

การจำลองสมรรถนะการใช้พลังงานของอาคารสถานศึกษา:

กรณีศึกษาอาคาร 6 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

SIMULATION OF ENERGY PERFORMANCE AT EDUCATIONAL BUILDINGS: A CASE STUDY OF BUILDING 6 AT DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY

ณัฐวุฒิ วุฒิเจริญถาวร¹

รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SketchUp OpenStudio และ EnergyPlus สำหรับอาคาร 6 ของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 17 ชั้น พื้นที่ทำการศึกษาคือชั้น 6 ถึงชั้น 9 รวม 4 ชั้น ผลการประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลองของอาคารตามมาตรการประหยัดพลังงานทั้ง 4 มาตรการ พบว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 21.85 - 62.43 kWh/m²/year ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์ค่าดัชนีการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารประเภทอาคารสถานศึกษาที่กำหนดเท่ากับ 85 kWh/m²/year ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคาร และมาตรการที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อันดับ 1 คือ มาตรการที่ 3 (LED) การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างจากเดิมเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง เปลี่ยนเป็นหลอด LED สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 32.79% อันดับ 2 คือ มาตรการที่ 1 (Set.T) ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจากเดิม 24 °C เป็น 26 °C สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 23.41% อันดับ 3 คือ มาตรการที่ 4 (A/C) การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง(SEER) ทดแทนเครื่องปรับอากาศเครื่องเดิมใช้งานมายาวนานสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 20.28% และ อันดับที่ 4 คือ มาตรการที่ 2 (Film) การติดตั้งฟิล์มกันความร้อนที่ผนังกระจกและหน้าต่างบานกระจก สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 10.10% และมาตรการที่สนใจในการศึกษานี้ คือ มาตรการ ที่ 1 โดยที่ไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่าย ส่วนมาตรการที่ 2-4 ต้องใช้เงินลงทุน ซึ่งเหมาะสมสำหรับอาคารที่สร้างใหม่หรืออาคารเก่าประเภทเดียวกันหรือใกล้เคียงกันได้ที่ต้องการปรับปรุง

คำสำคัญ: การจำลองการใช้พลังงานในอาคาร/การประหยัดพลังงาน/สมรรถนะการใช้พลังงาน

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

² ที่ปรึกษาการศึกษาวิทยานิพนธ์

ABSTRACT

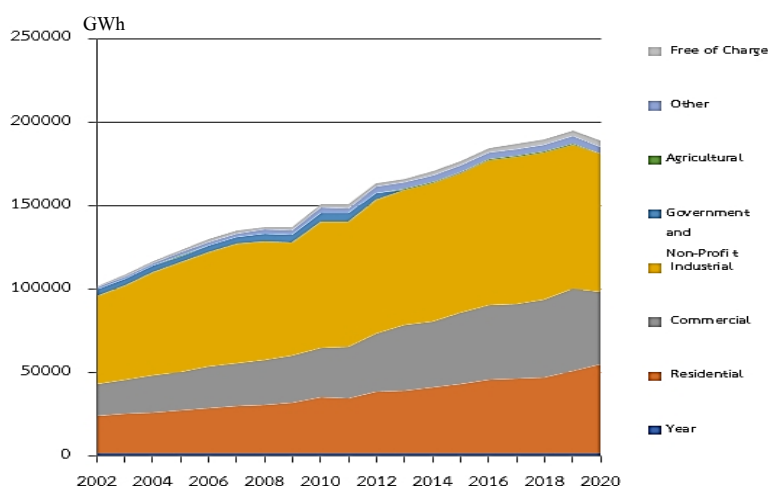
This study aims to create a computer-based energy consumption model concerning the results of the evaluation of the performance of electric power, using SketchUp, Open studio and EnergyPlus programs for Building 6, Dhurakij Pundit University which is a 17 storey building. The subject area of the study is from the 6 th to 9 th floors, totaling 4 floors of the building. From the model of the building and following the 4 energy-saving measures, it was found that the index of electric power was between 21.85 - 62.43 kWh/m²/year. which is considered to pass the Net Consumption Index criteria from the model of educational buildings at level equal to 85 kWh/m²/year which are according to the standard criteria for energy consumption in buildings. The first measure that can be implemented to save electricity is the measure 3 (LED). The replacement of electric light bulbs from the original high efficiency fluorescent lamps to LED bulbs can save an average of 32.79% of electricity. Number 2 is Measure 1 (Set.T) adjusting the temperature of the air conditioner from 24 °C to 26 °C, which is able to save a total of 23.41% of electricity. The third is the fourth measure (A/C). The placement of high-efficiency air conditioners (SEER) to replace the old building air conditioners that have been used for a long time can save an average of 20.28% of electricity. The 4th place is measure 2 (Film): Installation of a heat protection film on glass walls and glass pane windows which is able to save electricity by an average of 10.10%. Furthermore, the most interesting measure in this study is Measure 1 which reduces the electricity without cost. As for measures 2-4, investments are required which are suitable for new buildings or old buildings of the same or similar type that need improvement.

