การจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน : กรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้า ฟอร์จูนทาวน์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

Energy Management and Conservation: A Case Study of Fortune Town Shopping Center Building, Bangkok Province

นพัสวันต์ หนุเจริญกุล[1*], วิชาญ วิมานจันทร์[2], จงจิตร์ หิรัญลาภ[3], สุเมธ สถิตบุณอนันต์[4]
นุภาพ แย้มไตรพัฒน์[5], โจเซฟ เคดารี[6], สิทธิพร ใหญ่ธนายศ, ดุสิต งามรุ่งโรจน์[8]
และ ปรีดา จันทวงษ์[9]

[1] นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตย์ สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
[2,7,9] รองศาสตราจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[3,4] ศาสตราจารย์ และอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
*มหาวิทยาลัย*ปทุมธานี
*[5] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย*เทคโนโลยีมหานคร
[6] ศาสตราจารย์ ประจำสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร
[8] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำคณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Napatsawan Hanucharoenkul[1*], Vichan Vimanjan[2], Jongjit Hirunlabh[3],
Sumate Sathibun-anan[4], Nuparb Yamtripat[5], Joseph Khedari[6],
Sittiporn Yaitranayot[7], Dusit Ngamrungroj[8] and Preeda Chanwong[9]

[1] Master student of Energy Engineering Technology Program
Department of Power Engineering Technology College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
[2,7,9] Associate Professor of Energy Engineering Technology Department of Power Engineering
Technology College Of Industrial Technology

Received : 8 November 2021
Revised : 21 November 2021
Accepted : 1 January 2022
Online publication date : 3 January 2022

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[3,4] Professor and professor of engineering Faculty of Engineering and Technology

Pathum Thani University

[5] Assistant professor Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering

Mahanakorn University of Technology

[6] Professor of Industrial Technology Faculty of Science and Technology

Bangkokthonburi University

[8] Assistant professor of the Faculty of Industrial Technology Department of Applied and Social Sciences King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*] Corresponding author: park.social1990@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) ปีพ.ศ. 2550 โดยพิจารณาจากปริมาณการใช้พลังงาน โอกาสในการใช้งาน พิจารณาให้คะแนนตามหลักเกณฑ์การกำหนดมาตรการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม ทั้งศึกษาความคุ้มค่าการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละมาตรการจากกรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ ในกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนสปริงเกอร์เฮด ที่ Cooling Tower ขนาด 500 TR จำนวน 4 ชุด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นและลดการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น โดยใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 15,695.00 kWh/ปี (ประหยัดค่าไฟฟ้า 187,785.00 บาท/ปี) มีค่า IRR 86.00 % คืนทุน 2.95 ปี ส่วนการเปลี่ยน Package Water Cooled เครื่องปรับอากาศสามารถเพิ่มศักยภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศให้ดีขึ้น แต่ไม่สามารถคืนทุนและประหยัดได้ เนื่องจากค่าการใช้พลังงานจากเครื่องจักรใหม่มีการใช้พลังงานสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องเดิม และการลงทุนสำหรับมาตรการเปลี่ยนจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED พบอาคารทั้งส่วนพลาซ่าและอาคารไอทีมอลล์ พบส่วนพลาซ่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 100,552.54 kWh/ปี (ประหยัดค่าไฟฟ้า 407,237.77 บาท/ปี) มีค่า NPV ที่ได้รับจากมาตรการประหยัดพลังงานเท่ากับ 1,584,424.86 บาท มีค่า IRR 86.10 % คืนทุน 1.11 ปี และส่วนไอทีมอลล์ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 70,293.74 kWh/ปี (ประหยัดค่าไฟฟ้า 284,689.66 บาท/ปี) มีค่า NPV ที่ได้รับจากมาตรการประหยัดพลังงานเท่ากับ 1,170,212.30 บาท IRR 109.64 % คืนทุน 0.89 ปี

คำสำคัญ *:* การจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน การประเมินสมรรถนะด้านพลังงาน อาคารศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์

Abstract

The aim of this research was to study the energy conservation guidelines under the Energy Conservation Promotion Act. As determining appropriate energy-saving measures and studying the cost-effectiveness of investment in economics for each measure from a case study of the Fortune Town Shopping Center building in Bangkok. The results showed that replacing the sprinkler heads at the 4 cooling towers with 500 TR can increase cooling efficiency and reduce energy consumption in the cooling system. Using electric energy 15,695.00 kWh/year (save electricity 187,785.00 THB/year) with IRR 86.00 % payback 2.95 years. Replacing the Package Water-Cooled air conditioner can improve the energy efficiency of the air conditioner. But it can't pay back and save money. This is because the energy cost from the new machine has higher energy consumption compared to the old machine. And investment for the meter from changing fluorescent lamps to LED lamps, we found that both the plaza and IT mall buildings by the plaza can reduce electricity consumption up to 100,552.54 kWh/year (save electricity cost 407,237.77 THB/year) with NPV value got from energy-saving measures equal to 1,584,424.86 baht, with IRR value of 86.10 %, payback of 1.11 years. As for the IT Mall building, it can reduce electricity consumption by 70,293.74 kWh/year (save electricity 284,689.66 THB/year), with the NPV value got from the energy-saving measure equal to 1,170,212.30 THB, IRR 109.64 %, payback 0.89 years.

