

การหาคำตอบที่ดีที่สุดของการจัดตารางการใช้ห้องเรียน เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

Optimization of Classroom Scheduling for Energy Conservation

พินญาณัฐ วิริยะรัตน์ และ วรพจน์ เสรีรัฐ

Phinyanut Wiriyarat and Worapod Sereerat

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Department of Industrial Engineering, Chiang Mai University

239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand, 50200

E-mail: w.phinyanut@gmail.com, Telephone Number: 095-4471198

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของการจัดตารางการใช้ห้องเรียนในอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า ซึ่งถูกเรียกเก็บแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) ซึ่งค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยในแต่ละช่วงเวลามีค่าไม่เท่ากัน โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 1) ความหนาแน่นของความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา 2) การเลือกขนาดห้องเรียนให้เหมาะสมกับจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนในคอนเรียนนั้นๆ และ 3) ผลกระทบด้านอุณหภูมิของห้องเรียนที่เกิดขึ้นจากแสงแดดที่ส่งผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศซึ่งคิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 40 ของภาระทางไฟฟ้าภายในห้องเรียน โดยคำตอบที่ได้ในงานวิจัยนี้ คือ คำตอบที่ดีที่สุดของการจัดตารางการใช้ห้องเรียนเพื่อให้มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ามูลค่าต่ำสุด ภายใต้ปัจจัยและข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการใช้ห้องเรียน จากการสรุปผลงานวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าลดลงมากที่สุด คือ การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวจะอยู่ในรูปของค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวลดลงร้อยละ 16.60 ส่วนปัจจัยด้านการเลือกขนาดห้องเรียนให้เหมาะสมและการหลีกเลี่ยงการใช้งานห้องเรียนที่ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากแสงแดดนั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 3.21 ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวในข้างต้น ส่งผลให้ค่าไฟฟ้ารวมมีค่าลดลงร้อยละ 5.74 คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลงในชั้น 2 และ 3 ของอาคาร 30 ปี จำนวน 3,954.97 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: การหาคำตอบที่ดีที่สุด การจัดตารางการใช้ห้องเรียน ลดค่าไฟฟ้า ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ABSTRACT

This research aims to develop a mathematical model for classroom scheduling at 30th Anniversary Building, Faculty of Engineering, Chiang Mai University. The objective of this study is to reduce energy consumption and electricity costs which were charged according to the time of consumption (Time-Of-Use (TOU) rates) which the average of electricity costs per unit is different. The factors to be considered include 1) The electricity consumption intensity in each time.

2) Classroom selections appropriately match number of students, and 3) The impacts of increasing classroom's temperature caused by sunlight affecting air conditioning which accounted for 40 percent out of the electricity consumption. The answer is an optimal solution of classroom scheduling to reduce energy consumption and electricity costs considered with factors and constraints of classroom scheduling.

A summary of the research showed the factors which reduced electricity costs the three most. First, the intensity changed of the electricity consumptions in each time, led electricity costs incurred due to cost in the form of peak load (Peak Load), expenses reduced 16.60 percent. Second, classroom selections appropriately match number of students and avoided using classroom which temperature increasing affected, cost reduced by 3.21 percent. As a result, the totally electricity costs reduced by 5.74 percent, accounted for decrease of electricity costs for 3,954.97 baht per months at 2nd and 3rd floors, 30th Anniversary Building.

Keywords: Optimal model, Classroom scheduling, Electricity costs reduction, Electricity consumption reduction.

1. บทนำ

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management) ซึ่งเป็นที่แพร่หลายในปัจจุบัน นับว่าเป็นสิ่งที่จะช่วยลดต้นทุนด้านการใช้ไฟฟ้าโดยตรง โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ถูกเรียกเก็บค่าใช้ไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) ซึ่งค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยในแต่ละช่วงเวลามีค่าไม่เท่ากัน

การจัดตารางการใช้ห้องเรียน เป็นวิธีจัดการด้านการใช้พลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถทำได้ภายในมหาวิทยาลัย เนื่องจากการใช้ห้องเรียน ในแต่ละช่วงเวลามีต้นทุนด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การเลือกใช้ห้องเรียนให้เหมาะสมกับจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียน ปัจจัยด้านทิศทางการวางตัวของห้องเรียนที่ได้รับผลกระทบด้านความร้อนจากแสงแดด จะมีผลทำให้ปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้าลดลงได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ จัดตารางการใช้ห้องเรียนด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อลดค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และมีการจัดลำดับความสำคัญของการใช้ห้องเรียน โดยคำตอบที่ได้ในงานวิจัยนี้ คือ คำตอบที่ดีที่สุดของการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่ก่อให้เกิดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด ภายใต้ปัจจัยและข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการใช้ห้องเรียน

2. การทบทวนวรรณกรรม

การจัดตารางการใช้ห้องเรียนประกอบด้วยปัจจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น จำนวนการใช้ห้องในแต่ละสัปดาห์ ข้อจำกัดของผู้สอนและผู้เรียน จำนวนนักศึกษาในแต่ละตอนเรียน เป็นต้น Erben and Keppler [1] และ Ferdoushi, et al. [2] แต่มีความแตกต่างกันที่เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา โดย Humo and Vejzovic [3] ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Mathematical) เพื่อจัดเรียงตารางการใช้ห้องเรียนใหม่ ซึ่งทำให้มีการใช้ประโยชน์จากห้องปฏิบัติการที่มีอุปกรณ์มูลค่าสูงอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการจัดการ Sheau Fen Ho, et al. [4] นำเสนอการแก้ปัญหการจัดตารางเรียนในมหาวิทยาลัยที่มีความซับซ้อนสูงในการคำนวณ โดยใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้วิธีขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมผสมที่ได้จากการอนุมานจากข้อมูลในอดีต (Genetic Algorithm Constraint-Based Reasoning) พบว่าใช้เวลาในการหาคำตอบด้วยคอมพิวเตอร์ได้เร็วกว่ามาก แต่วิธีดังกล่าวให้ผลตอบเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น Oswald and Deva Durai [5] จึงได้นำเสนองานวิจัยการแก้ปัญหการจัดตารางเรียนในมหาวิทยาลัยด้วยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบผสม (Hybrid Particle Swarm Optimization) โดยค่าที่ได้นั้นจะ

ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมมากกว่าและใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่า Al-Betar, et al. [6] ได้แก้ปัญหการจัดตารางเรียนในมหาวิทยาลัยด้วยวิธีการสลับหลายตำแหน่ง (Multi Swap Algorithm) โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ 1) การถ่วงน้ำหนักในแต่ละเส้นทางของทางเลือกซึ่งใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบย้อนรอย (Backtracking ALGORITHM) ร่วมกับวิธีการสลับหลายตำแหน่งเพื่อหาคำตอบ และ 2) เป็นการใช้เทคนิคการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Algorithm) ร่วมกับวิธีการสลับหลายตำแหน่ง Nouri and Driss [7] แก้ปัญหการจัดตารางเรียนในมหาวิทยาลัยด้วยแบบจำลองมัลติเอเจนต์ (Multi-Agent model) ซึ่งประกอบด้วยเอเจนต์ตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยเอเจนต์ในระบบสามารถติดต่อสื่อสารกันได้และเป้าหมายของเอเจนต์หนึ่งสามารถทำให้เป้าหมายของเอเจนต์อื่นๆบรรลุได้ Davoudzadeh, et al. [8] แก้ปัญหการจัดตารางเรียนในมหาวิทยาลัยด้วยแบบจำลองเชิงเส้น (Linear Model) โดยสมการเป้าหมายจะเป็นการจัดตารางการใช้ห้องเรียนให้สอดคล้องกับเป้าหมายหลักซึ่งส่งผลให้การให้คะแนนแบบมีการถ่วงน้ำหนักของความขัดแย้งต่อเป้าหมายรองมีค่าที่ต่ำที่สุดซึ่งรูปอยู่ในรูปของเมทริกซ์ Shimazaki, et al. [9] ได้นำเสนองานวิจัยซึ่งได้นำเสนอเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการจัดตารางการใช้งานห้องเรียนโดยใช้แนวคิดของการแก้ปัญหาความสัมพันธ์ของคนและเครื่องจักร (Man-Machine interaction) ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดตารางการใช้ห้องเรียนนั้นจะมุ่งเน้นแก้ปัญหาในส่วนของงานนักเรียนเพิ่มเติมซึ่งเป็นเรื่องที่สามารถเกิดขึ้นบ่อย โดยการแก้ไขปัญหาคือใช้กำหนดการเชิงจำนวนเต็มในการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบ โดยมีสมการเป้าหมายมากกว่าหนึ่งสมการขึ้นไป (Multi-objective optimization)

งานวิจัยนี้จะทำการจัดตารางการใช้ห้องเรียนด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดเนื่องจากง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงสามารถปรับเปลี่ยนข้อจำกัดต่างๆ ได้ง่าย โดย Waterer [10] ใช้กำหนดการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มทวิภาค (Binary Integer Linear Programming) ใน การ

แก้ปัญหา ซึ่งสมการเป้าหมายของการหาค่าที่ดีที่สุดคือการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากที่ว่างภายในห้องเรียนที่ถูกใช้งาน และ Daskalaki, et al. [11] ใช้กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ในการแก้ปัญหา ซึ่งสมการเป้าหมายของการหาค่าที่ดีที่สุดคือการหาต้นทุนของปัจจัยต่างๆ ที่ถูกกำหนดไว้ให้มีค่าต่ำสุด และนอกจากนั้นยังมีการกำหนดตัวแปรที่เป็นค่าคงที่เพื่อใช้ในการบังคับผลตอบให้เป็นไปตามความต้องการในเรื่องใจเฉพาะเพิ่มเติมอีกด้วย

นอกจากการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่ได้กล่าวมาข้างต้น ก็จะเป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในรูปแบบของการจัดการช่วงเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า โดย Shimazaki, et al. [12] ทำการควบคุมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยตรงของผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์แจ้งเตือนทางสายโทรศัพท์ ซึ่งจะมีการแจ้งเตือนเมื่อปริมาณการใช้ไฟรวมของระบบมีแนวโน้มที่จะเป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด โดยมีผลตอบแทนเป็นเงินเพื่อสร้างแรงจูงใจหากผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้าลงในช่วงที่มีการเตือนของสัญญาณ จากการทดลองพบว่าสามารถลดค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 35 Kong, et al. [13] ได้ทำการจัดตารางการเข้างานใหม่เพื่อทำให้เกิดพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าเนื่องจากค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าลดลง โดยจากการเปรียบเทียบผลหลังทำการปรับปรุงพบว่าค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงร้อยละ 19.2 Platts [14] ออกแบบอุปกรณ์ทำความร้อนที่สามารถเก็บพลังงานในรูปแบบของความร้อนได้ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิตพลังงานความร้อนในช่วงเวลาที่มีปริมาณการใช้ไฟที่น้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความแตกต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา Chen, et al. [15] ทำการหาค่าต่ำสุดของค่าไฟฟ้าซึ่งคิดตามช่วงเวลาการใช้งาน (Time of Use) โดยเป้าหมายของการหาค่าที่ดีที่สุดคือการหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งส่งผลให้ความแตกต่างของช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงและช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ

มีค่าต่ำสุดโดยทำการย้ายการใช้งานของภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีอัตราการคิดค่าไฟฟ้าที่สูงไปยังค่า Liu, et al. [16] ใช้การแก้ปัญหาด้วยวิธีกำหนดการหลายวัตถุประสงค์ (Multi - Objective Optimization Problem) ซึ่งสมการเป้าหมายคือหาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ความล่าช้าในการดำเนินการ และความแตกต่างของการใช้พลังงานในแต่ละช่วง เพื่อลดอัตราส่วนของช่วงเวลามีค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงต่อปริมาณการใช้ไฟเฉลี่ยรวม (Peak-to-average ratio)

จากการศึกษางานวิจัยที่ได้ทำการจัดตารางการใช้ห้องเรียนด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดที่ได้ศึกษามานั้น มักเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการนำกำหนดการจำนวนเต็มมาใช้และงานวิจัยที่มีจุดประสงค์ในการลดค่าไฟฟ้าลงที่ได้ศึกษานั้น มักจะมีเป้าหมายหลักในการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยสูงและเพิ่มหรือย้ายการใช้ไฟฟ้าไปยังช่วงเวลามีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำ ซึ่งการจัดตารางการใช้ห้องเรียนในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาค่าที่ดีที่สุด โดยใช้กำหนดการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มทวิภาคในการหาคำตอบ เนื่องจากตัวแปรคำตอบสามารถใช้ระบุได้ว่าจะมีการใช้ห้องเรียนนั้น ๆ ในแต่ละชั่วโมงเรียนหรือไม่ (คำตอบของตัวแปรเท่ากับ 1 เมื่อกำหนดให้ห้องเรียนถูกใช้งาน และคำตอบของตัวแปรเท่ากับ 0 เมื่อกำหนดให้ห้องเรียนไม่ถูกใช้งาน) นอกจากนั้นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดยังสามารถปรับเปลี่ยนข้อจำกัดให้เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ได้ง่ายอีกด้วย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การจัดตารางการใช้ห้องเรียนในอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จะเป็นการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่อยู่ในชั้น 2 และ 3 ของอาคารจำนวน 13 ห้องเรียน ซึ่งห้องเรียนดังกล่าวเป็นการใช้ภาระทางไฟฟ้าที่สามารถควบคุมพฤติกรรมการใช้งานได้ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 ข้อมูลและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ข้อมูลและปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานในการจัดตารางการใช้ห้องเรียนซึ่งเป็นข้อมูลโดยทั่วไปในการจัดตารางการใช้ห้องเรียน และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