Keywords: Building energy simulation/Energy-savings/Energy Performance

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันโลกกำลังเจอความท้าทายที่ร้ายแรงในเรื่องของพลังงานรวมทั้งเรื่องของการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงกลายเป็นยุทธศาสตร์ที่สำคัญของหลายประเทศ สำหรับประเทศไทยมีความต้องการในการใช้พลังงานมีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากประเทศต่างๆ ในปริมาณมากและยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงภายในประเทศ นอกเหนือจากราคาพลังงานมีแนวโน้มสูงมากขึ้นแล้วยังส่งผลกระทบต่อผู้ใช้พลังงานที่ต้องรับภาระค่าใช้จ่ายพลังงานที่สูงมากขึ้นอีกด้วย (พิมพ์จิตร์ ดันประดิษฐ์, 2558)

จากสถิติการใช้พลังงานในปีพ.ศ. 2563 ดังภาพที่ 1. ประเทศไทยมีการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 187,047 GWh. ลดลง 3.1% จากปีก่อน ซึ่งลดลงในเกือบทุกสาขาโดยเฉพาะสาขาอุตสาหกรรม ธุรกิจ และภาคการท่องเที่ยว เนื่องจากปัญหาการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 โดยกลุ่มธุรกิจหลักที่มีการใช้ไฟฟ้าลดลงเนื่องจากมาตรการ Lock Down ได้แก่ โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ภัตตาคารและไนต์คลับ อย่างไรก็ตาม ในช่วง 6 เดือนแรกของปี 2563 ภาคครัวเรือนมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา ประกอบกับมาตรการทำงานจากที่บ้าน (Work From Home) (กระทรวงพลังงาน, 2564) แม้ว่าการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง แต่การประกอบกิจกรรมในการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ทำให้สร้างมลพิษทางอากาศส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) (คมสัน วิสาวะโท, 2560)



ภาพที่ 1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศตั้งแต่ปี 2545-2563 (2002-2020)

ที่มา: กระทรวงพลังงาน รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2564 หน้า 98

กระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ออกกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานภาคอาคารที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานค่อนข้างสูง โดยกฎกระทรวงดังกล่าวได้กำหนดประเภทและขนาดของอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน จำนวน 9 ประเภทอาคาร ประกอบด้วย โรงแรม หอสมุด สถานบริการ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน ศูนย์การค้า อาคารชุด และ อาคารชุมนุมคน ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร โดยมีผลบังคับใช้แล้วตั้งแต่วันที่ 13 มีนาคม 2564 ที่ผ่านมาซึ่งแบ่งเป็น 3 ระยะ โดยระยะเริ่มแรกในปี 2564 จะใช้กับอาคารที่มีขนาด 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป ในปี 2565 จะใช้กับอาคารที่มีขนาด 5,000 ตารางเมตรขึ้นไป และในปี 2566 จะใช้กับอาคารที่มีขนาด 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป

ไม่ว่าจะเป็นอาคารที่จะยื่นขออนุญาตก่อสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคาร จะต้องทำการออกแบบและคำนวณการใช้พลังงาน รวมถึงผ่านการตรวจประเมินจากผู้ตรวจรับรองแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประกอบการยื่นขออนุญาตก่อสร้างใหม่ หรือ การปรับปรุงอาคารเดิมให้เป็นไปตามกฎกระทรวง ซึ่งการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ต่อปีของอาคารประเภทต่างๆ หรือเรียกว่ากรณีอ้างอิง (Reference) ซึ่งใช้เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร (Building Energy Code, BEC) และเกณฑ์ที่สูงกว่านี้ในอนาคต คือ HEPS (High Energy Performance Standard) เป็นระดับเกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของ ระบบต่างๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่บรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน Econ (Economic Building) เป็นเป้าหมายในอนาคตอันใกล้เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยี ของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่ยังมีความคุ้มค่าในการ ลงทุน และ ZEB (Zero Energy Building) เป็นเป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้า จากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์เนื่องจากความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมากและ ยังมีการผลิตพลังงานที่ใช้ในอาคารจากพลังงานหมุนเวียนด้วย โดยที่ค่าเฉลี่ยในกรณีอ้างอิงนั้น ได้มาจากแบบจำลองการใช้พลังงานที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มอาคารที่อาศัยข้อมูลการตรวจการใช้พลังงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีการใช้พลังงานสุทธิ จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภท

ประเภทอาคาร	การใช้พลังงานภายใต้แต่ละระดับความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน (kWh/m ² /y)				
	Reference	BEC	HEPS	Econ	ZEP
อาคารสำนักงาน	219	171	141	82	57
อาคารห้างสรรพสินค้า	308	231	194	146	112
อาคารธุรกิจค้าปลีกค้าส่ง	370	298	266	161	126
โรงแรม	271	199	160	116	97
คอนโดมิเนียม	256	211	198	132	95
สถานพยาบาล	244	195	168	115	81
สถานศึกษา	102	85	72	58	39
อาคารทั่วไป	182	134	110	66	53

ที่มา: กระทรวงพลังงาน แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554-2573) น.3-6

จากความเป็นมาและความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้ศึกษาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการลดใช้พลังงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามกฎกระทรวงที่กำหนดไว้ จึงสนใจที่จะศึกษา

