใช้สอยรวม (m^2)	พื้นที่จำหน่ายสินค้า (m^2)	การใช้พลังงานรวม (kWh/yr)	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)
ST01	8	203	155	193,812	29.82	9.21
ST02	10	215	141	202,428	29.52	n/a
ST03	6	162	86	132,744	63.75	n/a
ST04	2	266	194	147,348	32.61	2.43
ST05	2	266	194	208,584	57.46	9.21
ST06	5	154	130	169,620	63.75	9.21
ST07	3	293	203	142,440	62.81	9.21
ST08	5	291	212	191,940	51.21	9.21
ST09	5	155	130	170,640	62.55	9.04

ข้อมูลเฉลี่ยสำหรับร้านค้าเดี่ยว อาทิ พื้นที่ใช้สอย คือ 232 m^2 สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศคือร้อยละ 75 การใช้พลังงานรวมต่อปีของร้านค้า คือ 174,912 kWh/year และสำหรับร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ข้อมูลเฉลี่ยข้างต้นจะเท่ากับ 189 m^2, ร้อยละ 60 และ 167,586 kWh/year ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับร้านค้าเดี่ยว

4.1.1) กรอบอาคาร

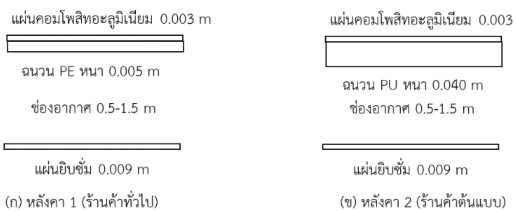
ผนังภายนอกของร้านสะดวกซื้อมีทั้งส่วนผนังทึบและกระจก โดยด้านหน้าร้านค้าเป็นกระจกใสโครงอะลูมิเนียม ผนังทึบด้านข้างอาจเป็นอิฐบล็อคฉาบปูนสองด้าน (ผนังทึบ 1) และอิฐบล็อคกรุด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (ผนังทึบ 2) รูปที่ 1 แสดงลักษณะของผนังของร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 1: ผนังกระจกและผนังทึบของร้านสะดวกซื้อ

ผลคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ของร้านสะดวกซื้อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.46 W_{th}/m^2 สำหรับร้านค้าเดี่ยวและ 46.64 W_{th}/m^2 สำหรับร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ค่า OTTV ของร้านสะดวกซื้อส่วนใหญ่สูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานของอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ ดังนั้น ความร้อนที่ผ่านเข้าร้านสะดวกซื้อต่อพื้นที่จึงสูงกว่า

หลังคาร้านค้าเป็นแผ่นอะลูมิเนียมมีฉนวน PE หนา 0.005 m โดยร้านค้าต้นแบบมีการใช้หลังคาฉนวน PU หนา 0.04 m ใต้หลังคามีช่องอากาศ 0.5–1.5 m และแผ่นยิบซั่มบอร์ดหนา 0.009 m โครงสร้างหลังคาของร้านทั่วไปและร้านค้าต้นแบบแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 หลังคาร้านสะดวกซื้อ

ค่าเฉลี่ย RTTV สำหรับหลังคาแบบทั่วไปของร้านสะดวกซื้อ คือ 9.21 W_{th}/m^2 โดยหลังคาฉนวน PU ของร้านค้าต้นแบบทำให้ค่า RTTV ลดลงเหลือ 2.43 W_{th}/m^2 แสดงว่าฉนวนหลังคาที่หนาขึ้นลดความร้อนลงได้ประมาณร้อยละ 74

4.1.2) ระบบปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3-5 เครื่อง เปิดใช้งานสลับกันตาม

ตารางเวลาที่กำหนด พิกัดความเย็นของเครื่องอยู่ระหว่าง 7,600-12,000 W_{th} (หรือ 25,000–40,944 Btu/hr) สมรรถนะ EER 9.6–11.4 (Btu/hr)/W_{elec} (COP 2.81–3.34) การใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจากการตรวจวัดอยู่ระหว่าง 69–162 kWh/day หรือ 24,948–58,398 kWh/year ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ 316 kWh/m^2/year

4.1.3) ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างใช้หลอดชนิด LED ทั้งหมด กำลังไฟฟ้าของหลอด LED แตกต่างกันตามขนาดของหลอด และตามที่แบรนด์ธุรกิจเลือกใช้ เช่น 15.3 W 18 W และ 20 W

