การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานของรัฐ

Energy Utilization Index and Benchmarking For Government Office

ศิรินาถ ทองขาว และ เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนพหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
* ติดต่อ: โทรศัพท์:02-942-8555, โทรสาร: 02-579-4576 E-mail: fengkka@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้หน่วยงานทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเอง หน่วยงานของรัฐเป็นหน่วยงานที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากและควบคุมได้ยาก ดังนั้นหากสามารถพัฒนาดัชนีชี้วัดที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและใช้งานง่าย จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อหน่วยงานและตันสังกัดมากยิ่งขึ้นในการควบคุมดูแลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน งานวิจัยนี้ใช้อาคารสำนักงานของสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร เป็นหน่วยงานต้นแบบในการพัฒนา ดัชนีชี้วัดที่พัฒนาขึ้นจะเป็นอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมของหน่วยงานกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของหน่วยงานและปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณการใช้จริงนั้นหน่วยงานสามารถดูได้จากบิลค่าไฟฟ้าของหน่วยงาน สำหรับปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมนั้นนำแนวคิดมาจากค่ามาตรฐานการใช้พลังงานซึ่งกำหนดตามกฎหมายหรือแนะนำโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือมาจัดสร้างเป็นสมการ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งานเช่นจำนวนบุคลากร จำนวนผู้มาใช้บริการ เวลาในการให้บริการ ขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม ‘‘ENERGY PLUS’’ ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงาน จากการศึกษาพบว่าหากหน่วยงานปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ได้ตามเกณฑ์ จะทำให้หน่วยงานสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 40 ต่อปี

คำหลัก: ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน/ เกณฑ์การใช้พลังงาน/ อาคารของรัฐ/ Energy Plus/ มาตรฐานการใช้พลังงาน

Abstract

Energy Utilization Index is a measure that can be used to identify whether energy is efficiently used. Energy consumption in government section is extremely large and difficult to control and monitor. An efficient index based on engineering principles and eases of use is developed to monitor energy usage of a government building using a building of the Medical Service Department as a prototype building in this research. The index is a ratio between the difference of actual energy consumption and optimal energy consumption and optimal energy consumption. The actual energy consumption is the amount indicated in an energy invoice. The optimal energy consumption is derived based on several engineering standards and state regulations as a function of variables such as number of officers, number of customers, operating hours, building areas, etc. “Energy Plus” is a simulation program used to analyze the optimal energy consumption. Based on the result, the Medical Service Department can save up to 40% if the energy consumption is at its optimum.

***Keywords**:* energy utilization index ,Benchmarking ,Government building ,Energy Plus, Energy standard

1. บทนำ

จากวิกฤติด้านพลังงาน หลายหน่วยงานได้พยายามดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยมุ่งเน้นการประเมินผลสำเร็จไปที่ปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงเพียงอย่างเดียว โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก่อนและหลังการทำมาตรการหรือเปรียบเทียบระหว่างหน่วยงานในลักษณะเดียวกัน ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการใช้พลังงาน อาทิเช่น จำนวนชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นทุกปี เป็นต้น ซึ่งปริมาณการใช้ไฟฟ้านั้นๆอาจเหมาะสมกับขนาดของหน่วยงานนั้นอยู่แล้ว หากลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงอีกอาจส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของจำนวนบุคลากรและคุณภาพของการให้บริการ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดและกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานของรัฐโดยใช้อาคารสำนักงานของสำนักการแพทย์กรุงเทพมหานครเป็นต้นแบบในการพัฒนา

ในอดีตแนวทางการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานมี 2 รูปแบบได้แก่

1. Specific Energy Consumption (SEC) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากการใช้พลังงาน ดังนั้นขั้นตอนและกระบวนการผลิตซึ่งมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานนี้จะแตกต่างกันตามประเภทของผลิตภัณฑ์ต จากความหมายของ SEC แสดงให้เห็นได้ว่าค่า SEC ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี แนวทางนี้เป็นที่นิยมมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมเหล็ก เป็นต้น

2. Energy Utilization Index (EUI) ตามความหมายของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน คืออัตราส่วนระหว่างผลต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม [1] หน่วยงานที่นำรูปแบบนี้มาใช้ เช่น โครงการพัฒนาวิธีการคำนวณค่า EUI สำหรับหน่วยงานราชการ จัดทำขึ้นโดย สนพ.

2.แนวทางการพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงาน

ดัชนีชี้วัดถูกพัฒนาบนหลักการพื้นฐานทางวิศวกรรม และอยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อผู้ที่จะนำไปใช้งาน โดยให้ดัชนีชี้วัดเป็นอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมของหน่วยงานกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของหน่วยงาน และปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$EUI = \frac{OEC - AEC}{OEC} \quad (1)$$

โดย AEC (Actual Energy Consumption) คือ ปริมาณการใช้จริงซึ่งสามารถดูได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของหน่วยงาน และ OEC (Optimal Energy Consumption) คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งวิเคราะห์มาจากค่ามาตรฐานการใช้พลังงานซึ่งกำหนดตามกฎหมายหรือแนะนำโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือมาจัดสร้างในรูปแบบสมการที่สามารถใช้งานได้ง่าย มาตรฐานและกฎหมายที่นำมาใช้ อาทิเช่น พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 [2] ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) [3] Environment Protection Agency (EPA) [4] และข้อมูลจากโครงการฉลากเบอร์ 5 ของไฟฟ้าฝ่ายผลิต [5] ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งาน เช่น จำนวนจำนวนบุคลากร อุณหภูมิภายนอกอาคาร เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม ‘‘ENERGY PLUS‘‘ ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงาน

ข้อมูลอาคารจากตารางที่ 1 และรูปแบบอาคารจะถูกจำลองลงใน “Energy Plus” เพื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคาร โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร ผลที่ได้จะถูกปรับแต่งค่า (Calibration) จนใกล้เคียงกับปริมาณ

การใช้ไฟฟ้าจริง (±10%) ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานที่เหมาะสม ซึ่งผลที่ได้นี้จะถือว่าเป็นแบบจำลองกรณีฐานของอาคาร (Base Case Model)

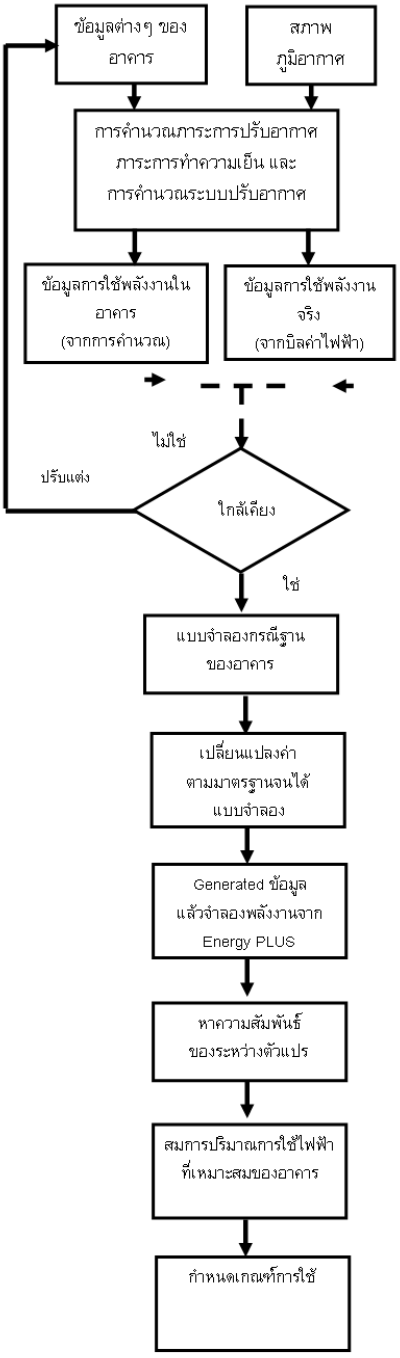
เมื่อได้แบบจำลองกรณีฐาน (Base Case Model) แล้วจึงทำการปรับค่าต่างๆ ของอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2 และทำการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานอีกครั้ง ซึ่งปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ที่ได้จะเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมสำนักการแพทย์ รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงาน

ตารางที่ 1 ข้อมูลอาคารต้นแบบ

ลักษณะอาคาร	สำนักงาน
ที่ตั้ง	ถนนหลานหลวง เขตป้อมปราบ กรุงเทพมหานคร
ระบบปรับอากาศ	แยกส่วน (Spilt type)
จำนวน	47 เครื่อง
ขนาด	1,880,000 BTU
EER	7.6 BTU/W
ประเภทโคมไฟฟ้า	ฟลูออเรสเซ้นต์ หลอดฮาโลเจน
กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด	11.12 w/m^2
วัสดุอาคาร	อิฐ ปูนฉาบ คอนกรีต กระจก
OTTV	68 w/m^2
RTTV	12 w/m^2

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานจากสถาบันต่างๆ

รายการ	ค่า
COP	$\leq$ 1.12 - 0.95
กำลังไฟฟ้าแสงสว่างสูงสุดต่อพื้นที่	$\leq$ 14 w/m^2
OTTV	$\leq$ 50 w/m^2
RTTV	$\leq$ 15 w/m^2



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการ

อย่างไรก็ดี “Energy Plus” เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านพลังงานที่มีความซับซ้อน และต้องการผู้ใช้ที่มีประสบการณ์ ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะให้หน่วยงานนำไปใช้โดยตรง เมื่อมีการใช้งานที่เปลี่ยนไป เช่น จำนวนคนมากขึ้น อุณหภูมิภายนอกร้อนขึ้น เป็นต้น ดังนั้น ผลจาก “Energy Plus” จะถูกนำมาจัดสร้างเป็นสมการที่ใช้งานง่าย ในรูปแบบ

สมการถดถอยของตัวแปรหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและมีผลกับการใช้พลังงาน เช่น จำนวนบุคลากร อุณหภูมิอากาศ เป็นต้น โดยมีรูปแบบสมการทดถอยดังสมการที่ (2)

$$Y = B_1 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + ...B_k x_k + e \quad (2)$$

โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ จะถูกนำมาใช้ในการหาค่าคงที่ของสมการ อาศัยหลักการวิเคราะห์ความถดถอยทางสถิติเชิงพหุ (Multilinear Regression) โดยพิจารณาทั้งเงื่อนไขทางสถิติและข้อมูลทางสถิติที่ต้องพิจารณาเพื่อความเหมาะสมของการนำสมการมาใช้ได้แก่ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตามได้ หากสมการถดถอยใดที่มีค่า R^2 มากหมายถึงสมการนั้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มาก [6]

อย่างไรก็ดี ปริมาณการใช้พลังงานรายเดือนจากโปรแกรม Energy Plus หนึ่งปี จะมีเพียง 12 ค่า ซึ่งไม่เพียงพอต่อการสร้างความสัมพันธ์ จึงทำการเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลโดยการปรับแต่งฐานข้อมูลอุณหภูมิอากาศให้มีค่าเฉลี่ยรายเดือนที่เปลี่ยนไปและปรับเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่อย่างเป็นสัดส่วนเพื่อให้ช่วงของตัวแปรกว้างขึ้น ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในสภาพความเป็นจริงได้เหมาะสมยิ่งขึ้น เมื่อได้จำนวนชุดข้อมูลที่เพียงพอแล้วจึงเริ่มทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับจำนวนบุคลากรและอุณหภูมิภายนอกอาคาร

เมื่อได้สมการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้ว จึงนำมากำหนดเป็นเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารโดยนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้จริงตามสมการที่ (1) หากดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าเป็นบวก ถือว่าผ่านเกณฑ์การใช้พลังงาน เพราะมีการใช้พลังงานต่อกว่าค่าที่เหมาะสม ซึ่งถือว่ามีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากดัชนีการใช้พลังงานมีค่าเป็นลบถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์การใช้พลังงาน

4. ผลลัพธ์และวิจารณ์ผล

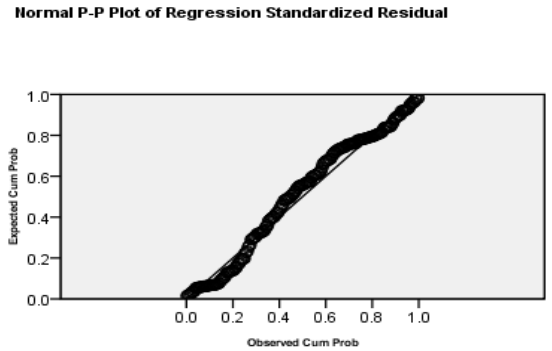
จากการวิเคราะห์ พบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของอาคารได้แก่จำนวนบุคลากรและอุณหภูมิอากาศภายนอก เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่วนตัวแปรอื่นที่มีผล ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงระยะเวลาการใช้งาน เช่น ชนิดกระจก เครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น ดังนั้นสมการที่จัดสร้างขึ้นจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไฟฟ้าในอาคารกับจำนวนบุคลากรและอุณหภูมิภายนอกอาคาร

เมื่อดำเนินการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุในรูปแบบเชิงเส้นและพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)รวมถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่เป็นที่น่าพอใจของผู้วิจัย จึงทดลองทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของตัวแปร (Transform) ดังนี้ ln(ปริมาณการใช้ไฟฟ้า) และ 4*(อุณหภูมิภายนอกอาคาร) และดำเนินการวิจัยตามรูปแบบเชิงเส้น โดยเริ่มจากการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามพบว่าค่า sig F ของค่าคงที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 ซึ่งหมายถึงมีตัวแปรอย่างน้อย 1 ตัวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากนั้นพิจารณาค่า sig t ของจำนวนบุคลากรและอุณหภูมิภายนอกอาคารซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งสองตัว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าทั้งจำนวนบุคลากรและอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจากที่กล่าวมาจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นดังนี้

ln OEC = 8.923+0.004xpeople + 0.004xtemp (3)

โดย OEC คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม people คือจำนวนบุคลากรต่อวันเฉลี่ยรายเดือย และ temp คืออุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายเดือน เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (R^2) ของสมการนั้นพบว่ามากถึง 78.5 % แสดงให้เห็นว่าตัวแปรจำนวนคน และอุณหภูมิภายนอกอาคารสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ 78.5% จากนั้น

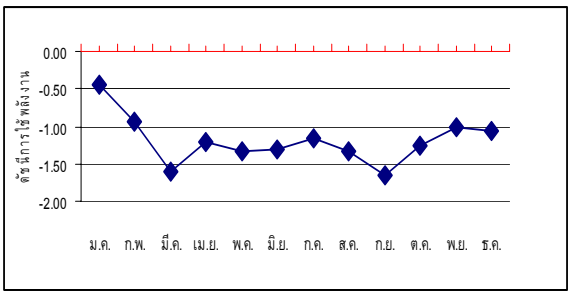
ตรวจสอบเงื่อนไขสมการถดถอยเชิงพหุจากค่า Durbin-Watson ซึ่งมีเท่ากับ 1.714 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (1.5-2.5) จึงสรุปได้ว่า e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน จากนั้นพิจารณารูปที่ 2 แสดง normal probability plot และ detrended probability plot



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normal probability plot และ detrended probability plot

เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งพบว่าการแจกแจงปกติ

จากเงื่อนไขที่กำหนด สามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอยที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน เมื่อทดลองนำข้อมูลการใช้งานจริงประจำปี 2552 มาวิเคราะห์โดยนำจำนวนบุคลากรจริง และอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยรายเดือนแทนลงในสมการที่ (2) พบว่าการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคารมากกว่าค่าที่เหมาะสมอยู่มาก หรือดัชนีมีค่าติดลบดังแสดงในรูปที่ 3 โดยสังเกตจากเส้นสีแดงซึ่งมีค่าเป็นศูนย์หากดัชนีการใช้พลังงานอยู่เกินเส้นศูนย์จึงจะผ่านเกณฑ์แต่พบว่าไม่มีดัชนีการใช้พลังงานเดือนใดเลยที่ผ่านเกณฑ์



รูปที่ 3 แสดงดัชนีการใช้ไฟฟ้าของหน่วยงานปี 2552

จากการสำรวจว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดที่ไม่ใช่ผ่านมาตรฐานเบอร์ 5 เครื่องปรับอากาศกว่าร้อยละ 73 ของทั้งหมดที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ นอกจากนี้ตัวอาคารเองประกอบด้วยกระจกหน้าต่างจำนวนมาก ส่งผลถึงความร้อนจำนวนมากที่เข้าสู่อาคาร ดังนั้นหากหน่วยงานสามารถปรับปรุงอุปกรณ์ภายในอาคารและลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้ตามที่กำหนดจะส่งผลให้หน่วยงานสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 40 ต่อปี

อย่างไรก็ดี ในการใช้งานจริง ผู้ใช้จะต้องนำค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งสามารถหาได้จากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา แต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยไม่สามารถหาได้จากเว็บไซต์ดังกล่าว จึงเป็นการยากต่อผู้ใช้งานที่จะหาข้อมูลเหล่านี้เพื่อนำมาใช้กับสมการ ดังนั้น จึงเลือกตัวแปรที่ผู้ใช้สามารถหาข้อมูลได้ง่าย ซึ่งได้แก่จำนวนบุคลากรและอุณหภูมิภายนอกอาคารเท่านั้น

4. สรุป

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานนั้นไม่เพียงแต่มีประโยชน์เพื่อวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหน่วยงานเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้ในการวางแผนและกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ทำให้มีการใช้พลังงานอย่างประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย อย่างไรก็ดี ดัชนีและเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดบางประการ ซึ่งอาจจะทำให้ผลวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อน อาทิเช่น อาคารมีการต่อเติมหรือเปลี่ยนรูปแบบการใช้อาคาร มีการเพิ่มพื้นที่ปรับอากาศ จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น ก็จะทำให้ปริมาณพลังงานที่เหมาะสมที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์ด้วย “Energy Plus” และนำข้อมูลมาจัดสร้างเป็นสมการถดถอยใหม่ ดังนั้น สมการที่ (3) อาจจะต้องมีการปรับปรุงเป็นระยะๆ ทุก 3 ปีหรือ 5 ปี ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอาคารและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมากน้อยขนาดไหน

เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารการสัมมนา "โครงการสัมมนารับฟังความคิดเห็นเกี่ยวกับเกณฑ์การจัดการใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานราชการ "

[2] พระราชบัญญัติอนุรักษ์และส่งเสริมพลังงาน พุทธศักราช 2550, (2552).กระทรวงพลังงาน

[3] ASHRAE, 2001. 2001 ASHRAE Handbook – Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

[4] Department of enrgy, US (1995) URL:http://www.energystar.gov

[5] Electricity Generating Authority of Thailand (2005) URL:http://www2.egat.co.th/labelNo5/index.htm

[6] กัลยา วานิชย์บัญชา, (2548). การใช้ SPSS for Window ในการวิเคราะห์ข้อมูล , กรุงเทพฯ.