เกี่ยวกับแนวทางการประหยัดพลังงานสำหรับอาคาร โดยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณหรือประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานของอาคารก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุงอาคารจริง เนื่องจากแบบจำลองสามารถทดลองเปลี่ยนตัวแปรเพื่อดูผลการคำนวณเรื่องพลังงานที่ใช้ได้ ในการศึกษาในครั้งนี้ผู้ศึกษาได้เลือกอาคาร 6 บริเวณชั้น 6 ถึงชั้น 9 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต เป็นพื้นที่ใช้ทำการศึกษา โดยผลจากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาการปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทำการจำลองสมรรถนะการใช้พลังงานและเสนอมาตรการการลดการใช้พลังงานของอาคาร 6 ในชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 ของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
2. เพื่อศึกษามาตรการหรือแนวทางการลดการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับอาคาร 6 บริเวณ ชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

ขอบเขตของการศึกษา

1. อาคารที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ อาคาร 6 บริเวณชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ซึ่งมีขนาดพื้นที่จำนวน 3,633.47 ตารางเมตร ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้คือระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564
2. การศึกษานี้จะใช้โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ ได้แก่โปรแกรม SketchUp version 2017 ที่มี Plugin กับโปรแกรม OpenStudio และ EnergyPlus ในการสร้างแบบจำลองอาคารและพลังงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถปรับแต่งวัสดุและอุปกรณ์ของแบบจำลองการใช้พลังงานให้ใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดการใช้พลังงานของอาคารจริง รวมถึงปรับแต่งวัสดุและอุปกรณ์ของแบบจำลองเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563
2. ผลจากการศึกษาแบบจำลองการใช้พลังงานที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณาปรับปรุงอาคาร 6 ชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 หรือใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารเก่าที่มีลักษณะและองค์ประกอบใกล้เคียงกัน เพื่อให้เกิดการปรับใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทศพล เขตเจนการ พงษ์ศิริ จรุยนนท์ วิชชุดา เมตตานันท์ พงษนรินทร์ ชมชื่น และ ภาณุวัตร เกษรทอง (2550) ได้ทำการศึกษาการศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วยการจำลองแบบการใช้พลังงานด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประเมินปริมาณการใช้พลังงานของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นอาคาร 9 ชั้น พื้นที่รวม 27,776 ตารางเมตร โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus คำนวณการใช้พลังงานจำนวน 11 มาตรการ และพบว่ามาตรการเพิ่มอุณหภูมิควบคุมของเครื่องปรับอากาศขึ้น 1°C การใช้มู่ลี่ป้องกันแสงแดด และการปิดเครื่องปรับอากาศช่วงพักกลางวัน 1 ชั่วโมง สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นเงินได้เท่ากับ 495,037 บาท/ปี แต่การปิดเครื่องปรับอากาศตอนพักกลางวันอาจสร้างความไม่สะดวกสบายต่อผู้ใช้งานและช่วยการประหยัดพลังงานไฟฟ้าไม่ถึง 1% ส่วนมาตรการที่ต้องใช้เงินลงทุนที่ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด พบว่ามาตรการปิดเครื่องปรับอากาศช่วงพักกลางวัน 1 ชั่วโมง ปรับอุณหภูมิควบคุมของเครื่องปรับอากาศขึ้น 1°C เปลี่ยนโคมไฟจากแบบธรรมดาเป็นแบบสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง เปลี่ยนบัลลาสต์จากแบบแกนเหล็กธรรมดาเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ใช้งานมู่ลี่ ป้องกันแสงแดด สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นเงินได้เท่ากับ 744,337 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนเท่ากับ 2,277,699 บาท

คมสัน วิสวาโช และ อำนาจ ผดุงศิลป์ (2559) ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานอาคารห้องสมุดรูปแบบมาตรฐาน 2549 สำนักวัฒนธรรม กีฬา และการท่องเที่ยว กรุงเทพมหานครจำนวน 8 แห่ง โดยอาคารมีลักษณะเดียวกันคือ เป็นอาคารสูง 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 800 ตารางเมตร นำไปเทียบกับข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารห้องสมุดเพื่อการเรียนรู้ ตามใบเสร็จค่าไฟฟ้าและนำมามาตรการการประหยัดพลังงานทั้ง 16 มาตรการประมวลผลในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคาร EnergyPlus พบว่า มาตรการที่ 16 (Set T. + LED + Film + A/C + PV) เป็นมาตรการที่สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ มากที่สุดในทุกห้องสมุดที่ทำการศึกษา

อุกฤษฏ์ ใจงาม (2562) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานระบบปรับอากาศในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา ซึ่งอาคารแห่งนี้มีจำนวน 20 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 11,636.56 ตารางเมตร ตั้งอยู่กรุงเทพมหานคร มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้งานจริง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม EnergyPlus และโปรแกรม Open studio ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water-cooled Chiller System ผลการศึกษาพบว่าระบบปรับอากาศ Water-cooled Chiller System ใช้พลังงานรวมทั้งปีแตกต่างจากระบบปรับอากาศ VRF ได้ตั้งแต่ -7.20% ถึง $+19.33\%$ ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงาน โดยระบบปรับอากาศ Water-cooled Chiller System ที่ทำงานแบบ Optimal และใช้ปั๊มแบบ Variable Flow จะใช้พลังงานน้อยที่สุดและน้อยกว่าระบบปรับอากาศ VRF แต่เมื่อเปิดใช้งานเพียงบางชั้นและพื้นที่ปรับอากาศน้อยกว่า 8,870.04 ตารางเมตร ระบบปรับอากาศแบบ VRF จะใช้