ผลการตรวจวัดระดับแสง ณ ตำแหน่งต่างๆ ในร้าน พบว่า 4.03–5.67 W_{elec}/m^2 ดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ต่อปี 41 kWh/m^2/year

4.1.4) ระบบห้องแช่เย็นแบบวอร์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด

ห้องแช่เย็นแบบวอร์คอิน (Walk-in cold room) ในร้านที่เข้าสำรวจมีขนาด 5-8 ประตู ห้องใช้แช่เย็นเครื่องดื่มเย็นและสต๊อกสินค้าอื่นเพื่อรอจำหน่าย ห้องเย็นติดตั้งเครื่องส่งลมเย็น 2-3 ชุด และคอนเดนซิ่งยูนิต 1-2 ชุด

การตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศในห้องเย็นพบว่าอยู่ระหว่าง 0–5°C มีภาระทำความเย็นสูงสุด 10-12 kW_{th} ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 6-7 kW_{elec} ไฟฟ้าที่ห้องแช่เย็นใช้นี้นับรวมพลังไฟฟ้าประมาณ 1 kW_{elec} สำหรับให้ความร้อนโครงสร้างของห้องเย็น ป้องกันการกลั่นตัวของน้ำบนตัวห้องเย็น

ห้องแช่เย็นส่วนใหญ่ทำงานที่ภาระความเย็นต่ำเกือบตลอดเวลา สมรรถนะพลังงานโดยรวมของห้องแช่เย็นจึงค่อนข้างต่ำ ค่าภาระความเย็นเฉลี่ย 3.8 kW_{th} ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) เฉลี่ย 0.76

ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open showcase) มีหน้ากว้างสองขนาด คือ 1.8 m และ 0.9 m จำนวนรวม 3-4 ชุดต่อร้านค้า อุณหภูมิตู้แช่เย็นรักษาไว้ที่ 2-4 °C ค่าพลังไฟฟ้า 1.5-3.5 kW_{elec} ปัจจุบันคอมเพรสเซอร์ที่ใช้กับห้องเย็นและตู้แช่แบบเปิดเป็นชนิดความเร็วรอบคงที่ (Fixed speed) ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าของห้องแช่เย็นแบบปิดและตู้แช่เย็นแบบเปิดต่อพื้นที่ 372 kWh/m^2/year

4.1.5) อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

นอกเหนือจากห้องแช่เย็นแบบวอร์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด อุปกรณ์ทำความเย็นอื่น ได้แก่ ตู้แช่เย็นอาหารกล่อง ตู้แช่นม ตู้ไอศกรีม ตู้แช่เนื้อสัตว์ ตู้น้ำแข็ง ตู้แช่ผักผลไม้สด ตู้น้ำหวาน ตู้น้ำอัดลม ตู้สเลอปี้ ตู้น้ำแข็งยูนิต ตู้น้ำแข็งกด ฯลฯ ค่าพลังไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ระหว่าง 1.55–875 W_{elec} ส่วนกลุ่มทำความเย็นหลังร้าน ได้แก่ ตู้แช่แบบปิด และตู้ทำน้ำแข็ง

ตู้แช่เย็นแนวตั้งสำหรับแช่อาหารแช่แข็ง (ข้าวกล่อง) ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ -25°C ใช้พลังไฟฟ้า 1.0–2.5 kW_{elec} ตู้แช่เย็นเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์นม ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 2-4°C ตู้แช่เย็นเนื้อสัตว์และไอศกรีมตั้งค่าอุณหภูมิ -17°C

อุปกรณ์ทำความร้อนในพื้นที่ปรับอากาศ อาทิ เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องทำกาแฟ ไมโครเวฟ ตู้ชาลาเปา เครื่องอบ แซนวิช เครื่องคิดเงิน ฯลฯ มีค่าพลังไฟฟ้า 30–690 W_{elec} ด้านหลังร้านมีอุปกรณ์อื่น ได้แก่ ปั๊มน้ำ พัดลม

ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์อื่นๆ ต่อพื้นที่เท่ากับ 184 kWh/m^2/year