Keywords: Energy Management and Conservation, Energy Performance Assessment, Fortune Town Shopping Center

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ (ชัยอนุชิด หาสูงเนิน. พ.ศ.2550) ในขณะเดียวกันพลังงานถือเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยศูนย์การค้าเป็นธุรกิจหนึ่งที่มีการขยายตัวมากขึ้นทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ศูนย์การค้าที่เป็นอาคารขนาดใหญ่ มีความต้องการใช้พลังงานมาก และศูนย์การค้าถือเป็นอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 จึงจำเป็นต้องมีการดำเนินการจัดการและอนุรักษ์พลังงาน เพื่อความมั่งคงและยั่งยืนตามแผนยุทธศาสตร์พลังงานของชาติ 20 ปี (พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. พ.ศ. 2555) อีกทั้งเครื่องจักรของอาคารมีอายุการใช้งานที่มากกว่า 27 ปี รวมถึงมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ จึงส่งผลให้มีแนวโน้มการใช้พลังงานที่อาจสูงขึ้น

ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีแนวคิดหากเรามีการจัดการพลังงานในอาคารศูนย์การค้าได้ ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานของอาคารลงได้ไม่ต่ำกว่า 1.5 % ของระบบทั้งหมด โดยศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานอาคารศูนย์การค้า กรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในการศึกษาจะใช้วิธีการ

รวบรวม และวิเคราะห์ผลประหยัด(kWh/ปี)ต่อเงินลงทุน(บาท)ของแต่ละมาตรการ โดยใช้ตัวแปรการให้คะแนนจากการประเมินลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ และการประเมินโอกาสในการปรับปรุง ในการหามาตรการสำหรับเครื่องจักร เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบประกอบอาคาร ทั้งการปรับปรุงติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมหรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และเครื่องจักร เพื่อทำให้อุปกรณ์และเครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้การพิจารณาใช้แนวทางใดจะขึ้นอยู่กับความพร้อมทั้งทางด้านเงินทุน สภาพการใช้พลังงานเดิมของอาคารและเครื่องจักร และความคุ้มค่าในการดำเนินมาตรการขององค์กรเป็นต้น ผลที่ได้จากการศึกษาอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในอาคารศูนย์การค้าประเภทเดียวกัน หรืออาคารประเภทอื่นๆได้ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจการลดการใช้พลังงาน และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคารตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) ปีพ.ศ. 2550 และกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในอาคารประเภทศูนย์การค้า

2.2 เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนและความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคารศูนย์การค้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวางแผนและทบทวนพลังงาน

พัฒนาตัวบ่งชี้แหล่งพลังงานปัจจุบันของอาคารฯ จากนั้นทำการประเมินหาลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use) โดยพิจารณาจากปริมาณการใช้พลังงาน โอกาสในการใช้งาน โดยพิจารณาให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ในตารางที่ 1 แล้วประเมินสมรรถนะด้านพลังงาน ของ Significant Energy Use โดยเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานและอายุการใช้งานของเครื่องจักร จากตัวชี้บ่งตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบและบันทึกโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ โดยพิจารณาให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ตามตารางที่ 2

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

สำรวจและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของเครื่องจักรโดยมีรายละเอียดในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 โดยข้อมูลจะเก็บและคำนวณโดยใช้สูตรที่ใช้ ระยะเวลาคืนทุน = PB, ระยะเวลาคืนทุน = การลงทุน / รายได้ประจำปี , มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), ประเมินการลงทุนเริ่มต้น, อายุโครงการ 5 ปีคำนวณกระแสเงินสดรับประจำปี อัตราคิดลด 10% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิตลอดอายุโครงการลงทุน

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์ประเมินหาลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use)

(1) ปริมาณการใช้พลังงาน	kWh/Year	คะแนน	ระดับ
1. น้อยที่สุด	<80,000	1	น้อยที่สุด
2. น้อย	80,001 - 200000	2	น้อย
3. ปานกลาง	200001 - 500,000	3	ปานกลาง
4. มาก	500,001 - 900,000	4	มาก
5. มากที่สุด	>900,000	5	มากที่สุด
(2) ชั่วโมงการใช้งาน	Hr/Year	คะแนน	ระดับ
1. น้อยที่สุด	<1000	1	น้อยที่สุด
2. น้อย	1000 - 2999	2	น้อย
3. ปานกลาง	3000 - 4999	3	ปานกลาง
4. มาก	5000 - 6999	4	มาก
5. มากที่สุด	> 7000	5	มากที่สุด
(3) ศักยภาพการปรับปรุง	โอกาสในการปรับปรุง	คะแนน	ระดับ
1. น้อยที่สุด	มีโอกาสปรับปรุงได้น้อย	1	น้อยที่สุด
2. น้อย	มีโอกาสปรับปรุงปานกลาง	2	น้อย
3. ปานกลาง	มีโอกาสปรับปรุงได้มาก	3	ปานกลาง
4. มาก	มีโอกาสปรับปรุงได้มากที่สุด	4	มาก

ตารางที่ 2 หลักเกณฑ์ประเมินโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานของลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ

โอกาสในการปรับปรุง	**ระดับคะแนน**			
	1	2	3	4
1. ศักยภาพในการปรับปรุง	มีโอกาสปรับปรุงได้น้อย	มีโอกาสปรับปรุงปานกลาง	มีโอกาสปรับปรุงได้มาก	มีโอกาสปรับปรุงได้มากที่สุด
2. งบประมาณลงทุน (บาท)	>5,000,000	1,000,001-5,000,000	500,001-1,000,000	<500,000
3. ผลประหยัด (บาท/ปี)	<100,000	100,000-200,000	200,000-300,000	>300,000
4. ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	> 4	2 ~ 4	1.5~2	<1.5

ตารางที่ 3 การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของ Significant Energy Use ส่วน พลาซ่า

เครื่องจักร / อุปกรณ์หลัก	พิกัด		ค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ	
	ขนาด	หน่วย	ใช้งานจริง	หน่วย
Chiller-02	450	TR	0.75	kW/TR
Chiller-03	450	TR	0.63	kW/TR
Chiller-04	450	TR	0.69	kW/TR
Chiller-1/1	285	TR	0.89	kW/TR
Chiller-1/2	285	TR	0.89	kW/TR
CHP 01-01	11	kW	88.12	GPM/kW
CHP 01-03	11	kW	84.31	GPM/kW
CHP 01-04	11	kW	77.75	GPM/kW
CHP 02-01	45	kW	21.87	GPM/kW
CHP 02-02	45	kW	20.20	GPM/kW
CHP 02-03	45	kW	20.48	GPM/kW
CHP 02-04	45	kW	21.26	GPM/kW
COP-01	30	kW	21.27	kW
COP-02	30	kW	27.96	kW
COP-03	30	kW	28.82	kW
COP-04	30	kW	21.27	kW
Cooling Tower 1	500	TR	46.00	%
Cooling Tower 2	500	TR	54.00	%
Cooling Tower 3	500	TR	53.00	%
Cooling Tower 4	500	TR	53.00	%
Fluorescent	36	Watt	24.26	Lux/W
Fluorescent	18	Watt	25.57	Lux/W

ตารางที่ 4 การประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของ Significant Energy Use ส่วน ไอทีมอลล์

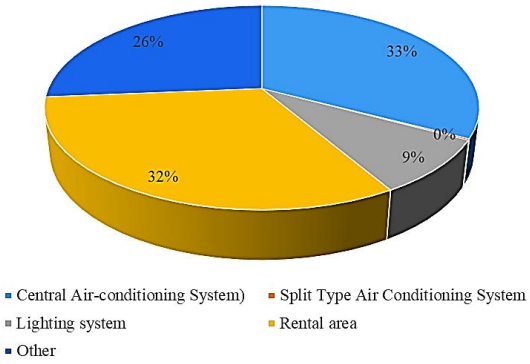
เครื่องจักร / อุปกรณ์หลัก	พิกัด		ค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ	
	ขนาด	หน่วย	ใช้งานจริง	หน่วย
Cooling Tower No.1	1000	TR	74.47	%
Cooling Tower No.2	1000	TR	74.47	%

Cooling Tower No.3	1000	TR	74.47	%
Cooling Tower No.4	1000	TR	74.47	%
Cooling Tower No.5	1000	TR	74.47	%
COP-01	55	kW	36.70	GPM/kW
COP-02	55	kW	36.70	GPM/kW
COP-03	55	kW	36.70	GPM/kW
COP-04	55	kW	36.70	GPM/kW
COP-05	55	kW	36.70	GPM/kW
COP-06	55	kW	36.70	GPM/kW
COP-07	55	kW	36.70	GPM/kW
Package Water Cool AC05	75	TR	0.73	kW/TR
Package Water Cool AC06	75	TR	1.11	kW/TR
Package Water Cool AC07	46	TR	2.79	kW/TR
Package Water Cool AC08	15	TR	-	kW/TR
Package Water Cool AC12	28	TR	-	kW/TR
Package Water Cool AC33	75	TR	1.81	kW/TR
Package Water Cool AC34	75	TR	2.72	kW/TR
Package Water Cool AC35	75	TR	1.28	kW/TR
Package Water Cool AC36	96	TR	0.57	kW/TR
Package Water Cool AC37	46	TR	0.68	kW/TR
Package Water Cool AC38	75	TR	0.82	kW/TR
Fluorescent	36	Watt	24.26	Lux/W

4. ผลการวิจัย

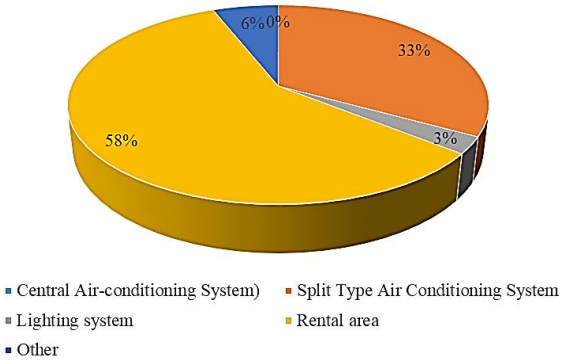
4.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ

สถานประกอบการที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลนี้เป็นอาคารศูนย์การค้า มีพื้นที่ของอาคารแบ่งเป็นส่วนพลาซ่าโดยประมาณ 84,239.67 ตารางเมตรรวมทุกชั้น แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 69,394.62 ตารางเมตร , พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 14,845.05 ตารางเมตร และส่วนไอทีมอลล์โดยประมาณ 43,677.00 ตารางเมตรรวมทุกชั้น แบ่งเป็นพื้นทีปรับอากาศ 42,947.86 ตารางเมตร ,พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 729.14 ตารางเมตร โดยอาคารศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ซึ่งเป็นอาคารที่มีการเปิดบริการ 12 ชั่วโมง/วัน ในส่วนของอาคารมีการใช้ไฟฟ้า โดยมีสัดส่วนดังนี้



รูปที่ 1 ปริมาณและสัดส่วนพลังงานแยกตามระบบที่ใช้ในศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ ส่วน พลาซ่า

จากรูปที่ 1 ทำการแยกสัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญของระบบ โดยเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ใช้พลังงานมากที่สุดถึง 33% เนื่องจากศูนย์การค้า มีการใช้เครื่องปรับอากาศ 80% ของพื้นที่ 84,239.67 ตารางเมตร โดยพื้นที่ลานจอดรถจะไม่การใช้เครื่องปรับอากาศ จึงทำให้เกิดการใช้พลังงานมากในเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)



รูปที่ 2 แสดงปริมาณและสัดส่วนพลังงานแยกตามระบบที่ใช้ในศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ ส่วน ไอทีมอลล์

จากรูปที่ 2 ทำการแยกสัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญของระบบ โดยเครื่องปรับอากาศ (Package Water Cooled) ใช้พลังงานมากที่สุดถึง 34% เนื่องจากศูนย์การค้า มีการใช้เครื่องปรับอากาศ 98% ของพื้นที่ 43,677 ตารางเมตร จึงทำให้เกิดการใช้พลังงานมากในเครื่องปรับอากาศ (Package Water Cooled)

รูปที่ 3 Cooling Tower ขนาด 500 TR จำนวน 4 ชุดหลังติดตั้ง Sprinkler Pipe

ตารางที่ 5 ข้อมูลการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อน-หลัง เปลี่ยนสปริงเคอร์เฮด (Sprinkler Pipe)

Date	LOAD				Power Meter		
	CH.No1/1 Loading RLA %	CH.No.2 Loading RLA %	CH.No.3 Loading RLA %	AVG Loading RLA %	Chiller 1/1 (kWh/day)	Chiller 2 (kWh/day)	Chiller 3 (kWh/day)
21-03-2019	92.59	94.86	98.24	95.23	2,087	3,115	3,442
15-07-2019	84.24	93.07	93.04	90.12	1,956	3,096	3,549

ตารางที่ 6 ข้อมูลอุณหภูมิพื้นที่ให้บริการ ก่อน-หลัง เปลี่ยนสปริงเคอร์เฮด (Sprinkler Head)

Date	Factor					
	Outdoor Sensor		Indoor 1 Sensor		Indoor 2 Sensor	
	Temp °C	Humidity %	Temp °C	Humidity %	Temp °C	Humidity %
21-03-2019	30.92	65.47	27.21	68.43	24.04	66.21
15-07-2019	29.64	60.97	27.83	61.66	25.41	59.8

ตารางที่ 7 ผลการประเมินหาลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use) ศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ ส่วน พลาซ่า

เครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก	ประเภทพลังงาน	(1) ปริมาณการใช้พลังงาน					(2) ชั่วโมงการใช้งาน					(3) ศักยภาพการปรับปรุง				คะแนน (1) x (2) x (3)	ลำดับความสำคัญ	ระดับความสำคัญ
		น้อยที่สุด (1 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	มากที่สุด (5 คะแนน)	น้อยที่สุด (1 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	มากที่สุด (5 คะแนน)	น้อย (1 คะแนน)	ปานกลาง (2 คะแนน)	มาก (3 คะแนน)	มากที่สุด (4 คะแนน)			
Cooling Tower No.1	ไฟฟ้า					√	√							√		15	5	M
Cooling Tower No.2	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
Cooling Tower No.3	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
Cooling Tower No.4	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
Cooling Tower No.5	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-01	ไฟฟ้า				√				√					√		36	3	H
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-02	ไฟฟ้า		√					√						√		12	5	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-03	ไฟฟ้า		√					√						√		12	5	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-04	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-05	ไฟฟ้า		√						√					√		18	5	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-06	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-07	ไฟฟ้า				√				√					√		36	3	H
Package Water Cool AC05	ไฟฟ้า			√					√						√	36	3	H
Package Water Cool AC06	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC07	ไฟฟ้า				√				√					√		36	3	H
Package Water Cool AC08	ไฟฟ้า	√							√					√		9	6	L
Package Water Cool AC12	ไฟฟ้า	√							√					√		9	6	L
Package Water Cool AC33	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC34	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC35	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC36	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
Package Water Cool AC37	ไฟฟ้า		√						√					√		18	6	L
Package Water Cool AC38	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC43	ไฟฟ้า					√			√					√		45	3	H
Package Water Cool AC44	ไฟฟ้า			√					√			√				9	6	L
Package Water Cool AC45	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
Package Water Cool AC46	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC47	ไฟฟ้า					√			√					√		45	3	H
Flouresent ขนาด 36 Watt	ไฟฟ้า					√			√						√	60	1	H

ตารางที่ 8 ผลการประเมินหาลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use) ศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ ส่วน ไอทีมอลล์

เครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก	ประเภทพลังงาน	(1) ปริมาณการใช้พลังงาน					(2) ชั่วโมงการใช้งาน					(3) ศักยภาพการปรับปรุง				คะแนนรวม (1) x (2) x (3)	ลำดับความสำคัญ	ระดับความสำคัญ
		น้อยที่สุด (1 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	มากที่สุด (5 คะแนน)	น้อยที่สุด (1 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	มากที่สุด (5 คะแนน)	น้อย (1 คะแนน)	ปานกลาง (2 คะแนน)	มาก (3 คะแนน)	มากที่สุด (4 คะแนน)			
Cooling Tower No.1	ไฟฟ้า					√	√							√		15	5	M
Cooling Tower No.2	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
Cooling Tower No.3	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
Cooling Tower No.4	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
Cooling Tower No.5	ไฟฟ้า	√						√						√		6	6	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-01	ไฟฟ้า				√				√					√		36	3	H
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-02	ไฟฟ้า		√					√						√		12	5	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-03	ไฟฟ้า		√					√						√		12	5	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-04	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-05	ไฟฟ้า		√						√					√		18	5	L
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-06	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
ปั๊มน้ำหล่อเย็น COP-07	ไฟฟ้า				√				√					√		36	3	H
Package Water Cool AC05	ไฟฟ้า			√					√						√	36	3	H
Package Water Cool AC06	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC07	ไฟฟ้า				√				√					√		36	3	H
Package Water Cool AC08	ไฟฟ้า	√							√					√		9	6	L
Package Water Cool AC12	ไฟฟ้า	√							√					√		9	6	L
Package Water Cool AC33	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC34	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC35	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC36	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
Package Water Cool AC37	ไฟฟ้า		√						√					√		18	6	L
Package Water Cool AC38	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC43	ไฟฟ้า					√			√					√		45	3	H
Package Water Cool AC44	ไฟฟ้า			√					√			√				9	6	L
Package Water Cool AC45	ไฟฟ้า			√					√					√		27	4	M
Package Water Cool AC46	ไฟฟ้า				√				√						√	48	2	H
Package Water Cool AC47	ไฟฟ้า					√			√					√		45	3	H
Flouresent ขนาด 36 Watt	ไฟฟ้า					√			√						√	60	1	H

4.2 รายละเอียดวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน

4.2.1 มาตรการเปลี่ยนสปริงเกอร์เฮด ที่ Cooling Tower ขนาด 500 TR จำนวน 4 ชุด เป็นการปรับปรุงเพื่อลดอุณหภูมิระบายความร้อนที่ Condenser เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นและลดการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น

ตารางที่ 9 ข้อมูลอุณหภูมิพื้นที่ให้บริการ ก่อน-หลังเปลี่ยนสปริงเคอร์เฮด (Sprinkler Head)

รายการ	อุณหภูมิน้ำที่หอระบายความร้อน		อุณหภูมิอากาศ		ประสิทธิภาพ
			อากาศบริเวณโดยรอบ	กระเปาะเปียก	
	เข้า (°F)	ออก (°F)	°C / %RH	°C	%
CT-01 ก่อน	37.8	32.9	33.5 / 60.1	27.0	45.00%
CT-02 ก่อน	37.8	33.1	33.5 / 59.1	27.2	44.00%
CT-03 ก่อน	37.8	32.3	33.4 / 60.6	27.1	51.00%
CT-04 ก่อน	37.8	33.4	33.1 / 60.8	26.7	40.00%
รวม(เฉลี่ย) (ก่อน)	**37.8**	**32.9**	**33.4 / 60.2**	**27**	**45.00%**
CT-01 หลัง	38.2	32.1	33.1 / 52.3	25.1	46.0%
CT-02 หลัง	39.2	32.4	33.37 / 51.1	26.6	54.0%
CT-03 หลัง	40.2	32.4	34.23 / 52.1	25.4	53.0%
CT-04 หลัง	41.2	32.8	33.70 / 49.9	25.2	53.0%
รวม(เฉลี่ย) (หลัง)	**39.7**	**32.4**	**33.4 / 60.2**	**25.6**	**51.5%**

ตารางที่ 10 ข้อมูลการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ก่อน-หลัง เปลี่ยนสปริงเคอร์เฮด

Date	LOAD				Power Meter		
	CH. No1/1 Loading RLA %	CH. No.2 Loading RLA %	CH. No.3 Loading RLA %	AVG Loading RLA %	Chiller 1/1 (kWh/day)	Chiller 2 (kWh/day)	Chiller 3 (kWh/day)
21-Mar-2019	92.59	94.86	98.24	95.23	2,087	3,115	3,442
15-Jul-2019	84.24	93.07	93.04	90.12	1,956	3,096	3,549

จากการตรวจสอบการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ทั้ง 3 ชุด รวมถึงอุณหภูมิพื้นที่ให้บริการ ใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็น ก่อนปรับปรุง 3,155,060.00 kWh/ปี และใช้พลังงานเครื่องทำน้ำเย็น หลังปรับปรุง 3,139,365.00 kWh/ปี โดยค่าพลังไฟฟ้าลดลง 15,695.00 kWh/ปี เมื่อดำเนินการปรับปรุงติดตั้ง Sprinkler Pipe ระบบ Cooling Tower เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า Condensing Unit ของเครื่องทำน้ำเย็นทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้พลังงานต่ำลง ซึ่งมีการใช้พลังไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5

4.2.2 มาตรการเปลี่ยน Package Water Cooled เครื่องปรับอากาศ เพื่อเพิ่มศักยภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศให้ดีขึ้น และลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศ

เนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานมากกว่า 27 ปี ทำให้เกิดการชำรุดเสียหายบ่อยครั้ง ซึ่งอาจเกิดจากการชำรุดในชุดแลกเปลี่ยนความร้อน Shell and Tube และคอยล์ (coil) เสื่อมสภาพ รวมทั้งคอมเพรสเซอร์ชำรุดจากอายุการใช้งานหลายปี สภาพเช่นนี้ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และส่งผลกระทบต่อการบริการลูกค้าเป็นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อลดการเกิดปัญหาเหล่านี้ ทางทีมผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์และตรวจสอบในเชิงวิศวกรรม โดยดำเนินการดังนี้

ก่อนปรับปรุง อาคารมีเครื่องปรับอากาศ Package Water Cooled เปิดใช้งานอยู่ 16 เครื่องตั้งแต่ขนาด 46TR , 75TR และ 96TR หลังจากทำการวิเคราะห์และตรวจสอบแล้ว ทางทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ Package Water Cooled ที่มีการชำรุดบ่อยครั้ง และมีประสิทธิภาพต่ำ จำนวน 2 ชุด ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายพลังงานและสร้างความเชื่อมั่นให้กับการให้บริการลูกค้า

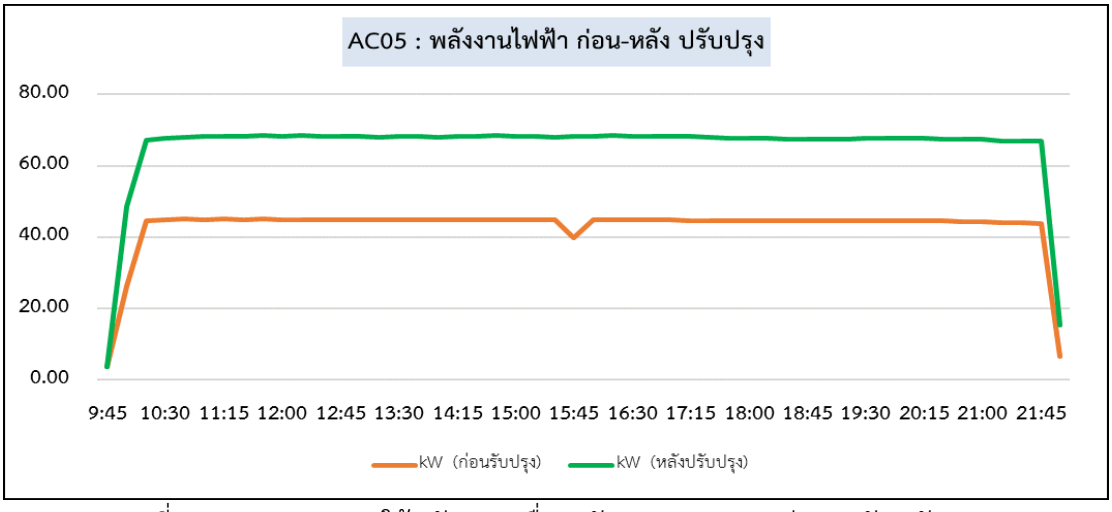
ตารางที่ 11 ข้อมูลเบื้องต้นเครื่องปรับอากาศ (Package Water Cooled)

ยี่ห้อ/รุ่น	**ปี**	**ชนิด**	**ความสามารถทำความเย็น**		**อุณหภูมิใช้งาน (°C)**
			kW	Btu/Hr	
AC 05 Carrier 07 BL 080 900	1992	Package Water Cooled	264.30	901,818	24
AC 06 Carrier 50 BL 080 900	1992	Package Water Cooled	264.30	901,818	24

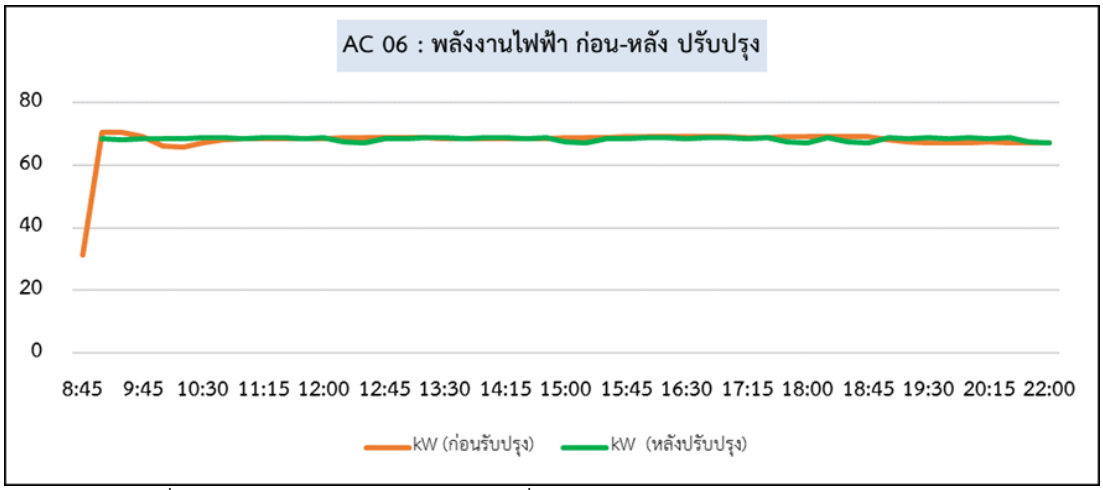
ตารางที่ 12 สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ (Package Water Cooled)

ยี่ห้อ/รุ่น	**ขนาด (TR)**	**จำนวน (ปี)**	**กำลังไฟฟ้าใช้งาน (kW)**	**ภาระใช้งานจริง (Ton)**	**ค่าใช้งาน kW/TR**
AC 05 Carrier 07 BL 080 900	75	27	45.01	12.56	3.58
AC 06 Carrier 07 BL 080 900	75	27	67.73	32.68	2.07

รูปที่ 4 แสดงเครื่องปรับอากาศ Package Water Cooled หลังจากดำเนินการแล้วเสร็จ



รูปที่ 5 แสดงกราฟการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศ AC05 ก่อน-หลัง ปรับปรุง



รูปที่ 6 แสดงกราฟการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศ AC06 ก่อน-หลัง ปรับปรุง

ตารางที่ 13 สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ หลังปรับปรุง (Package Water Cooled)

ยี่ห้อ/รุ่น	ขนาด (TR)	อายุใช้งาน (ปี)	กำลังไฟฟ้าใช้งาน (kW)	ภาระใช้งานจริง (Ton)	ค่าใช้งาน kW/TR
AC 05 Carrier 07 BL 080 900	75	27	67.30	91.71	0.73
AC 06 Carrier 07 BL 080 900	75	27	68.54	61.81	1.11

4.2.3 มาตรการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-36W จำนวน 658 หลอด และ T8-18W จำนวน 91 หลอด เป็นหลอด LED 16W จำนวนทั้งหมด 658 หลอด และหลอด LED 9W จำนวนทั้งหมด 91 หลอด เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างส่วนพลาซ่า และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8-36 W จำนวน 482 หลอด เป็นหลอด LED 16W และ T8-18 W จำนวน 24 หลอด เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างส่วนไอทีมอลล์ก่อนปรับปรุง ปัจจุบันทางอาคารศูนย์การค้าฟอร์จูนทาวน์ ส่วนพลาซ่า มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ต้องการปรับปรุงคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-36W จำนวน 658 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-18W จำนวน 91 หลอด รวมทั้งหมด 749 หลอด และ ส่วนไอทีมอลล์ มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ต้องการปรับปรุงคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-36W จำนวน 482 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-18W จำนวน 24 หลอด รวมทั้งหมด 506 หลอด ที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงทำให้หลอดเสียเร็วเนื่องจากอายุการใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 อยู่ที่มีประมาณ 20,000-30,000 ชั่วโมงและยังสิ้นเปลืองพลังงานสูง จึงได้มีแนวคิดการเปลี่ยนมาเป็นหลอด LED-16W และ LED-9W ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าและอายุการใช้งานมากกว่าถึง 50,000 ชั่วโมง

ตารางที่ 14 รายการหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8-36 W และ T8-18 W ทางเดินส่วนกลางชั้นที่ 1-4 และลานจอดรถชั้น 7-9 ส่วนพลาซ่า

จำนวนโคมไฟสะท้อนแสง T8				
ชั้น	พื้นที่	บริเวณ	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอด
2	PLAZA	ทางเดินส่วนกลาง	T8-18W	24
3	PLAZA	ทางเดินส่วนกลาง	T8-18W	18
4	PLAZA	ทางเดินส่วนกลาง	T8-18W	33
8	ลานจอดรถ	โซน A	T8-18W	5
9	ลานจอดรถ	โซน A	T8-18W	11
รวมหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-18W				91
2	PLAZA	ทางเดินส่วนกลาง	T8-36W	208
3	PLAZA	ทางเดินส่วนกลาง	T8-36W	151

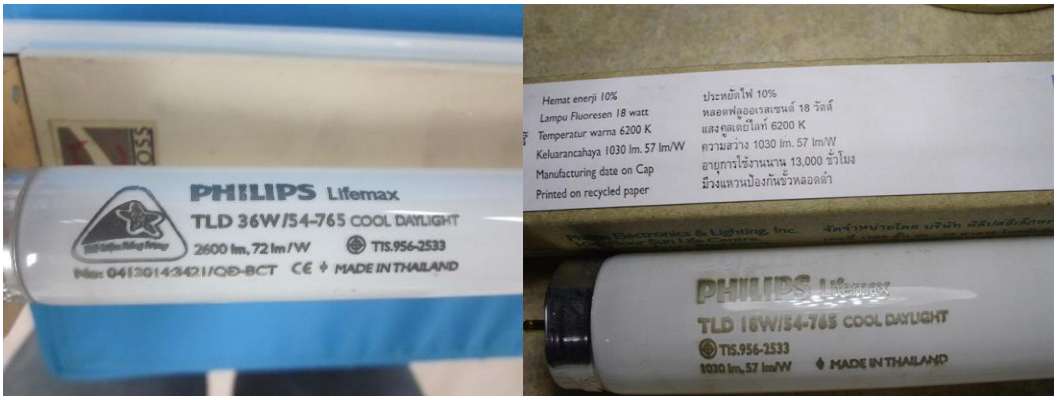
4	PLAZA	ทางเดินส่วนกลาง	T8-36W	121
7	ลานจอดรถ	โซน A	T8-36W	45
8	ลานจอดรถ	โซน A	T8-36W	52
9	ลานจอดรถ	โซน A	T8-36W	81
รวมหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-36W				658

ตารางที่ 15 รายการหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8-36 W และ T8-18 W ทางเดินส่วนกลางชั้น G และชั้นที่ 2 ส่วนไอทีมอลล์

จำนวนโคมไฟสะท้อนแสง T8				
ชั้น	พื้นที่	บริเวณ	ชนิดหลอดไฟ	จำนวนหลอด
G	IT-MALL	ทางเดินส่วนกลาง	T8-18W	15
2	IT-MALL	ทางเดินส่วนกลาง	T8-18W	9
รวมหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-18W				24
G	IT-MALL	ทางเดินส่วนกลาง	T8-36W	361
2	IT-MALL	ทางเดินส่วนกลาง	T8-36W	121
รวมหลอดฟลูออเรสเซนต์ T8-36W				482

ตารางที่ 16 ข้อมูลเบื้องต้นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8-36 W และ T8-18 W

ชนิดหลอด	**ยี่ห้อ**	**รุ่น**	**กำลังไฟฟ้า (W)**	**อุณหภูมิสี (K)**	**ค่าความสว่าง (lm)**	**ประสิทธิภาพความสว่าง (lm/W)**	**อายุการใช้งาน (hr.)**
T8	Philips	TLD 36W/54-765	36	6500 K	2600	72	20,000
T8	Philips	TLD 18W/54-765	18	6200 K	1030	57	13,000



รูปที่ 7 ฟลูออเรสเซนต์ T8-36 W และ T8-18 W ก่อนปรับปรุง

หลังปรับปรุง ได้ติดตั้งหลอดไฟ LED ขนาด 16W แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36W จำนวน 658 หลอด และ LED ขนาด 9W แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 18W จำนวน 91 หลอด ในส่วนพลาซ่า และ ติดตั้งหลอดไฟ LED ขนาด 16W แทนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 36W จำนวน 482 หลอด และ LED 9W หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ T8 ขนาด 18W จำนวน 24 หลอด ส่วนไอทีมอลล์ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ โดยรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 17 ข้อมูลเบื้องต้นหลอดไฟ LED

ชนิดหลอด	ยี่ห้อ	รุ่น	กำลังไฟฟ้า (W)	อุณหภูมิสี (K)	ค่าความสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพความสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งาน (hr.)
LED	L&E	LED-T8-16W/OT/DE	16	6500	2100	131	50,000
LED	L&E	LIBS/1S/OT-XXLED-T8	9	6500	1050	117	50,000

รูปที่ 8 หลอด LED T8-16 W และ T8-9 W หลังปรับปรุง

5. สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ผลการศึกษาได้ดำเนินการศึกษามาตรการพลังงานในอาคารตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) ปีพ.ศ. 2550 และกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในอาคารประเภทศูนย์การค้าทำให้มาตรการที่ศึกษาดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงานทั้งส่วนพลาซ่า และส่วนไอทีมอลล์ รวม 361,851.65 หน่วย หรือ 1.51 %

5.1.2 ผลการวิเคราะห์การประหยัดพลังงานตาม โดยสามารถนำมาสรุปการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละมาตรการ พบว่าผลการการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์และคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ในการลงทุนสำหรับการติดตั้ง Sprinkler Pipe ที่ Cooling Tower ขนาด 500 TR จำนวน 4 ชุด รวมค่าติดตั้งประมาณ 1,87,785.00 บาท อายุการใช้งาน 3 ปี Interest Rate (Discount) 0% สามารถลดการใช้

พลังงานไฟฟ้าได้ 15,695.00 kWh/ปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 187,785.00 บาท/ปี โดยค่า NPV ที่ได้รับจากมาตรการประหยัดพลังงาน 130,325.80 บาท IRR 86.00 % คืนทุน 2.95 ปี และการลงทุนสำหรับการเปลี่ยนเครื่อง Package Water Cooled ชุดใหม่ ไม่สามารถคืนทุนและประหยัดได้ เนื่องจากค่าการใช้พลังงานนั้นเครื่องจักรใหม่มีการใช้พลังงานสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องเดิม แต่ทั้งนี้กลับมีประสิทธิภาพสมรรถนะดีขึ้น มีความสามารถในการทำความเย็นสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเครื่องเก่าเดิมที่มีสภาพอายุการใช้งานที่มากกว่า 25 ปี และมีอาการเสีย-ชำรุดบ่อยครั้ง ส่งผลให้เครื่องมีประสิทธิภาพที่ต่ำ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการให้บริการลูกค้า หากมองในแง่ผลประหยัดแล้วไม่สามารถประหยัดไฟลงได้ แต่หากมองในความคุ้มค่าในการใช้งานและการบริการถือว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนการลงทุนสำหรับมาตรการเปลี่ยนหลอด ฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง ส่วนพลาซ่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 100,552.54 kWh/ปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 407,237.77 บาท/ปี ค่า NPV ที่ได้รับจากมาตรการประหยัดพลังงาน 1,584,424.86 บาท IRR 86.10 % คืนทุน 1.11 ปี ในการลงทุนสำหรับมาตรการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง ส่วนไอทีมอลล์ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 70,293.74 kWh/ปี หรือประหยัดค่าไฟฟ้า 284,689.66 บาท/ปี จากตารางที่ 4-13 ค่า NPV ที่ได้รับจากมาตรการประหยัดพลังงาน 1,170,212.30 บาท IRR 109.64 % คืนทุน 0.89 ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรกำหนดขอบข่ายและขอบเขตให้ครอบคลุมระบบที่มีการใช้พลังงาน และกำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับกิจกรรมที่แท้จริงขององค์กร

5.2.2 การจัดการด้านพลังงานไม่ควรเน้นด้านเทคนิคจนเกินไป ควรจัดทำระบบการจัดการให้มีการบริหารอย่างมีประสิทธิภาพจะมีความต่อเนื่อง

5.2.3 ควรใช้ระบบการจัดการพลังงานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) ปีพ.ศ. 2550 เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการจัดทำระบบการจัดการพลังงานจะช่วยให้ดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความต่อเนื่องและยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วิชาญ วิมานจันทร์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ให้ความอนุเคราะห์พิจารณา และให้คำแนะนำ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้บริหาร ผู้จัดการ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในอาคารศูนย์การค้า ฟอร์จูนทาวน์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่และเครื่องมือสำหรับการวิจัย

7. บรรณานุกรม

ชัยอนุชิด หาสูงเนิน. (2550). **เทคนิคการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. (2555). **คู่มือการพัฒนาต่อยอดการดำเนินการจัดการพลังงานตามกฎหมายประเทศไทยไปสู่ระบบการจัดการพลังงานในระดับสากล (ISO 50001). กรุงเทพมหานคร** : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

Chen, L., Xu, Q., Yang, Y. และ Song, J. (2021) **การจัดการพลังงานที่เหมาะสมที่สุดของอาคารอัจฉริยะเพื่อการโกนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากมาตรการความยืดหยุ่นหลายด้านพลังงานพลังงานและอาคาร** ฉบับที่. 241, pp. 110932.

Gasser, J., Cai, H., Karagiannopoulos, S., Heer, P. และ Hug, G. (2021) **การจัดการพลังงานเชิงคาดการณ์ของอาคารที่พักอาศัยพร้อมความยืดหยุ่นในการรายงานด้วยตนเอง พลังงานประยุกต์**, ฉบับที่. 288, หน้า 116653.

Jia, C., Ding, H., Zhang, C. และ Zhang, X. (2021) **การออกแบบแผนการจัดการคีย์แบบไดนามิกสำหรับระบบการจัดการพลังงานในอาคารอัจฉริยะโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและเทคโนโลยีบล็อกเชน วารสารวิศวกรรมอเล็กซานเดรีย** ฉบับที่. 60(1), น. 337-346.

Mariano-Hernández, D., Hernández-Callejo, L., Zorita-Lamadrid, A., Duque-Pérez, O. และ Santos García, F. (2021) **การทบทวนกลยุทธ์สำหรับระบบการจัดการพลังงานในอาคาร: แบบจำลองการควบคุมเชิงคาดการณ์ การจัดการด้านอุปสงค์ การปรับให้เหมาะสม และการตรวจจับและวินิจฉัยข้อผิดพลาด** วารสารวิศวกรรมอาคาร ฉบับที่. 33 หน้า 101692

Mason, K. และ Grijalva, S. (2019) **การทบทวนการเรียนรู้การเสริมแรงสำหรับการจัดการพลังงานในอาคารอิสระ คอมพิวเตอร์และวิศวกรรมไฟฟ้า** เล่ม 1 78 น. 300-312.

T, K., S, C. R., J, J. D. N., and K, C. (2021). **Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building.** ***Sustainable Energy, Grids and Networks,*** Vol. *26*, pp. 100454.

Vand, B., Ruusu, R., Hasan, A. และ Manrique Delgado, B. (2021) **การจัดการที่เหมาะสมของการแบ่งปันพลังงานในชุมชนอาคารโดยใช้แบบจำลองการควบคุมเชิงคาดการณ์ การแปลงและการจัดการพลังงาน** ฉบับที่. 239, pp.114178..