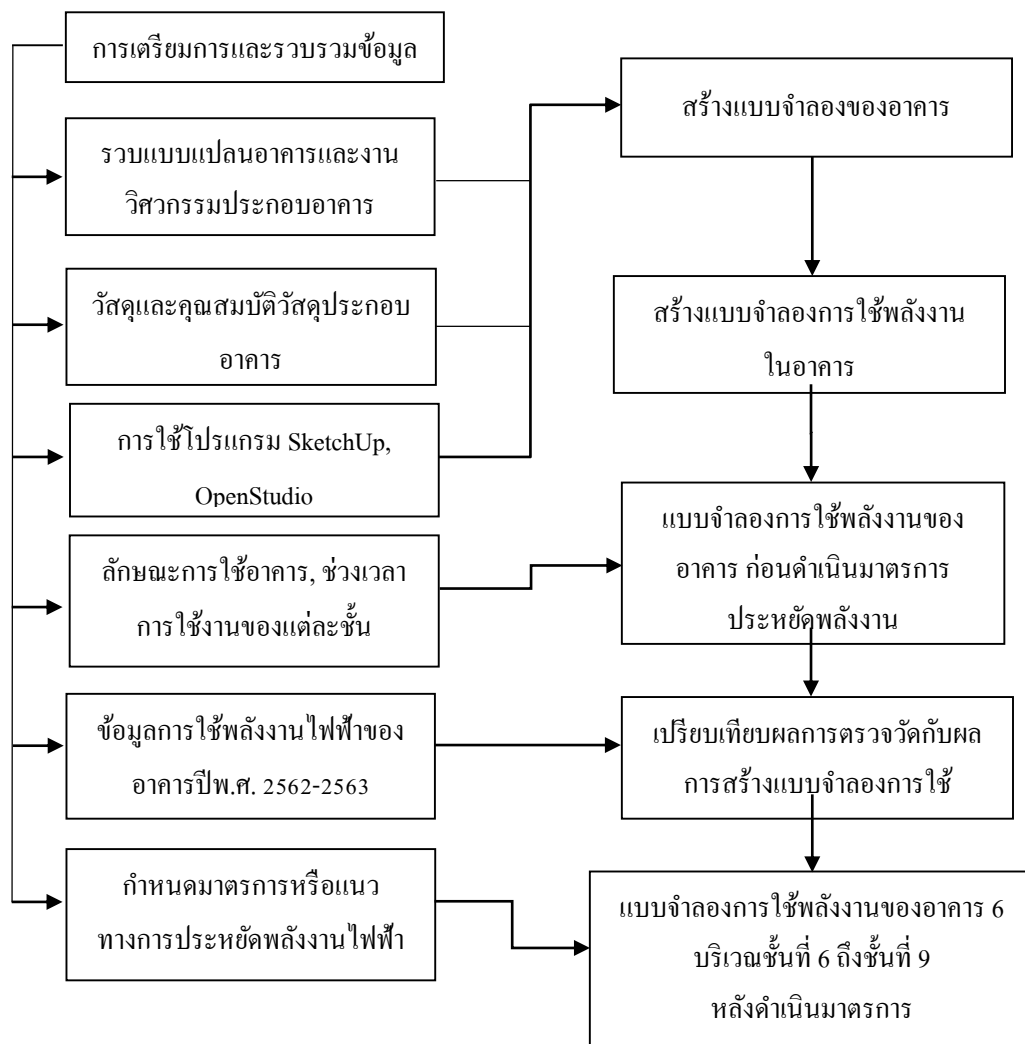
พลังงานน้อยกว่า จากการศึกษาการประหยัดพลังงานด้วยการปิดใช้ระหว่างวันพบว่าหากปิดการใช้งานเพียงแค่ 30 นาที ระบบปรับอากาศ VRF จะประหยัดพลังงานสูงสุดที่ 5.63% แต่เมื่อมีการปิดการใช้งานระหว่างวันตั้งแต่ 1 ชั่วโมงถึง 3 ชั่วโมง ระบบปรับอากาศ Water-cooled Chiller System ที่ทำงานแบบ Uniform Load และใช้ปั๊มแบบ Constant Flow จะประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละมากกว่าที่ 10.10% ถึง 25.43%

ชลกร เชวานพานิช (2563) ได้ทำการศึกษาผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนเทียบกับสีธรรมดาทั่วไป โดยสร้างห้องทดสอบขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 3.16 เมตร คิดเป็นพื้นที่ ใช้สอย 24 ตารางเมตร จำนวนสองห้อง ในจังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย ห้องทดสอบแรกทาสีสะท้อนความร้อน ห้องทดสอบที่สองทาสีทั่วไป สีที่ใช้เป็นสีโทนน้ำตาลเข้ม ภายในห้องทดลองแต่ละห้องมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2562 และช่วง เดือนเมษายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 และใช้การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ผลการศึกษาพบว่าสีสะท้อนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดอยู่ที่ 4.9°C และสามารถลดได้เฉลี่ยอยู่ที่ 2.0 °C ผลการประหยัดพลังงานพบว่าการใช้สีสะท้อนความร้อนสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 31.24% จากการลดภาระการปรับอากาศจากความร้อนผ่านกรอบอาคารที่ลดลง และผลจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus ให้ผลการประหยัดพลังงาน 32.69% ซึ่งสอดคล้องกับผลตรวจวัดจริง