4.1.6) การใช้พลังงานไฟฟ้า

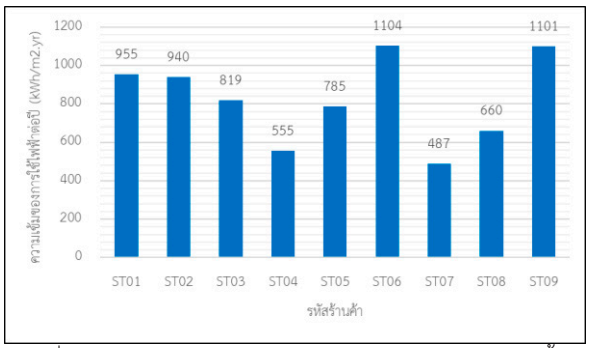
ผลจากการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าและพลังไฟฟ้าของทั้งร้านค้าและของแต่ละระบบอุปกรณ์ รวมถึงข้อมูลจากบิลค่าไฟฟ้า ทำให้ทราบว่าร้านสะดวกซื้อใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 173,284 kWh/year ค่าเฉลี่ยพลังไฟฟ้าสูงสุด 20 kW ค่าความเข้มการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีจากร้านค้าที่สำรวจแสดงได้ดัง รูปที่ 3 โดยค่าเฉลี่ยจาก 9 ร้าน คือ 823 kWh/m^2/year

จากรูปที่ 3 ร้านค้าที่ 4, 7, และ 8 เป็นร้านค้าต้นแบบที่เพิ่มฉนวนโพลียูรีเทน (PU) หนา 0.040 m เข้าไปใต้หลังคา ทำให้ลดความร้อนลงได้ประมาณร้อยละ 75 ในขณะที่ร้านที่ 6 และ 9 เป็นร้านค้าที่มีอุปกรณ์ทำความเย็นที่ใช้ไฟฟ้าสูง

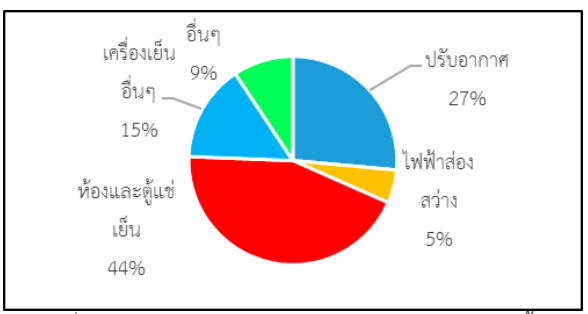
รูปที่ 4 แสดงสัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าของระบบต่างๆ ในร้านค้า ทั้งนี้ ร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์มีสัดส่วนคล้ายคลึงกัน

การใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อสัมพันธ์กับกิจกรรมของธุรกิจ ระบบห้องแช่เย็นแบบวอร์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด ใช้พลังงานสูงสุดร้อยละ 44-48 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด เมื่อรวมกับเครื่องเย็นอื่นอีกร้อยละ 15–16 สัดส่วนการทำความเย็นทั้งหมดคือร้อยละ 59–64 รองลงมาคือระบบปรับอากาศที่ ร้อยละ 26–28 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างร้อยละ 5 การใช้ไฟฟ้าส่วนที่เหลือเป็นของ

อุปกรณ์ให้ความร้อนและอื่นๆ ปัจจุบันกลุ่มธุรกิจร้านสะดวกซื้อมุ่งเน้นการขายอาหารพร้อมทานมากขึ้นจึงมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้น



รูปที่ 3 สรุปความเข้มการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของร้านสะดวกซื้อ

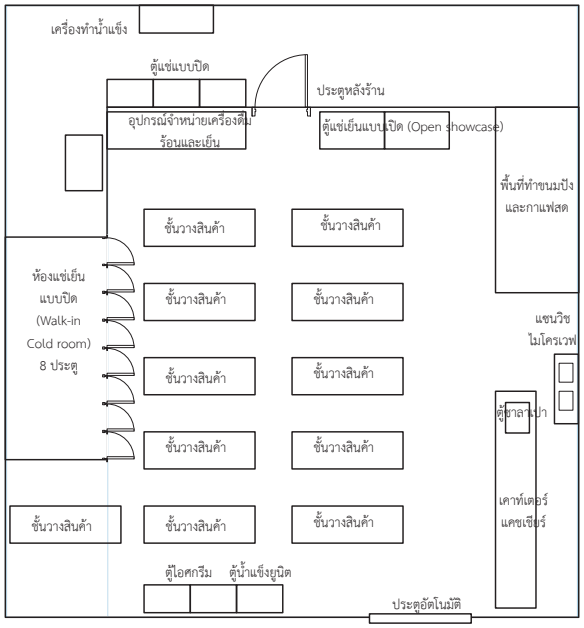


รูปที่ 4 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในระบบต่างๆ ของร้านสะดวกซื้อ