3.1.1 ข้อมูลพื้นฐานในการจัดตารางการใช้ห้องเรียน

เงื่อนไขและข้อจำกัดในการจัดตารางการใช้ห้องเรียนโดยทั่วไปประกอบด้วย 1) จำนวนนักศึกษาในตอนเรียนนั้น ๆ 2) จำนวนความต้องการใช้ห้องเรียนวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูป 3) จำนวนนักศึกษาที่ห้องเรียนสามารถรองรับได้สูงสุด โดยเงื่อนไขและข้อจำกัดดังกล่าวจะถูกใช้เป็นข้อมูลในการเขียนสมการข้อจำกัดของการหาค่าที่ดีที่สุด

3.1.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้าในการจัดตารางการใช้ห้องเรียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ 1) ค่าไฟฟารวมของชั้น 2 และ 3 ของอาคาร ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งแบ่งตามชั่วโมงเรียน โดยเป็นข้อมูลเฉลี่ยตลอดภาคการศึกษา 2) ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละห้องเรียนเมื่อห้องเรียนถูกใช้งาน และ 3) ผลกระทบด้านอุณหภูมิของห้องเรียนที่เกิดขึ้นจากแสงแดด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า

โดยค่าไฟฟารวมของชั้น 2 และ 3 ของอาคารและปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละห้องเรียนเมื่อห้องเรียนถูกใช้งาน สามารถหาได้จากการคำนวณซึ่งได้ข้อมูลมาจากการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้า โดยมีการตรวจสอบความถูกต้องซึ่งอ้างอิงได้จากมิเตอร์วัดหน่วยการใช้ไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลทั้ง 3 ปัจจัย จะถูกใช้เป็นค่าอว่งน้ำหนักในสมการเป้าหมาย

3.2 การสร้างแบบจำลองการจัดตารางการใช้ห้องเรียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

แบบจำลองการจัดตารางการใช้ห้องเรียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะใช้กำหนดการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็ม

ทวิภาค (Binary Integer Linear Programming) โดยใช้โปรแกรม Lingo ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไขและสมมติฐานซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 เงื่อนไขและสมมติฐานของแบบจำลอง

- ตารางการใช้ห้องเรียนในส่วนของวิชาที่เป็นภาระเบียดเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูป (Program Package Registration) ซึ่งเป็นการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่ไม่สามารถย้ายหรือเปลี่ยนแปลงได้และห้องคอมพิวเตอร์ทั้งหมดไม่สามารถย้ายได้

- การจัดตารางการใช้ห้องเรียนจะเป็นการจัดสอนเรียนที่มีการเรียนการสอนในชั้น 2 และ 3 ของอาคาร 30 ปี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

- วันจันทร์และวันพฤหัสบดี วันอังคารและวันศุกร์ มีการจัดตารางการใช้ห้องเรียนเหมือนกัน โดยในวันพุธไม่มีการเรียนการสอน

- ใช้อัตราค่าไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (TOU Rate) ในการคำนวณค่าไฟฟ้า

- ภาระทางไฟฟ้าทุกประเภทในห้องเรียน ยกเว้นเครื่องปรับอากาศ มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าคงที่เมื่อห้องเรียนถูกใช้งาน

- ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

- ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในห้องเรียนที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยด้านการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจากแสงแดด จะมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาปกติ McClain, et al. [17] ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้มาจากการ ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยเครื่องปรับอากาศที่ได้รับผลกระทบดังกล่าว จะถูกกำหนดตัวคูณความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 จากความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าปกติ ($PF_{ij} = 1.25$) ซึ่งตัวคูณดังกล่าวจะทำการอธิบายในส่วนของพารามิเตอร์ต่อไป

3.2.2 กำหนดการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มทวิภาค

การจัดตารางการใช้ห้องเรียนจะเป็นการจัดตารางการใช้ห้องเรียน i ในช่วงโมงเรียน j เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าให้มีค่าลดลง ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้นั้นจะเป็นการระบุว่าชั่วโมงเรียน j ของห้องเรียน i นั้น ๆ จะถูกใช้งานหรือไม่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนี (Index)

i ดัชนีของห้องเรียน, $i = 1, 2, \dots, 13$

j ดัชนีของชั่วโมงเรียน, $j = 1, 2, \dots, 10$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$$x_{ij} \begin{cases} 1 & \text{ห้องเรียน } i \text{ ในชั่วโมง } j \text{ ถูกใช้งาน} \\ 0 & \text{ห้องเรียน } i \text{ ในชั่วโมง } j \text{ ไม่ถูกใช้งาน} \end{cases}$$

พารามิเตอร์ (Parameter)

PA_i ความต้องการกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเมื่อห้องเรียน i ถูกใช้งาน

PE_i ความต้องการกำลังไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้าเมื่อห้องเรียน i ถูกใช้งาน โดยยกเว้นเครื่องปรับอากาศ

PF_{ij} ตัวคูณของผลกระทบด้านอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ ในห้องเรียน i ชั่วโมงเรียน j ($PF_{ij}=1$ เมื่อเครื่องปรับอากาศในห้องเรียนดังกล่าวไม่ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแสงแดด และ $PF_{ij}=1.25$ เมื่อเครื่องปรับอากาศได้รับผลกระทบ)

EC_j ค่าไฟฟ้ารวมในชั้น 2 และ 3 ของอาคารที่เกิดขึ้นในช่วงโมงเรียน j

CLD_m จำนวนห้องเรียนที่ต้องการใช้งานซึ่งสามารถรองรับตอนเรียนที่มีนักศึกษาได้ขั้นต่ำจำนวน m คน

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J EC_j (PF_{ij} PA_i + PE_i) x_{ij} \right\} \quad (1)$$

ข้อจำกัด (Constraint)

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = CLD_m \quad (2)$$

$i \in$ ห้องเรียนที่สามารถรองรับนักศึกษาได้ขั้นต่ำ m คน
 $x_{ij} = 0$ (3)

$i \in$ ห้องเรียนที่มีตารางเรียนสำเร็จรูปเป็นส่วนประกอบ
 หนึ่งของตารางการใช้ห้องเรียน

$j \in$ ชั่วโมงเรียนที่ถูกใช้งานโดยตารางเรียนสำเร็จรูป

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} = \text{ปริมาณตอนเรียนทั้งหมด}$$
 (4)

$X_{ij} \geq 0 ; \forall i \forall j$ (5)

$X_{ij} \in \{0,1\}$ (6)

จากแบบจำลองดังกล่าว เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์
 ในรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นเลขจำนวนเต็มทวิภาค
 (Binary Integer Linear Programming) โดยจาก
 สมการที่ (1) สมการวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นการหาค่าที่ต่ำ
 ที่สุดของผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณความต้องการ
 ใช้กำลังไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั้น 2 และ 3
 ของอาคาร เมื่อมีการใช้ห้องเรียน i ในชั่วโมงเรียน j
 จากสมการวัตถุประสงค์ดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ สมการที่
 (2) แสดงจำนวนตอนเรียนที่ต้องการใช้ห้องเรียน
 ซึ่งสามารถรองรับนักศึกษาได้ขั้นต่ำ m คน เพื่อใช้ในการ
 เรียนการสอนในแต่ละชั่วโมงเรียน สมการที่ (3) คือ
 ข้อจำกัดในส่วนของวิชาเรียนที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้
 ตารางเรียนสำเร็จรูป ซึ่งไม่สามารถจัดตารางการใช้
 ห้องเรียนทับช่วงเวลาการใช้งานห้องเรียนดังกล่าวได้
 สมการที่ (4) คือข้อจำกัดเพื่อป้องกันการใช้ห้องเรียนทับ
 ซ้อนกัน สมการที่ (5) คือ ข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจที่
 ต้องเป็นค่าไม่ติดลบ (Non-Negativity Constraint)
 สมการที่ (6) คือ ข้อจำกัดของตัวแปรที่ต้องการคำตอบ
 เป็นจำนวนเต็มทวิภาค (Binary Constraint)

3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
 คณิตศาสตร์จะใช้การทดลองแทนค่าคำตอบให้กับตัวแปร
 คำตอบในแบบจำลองขนาดเล็กที่สร้างขึ้นมาในการ

ทดสอบ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบภายใต้
 เงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้หรือไม่

3.4 การแก้ไขปัญหาการจัดตารางการใช้ห้องเรียน กรณีศึกษาห้องเรียนรวม อาคาร 30 ปี

ข้อมูลการจัดตารางการใช้ห้องเรียนรวมจะอ้างอิง
 ข้อมูลจากการใช้ห้องเรียนในชั้น 2 และ 3 ของอาคาร 30
 ปี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 ซึ่งข้อมูลพื้นฐานในการ
 จัดตารางการใช้ห้องเรียนประกอบด้วย จำนวนที่นั่งที่ของ
 แต่ละห้องเรียน การแบ่งชั่วโมงเรียน การใช้ห้องเรียนของ
 วิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูป
 จำนวนตอนเรียนที่มีนักศึกษาลงเรียนในปริมาณต่างๆ และ
 ห้องเรียนที่ควรเลือกใช้ แสดงดังตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1 จำนวนที่นั่งของแต่ละห้องเรียน

Index i (Room)	จำนวนที่นั่ง (คน)	Index i (Room)	จำนวนที่นั่ง (คน)
1 (201)	50	8 (214)	45
2 (202)	50	9 (222)	35
3 (203)	45	10 (310)	80
4 (210)	80	11 (311)	80
5 (211)	80	12 (312)	50
6 (212)	45	13 (313)	50
7 (213)	45		

จากตารางที่ 1 แสดงจำนวนที่นั่งของแต่ละห้องเรียน
 ในขนาดต่างๆ ซึ่งการแบ่งขนาดของความต้องการใช้
 ห้องเรียนด้วยจำนวนที่นั่งในงานวิจัยนี้ จะแบ่งขนาด
 ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 10 – 20, 30 – 50 และ 60 – 80
 ที่นั่ง แสดงดังตารางที่ 4 โดยวัตถุประสงค์ของการ
 แบ่งกลุ่มขนาดห้องเรียน คือ ลดข้อจำกัดในส่วนของ
 สัดส่วนปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าต่อจำนวนที่นั่งใน
 ห้องเรียนซึ่งแต่ละห้องเรียนมีสัดส่วนดังกล่าวแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 การแบ่งชั่วโมงเรียนของตารางการใช้ห้องเรียน

Index j	วัน	ช่วงเวลา
1	จันทร์และ	08.00 - 09.30 น.
2	พฤหัสบดี	09.30 - 11.00 น.

ตารางที่ 2 (ต่อ) การแบ่งชั่วโมงเรียนของตารางการใช้ห้องเรียน

Index j	วัน	ช่วงเวลา
3		11.00 – 12.30 น.
4		13.00 – 14.30 น.
5		14.30 – 16.00 น.
6	อังคารและศุกร์	08.00 - 09.30 น.
7		09.30 - 11.00 น.
8		11.00 – 12.30 น.
9		13.00 – 14.30 น.
10		14.30 – 16.00 น.

จากตารางที่ 2 แสดงการแบ่งชั่วโมงเรียนของตารางการใช้ห้องเรียน ซึ่งตารางการใช้ห้องเรียนของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในวันจันทร์จะมีตารางการใช้ห้องเรียนเหมือนวันพฤหัสบดี และในวันอังคารจะมีตารางการใช้ห้องเรียนเหมือนวันศุกร์ โดยในวันพุธจะไม่มีการเรียนการสอน ในส่วนของการแบ่งช่วงเวลาของชั่วโมงเรียนตั้งแต่ 08.00 – 16.00 น. นั้น จะแบ่งออกเป็นช่วงละ 1 ชั่วโมง 30 นาที

ตารางที่ 3 การใช้ห้องเรียนของวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูป

วิชา package (x_{ij})
$x_{19}, x_{24}, x_{38}, x_{45}, x_{47}, x_{55}, x_{57}, x_{59}, x_{510}, x_{67}, x_{69}, x_{610}, x_{77}, x_{79}, x_{710}, x_{87}, x_{104}, x_{117}, x_{119}, x_{1110}, x_{129}, x_{1210}$

จากตารางที่ 3 แสดงการใช้ห้องเรียนของวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูปซึ่งจะไม่อนุญาตให้ใช้ในการจัดให้มีการใช้ห้องเรียนลงในชั่วโมงเรียนของห้องเรียนดังกล่าว เช่น $x_{19} = 0$ คือ $i = 1$ หมายถึงห้องเรียนที่ 1 หรือห้อง 201 และ $j = 9$ หมายถึง ชั่วโมงเรียนที่ 4 ของวันอังคารและวันศุกร์ ถูกใช้เป็นห้องเรียนของวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูป และ $x_{104} = 0$ หมายถึง ห้องเรียนที่

10 หรือห้อง 310 ในชั่วโมงเรียนที่ 4 ของวันจันทร์และวันพฤหัสบดี ไม่สามารถจัดสอนเรียนอื่น ๆ ลงในช่วงเวลาดังกล่าวได้ เป็นต้น

ตารางที่ 4 จำนวนตอนเรียนที่มีนักศึกษาลงเรียนในปริมาณต่างๆ และห้องเรียนที่ควรเลือกใช้

จำนวนนักศึกษา (คน)	จำนวนตอนเรียน	ห้องเรียนที่เหมาะสม (Index i)
10	4	9
15	2	
20	4	
30	21	1, 2, 3, 6, 7, 8, 12, 13
40	11	
50	7	
60	3	4, 5, 10, 11
70	9	
75	1	
80	13	

จากตารางที่ 4 แสดงตารางจำนวนตอนเรียนที่มีนักศึกษาลงเรียนในปริมาณต่างๆ และห้องเรียนที่ควรเลือกใช้ ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการเลือกใช้ห้องเรียนพิจารณาจากขนาดของห้องเรียนและช่วงเวลาของห้องเรียนที่ไม่ถูกใช้งาน ในกรณีที่จำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนในตอนเรียนดังกล่าวอยู่ในช่วงคาบเกี่ยวของการแบ่งกลุ่มขนาดของห้องเรียนที่งานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดไว้ (10 – 20, 30 – 50 และ 60 – 80 ที่นั่ง) ห้องเรียนที่เหมาะสมต่อการเลือกใช้จะต้องมีจำนวนที่นั่งเพียงพอต่อการรองรับจำนวนนักศึกษา เช่น ห้องเรียนที่สามารถรองรับตอนเรียนที่มีนักศึกษาลงทะเบียนจำนวน 25 คน ได้จะต้องมีจำนวนที่นั่งไม่ต่ำกว่า 25 ที่นั่ง ซึ่งกลุ่มขนาดของห้องเรียนที่สามารถรองรับได้คือ 30 – 50 ที่นั่ง เป็นต้น

ในส่วนของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้าประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั้น 2 และ 3 ของอาคาร ในแต่ละชั่วโมงเรียน ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อห้องเรียนถูกใช้งาน และห้องเรียนที่ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิจากแสงแดด แสดงดังตารางที่ 5 – 7

ตารางที่ 5 ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั้น 2 และ 3 ของอาคารในแต่ละชั่วโมงเรียน (EC_j)

ชั่วโมงเรียน (j)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ชั่วโมงเรียน (j)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
1	426.14	6	352.86
2	638.78	7	737.37
3	866.09	8	410.55
4	789.93	9	13,979.84
5	837.39	10	948.92

จากตารางที่ 5 แสดงค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงเรียน ซึ่งมีค่าแปรผันโดยตรงกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา โดยชั่วโมงเรียนที่ 4 ของวันอังคารและพฤหัสบดี ($i = 9$) จะเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากเป็นช่วงเวลาเรียนของวิชาพื้นฐาน ซึ่งมีจำนวนนักศึกษาจำนวนมาก ซึ่งนอกจากค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าโดยปกติแล้วนั้น จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) อีกด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายดังกล่าวสามารถทำให้มีค่าลดลงได้โดยการลดความหนาแน่นในการใช้ไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้การย้ายเวลาการใช้ห้องเรียนเพื่อลดความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในทุกๆ ช่วงเวลา

ตารางที่ 6 ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อห้องเรียนถูกใช้งานในสภาวะปกติ ($PF_{ij}PA_i+PE_i$)

ห้องเรียน (i)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ห้องเรียน (i)	กำลังไฟฟ้า (kW)
1	4.05	8	4.25
2	4.1	9	3.16
3	3.16	10	17.08
4	9.59	11	9.4
5	8.50	12	5.33
6	4.47	13	4.57
7	4.58		

จากตารางที่ 6 แสดงความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อห้องเรียนถูกใช้งานซึ่งหาได้จากการสำรวจภาระทางไฟฟ้าที่มีอยู่ในแต่ละห้องเรียนประกอบด้วย พัดลม วงจรแสงสว่าง คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ขยายเสียง และเครื่องฉาย

วิดีโอ ซึ่งภาระทางไฟฟ้างกล่าวมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าคงที่เมื่อห้องเรียนถูกใช้งาน เช่น เมื่อห้องเรียนที่ 6 หรือห้อง 212 ถูกใช้งาน ภาระทางไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าแบบคงที่จะมีความต้องการใช้ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ 450 วัตต์ วงจรแสงสว่าง 648 วัตต์ อุปกรณ์ขยายเสียงและเครื่องฉายวิดีโอ 1,865 วัตต์ เป็นต้น ในส่วนของเครื่องปรับอากาศจะใช้ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 ของแต่ละห้องเรียนที่อยู่ในสภาวะไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอื่นเนื่องมาจากแสงแดดมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า 1,514 วัตต์ในช่วงสภาวะปกติ (ช่วงเช้า) ทำให้มีความต้องการกำลังไฟฟ้ารวมทั้งสิ้นเท่ากับ 4.47 กิโลวัตต์ ซึ่งเครื่องปรับอากาศภายในอาคารมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าอยู่แล้ว โดยพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละห้องเรียนคือผลรวมของการประมาณค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าจากภาระทางไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจและข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้องเรียน

ในส่วนของคุณค่าแตกต่างของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องเรียนที่มีขนาดและจำนวนที่นั่งในห้องเรียนเท่ากัน เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยซึ่งประกอบด้วย 1) ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ 2) ความเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน 3) ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาปัจจัยด้านความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากผลกระทบด้านอุณหภูมิจากแสงแดดที่ส่องบางห้องเรียนในช่วงบ่าย แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลกระทบด้านอุณหภูมิจากแสงแดด

ห้องเรียนที่ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิจากแสงแดดในช่วงบ่าย (PF_{ij})
$PF_{64}, PF_{65}, PF_{69}, PF_{610}, PF_{74}, PF_{75}, PF_{79}, PF_{710}, PF_{84}, PF_{85}, PF_{89}, PF_{810}, PF_{124}, PF_{125}, PF_{129}, PF_{1210}, PF_{134}, PF_{135}, PF_{139}, PF_{1310}$

จากตารางที่ 7 แสดงข้อมูลของห้องเรียนที่ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิจากแสงแดดในช่วงบ่าย ซึ่งห้องเรียน i ในช่วงโมงเรียน j จะมีค่าพารามิเตอร์ $PF_{ij} = 1.25$ โดยค่าดังกล่าวคือค่าถ่วงน้ำหนักของการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้องที่โดนแสงแดดส่องในช่วงบ่าย เช่น $PF_{64} = 1.25$ หมายถึง ห้องเรียนที่ 6 หรือห้อง 212 ในช่วงโมงเรียนที่ 4 ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากแสงแดดส่อง ดังนั้นค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของห้องเรียนที่ 6 จะมีค่าเท่ากับ $1,514 \times 1.25$ เท่ากับ 1,892.5 กิโลวัตต์ เป็นต้น

3.5 Lingo Model

การใช้โปรแกรม Lingo ในการหาคำตอบประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ 1) การประกาศตัวแปร 2) ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ 3) สมการเป้าหมายและข้อจำกัด รายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1

MODEL :

SETS :

ROOM /1..13/ : PA, PE;
PERIOD /1..10/ : EC;
LINK(ROOM,PERIOD) : PF, X;
CLASSROOMDEMAND /1..3/ : CLD;

ENDSETS

ส่วนที่ 2

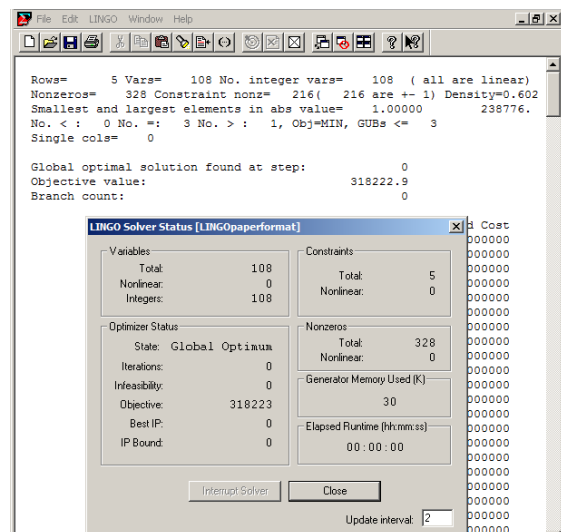
DATA :

!PA = A/C Power Demand in Each Room ;
PA = 0, 0, 0, 4.38, 3.29, 1.51, 1.62, 1.29, 0, 12.67, 4.99, 2.37, 1.61 ;
!PE = All Load Except A/C Power Demand in Each Room ;
PE = 4.05, 4.1, 3.16, 5.21, 5.21, 2.96, 2.96,
2.96, 3.16, 4.41, 4.41, 2.96, 2.96 ;
!EC = Electricity Cost in Each Period ;
EC = 426.14, 638.78, 866.09, 789.93, 837.39,
352.86, 737.37, 410.55, 13979.84, 948.92 ;
!PF = Thermal Condition Factor for Air Conditioner ;
PF = 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1, 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1,
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1, 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1,
1 1 1 1 1 1 1 1 1, 1 1 1 1.25 1.25 1 1 1 1.25 1.25,
1 1 1 1.25 1.25 1 1 1 1.25 1.25,
1 1 1 1.25 1.25 1 1 1 1.25 1.25, 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1,
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1,
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1, 1 1 1 1.25 1.25 1 1 1 1.25 1.25,
1 1 1 1.25 1.25 1 1 1 1.25 1.25 ;
CLD = 10, 39, 26 ;
OVERALLCLASSEMDEMAND = 75 ;
ENDDATA

ส่วนที่ 3

```
Objective function :
MIN = @SUM(ROOM(i) :
@SUM(PERIOD(j) : EC(j) * ((PF(i) * PA(i) + PE(i)) * X(i,j)));
!constraint ;
!prgramme package registration :
X(1,9) = 0 ; X(2,4) = 0 ; X(3,8) = 0 ; X(4,5) = 0 ; X(4,7) = 0 ;
X(5,5) = 0 ; X(5,7) = 0 ; X(5,9) = 0 ; X(5,10) = 0 ; X(6,7) = 0 ;
X(6,9) = 0 ; X(6,10) = 0 ; X(7,7) = 0 ; X(7,9) = 0 ; X(7,10) = 0 ;
X(8,7) = 0 ; X(10,4) = 0 ; X(11,7) = 0 ; X(11,9) = 0 ; X(11,10) = 0 ;
X(12,9) = 0 ; X(12,10) = 0 ;
!110-20 seats requirement, 35 seat rooms, for 10 class ;
@SUM(PERIOD(j) : X(9,j)) = CLD(1) ;
!130-50 seats requirement, 45 - 50 seat rooms, for 39 class ;
@SUM(PERIOD(j) :
X(1,j)+X(2,j)+X(3,j)+X(6,j)+X(7,j)+X(8,j)+X(12,j)+X(13,j)) = CLD(2) ;
!160-80 seats requirement, 80 seat rooms, for 26 class ;
@SUM(PERIOD(j) : X(4,j)+X(5,j)+X(10,j)+X(11,j)) = CLD(3) ;
!11 room for 1 class in each period >= 75 class ;
@SUM(ROOM(i) : @SUM(PERIOD(j) :
X(i,j))) >= OVERALLCLASSEMDEMAND ;
!binary constraint ;
@FOR(LINK : @BIN(X));
END
```

จากการใช้โปรแกรม Lingo ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยคำตอบที่ได้มีค่าของสมการเป้าหมายคือ 318,223.0 วัตต์-บาท แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การใช้โปรแกรม Lingo ในการหาคำตอบ

3.6 วิเคราะห์คำตอบ

จากการหาคำตอบที่ดีที่สุดของการจัดตารางการใช้ห้องเรียนด้วยโปรแกรม Lingo ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา นั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายในส่วนของงานวิเคราะห์คำตอบ โดยเปรียบเทียบระหว่างตารางการใช้ห้องเรียนเดิมและตารางการใช้ห้องเรียนหลังจากที่มีการปรับปรุง โดยรูปแบบของคำตอบที่ได้ในงานวิจัยนี้ จะเป็น

ตารางการใช้ห้องเรียนของแต่ละห้อง ซึ่งระบุสถานะการถูกใช้ของห้องเรียนว่าชั่วโมงเรียนใดๆ ของแต่ละวันมีการใช้งานห้องเรียนนั้นๆ หรือไม่ โดยจากการปรับปรุงตารางการใช้ห้องเรียนดังกล่าวสามารถแสดงตารางการใช้ห้องเรียนเดิมและตารางการใช้ห้องเรียนหลังจากที่มีการปรับปรุง ดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 ตารางการใช้ห้องเรียนเดิม

i	j (จ, พฤ)					j (อ, ศ)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									R	
2				R						
3								R		
4					R		R			
5					R		R		R	R
6							R		R	R
7							R		R	R
8							R			
9										
10				R						
11							R		R	R
12									R	R
13										

ตารางที่ 9 ตารางการใช้ห้องเรียนหลังปรับปรุง

i	j (จ, พฤ)					j (อ, ศ)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									R	
2				R						
3								R		
4					R		R			
5					R		R		R	R
6							R		R	R
7							R		R	R
8							R			
9										
10				R						
11							R		R	R
12									R	R
13										

■ ห้องเรียนถูกใช้งาน
R Program Package Registration

จากตารางที่ 8 และ 9 แสดงตารางการใช้ห้องเรียนเดิมและหลังปรับปรุง โดยตัวอย่างของการอ่านค่าผลตอบ เช่น $i = 1$ และ $j = 1$ ของตารางที่ 8 (ตารางการใช้ห้องเรียนเดิม)

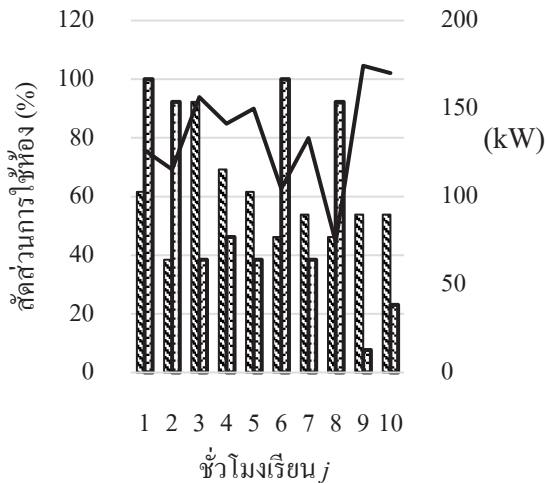
หมายถึงห้อง 201 ในช่วงเวลา 08.00 - 09.30 น. ของวันจันทร์และวันพฤหัสบดีจะไม่ถูกใช้งาน แต่หากทำการเทียบวันเวลาดังกล่าวกับตารางที่ 9 (ตารางการใช้ห้องเรียนหลังปรับปรุง) จะพบว่าห้องเรียนไม่ถูกกำหนดให้มีการใช้งาน ในส่วนของวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูปซึ่งไม่มีการย้ายช่วงเวลาการใช้ห้องเรียนจะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ R ซึ่งการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ห้องเรียนตามจำนวนที่นั่ง แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สัดส่วนการใช้ห้องเรียนใน 1 สัปดาห์โดยแบ่งตามขนาดห้องเรียน

ขนาดห้องเรียน (ที่นั่ง)	ตารางเดิม (ตอนเรียน)	ตารางใหม่ (ตอนเรียน)	เพิ่ม/ลด (ตอนเรียน)
35	14	20	6
45	60	56	-4
50	54	46	-8
80	66	72	6

จากตารางที่ 10 เปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ห้องเรียนขนาดต่างๆ พบว่าตารางการใช้ห้องเรียนใหม่ลดจำนวนการใช้ห้องที่มีขนาดใหญ่ที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้จำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้าลดลง

นอกจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการเลือกใช้งานห้องที่เหมาะสมแล้วนั้น ในส่วนของค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ โดยปริมาณความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงเรียนดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนการใช้ห้องเรียนและการใช้ไฟฟ้า

จากรูปที่ 2 แสดงกราฟสัดส่วนการใช้ห้องเรียนเทียบกับปริมาณความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงเรียน ซึ่งพบว่าสัดส่วนการใช้ห้องเรียนของตารางการใช้ห้องเรียนหลังปรับปรุงและความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารวมของชั้น 2 และ 3 ของอาคารมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน โดยหากมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารวมสูง จะมีการใช้ห้องเรียนน้อยในช่วงเวลานั้น และหากมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ารวมต่ำ จะมีการใช้ห้องเรียนมาก ยกตัวอย่างเช่น ในชั่วโมงเรียนที่ 6 มีสัดส่วนของการใช้ห้องเรียนร้อยละ 100 ซึ่งในชั่วโมงเรียนดังกล่าวมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า 65 กิโลวัตต์ และในชั่วโมงเรียนที่ 9 มีสัดส่วนของการใช้ห้องเรียนร้อยละ 8 ซึ่งในชั่วโมงเรียนดังกล่าวมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า 105 กิโลวัตต์ เป็นต้น โดยพฤติกรรมที่เกิดขึ้นดังกล่าว ส่งผลให้ความแตกต่างของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลามีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าลดลง

4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการจัดตารางการใช้ห้องเรียนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดหน่วยการใช้ไฟฟ้าและลดค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยที่มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละ

ช่วงเวลาซึ่งยังคงจำนวนการใช้ห้องเรียนในแต่ละขนาดสำหรับการเรียนการสอน โดยนอกจากพิจารณาข้อจำกัดในการจัดตารางการใช้ห้องเรียน โดยทั่วไปแล้วนั้นยังพิจารณาปัจจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อห้องเรียนนั้นๆ ถูกใช้งาน ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั้นอาคารที่จัดตารางการใช้ห้องเรียนอยู่ ผลกระทบด้านอุณหภูมิที่ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยหลังการปรับปรุงการจัดตารางการใช้ห้องเรียนพบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าภายในชั้น 2 และ 3 ของอาคาร 30 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ลงร้อยละ 5.74 คิดเป็นเงิน 3,954.97 บาทต่อเดือน ซึ่งการลดลงดังกล่าวเกิดขึ้นจากการลดค่าไฟฟ้าในส่วนของคุณค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดลงร้อยละ 16.60 และการลดค่าไฟฟ้าตามหน่วยการใช้งานลงร้อยละ 3.21 ซึ่งผลลัพธ์ของการลดค่าไฟฟ้าตามหน่วยการใช้งาน เป็นการปรับปรุงตารางการใช้ห้องเรียนที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดเรื่องการใช้ห้องเรียนสำหรับวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูป โดยการใช้ห้องเรียนของวิชาดังกล่าวจะไม่ถูกจัดใหม่ในงานวิจัยนี้ ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าตามหน่วยการใช้งานของตารางการใช้ห้องเรียนหลังปรับปรุง มีค่าลดลงน้อย ซึ่งได้รับผลกระทบจากการจัดวิชาที่เป็นการลงทะเบียนแบบใช้ตารางเรียนสำเร็จรูปซึ่งมักถูกจัดในช่วงบ่าย ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีราคาค่าไฟฟ้าตามหน่วยการใช้งานสูงกว่าในช่วง Off Peak นอกจากนี้ในบางห้องเรียนยังได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิจากแสงแดดส่องอีกด้วย

การเปรียบเทียบผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยสามารถทำได้โดยจำลองพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยอ้างอิงจากตารางการใช้ห้องเรียนหลังปรับปรุง โดยข้อมูลที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าประกอบด้วย ตารางการใช้ห้องเรียนใหม่ ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของห้องเรียนเมื่อถูกใช้งาน ข้อมูลผลกระทบด้านอุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากแสงแดด โดยรายละเอียดสรุปผลการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบผลการปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง (ร้อยละ)
Unit (หน่วย)	10,803.87	10,663.56	140.31 (1.30%)
Unit Cost (บาท)	55,836.94	54,041.99	1,794.95 (3.21%)
Peak Cost (บาท)	13,008.25	10,848.24	2,160.01 (16.60%)
Total Cost (บาท)	68,845.19	64,890.22	3,954.97 (5.74%)

จากตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงหลังทำการวิจัย โดยการลดลงของหน่วยการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการสลับใช้ห้องเรียนซึ่งห้องเรียนที่มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยจะถูกจัดลำดับให้มีการใช้งานก่อน รวมไปถึงการใช้งานห้องเรียนที่มีอัตราส่วนระหว่างจำนวนนักศึกษาและความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าไม่เหมาะสม ซึ่งการลดลงของการใช้ไฟฟ้าเนื่องจากปัจจัยดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 10 โดยตัวอย่างของการเลือกใช้นักเรียนให้มีความเหมาะสมกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าเมื่อห้องเรียนถูกใช้งาน เช่น ในกลุ่มขนาดห้องเรียน 30 – 50 ที่นั่ง มีการลดการใช้ห้องเรียนที่ 13 หรือห้อง 313 จำนวน 4 ชั่วโมงเรียน และมีการเพิ่มการใช้ห้องเรียนที่ 3 หรือห้อง 203 จำนวน 4 ชั่วโมงเรียน ซึ่งห้องเรียนที่ 13 มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าในภาวะปกติเท่ากับ 4.57 กิโลวัตต์ และห้องเรียนที่ 3 มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าในภาวะปกติเท่ากับ 3.16 กิโลวัตต์ ซึ่งห้องเรียนที่ 13 มีค่าดังกล่าวสูงกว่าห้องเรียนที่ 3 สูงถึงร้อยละ 44.62 $((4.57 - 3.16) / 3.16) \times 100$ ซึ่งหมายถึงว่า หากย้ายการใช้ห้องเรียนจากห้องที่ 13 ไปยังห้องที่ 3 จะสามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 44.62 หรือคิดเป็นเงินประมาณ 8 บาทต่อชั่วโมงเรียน โดยการลดลงดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการย้ายตารางการใช้ห้องเรียนในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าใน

จำนวนมาก ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด ในกรณีศึกษาของงานวิจัยหลังปรับปรุงคือชั่วโมงเรียนที่ 2 ของวันจันทร์และวันพฤหัสบดีจะมีค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 146.32 กิโลวัตต์ ลดจากเดิมที่มีค่าความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดในชั่วโมงเรียนที่ 4 ของวันอังคารและวันศุกร์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 175.46 กิโลวัตต์ โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของการใช้ไฟฟ้าสามารถเปรียบเทียบได้จากตารางที่ 8 และ 9 ยกตัวอย่างเช่น ในชั่วโมงเรียนที่ 2 ของวันจันทร์และวันพฤหัสบดี ($j = 1$) จากเดิมที่มีการใช้ห้องเรียนจำนวน 13 ห้องเรียน ในตารางการใช้ห้องเรียนเดิม ($i = 1$ ถึง $i = 13$ ในชั่วโมงเรียนที่ $j = 1$) มีการลดจำนวนการใช้ห้องเรียนเหลือ 5 ห้องเรียน ในตารางการใช้ห้องเรียนใหม่ เป็นต้น

ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ โดยทำการเปลี่ยนค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั่วโมงเรียนนั้นๆ ตามขอบเขตของของพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต้องการใช้อ้างอิง เช่น การจัดการตารางสอนในทุกอาคารเรียนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยอ้างอิงค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงของทั้งมหาวิทยาลัย เป็นต้น เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวออกแบบมาเพื่อรองรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในส่วนของการระบุว่าตอนเรียนใช้ห้องเรียนและชั่วโมงเรียนใด โดยการระบุตอนเรียนจะอ้างอิงจากปริมาณนักศึกษาที่ลงเรียนในตอนเรียนนั้นๆ กับจำนวนที่นั่งในห้องเรียน ซึ่งปริมาณความต้องการใช้ห้องเรียนที่มีจำนวนที่นั่งในขนาดต่างๆ จะถูกระบุไว้ในสมการ (3) ซึ่งหากต้องการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปใช้ในการจัดการตารางการใช้ห้องเรียนที่มีจำนวนห้องเรียนไม่มาก สามารถเพิ่มดัชนีเพื่อระบุตอนเรียนเพิ่มเติมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Erben,W. and Keppler, J. A genetic algorithm solving a weekly course timetabling problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 1996; 1153: 198-211.
- [2] Ferdoushi, T., Das, P. K., Akhand, M. A. H. Highly constrained university course scheduling using modified hybrid particle swarm optimization. 2013 International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 13-15 February, Bangladesh, 2014.
- [3] Humo, E., Vejzovic, Z. A mathematical model for classroom - period schedule defragmentation. EUROCON 2007 The International Conference on Computer as a Tool, 9-12 September, Poland, 2017; 2030-2033.
- [4] Sheau Fen Ho, I., Safaai, D., Hashim, S. Z. M. A Study on PSO-Based university course timetabling problem. International Conference on Advanced Computer Control, 22-24 January, Singapore, 2009; 648-651.
- [5] Oswald, C., Deva Durai C, A. Novel hybrid PSO algorithms with search optimization strategies for a University Course Timetabling Problem. 2013 Fifth International Conference on Advanced Computing (ICoAC), 18-20 December, India, 2013; 77-85.
- [6] Al-Betar, M. A., Khader, A. T., Muslih, O. A multiswap algorithm for the university course timetabling problem. 2012 International Conference on Computer & Information Science (ICCIS), 12-14 June, Malaysia, 2012; 301-306.
- [7] Nouri, H.E., Driss, O.B. (2013). Distributed model for university course timetabling problem. International conference on Computer Applications Technology (ICCAT), 20-22 January, Tunisia, 2013; 1-6.
- [8] Davoudzadeh, M., Rafeh, R., Rashidi, R. A linear solution for the university timetabling problem. 2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering, 28-30 December, United Arab Emirates, 2009; 54-57.
- [9] Shimazaki, S., Sakakibara, K., Matsumoto, T. Iterative optimization techniques based on man - machine interaction for timetabling problems. 2014 IEEE 7th International Workshop on Computational Intelligence and Applications, 7-8 November, Japan, 2014; 125-129.
- [10] Waterer, h. A zero - one integer programming model for room assignment at the university of auckland. The University of Auckland Library, 1995; 63-70.
- [11] Daskalaki, S., Birbas, T., Housos, E. An integer programming formulation for a casestudy in university timetabling. *European Journal of Operational Research* 2003; 153(1): 117-135.
- [12] Nannery, P. R., Foltin, M. S. The application of peak activated rates a technique to load management. *IEEE Power Engineering Review*, 1985; PER-5(11): 40-41.
- [13] Kong, W., Chai, T., Ding, J., & Yang, S. Multifurnace optimization in electric smelting plants by load scheduling and control. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2014; 11(3): 850 - 862.
- [14] Platts, J. Power/energy : Electrical load management : The British experience, part II: Local and remote controls coupled with off-peak rates have forced nighttime demand to record highs. *IEEE Spectrum*, 1979; 16(4): 66-68.
- [15] Chen, K., Chen, D., Liao, Y., Chen, X. The optimization of time-of-use pricing considering reliability. 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), 10-13 June, Sweden, 2013; 1-4.
- [16] Liu, Y., Yuen, C., Huang, S., Hassan, N. U., Wang, X., Xie, S. Peak-to-average ratio constrained demand-side management with consumer's preference in residential smart grid. *IEEE Signal Processing Society*, 2014; 8(6): 1084-1097.
- [17] Mclain, H. A., Goldenberg, D., Karnitz, M. A., Anderson, S. D., and Ohr, S.Y. Benefits of replacing residential central air conditioning systems, ORNL/CON-11, 1985.