

# ดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานของระบบทำน้ำเย็นในอาคาร กองสลากกินแบ่งรัฐบาล

สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ<sup>1,2</sup> จุฑากร โปธิศรางกุล<sup>2</sup> ธรรมธัช สระทองจันทร์<sup>2</sup>  
ธัชชัย ลายทอง<sup>2</sup> วันชลี เพ็งพงศา<sup>3</sup> และ วีระ ศรีอริยะกุล<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก (CTAE), วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการพลังงาน, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: weera.s@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 27 ตุลาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 26 มกราคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 19 กุมภาพันธ์ 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 23 เมษายน 2567

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของกองสลากกินแบ่งรัฐบาลโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม เพื่อให้หาดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับองค์กร ระดับระบบทำน้ำเย็น และระดับอุปกรณ์ จากผลงานวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระดับองค์กร คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น และค่า Cooling Degree Days (CDD) สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระดับระบบทำความเย็น คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น และระยะเวลาการเปิดเครื่องส่งลมเย็น ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระดับอุปกรณ์ คือ ค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น จากนั้น นำดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานระดับองค์กร และระดับระบบทำน้ำเย็น มาคาดการณ์การใช้พลังงานของปี พ.ศ. 2563 พบว่า การใช้พลังงานในระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็นลดลงร้อยละ 7.34 และ 8.59 ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง ( $R^2$ ) มากกว่า 0.75 จึงสามารถนำดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานในระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็นไปใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต

**คำสำคัญ:** เส้นฐานพลังงาน; ดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงาน; อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ

# Energy Performance Indicator of the Chiller Water System in the Government Lottery Office

Sumol Sae-heng Pisitsungkakarn<sup>1,2</sup>, Jutakorn Potisarangkul<sup>2</sup>, Tammatuch Srathongchan<sup>2</sup>, Thatchai Laythong<sup>2</sup>, Wanchalee Pengpongsa<sup>3</sup> and Weera Sriariyakul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Research Centre for Combustion Technology and Alternative Energy (CTAE),  
College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

<sup>2</sup> Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology,  
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

<sup>3</sup> Manufacturing Engineering and Energy Management, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

\* Corresponding author, E-mail: weera.s@cit.kmutnb.ac.th

Received: 27 October 2023; Revised: 26 January 2024; Accepted: 19 February 2024

Online Published: 23 April 2024

**Abstract:** This research is to study on the energy consumption of the Government Lottery Office (GLO) which is applied by statistical tools such as linear regression analysis, multiple linear regression analysis and cumulative sum control chart (CUSUM control chart). The statistical tools could find energy performance indicators (EnPI) in 3 parts as organization, chilled water system and equipment. The experiments showed that working time of chiller and cooling degree days (CDD) were factors which effected to energy consumption in organization part. The factor of energy consumption of chiller system part was working time of chiller and opening period time of air handling unit (AHU). The coefficient of performance (COP) of chiller was an effected factor of energy consumption of equipment part. EnPI of organization and chilled water system parts were forecasted in term of energy consumption in 2020. The results found that energy consumption of the parts decreased by 7.34% and 8.59%, respectively. A correlation coefficient squared ( $R^2$ ) was more than 0.75 that was appropriately used the EnPI of organization and chilled water system parts for predicted energy consumption in the future.

**Keywords:** Energy Baseline; Energy Performance Indicator; Significant Energy Use equipment



## 1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนสิ่งต่าง ๆ ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มประเทศที่เจริญแล้ว กลุ่มประเทศกำลังพัฒนา และกลุ่มประเทศด้อยพัฒนา ต่างก็มีความต้องการในการใช้พลังงานซึ่งในด้านสาธารณูปโภคหรือการลงทุนในด้านธุรกิจและอุตสาหกรรมภายในประเทศเพื่อให้สถานะเศรษฐกิจภายในประเทศขยายตัวขึ้น [1] และพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานหลักในระบบเศรษฐกิจนั้นจะถูกผลิตจากการเผาไหม้เช่นก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหินซึ่งล้วนแต่เป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป ยิ่งผ่านไปนานเท่าไรยิ่งลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งในการนำเข้ามาพลังงานสุทธิเพิ่มขึ้นเกือบทุกประเภทโดยการนำเข้าของน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นสุทธิร้อยละ 5.7 ในปี พ.ศ. 2564 [2] ขณะที่มนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นทุกวัน แต่พลังงานนั้นมีอยู่อย่างจำกัด นั่นจึงเป็นเหตุผลให้ มีการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการจัดการการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและให้เกิดประโยชน์สูงสุด [3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมซึ่งมีการใช้พลังงานอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในภาคครัวเรือน ยกตัวอย่างโรงงานผลิตเครื่องเสียงติตรกยนต์แห่งหนึ่งที่ไม่ม่มาตรการการอนุรักษ์พลังงานและการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะมีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 112.68 [4] ถ้าปริมาณการใช้พลังงานในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยไม่คำนึงถึงความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน อาจส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง เป็นสาเหตุของการขาดแคลนพลังงานเนื่องจาก พลังงานไฟฟ้าถูกใช้เพื่อตอบสนอง

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะในสาขาอุตสาหกรรมมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าถึงร้อยละ 42-46 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ [5] และหากในอนาคตอันใกล้มีแหล่งพลังงานไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อ ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมและอาคารสำนักงานหากมีการขยายการให้บริการให้ใหญ่ขึ้นกว่าเดิมตามการเจริญเติบโตของธุรกิจหรือการเพิ่มการบริการ โดยไม่ได้มีการวางแผนการจัดการพลังงานให้เหมาะสมต่อการใช้พลังงานภายในองค์กร อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการใช้พลังงานไปอย่างสิ้นเปลืองใน ส่วนของอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Use; SEU) และไม่ได้มีการวิเคราะห์หาค่าพลังงานจำเพาะต่อหนึ่งหน่วยผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) ส่งผลให้มิตันทุนในการผลิตที่สูง เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานลงนั้น จึงต้องมีการจัดทำ การจัดการพลังงานขึ้น โดยเริ่มต้นจากการติดตามการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมา ศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานและการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานหรือไม่ จากนั้นจึงนำข้อมูลในอดีตมาสร้างสมการเส้นฐานพลังงาน เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในปีถัดไป จากนั้นหาค่าความแตกต่างของปริมาณพลังงานที่ใช้จริงกับปริมาณพลังงานที่คาดการณ์ไว้และสร้างแผนภูมิค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (Cumulative Sum of Different; CUSUM) เพื่อ ดูแนวโน้มการใช้พลังงานว่ามีการประหยัดหรือสิ้นเปลืองกว่าที่คาดการณ์ไว้ ค่าผลรวมสะสมของความแตกต่างที่เป็นค่าลบแสดงให้เห็นถึงการ ใช้พลังงานต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้าถือว่ามี การ



ประหยัดพลังงาน ในอีกด้านหนึ่งค่าผลรวมสะสมของความแตกต่างมีค่าเป็นบวกก็จะแสดงผลว่ามีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ [6] จากนั้นสามารถวางแผนมาตรการการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานลงได้และสามารถใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมในการติดตามผลการอนุรักษ์พลังงานได้ [7]

จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของกองสลากกินแบ่งรัฐบาลโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของกองสลากกินแบ่งรัฐบาล โดยการนำข้อมูลการใช้พลังงานปี 2562 (ปีฐาน) ของอาคารกองสลากกินแบ่งรัฐบาล โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานและเส้นฐานพลังงาน (Energy Baseline; EnB) ของกองสลากกินแบ่งรัฐบาลในระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็น ด้วยเครื่องมือทางสถิติสำหรับการใช้พลังงานได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) แผนภูมิค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (Cumulative Sum of Different; CUSUM) พร้อมทั้งหาค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงาน (Energy Performance Indicator; EnPI) ของระดับองค์กร ระดับระบบทำน้ำเย็น และระดับอุปกรณ์ นำไปสู่การจัดการพลังงานขององค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ตามมาตรฐานสากล Energy Management System ISO5001: 2018 [8] นอกจากนี้ยังช่วยให้องค์กรลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจก

## 2. อุปกรณ์ เครื่องมือวัดและวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้ใช้อาคารกองสลากกินแบ่งรัฐบาลมีพื้นที่ในการทำความเย็น 33,466.28 ตารางเมตร จำนวนพนักงานประจำ 760 คน จากตารางที่ 1 พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าประจำปี พ.ศ. 2562 การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 5,249,000.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี โดยคิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าตามระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบทำน้ำเย็น ร้อยละ 68.75 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนร้อยละ 2.00 ระบบแสงสว่างร้อยละ 15.62 ระบบอุปกรณ์สำนักงานร้อยละ 10.49 และระบบอื่นๆ ร้อยละ 3.14 ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาระบบทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของอาคารกองสลากกินแบ่งรัฐบาล สอดคล้องกับงานวิจัย [9] มาใช้ในการหาค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานของระดับระบบ และทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของระบบทำน้ำเย็น