4.2) แบบจำลองร้านสะดวกซื้อ

แบบจำลองร้านสะดวกซื้อพัฒนาขึ้นจากการวิเคราะห์ด้านการถ่ายโอนความร้อนผ่านกรอบอาคารและผ่านผนังห้องแช่หรือตู้แช่เย็น ร่วมกับข้อมูลตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบและของทั้งร้าน

ผังร้านของแบบจำลองดังรูปที่ 5 ใช้สำหรับร้านค้าเดี่ยว (Standalone) และร้านค้าในอาคารพาณิชย์ (Commercial Building) ร้านค้าเดี่ยวมีพื้นที่ 232 m^2 แบ่งเป็นสองส่วน คือ พื้นที่จำหน่ายสินค้า 174 m^2 และพื้นที่หลังร้าน 58 m^2 ร้านค้าในอาคารพาณิชย์มีพื้นที่ 190 m^2 โดยแบ่งเป็นพื้นที่จำหน่ายสินค้า 123.5 m^2 และพื้นที่หลังร้าน 66.5 m^2



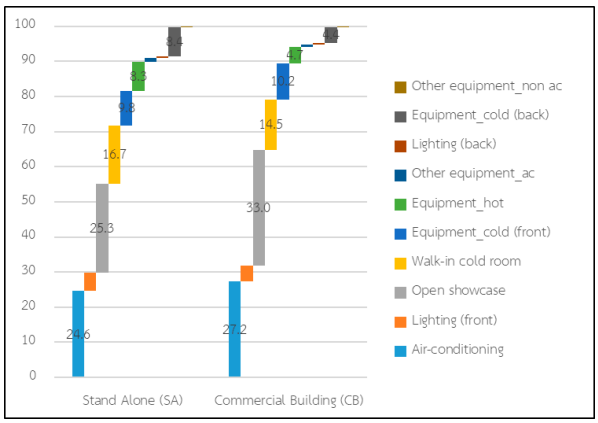
รูปที่ 5 ผังการจัดพื้นที่ภายในร้านสะดวกซื้อ

กรอบอาคารประกอบด้วยผนังกระจกด้านหน้าร้าน ผนังด้านขวาติดกับภายนอกอาคาร ด้านซ้ายและด้านหลังร้านติดกับพื้นที่ไม่ปรับอากาศ และใช้ข้อมูลจำเพาะจากการวัด อาทิ พื้นที่ผนังภายนอก พื้นที่ผนังทึบ พื้นที่กระจก พื้นที่หลังคา พื้นที่ปรับอากาศ พื้นที่ไม่ปรับอากาศ พื้นที่ผนังภายใน

สมการที่ 1 ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าแยกย่อยสำหรับส่วนจำหน่ายและส่วนจัดเก็บสินค้า ซึ่งมีเครื่องไฟฟ้าและการใช้พลังงานแตกต่างกัน แต่ละพื้นที่จำแนกการใช้ไฟฟ้าเป็นหลายส่วน คือ ระบบปรับอากาศ ระบบทำความเย็น ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบทำความร้อน และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศได้จากการคำนวณการถ่ายโอนความร้อนจากภายนอกผ่านกรอบอาคาร (OTTV และ RTTV) สู่พื้นที่ปรับอากาศ และภาระความร้อนภายในพื้นที่ปรับอากาศ

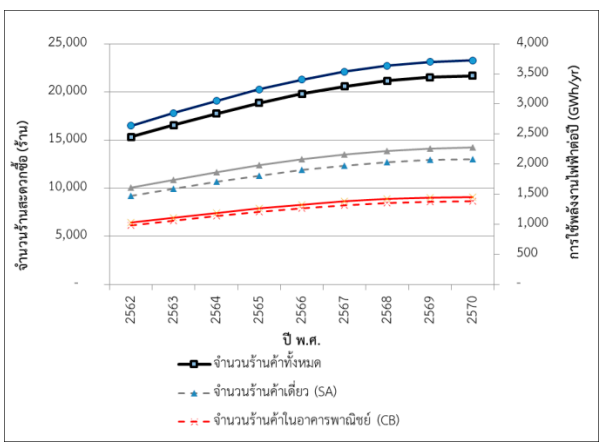
ผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์ใช้ต่อเดือน คือ 14,576 kWh/month และ 13,965 kWh/month โดยแบบจำลองร้านสะดวกซื้อทั้งสองแบบให้ค่าสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละระบบหรืออุปกรณ์ดังรูปที่ 6 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนที่แสดงในรูปที่ 4 โดยห้องแช่เย็นแบบวอร์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด รวมกับอุปกรณ์ทำความเย็นอื่นๆ มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด รองลงมาคือระบบปรับอากาศ



รูปที่ 6 สัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละระบบของร้านสะดวกซื้อสำหรับแบบจำลองร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์

4.3) มาตรการและศักยภาพอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ

จากสถิติการเติบโตของร้านสะดวกซื้อที่ผ่านมา ผลคาดการณ์ปี 2562-2570 ร้านสะดวกซื้อจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจากการอิ่มตัว ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจำนวนร้านค้าแบ่งสัดส่วนเป็นร้านค้าเดี่ยวต่อร้านค้าในอาคารพาณิชย์ 60 : 40 การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มจาก 2,638 GWh/year เป็น 3,727 GWh/year ในปี 2570 หรือเติบโตขึ้นเป็น 1.4 เท่า ในอีก 8 ปีข้างหน้า



รูปที่ 7 คาดการณ์จำนวนร้านสะดวกซื้อและการใช้ไฟฟ้าปี 2562–2570

ผลประเมินการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อกรณีที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นรายมาตรการ หรือหลายมาตรการร่วมกัน ทำให้ทราบศักยภาพเชิงเทคนิคของมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อในประเทศตั้งแต่ปัจจุบันจนถึงปี 2570

มาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้ง 8 มาตรการที่นำเสนอในบทความวิจัยนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความพร้อมเชิงพาณิชย์และสามารถประยุกต์ใช้กับร้านค้าที่มีอยู่แล้วและร้านค้าก่อสร้างใหม่ กำหนดเป็นรหัส M1–M8 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(M1) หลังคาสีเซรามิกส์สะท้อนแสง การทาสีเซรามิกส์บนผิวหลังคาเพิ่มสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์จาก 0.7 เป็น 0.95 ผลการคำนวณพบว่าค่า RTTV ลดจาก 7.4 W_{th}/m^2 เป็น 4.4 W_{th}/m^2 หรือลดลงร้อยละ 40 เทียบกับหลังคาปกติ เมื่อพื้นที่หลังคาร้านค้าในส่วนที่มีการปรับอากาศเท่ากับ 174 m^2 สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ COP เท่ากับ 2.8 และปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง แบบจำลองร้านสะดวกซื้อแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะลดลงจาก 46,563 kWh/year เหลือ 44,892 kWh/year

(M2) หลังคาฉนวนกันความร้อน การใช้ฉนวน PU หนา 0.04 m (สัมประสิทธิการนำความร้อน k=0.024 W/m/K) แทนฉนวน PE หนา 0.005 m (สัมประสิทธิการนำความร้อน k=0.032 W/m/K) สามารถลดค่า RTTV จาก 7.4 W_{th}/m^2 เป็น 2.4 W_{th}/m^2 หรือลดลงร้อยละ 75 เทียบกับหลังคาปกติ เมื่อสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ COP เท่ากับ 2.8 การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะลดลงจาก 46,563 kWh/year เหลือ 43,854 kWh/year

(M3) หลังคาติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร้านค้าเดี่ยวมีพื้นที่หลังคามากและรับรังสีอาทิตย์โดยตรงตลอดทั้งวัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 15 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 21,900 kWh/year ค่าไฟฟ้าที่ได้เป็นผลจากการทำแบบจำลองโดยใช้ซอฟแวร์ PVSYS และใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปีของประเทศไทย

(M4) การลดพื้นที่กระจก การลดพื้นที่กระจกหน้าร้านลงร้อยละ 50 โดยติดตั้งผนังฉนวน PU หนา 0.05 m แทน สามารถลดค่า OTTV ของทั้งร้านค้าลงจาก XXX W/m^2 เป็น YYY W/m^2 เมื่อสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ COP=2.8 และปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจาก 46,563 kWh/year เหลือ 42,941 kWh/year

(M5) เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าลงได้มาก ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับคอมเพรสเซอร์ หากร้านสะดวกซื้อเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20

(M6) ตู้แช่เย็นแบบเปิดอินเวอร์เตอร์ ตู้แช่แบบเปิดใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดความเร็วรอบคงที่ การเปลี่ยนใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์มีศักยภาพในการลดพลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 15

(M7) ห้องแช่เย็นแบบปิดอินเวอร์เตอร์ ตู้แช่เย็นแบบปิดใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดความเร็วรอบคงที่ การเปลี่ยนใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์มีศักยภาพในการลดพลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 20 จากการทำงานช่วงภาระบางส่วนสูง

ผลประหยัดจากการใช้อินเวอร์เตอร์ในมาตรการ (M5-7) เป็นค่าประเมินจากการทดลองตรวจวัดจริง

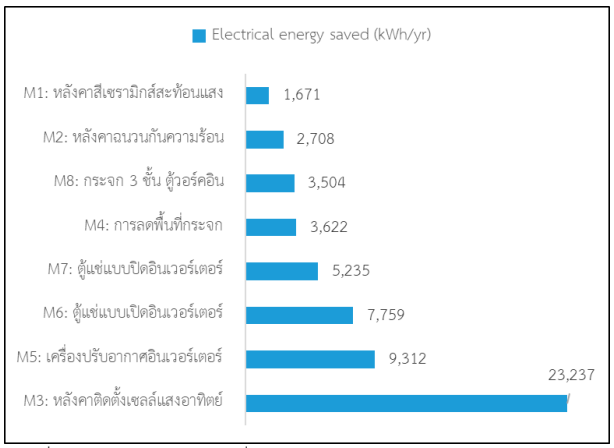
(M8) กระจก 3 ชั้น สำหรับห้องแช่เย็นแบบวอร์คอิน ห้องแช่เย็นแบบปิดจำเป็นต้องมีการให้ความร้อนที่บานประตูกระจกเพื่อป้องกันความควบแน่นของน้ำในอากาศ การเลือกใช้บานกระจก 2 ชั้น ที่เติมอาร์กอน หรือกระจก 3 ชั้น ทำให้ผิวกระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถลดการทำงานของฮีทเตอร์ไฟฟ้าลงร้อยละ 50

มาตรการทั้ง 8 ดังกล่าวให้ผลการประหยัดพลังงานต่อร้านค้ามากน้อยแตกต่างกัน

โดยรูปที่ 8 เรียงลำดับผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อร้านค้าต่อปี มาตรการที่ประหยัดไฟฟ้าได้สูงสุดคือ M3 หลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำควบคู่กับหลังคาติดฉนวน คือ 23,237 kWh/year รองลงมาคือมาตรการ M5 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ คือ 9,312 kWh/year

มาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมดที่นำเสนอมีอายุโครงการต่างกันที่ 10 ปี 15 ปี และ 20 ปี ส่งผลให้ผลรวม การประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการอยู่ในช่วง 16.709 – 464.734 MWh โดยมาตรการ M3 หลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอายุการใช้งาน 20 ปี ประหยัดได้สูงสุด

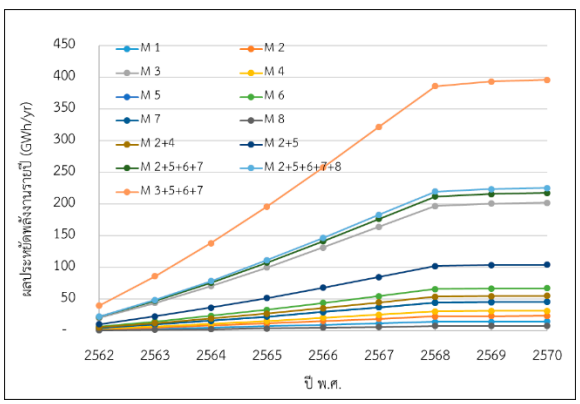
แบบจำลองร้านค้าเดี่ยวกับแบบจำลองร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ถูกใช้ประเมินผลประหยัดพลังงานต่อปี และใช้ทำนายผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อระหว่างปี 2562–2570 ดังรูปที่ 9 และ 10 เห็นได้ว่าศักยภาพการลดการใช้พลังงานของร้านค้าในอาคารพาณิชย์ต่ำกว่าร้านค้าเดี่ยวอย่างชัดเจน เพราะมีจำนวนที่น้อยกว่าและไม่สามารถดำเนินมาตรการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