บำรุง ชมตา อำนาจ ผดุงศิลป์ และ ประศาสน์ จันทราทิพย์(2561) ได้ทำการศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารเพื่อป้องกันอาการเจ็บป่วยเนื่องจากสิ่งแวดล้อมในอาคาร CAT TOWER บางรัก กรุงเทพมหานคร ผู้ศึกษาใช้วิธีทำการศึกษาระดมสมอง (Survey Research) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) และเครื่องมือวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร จากกลุ่มพนักงาน CAT และกลุ่มผู้เช่าอาคาร จำนวนทั้งสิ้น 1,732 คน (ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2559) แล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่ (Frequency) และสรุปเป็นร้อยละ (Percentage) ประกอบกับการตรวจวัดตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะของผู้ที่ทำงานในอาคารด้วยเครื่องมือวัด และวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความสบายเชิงความร้อน คือ ดัชนี Predicted Mean Vote (PMV) และดัชนี Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) ด้วยโปรแกรม CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE-55 ผลการศึกษาวិเคราะห์พบว่ากลุ่มพนักงาน CAT และกลุ่มผู้เช่าอาคาร มีการรับรู้คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารและอาการเจ็บป่วยเนื่องจากสิ่งแวดล้อมในอาคารโดยรวมทุกด้านในระดับ “ปานกลาง” สำหรับการวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความสบายเชิงความร้อน พบว่าผู้ที่ทำงานในอาคารมีความรู้สึกต่อสภาวะความสบายด้านอุณหภูมิในระดับ “เย็นเล็กน้อย”(PMV > -1 / PPD > 17%) ดังนั้น เพื่อให้ผู้ที่ทำงานในอาคารรู้สึกสบายไม่รบกวนการทำงานควรควบคุมอุณหภูมิ (Air Temperature) ให้อยู่ระหว่าง 23 °C - 26 °C ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ระหว่างร้อยละ 30 - 60 และปรับความเร็วลม (Air Speed)ให้อยู่ระหว่าง 0.51 - 1.02 เมตรต่อวินาที

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการจำลองสมรรถนะการใช้พลังงานของอาคาร 6 บริเวณชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 โดยใช้โปรแกรม SketchUp ที่มี Plugin ติดตั้งโปรแกรม OpenStudio โดยมีรายละเอียดวิธีการศึกษา ดังภาพที่ 2

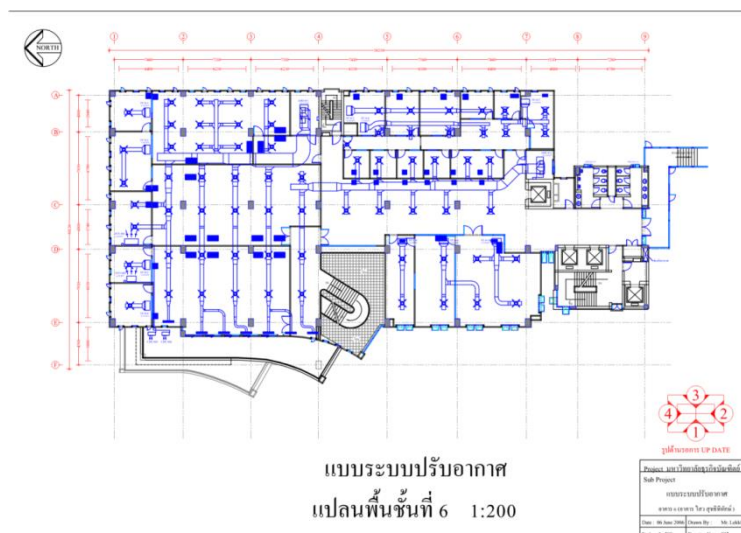


ภาพที่ 2 แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมการและรวบรวมข้อมูลแบบแปลนอาคารและงานวิศวกรรมประกอบอาคาร รูปแบบแปลนพื้นงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และ ระบบปรับอากาศ ชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 ที่ใช้สำหรับการจำลองกรอบอาคาร และพลังงาน ดังตัวอย่างตามภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 แบบแปลนระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคาร 6 ที่ชั้นที่ 6



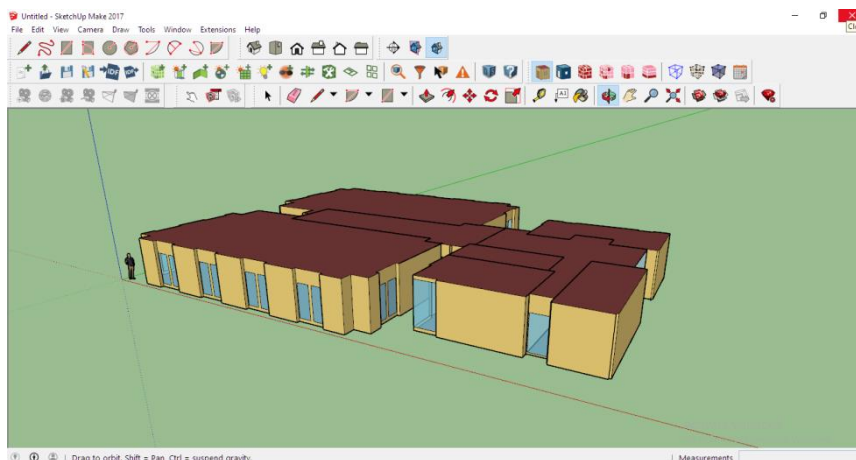
ภาพที่ 4 แบบแปลนระบบปรับอากาศอาคาร 6 ชั้นที่ 6

2. การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร 6 ชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 ผู้ศึกษาได้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมีการจัดเก็บเป็นรายเดือนของปี พ.ศ.2562 เป็นตัวแทนการใช้พลังงานของชั้นที่ 6 ชั้นที่ 7 และชั้นที่ 9 ส่วนข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดของปี พ.ศ.2563 เป็นตัวแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าของชั้นที่ 8 เนื่องจากช่วงปี พ.ศ.2562 ชั้นที่ 8 มีการปิดปรับปรุงสำนักงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร 6 ชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 จากการตรวจวัด

ชั้นที่	ปี พ.ศ.	รวมปริมาณการใช้พลังงาน 12 เดือน (kWh)
6	2562	90,936
7	2562	64,483
8	2563	14,268
9	2562	36,709

3. สร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้ศึกษาใช้โปรแกรม SketchUp version 2017 ที่มี Plugin กับโปรแกรม OpenStudio ในการสร้างแบบจำลองอาคารและการใช้พลังงาน อาคาร 6 บริเวณชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 ของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต โดยมีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองจำนวน 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการดำเนินการในโปรแกรม SketchUp version 2017 ที่มี Plugin กับโปรแกรม OpenStudio เพื่อการสร้างและบันทึกแบบจำลองกรอบอาคาร โดยจะทำการสร้างแบบจำลองกรอบอาคารทีละชั้นแยกกันเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการประมวลผล ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพตัวอย่างการสร้างแบบจำลองกรอบอาคารในโปรแกรม SketchUp version 2017 ที่มี Plugin กับโปรแกรม OpenStudio ของอาคาร 6 ที่ชั้นที่ 9

ขั้นตอนที่สอง คือการดำเนินการโปรแกรม OpenStudio ทำการบันทึกข้อมูลรายละเอียดของอาคาร ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของที่ตั้งอาคาร (Site) รายละเอียดตารางเวลาการใช้งาน (Schedules) โครงสร้างวัสดุสำหรับกรอบอาคาร (Constructions) ภาระความร้อน (Loads) ประเภทของพื้นที่ใช้งาน (Space Types)

จำนวนชั้นของอาคาร (Building Stories) ข้อมูลรวมของอาคาร (Facility) โซนอุณหภูมิ (Thermal Zone) ข้อมูลระบบปรับอากาศ (HVAC System) ดังตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของกระจกใส และ กระจกใสที่ทำการติดตั้งฟิล์มกรองแสง

วัสดุที่เป็นผนังโปร่งแสง	สัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนรวม (U-Factor) (W/m ² K)	สัมประสิทธิ์การ ส่งผ่านความร้อน จากรังสีอาทิตย์ (SHGC)	ร้อยละของค่าแสง ส่องผ่าน (Visible Transmittance)
กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร	5.80	0.81	0.88
กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร ติดตั้งฟิล์ม กรองแสง (SmartTec รุ่น Elegance Series : B-7905)	5.423	0.34	0.70

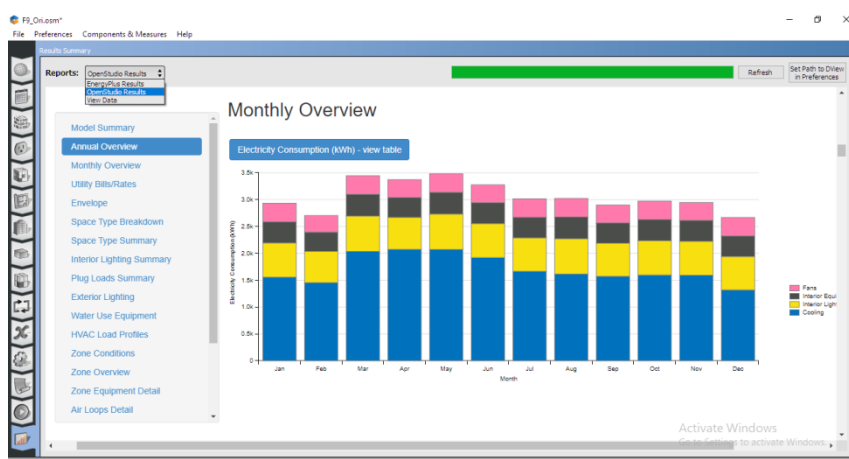
ตารางที่ 4 แสดงชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งจริง และ ชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองพลังงานตามมาตรการ

ชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งจริง	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ชนิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้าง แบบจำลองพลังงานตามมาตรการ	กำลังไฟฟ้า (Watt)
หลอด ส่องทอง 12 โวลต์	50	หลอดเอสเซนเซียม LED MR 16	5.5
หลอด แสงจันทร์	70	หลอด LED MERCURY	35
หลอด ดาวไลท์	13	หลอดแอลอีดี LED BULB	7
หลอด ดาวไลท์	18	หลอดแอลอีดี LED BULB	9
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 600 มิลลิเมตร	18	หลอดแอลอีดีทวี่ 600 มิลลิเมตร	8
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 1,200 มิลลิเมตร	28	หลอดแอลอีดีทวี่ 1,200 มิลลิเมตร	18

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศเก่าที่ใช้มานานยาวนาน กับ เครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ตามแบบจำลองพลังงานตามมาตรการ

ชนิดของเครื่องปรับอากาศ	ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ	
	COP	SEER (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)
เครื่องปรับอากาศเก่าที่ใช้มานานยาวนาน	2.0	7.58
เครื่องปรับอากาศ ชนิด Variable Speed/Inverter ตามแบบจำลองพลังงานตามมาตรการ	3.692	14.00

ขั้นตอนที่สามหรือขั้นตอนสุดท้ายคือการตั้งค่าการแสดงผล (Output Variables) เพื่อทำการประมวลผลสมรรถนะด้านใช้พลังงานของอาคาร โดยโปรแกรม OpenStudio ทำงานร่วมกับ EnergyPlus สามารถแสดงผลสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปี (Electricity Consumption) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ภาพตัวอย่างการรายงานแบบ OpenStudio Results ในส่วนของพลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปี (Electricity Consumption) แบบสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า ของอาคาร 6 ชั้นที่ 9

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานตามแนวทางของการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน สำหรับอาคาร 6 บริเวณชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 ตามแนวทางของการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน ได้นำมาตรการทั้ง 4 มาตรการ มาทำการปรับแต่งค่าในแบบจำลองการใช้พลังงานที่ได้สร้างขึ้น เพื่อประเมินสมรรถนะการใช้พลังงาน ประเภทอาคารสถานศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

มาตรการที่ 1. ปรับเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจากเดิม 24°C เป็น 26°C โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และเพื่อให้ผู้ที่ทำงานในอาคารรู้สึกสบาย ไม่รบกวนการทำงาน โดยผลการศึกษาของมาตรการที่ 1 ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 6 และ 7

มาตรการที่ 2. การติดตั้งฟิล์มกันความร้อนที่ผนังกระจกและหน้าต่างบานกระจก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (Solar Heat Gain Coefficient : SHGC) และร้อยละของค่าแสงส่องผ่าน (Visible Light Transmittance)

มาตรการที่ 3. การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างจากเดิมเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง เปลี่ยนเป็นหลอด LED วัตถุประสงค์เพื่อการลดใช้พลังงานไฟฟ้า โดยพิจารณาการใช้หลอด LED ทดแทนหลอดไฟฟ้ายูนิทที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดโคมไฟฟ้า

มาตรการที่ 4. การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง (SEER) ทดแทนเครื่องปรับอากาศเก่าที่ใช้งานมายาวนาน โดยพิจารณาระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ เบอร์ 5 และค่าระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศตามฤดูกาล (SEER) ตามที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ประกาศกำหนด

จากผลการจำลองแบบการใช้พลังงานตามมาตรการทั้ง 4 มาตรการ ดังตารางที่ 6 จะพบว่า มาตรการที่ 3 การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างจากเดิมเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง เปลี่ยนเป็นหลอด LED สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด แต่หากพิจารณาผลการประหยัดพลังงานของแต่ละชั้นก็พบว่า ชั้นที่ 6 มาตรการที่ 1 การปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจากเดิม 24°C เป็น 26°C มีผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการลดใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 6 บริเวณชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 ตามมาตรการที่ 1-4

ชั้นที่	มาตรการที่ 1 (Set.Temp)	มาตรการที่ 2 (Film)	มาตรการที่ 3 (LED)	มาตรการที่ 4 (A/C)
6	26,830.76	4,774.94	20,946.99	23,408.10
7	13,499.83	6,691.29	38,801.03	14,239.49
8	3,088.01	2,067.66	2,702.88	1,117.79
9	7,795.98	3,764.69	10,429.47	9,211.94
รวมทุกมาตรการ (kWh)	51,214.58	17,298.58	<u>72,880.37</u>	47,977.32

เมื่อคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละชั้นปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามแบบจำลองที่ได้จากการศึกษา พบว่า บางมาตรการมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่ำกว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร ประเภทสถานศึกษาที่มีค่าอ้างอิงเท่ากับ $102\text{kWh/m}^2/\text{year}$ และ ยังมีค่าดัชนีต่ำกว่าเกณฑ์ BEC ที่กำหนดเท่ากับ $85\text{kWh/m}^2/\text{year}$ ซึ่งเข้าใกล้เกณฑ์ Econ ที่กำหนดเท่ากับ $58\text{kWh/m}^2/\text{year}$ ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 4 มาตรการ ของอาคาร 6 ชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9