### ตารางที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าตามระบบ

ระบบ	การใช้พลังงานไฟฟ้า	
	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี	ร้อยละ
ทำน้ำเย็น	3,608,656.81	68.75%
ปรับอากาศแบบแยกส่วน	104,782.90	2.00%
แสงสว่าง	819,962.95	15.62%
อุปกรณ์สำนักงาน	550,714.46	10.49%
อื่นๆ	164,882.87	3.14%
<b>รวม</b>	<b>5,249,000.00</b>	<b>100.00%</b>



## 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

(1) เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Chauvin Arnoux, CA 8332, Paris, France) ใช้ในการวัดการใช้กระแส, แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ โดยมีค่าความแม่นยำ  $\pm 1\%$  ดังแสดงในรูปที่ 1

(2) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (Imari, CLM – 700, Japan) ชนิดแบบพกพา โดยมีค่าความแม่นยำ  $\pm 1\%$  ใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นภายในห้องน้ำเย็น เพื่อวิเคราะห์หาค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Chiller Performance: CHP) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

(3) เครื่องทำน้ำเย็นของอาคารกองสลากกินแบ่งรัฐบาลได้ทำการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็น 2 ขนาด ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็นยี่ห้อ Carrier ขนาด 550 ตัน รุ่น 19XR6060436LBH52 จำนวน 3 เครื่อง และ เครื่องทำน้ำเย็นยี่ห้อ Carrier ขนาด 250 ตัน รุ่น 30XW1002P จำนวน 2 เครื่อง ชนิด Compressor แบบ Centrifugal ระบายความร้อนด้วยน้ำ AHU จำนวน 52 เครื่อง ขนาดพิกัดรวม 296.50 kW

## 2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล

การหาเส้นฐานพลังงาน(Energy Baseline; EnB) ของอาคารกองสลากกินแบ่งรัฐบาลระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็น โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนของปี 2562 (ปีฐาน) เพื่อหาความสัมพันธ์กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานได้แก่ จำนวนพนักงาน (คน) พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร) ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชั่วโมง) โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้ออกมาในรูปแบบสมการที่ (1)

$$y = mx + c \quad (1)$$

โดยที่  $y$  คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)

$x$  คือ ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

$m$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ

$c$  คือ ค่าคงที่

สมการเส้นตรงที่ได้จากการหาเส้นฐานพลังงานของปี 2562 มาคำนวณหาค่าคาดการณ์การใช้พลังงานปี 2563 ของระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็น พร้อมทั้งหาค่าผลต่าง (Diff) ร้อยละความคลาดเคลื่อน



(%Error) ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับพลังงานที่คาดการณ์และค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (CUSUM) ของแต่ละเดือน โดยความแม่นยำของค่าคาดการณ์ด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) ซึ่งจะแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ( $x$ ) ที่มีต่อตัวแปรตาม ( $y$ ) โดยค่าที่ยอมรับได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) มากกว่า 0.75 ดังแสดงในตารางที่ 2 [4, 10]

การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2562 ในแต่ละเดือนและปัจจัยที่ทางผู้วิจัยได้สันนิษฐานว่าเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็น ได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมกับห้องปรับอากาศ (Cooling Degree Days; CDD) ระยะเวลาการทำงานล่วงเวลา ระยะเวลาการเปิดห้องประชุมเพิ่มเติม โดยสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) นี้จะแสดงออกในรูปแบบสมการที่ (2)

$$y = m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots + m_nx_n + c \quad (2)$$

โดยที่  $y$  คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)

$m_n$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปร

อิสระแต่ละตัว

$x_n$  คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้

$n$  คือ จำนวนของตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

$c$  คือ ค่าคงที่

**ตารางที่ 2** เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ยกกำลังสอง

ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ยกกำลังสอง	อิทธิพลของตัวแปรต้นต่อตัวแปรตาม
0.00 – 0.30	ไม่มีความสัมพันธ์
0.31 – 0.50	มีความสัมพันธ์น้อย
0.51 – 0.74	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
0.75 – 1.00	มีความสัมพันธ์มาก

สมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ของปี 2562 มาคำนวณหาค่าคาดการณ์การใช้พลังงานปี 2563 ของระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็น พร้อมทั้งหาค่าผลต่าง (Diff) ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับพลังงานที่คาดการณ์ได้และค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (CUSUM) ของแต่ละเดือน การคำนวณร้อยละผลประหยัด (%Saving) จากผลต่างสะสมเทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไ้รจ่ายปีของระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็นจากสมการที่ (3) [7]

$$\%Saving = \frac{C_y}{E_y} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ %Saving คือ ร้อยละผลประหยัด

$C_y$  คือ ผลต่างสะสมรายปี (kWh)

$E_y$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไ้รจ่ายปี (kWh)

สำรวจตำแหน่งและจำนวนของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ภายในอาคารสำนักงานกองสลากกินแบ่งรัฐบาล โดยการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ของสำนักงานเพื่อขอเข้าไปเก็บข้อมูลและวางแผนในการดำเนินงานและสำรวจพื้นที่ ที่มีการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)



ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำภายในท่อน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3

คำนวณหาต้นความเย็นที่ทำได้ (TR) จากสมการที่ (4) ดังต่อไปนี้ [11]

$$TR = \frac{\dot{m} \times (T_{CHR} - T_{CHS})}{24} \quad (4)$$

โดยที่  $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลของน้ำเย็นภายในท่อ (GPM)

$T_{CHR}$  คือ อุณหภูมิน้ำเย็นฝั่งน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (F)

$T_{CHS}$  คือ อุณหภูมิน้ำเย็นฝั่งน้ำออกเครื่องทำน้ำเย็น (F)

คำนวณหาสมรรถนะการทำความเย็น (CHP) ของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ได้จากสมการที่ (5) ดังต่อไปนี้ เป็นการตรวจวัดแบบ Non-standard Part Load Value (NPLV) และภาระโหลดในแต่ละช่วงเวลาได้แก่ร้อยละ 100, 75, 50 และ 25 ตามลำดับ [11, 12]

$$CHP = \frac{P}{TR} \quad (5)$$

โดยที่ CHP คือ สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)

TR คือ ต้นความเย็นที่ทำได้ (TR)

ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) ในระดับองค์กรโดยนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานซึ่งจะเป็นในรูปแบบของสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ (Input) และจำนวนพนักงาน (Output) ในช่วงเวลาเดียวกันจากสมการที่ (6) [13]



รูปที่ 3 การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นภายในท่อของระบบทำน้ำเย็น

การวิเคราะห์หาค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานของระดับองค์กร ระดับระดับระบบทำน้ำเย็น และระดับอุปกรณ์ โดยใช้ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicators; EnPI) องค์กรต้องซึ่งดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานให้เหมาะสม เพื่อเฝ้าติดตามและตรวจวัดสมรรถนะด้านพลังงาน ซึ่งวิธีการในการกำหนดและการปรับปรุงให้ทันสมัยของดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานจะต้องถูกบันทึกและทบทวนอย่างสม่ำเสมอ [13]

$$SEC = \frac{\text{การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)}}{\text{จำนวนพนักงาน (คน)}} \quad (6)$$

โดยที่ SEC คือ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ โดยการ ใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับจำนวนพนักงาน (kWh/คน)



### 3. ผลการดำเนินงาน

#### 3.1 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานของระดับองค์กร

รวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2562 ในแต่ละเดือนและตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน และจัดทำเป็นเส้นฐานพลังงานของระดับองค์กรโดยตัวแปรที่เลือกใช้คือจำนวนพนักงานที่ทำงานในแต่ละเดือนของปี 2562

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมระดับองค์กรปี 2562 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) จะได้เส้นฐานพลังงานจากสมการที่ (7)

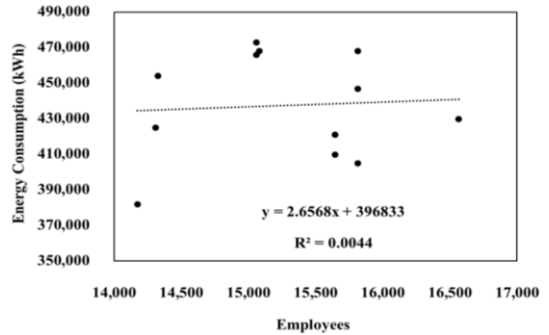
$$Y = 2.6568X + 396833 \quad (7)$$

โดยที่ Y คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อเดือน (kWh)

X คือ จำนวนพนักงาน (คน)

จากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.0044 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.75 แสดงให้เห็นว่าจำนวนพนักงาน ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เป็นดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) ในระดับองค์กร ดังสมการที่ (6) และสมการที่ (7) ในการทำนายการใช้พลังงานในระดับองค์กรได้

ดังนั้น การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในระดับองค์กรปี 2562 ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยการเพิ่มตัวแปรอิสระ ซึ่งทางผู้ทําวิจัยได้สันนิษฐานว่าเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น ค่า Cooling Degree Days



รูปที่ 4 การกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อจำนวนพนักงานในระดับองค์กรปี 2562

(CDD), ระยะเวลาการทำงานล่วงเวลา, ระยะเวลาการเปิดห้องประชุม และระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel พบว่าตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระดับองค์กร คือ ค่า CDD และระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ของระดับองค์กร

Model	Unstandardized		T Stat	P-value
	Coefficients			
	B	Std. Error		
(Constant)	193530.83	38279.30	5.055	0.0007
X <sub>1</sub> : ระยะเวลาการทำงาน ของเครื่อง ทำน้ำเย็น (ชม.)	245.57	48.85	5.027	0.0007
X <sub>2</sub> : CDD (°C)	354.66	132.04	2.686	0.025





โดยแสดงค่า B, Std. Error, t-Stat, P-value ซึ่งค่าต่าง ๆ มีความหมายดังต่อไปนี้ [4]

B คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัวพร้อมทั้งค่าคงที่ เพื่อนำมาใช้ในการสร้างสมการค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดการณ์

Std. Error คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

t-Stat และ P-value เป็นค่าสถิติที่และค่านัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของการทดสอบที่ (t-test) สำหรับทดสอบว่าตัวแปรอิสระตัวใด ควรนำไปใช้ในสมการค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดการณ์ได้บ้าง โดยค่า P-value มีค่าน้อยหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญที่กำหนด) แสดงว่าสามารถนำไปใช้ในสมการค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดการณ์ได้ ในงานวิจัยนี้กำหนดระดับนัยสำคัญ (Level of Significant) ไว้ที่ 0.05 (P-value < 0.05) ซึ่งหมายถึงยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อน 5 % หรือมีระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) 95 % [4]

สมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ของระดับองค์กรได้ดังนี้

$$Y = 245.57X_1 + 354.66X_2 + 193530.83 \quad (8)$$

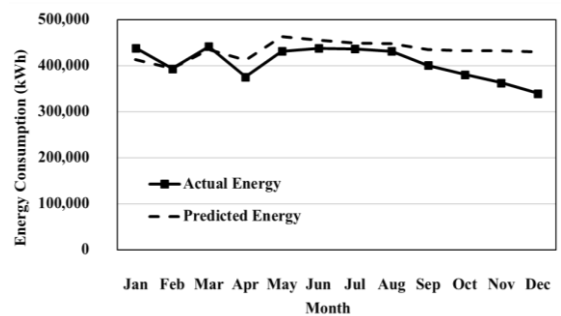
โดยที่  $X_1$  คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.)

$X_2$  คือ ค่า CDD (°C) [12]

เมื่อนำสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression)  $Y = 245.57X_1 + 354.66X_2 + 193530.83$  ดังสมการที่ (8) ของระดับองค์กร โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.8715 ซึ่งมากกว่าค่าที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.75 และมากกว่าสมการที่ (7) ซึ่งเป็นสมการถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) ดังนั้น

เมื่อนำสมการที่ (8) มาใช้ในการทำนายค่าคาดการณ์การใช้พลังงานของระดับองค์กรของปี 2563 โดยแทนค่า  $X_1$  คือระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.) และ  $X_2$  คือ ค่า CDD (°C) ของปี 2563 พบว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง (Actual Energy) น้อยกว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าคาดการณ์ (Predicted Energy) ร้อยละ 7.34 แสดงให้เห็นว่ากองสลากกินแบ่งรัฐบาลมีการอนุรักษ์พลังงานในระดับองค์กร ดังแสดงในรูปที่ 5

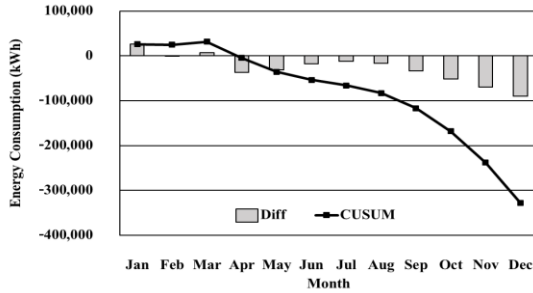
สำหรับค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (CUSUM) ในระดับองค์กร คำนวณจากผลรวมของค่าผลต่าง (Diff) ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าในช่วง ม.ค.-มี.ค. มีค่าความชันของผลรวมสะสมของความแตกต่างเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าค่าฐานอ้างอิง และตั้งแต่เดือน เม.ย. เป็นต้นไป พบว่าค่าความชันของผลรวมสะสมของความแตกต่างเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าฐานอ้างอิง เนื่องจากทางกองสลากกินแบ่งรัฐบาลได้มีนโยบายลดการใช้พลังงานโดยกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานภายในองค์กร



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดการณ์ในระดับองค์กร



## บทความวิจัย



รูปที่ 6 แสดงแผนภาพปริมาณของผลต่าง (Diff) และผลต่างสะสม (CUSUM) ในระดับองค์กร

### 3.2 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานของระดับระบบทำน้ำเย็น

การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในระดับระบบทำน้ำเย็น ปี 2562 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) จะได้เส้นฐานพลังงานจากสมการที่ (9)

$$Y = 243.55X - 60533 \quad (9)$$

โดยที่ Y คือ พลังงานไฟฟ้าในระดับระบบทำน้ำเย็นที่ใช้ต่อเดือน (kWh)

X คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับระบบทำน้ำเย็นปี 2562 ด้วยวิธีการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression) จะได้ดังสมการที่ (9) โดยที่มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.5749 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่ 0.75 ดังนั้นจึงใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยการเพิ่มตัวแปรอิสระที่ทางผู้ทำวิจัยได้สันนิษฐานว่าเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

เช่น ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ระยะเวลาการเปิดห้องประชุมเพิ่มเติม และระยะเวลาการเปิดเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit; AHU) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel พบว่าตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระดับระบบทำน้ำเย็นคือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น และระยะเวลาการเปิด AHU โดยจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของสมการการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ของระบบทำน้ำเย็น

Model	Unstandardized Coefficients		t-Stat	P-value
	B	Std. Error		
ค่าคงที่ (Constant)	-16674.135	45308.356	-0.368	0.0072
X <sub>1</sub> : ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.)	-143.144	47.327	-3.025	0.0144
X <sub>2</sub> : ระยะเวลาการเปิด AHU (ชม.)	278.695	50.519	5.517	0.0004

สมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ในระดับระบบทำน้ำเย็นได้ดังสมการที่ (10)

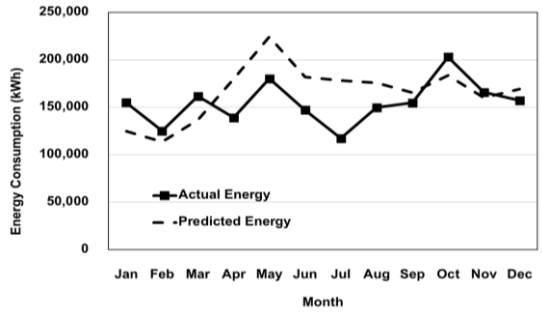
$$Y = -143.144X_1 + 278.695X_2 - 16674.135 \quad (10)$$

โดยที่ X<sub>1</sub> คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.)

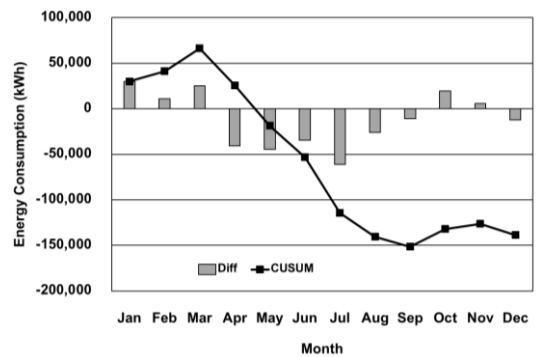
X<sub>2</sub> คือ ระยะเวลาการเปิด AHU (ชม.)



เมื่อนำสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ในระดับระบบทำน้ำเย็น  $Y = -143.144X_1 + 278.695X_2 - 16674.135$  ดังสมการที่ (10) โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.7892 ซึ่งมากกว่าค่าที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.75 ส่งผลให้สามารถใช้สมการที่ (10) มาคำนวณหาค่าคาดการณ์การใช้พลังงานของระดับระบบทำน้ำเย็นปี 2563 โดยแทนค่า  $X_1$  คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.) และ  $X_2$  คือ ระยะเวลาการเปิด AHU (ชม.) ด้วยข้อมูลของปี 2563 พบว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง (Actual Energy) น้อยกว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าคาดการณ์ (Predicted Energy) ร้อยละ 8.59 แสดงให้เห็นว่ากองสลากกินแบ่งรัฐบาลมีมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 7 และเมื่อคำนวณค่าผลต่าง (Diff) และค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (CUSUM) ในระดับระบบทำน้ำเย็นของปี 2563 ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าในช่วง ม.ค.-มี.ค. มีความชันของค่าผลรวมสะสมของความแตกต่างเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นต่ำกว่าค่าฐานอ้างอิง และตั้งแต่เดือน เม.ย. เป็นต้นไป พบว่าความชันของค่าผลรวมสะสมของความแตกต่างเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าฐานอ้างอิง เนื่องจากกองสลากกินแบ่งรัฐบาลมีมาตรการลดระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำความเย็น (Chiller) เมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวและมาตรการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 250 ตัน แทนเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 550 ตัน ในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดการณ์ในระดับระบบทำน้ำเย็น



รูปที่ 8 ปริมาณของผลต่าง (Diff) และผลต่างสะสม (CUSUM) ในระบบทำน้ำเย็นโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

### 3.3 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานของระดับอุปกรณ์

ทำการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ทั้งหมด และทำการตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำเย็นภายในท่อ อุณหภูมิน้ำเย็นฝั่งน้ำเข้าและน้ำออกจากเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อคำนวณหาค่าความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นที่ผลิตได้ (Ton of Refrigeration; TR) จากสมการที่ (4) เพื่อคำนวณหาค่าสมรรถนะการทำความเย็น (CHP) ดังสมการที่ (5) ดังตารางที่ 5



## ตารางที่ 5 ค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

No.	Power (kW)	Flow Rate (GPM)	Chilled Water Temp. (°F)		Ton (TR)	CHP (kW/TR)	CHP Legal (kW/TR)
			Inlet	Outlet			
1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	287.5	1504.71	50.2	45	326.02	0.88	0.62
3	127	606.36	50.7	46	118.74	1.07	0.76
4	127	608.50	50.1	45	129.31	0.98	0.76
5	301.8	1498.51	50.5	45	343.41	0.87	0.62

จากตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัด (CHP) กับค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นตามกฎหมาย (CHP Legal) พบว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัด (CHP) เครื่องที่ 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 0.88, 1.07, 0.98 และ 0.87 kW/Ton ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นตามกฎหมายกำหนด (CHP Legal) [14] พบว่า ค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น มีค่าสูงกว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นตามกฎหมาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเครื่องทำน้ำเย็นของกองสลากกินแบ่งรัฐบาลมีอายุการใช้งานมานาน ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นเกิดการสูญเสียพลังงานมากขึ้น จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่าสมรรถนะการทำความเย็นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตามกฎหมายกำหนด ซึ่งผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะมาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำน้ำเย็น ดังนี้

มาตรการที่ 1. เลือกเครื่องทำน้ำเย็นค่าสมรรถนะการทำความเย็นสูงเป็นตัวหลัก

มาตรการที่ 2. เพิ่มรอบในการทำความสะอาดบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็น และอุปกรณ์ประกอบในระบบทำน้ำเย็น

มาตรการที่ 3. ควรมีระบบติดตามสมรรถนะการทำความเย็นของระบบทำน้ำเย็น (Monitoring System) อย่างต่อเนื่อง

มาตรการที่ 4. เปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง

#### 4. บทสรุป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของปี พ.ศ. 2562 ได้มีการหาดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานของอาคารสำนักงานกองสลากกินแบ่งรัฐบาลได้ 3 ระดับโดยระดับที่ 1 คือ ระดับองค์กรโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยการหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระดับองค์กร คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.) และ ค่า CDD (°C) เมื่อนำมาใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในระดับองค์กรของปี 2563 พบว่ามีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.8715 และการใช้พลังงานในระดับองค์กรลดลงร้อยละ 7.34



ระดับที่ 2 คือ ระดับระบบทำความเย็นโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยการหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระดับระบบทำความเย็น คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ชม.) และระยะเวลาการเปิด AHU (ชม.) เมื่อนำมาใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในระดับระบบทำความเย็นของปี 2563 พบว่ามีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.7892 และการใช้พลังงานในระดับระบบทำความเย็นลดลงร้อยละ 8.59

ระดับที่ 3 คือ ระดับเครื่องจักรอุปกรณ์ โดยจะใช้ค่าสมรรถนะทำความเย็น (CHP) ของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ในการเทียบกับค่าที่กฎหมายกำหนด จากผลการวิจัยพบว่า ค่าสมรรถนะทำความเย็น (CHP) ของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) โดยเฉลี่ยสูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตามกฎหมายกำหนดร้อยละ 37.68

ดังนั้นสำนักงานกองสลากกินแบ่งรัฐบาลสามารถนำดัชนีชี้วัดสมรรถนะทางด้านพลังงานในระดับองค์กรและระดับระบบทำน้ำเย็นไปใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาในบทความแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ ได้แก่ ภาวะความร้อนของอาคาร อุณหภูมิ น้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ประเภทของระบบควบคุม Compressor ที่ส่งผลต่อการใช้ปริมาณไฟฟ้าขององค์กรไม่คงที่ และควรมีมาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำน้ำเย็นและระบบอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ช่วยให้องค์กรสามารถลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ Res-CIT0619/2022 และขอขอบคุณสำนักงานกองสลากกินแบ่งรัฐบาลที่อนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านพลังงานและสถานที่สำหรับการตรวจวัดพลังงาน

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Pasena and S. Putivisitak, Energy management system development for iso 50001:2011 for automotive parts factories, Journal of Energy Research, 2014, 11(1), 3-13. (in Thai)
- [2] EPPO, Summary Statistic, Energy Policy and Planning Office, 2021. (in Thai)
- [3] S.S.H. Pisitsungkakam, Energy management system (ISO 50001) and thai law on energy conservation promotion, The Journal of Industrial Technology, 2014, 10(2), 85-86. (in Thai)
- [4] R. Intarapanich, W. Mungkalasiri, and J. Mungkalasiri, The Equation of energy forecasting by statistical process control analysis: Case study of car audio industry, Journal of Science and Technology, 2017, 25(5), 894-903. (in Thai)



- [5] B. Saengpiya, J. Jantaro, and C. Chamcaoy, Factors affecting the efficiency of electric energy conservation in designated factories, *Journal of Energy Research*, 2011, 8(2), 21-33. (in Thai)
- [6] P. Numdee, J. Jantaro, and C. chamchoy, Energy efficiency studies and monitoring of the designated factories, *Journal of Energy Research*, 2011, 8(2), 1-9. (in Thai)
- [7] B. Niramitawas, J. Jantaro, and C. Chamcaoy, An application of statistic tools for energy savings monitoring, *Journal of Energy Research*, 2011, 8(2), 36-43. (in Thai)
- [8] ISO 50001, Energy Management System Requirements with Guidance for Use, International Organization for Standardization, 2018.
- [9] N. Khetkrathok and K. Suluksna, Guidelines for the management of thermal comfort conditions in air-conditioned areas for energy saving case study library building suranaree university of technology, *Ladkrabang Engineering Journal*, 2019, 36(1), 17-24. (in Thai)
- [10] W. Sriariyakul, Drying of nam dok mai mango using far-infrared radiation in combination with hot-air, *The Journal of Industrial Technology*, 2021, 17(3), 138-151. (in Thai)
- [11] K. Ardham, N. Chansom, and S. Ruengrit, Analysis of management of chiller water cooled systems, *College of Asian Scholars Journal*, 2017, 7, 249-252. (in Thai)
- [12] American Society of Heating, Refrigerating and air-conditioning engineers, *ASHRAE Handbook: Fundamentals*, ASHRAE, Atlanta, GA, USA, 2013.
- [13] W. Saiyasri, P. Kachapongkun, and C. Bunmephiphit, Specific energy consumption analysis and energy conservation of brake fabric factory, *Journal of Renewable Energy for Community*, 2019, 2(3), 72-80. (in Thai)
- [14] DEDE, Cooling efficiency, and electrical power per ton refrigeration of air conditioning system in the building, B.E.2552, Ministry of Energy's Notification on Identification of Coefficient of Minimum Performance, 2009. (in Thai)