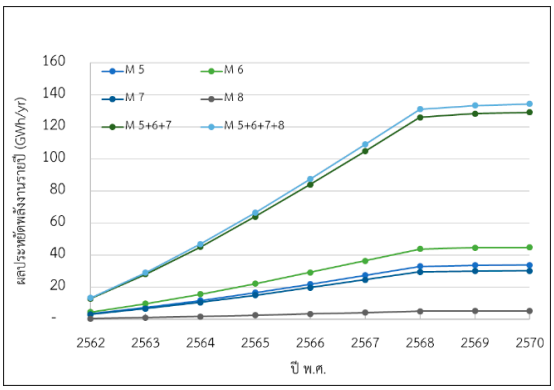
รูปที่ 8 สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้แต่ละมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ร้านค้าเดี่ยวจะประหยัดการใช้พลังงานได้สูงสุดกรณีดำเนินมาตรการ M3 M5 M6 และ M7 ร่วมกัน ในระยะเวลา 9 ปีนี้ คาดว่าร้านค้าเดี่ยวจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 12.2 หากใช้อัตราค่าไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อในปัจจุบันที่ 3.5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ก็จะประหยัดได้ถึง 7.75 ล้านบาท

กรณีร้านค้าในอาคารพาณิชย์หากดำเนินหลายมาตรการร่วมกัน คือ M5 M6 M7 จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ซึ่งคาดว่าจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 6.2 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 2.53 ล้านบาท



รูปที่ 9 ผลประหยัดพลังงานรายปีของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าเดี่ยว

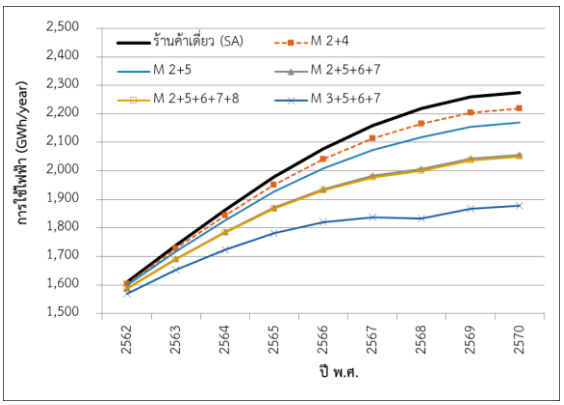


รูปที่ 10 ผลประหยัดพลังงานร้านสะดวกซื้อรายปีประเภทร้านค้าในอาคารพาณิชย์

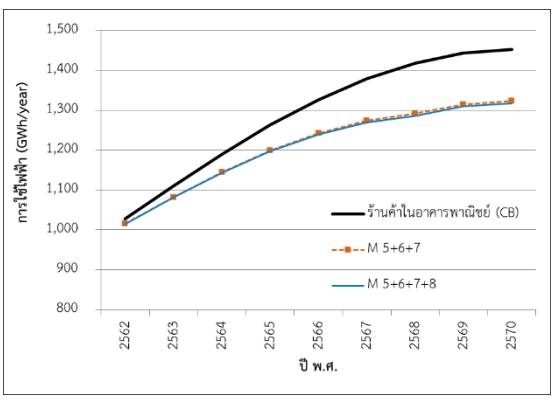
รูปที่ 9 และ 10 แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้สะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนถึงปี 2568 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นช้าลง เนื่องจากร้านสะดวกซื้อจะปรับปรุงใหม่ทุก 7 ปี และเมื่อปรับปรุงจึงดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้ ดังนั้นการปรับปรุงร้านเก่าจะแล้วเสร็จทั้งหมดใน 7 ปี ประกอบกับอัตราการเติบโตจำนวนร้านค้าที่ลดลง สัดส่วนร้านค้าใหม่ในช่วงแรกจะมากกว่าช่วงหลัง ส่งผลให้จำนวนร้านค้าที่ปรับปรุงในช่วงแรกมากกว่าในช่วงหลังกราฟจึงชันมากในช่วงแรก และเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงหลัง

แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ (หน่วย GWh/year) ประเภทร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์เทียบกับกรณีฐาน แสดงดังรูปที่ 11 และ 12 เมื่อร้านค้าเดี่ยวติดตั้งหลายมาตรการร่วมกัน คือ M3 M5 M6 และ M7 จะส่งผลให้การใช้พลังงานในปี 2570 เทียบกับปี 2562 เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 19.6 และคิดเป็นการใช้พลังงานร้อยละ 82.6 ของกรณีฐาน

ร้านค้าในอาคารพาณิชย์จะลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อดำเนินหลายมาตรการร่วมกัน คือ M5 M6 M7 ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานในปี 2570 เทียบกับปี 2562 เพิ่มขึ้นร้อยละ 30.4 และคิดเป็นการใช้พลังงานร้อยละ 91.1 ของกรณีฐาน



รูปที่ 11 แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าเดี่ยว



รูปที่ 12 แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าในอาคารพาณิชย์

ร้านสะดวกซื้อจะสนใจติดตั้งมาตรการอนุรักษ์พลังงานก็ต่อเมื่อเป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนการลงทุนที่ดี แม้ว่าการลงทุนติดตั้งหลายมาตรการอนุรักษ์พลังงานจะลดการใช้ไฟฟ้าได้มากกว่า แต่ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุนด้วย มาตรการใดที่มีค่าใช้จ่ายของมาตรการต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ที่ต่ำกว่า ก็น่าสนใจที่จะติดตั้งก่อนมาตรการอื่น

5) สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ 9 ร้าน ประกอบกับการตรวจวัดปัจจัยด้านความร้อน การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบและอุปกรณ์ในร้านค้า และการพัฒนาแบบจำลองการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ และได้นำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพเชิงเทคนิค 8 มาตรการ โดยมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพสูง ได้แก่ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ และห้องแช่เย็นแบบวอร์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิดที่ใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นใช้ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายอุปกรณ์และการใช้พลังงานโดยรวมของร้าน จึงสามารถทำนายพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี ระหว่างปี 2562–2570 จากการใช้มาตรการเดี่ยวและหลายมาตรการร่วมกัน และทำนายการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อหากติดตั้งหลายมาตรการร่วมกัน ในระยะเวลา 9 ปี คาดว่าร้านค้าเดี่ยวจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 12.2 ในขณะที่ร้านค้าในอาคารพาณิชย์จะประหยัดได้ร้อยละ 6.2 โดยมีผลประหยัดเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามจำนวนร้านค้าเท่ากับประหยัดได้ร้อยละ 9.9 ทั้งนี้การศึกษาความคุ้มค่าด้านการเงินจะดำเนินการในศึกษาในระยะต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ผู้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการ รหัส P-16-51687 และขอแสดงความขอบคุณร้านสะดวกซื้อผู้ร่วมโครงการ

REFERENCES

[1] Pulsook Nilkitsaranon, Piyanuch Sathapongpak, “Trends of business/industry in 2017-2019 for new convenience stores”, (In Thai). [Online]. Available:https://www.krungsri.com/bank/getmedia/f1e844b6-74af-44df-9ba4- 23dc9d0f7427/IO_Modern_Trade_2017_TH.aspx. [accessed: May 31, 2017].

[2] Prachachat Thurakit, “7-11 remark large market share speed up to 13,000 stores online penetration.” (In Thai). [Online]. Available: https://www.prachachat.net/marketing/news-36540. [Accessed: 11-Oct-2019].

[3] Saiseenews, “Announce legend of Thai 7-11 that anyone love!!.” (In Thai). [Online]. Available: http://www.saiseenews.com/. [accessed: Jun 02, 2017].

[4] Eric Bonnema, Matt Leach, and Shanti Pless, “Technical Support Document: Development of the Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings – 50% Energy Savings”, National Renewable Energy Laboratory (NREL). Available: https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/52589.pdf. [accessed: Jun 02, 2017].

[5] New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), “Feasibility Study on Green Convenience Stores with High-Efficiency Equipment in Thailand and Vietnam”, in *Feasibility Studies with the Aim of Developing a Bilateral Offset Credit Mechanism FY2012*. NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, INC, 2012.

[6] D. Chou, C.-S. Chang, and Y.-Z. Hsu, “Investigation and analysis of power consumption in convenience stores in Taiwan,” *Energy and Buildings*, Vol. 133, pp. 670–687, Dec. 2016.