มาตรการที่	ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตามแบบจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า ตามมาตรการต่าง ๆ ($\text{kWh/m}^2/\text{year}$)			
	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9
มาตรการที่ 1 (Set.Temp)	46.28	40.83	21.85	56.01
มาตรการที่ 2 (Film)	62.43	46.34	23.82	63.81
มาตรการที่ 3 (LED)	50.59	20.33	22.59	50.91
มาตรการที่ 4 (A/C)	48.79	40.23	25.66	53.27

สรุปผลการศึกษา

การศึกษากำหนดสมรรถนะการใช้พลังงานของอาคารสถานศึกษา กรณีศึกษา อาคาร 6 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ บริเวณชั้นที่ 6 ถึงชั้นที่ 9 โดยใช้โปรแกรม SketchUp version 2017, OpenStudio version 3.3.0 และ EnergyPlus สามารถประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานของอาคารตามมาตรการประหยัดพลังงานทั้ง 4 มาตรการ พบว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 21.85 - 62.43 kWh/m²/year ซึ่งผ่านเกณฑ์ค่าดัชนีการใช้พลังงานสุทธิ (Net Consumption) จากแบบจำลองของอาคารแต่ละประเภทอาคารสถานศึกษา ระดับ BEC ที่กำหนดค่าดัชนีขึ้นต่ำเท่ากับ 85 kWh/m²/year และเข้าใกล้เกณฑ์ Econ ที่กำหนดเท่ากับ 58 kWh/m²/year ส่วนมาตรการที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าอันดับ 1 คือ มาตรการที่ 3 (LED) การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างจากเดิมเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงเป็นหลอด LED สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้รวมเฉลี่ยสูงสุดคือเท่ากับ 32.79% เนื่องจากบริเวณชั้นที่ 7 มีการติดตั้งหลอดไฟฟ้าแสงสว่างมากที่สุด อันดับ 2 คือมาตรการที่ 1(Set.T) ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจากเดิม 24 °C เป็น 26 °C สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้รวม 23.41% อันดับ 3 คือมาตรการที่ 4 (A/C) การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง(SEER) ทดแทนเครื่องปรับอากาศเก่าที่ใช้งานมานานจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้รวมเฉลี่ย 20.28% และ อันดับที่ 4 คือ มาตรการที่ 2 (Film) การติดตั้งฟิล์มกันความร้อนที่ผนังกระจกและหน้าต่างบานกระจก สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้รวมเฉลี่ย 10.10% โดยมาตรการที่น่าสนใจในการศึกษานี้ คือมาตรการที่ 1(Set.T) ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศจากเดิม 24 °C เป็น 26 °C สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้รวม 23.41% โดยที่ไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่าย ส่วนมาตรการที่เหลือเป็นมาตรการที่ต้องใช้เงินลงทุน เหมาะสำหรับอาคารที่สร้างใหม่หรืออาคารที่ต้องการปรับปรุงให้เป็นไปตามกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กระทรวงพลังงาน. (2563). กฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน

หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2563.

ราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 137. ตอนที่ 94 ก (12 พฤศจิกายน 2563). หน้า 7-11.

กระทรวงพลังงาน. (2564). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2564 .สืบค้นเมื่อวันที่

29 พฤศจิกายน 2564, จาก www.eppo.go.th

กระทรวงพลังงาน. (2564) .แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573). สืบค้นเมื่อวันที่

29 พฤศจิกายน 2564, จาก https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/Files/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B9%8C%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%2020%20%E0%B8%9B%E0%B8%B5%20%282554-2573%29EEDP_Thai.pdf

คมสัน วิสาเวโท (2559).การศึกษามาตรการการประหยัดพลังงานและประเมินความคุ้มค่าทาง

เศรษฐศาสตร์ของอาคารประเภทห้องสมุด : กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดเพื่อการเรียนรู้
ของกรุงเทพมหานคร.(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

ชลกร เขาวนพานิช. (2563). ผลการประหยัดพลังงานจากการใช้สีสะท้อนความร้อน.(วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศิลปากร

ทศพล เขตเจนการ, พงษ์ศิริ จรูญนนท์, วิชชุดา เมตตานันท์, พงษ์นรินทร์ ชมชื่น และ ภาณุวัตร เกษร
ทอง. (2550). การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทสถานศึกษาด้วย
โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 น.927-932. ชลบุรี. มหาวิทยาลัยบูรพา.

บำรุง ชมดา, อำนาจ ผดุงศิลป์ และ ประสงค์ จันทราทิพย์. (2561). การศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ภายใน
อาคาร เพื่อป้องกันอาการเจ็บป่วยเนื่องจากสิ่งแวดล้อมในอาคาร: กรณีศึกษาอาคาร CAT
TOWER บางรัก กรุงเทพมหานคร.วารสารบัณฑิตวิทยาลัย ฉบับที่ 3.น.528. มหาวิทยาลัยธุรกิจ
บัณฑิตย์

พิมพ์จิตร ต้นประดิษฐ์. (2558). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการนำกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือ
ขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์
พลังงานที่ใช้กับอาคารภาครัฐมาบังคับใช้กับอาคารภาคเอกชน. วารสารวิชาการ ปีที่ 13 ฉบับที่ 1
(2560).หน้า 80-88 กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยสวนดุสิต.

อุกฤษฏ์ ใจงาม. (2562).การจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันและแบบเครื่องทำ
น้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา. (วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย