การจัดตารางการใช้ห้องเรียนเพื่อลดภาระการทำความเย็นโดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม : กรณีศึกษา

อธิวัฒน์ บุญมี และ วรญา เนื่องมัจฉา*
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

* *Corresponding Author: fengwyn@ku.ac.th*
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 14 เมษายน 2563
แก้ไข : 21 มกราคม 2564
ตอบรับ : 11 กุมภาพันธ์ 2564

คำสำคัญ :
การจัดตารางการใช้ห้องเรียน /
ภาระการทำความเย็น /
ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

บทคัดย่อ

จากค่าใช้จ่ายการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงมากขึ้นในแต่ละปีของหน่วยงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาและศึกษาแนวทางในลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอันเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากคนจำนวนมากภายในห้อง ตลอดจนความร้อนจากระบบส่องสว่าง และความร้อนภายนอกที่ถ่ายเทผ่านผนังของห้อง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศภายในห้องนั้นๆ งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแนวทางในการตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการใช้ห้องเรียนของหน่วยงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาโดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยมีเป้าหมายคือการทำให้ภาระการทำความเย็นรวมของเครื่องปรับอากาศภายในห้องต่ำที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นรวมของเครื่องปรับอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดโดยบุคลากรที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.28

Application of Genetic Algorithm to Classroom Scheduling with the Aim to Reduce Cooling Load: A Case Study

Atiwat Boonmee and Woraya Neungmatcha*
Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakon Pathom 73140

* *Corresponding Author : fengwyn@ku.ac.th*
Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen.

Article Info

Article History:
Received: April 14, 2020
Revised: January 21, 2021
Accepted: February 11, 2021

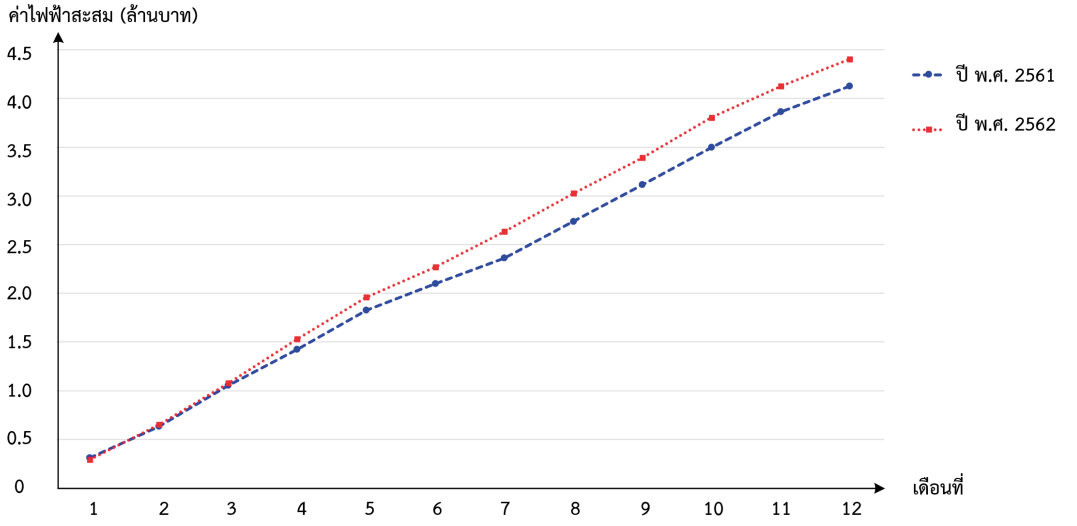
Keywords:
Classroom Scheduling /
Cooling Load /
Genetic Algorithm

Abstract

Increasing annual electricity charge of a case-study unit had led the researcher to investigate means to reduce electricity usage due to heat generated by a number of room occupants as well as that from the lighting system and external heat transferred through the walls of the rooms, which in turn affect the operation of the air conditioning system that renders the service to the rooms. The purpose of this research was to develop decision making guidelines for solving classroom scheduling problem of the case-study faculty unit via the application of genetic algorithm. The research goal was to reduce the total cooling load of the air conditioners to the minimum possible value. The results illustrated that the proposed scheduling method could help reduce the total cooling load of the air conditioners when compared to the traditional method conducted by personnel, with an average load reduction of 12.28 percent.

1. บทนำ

ปัจจุบัน ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณปีละ 1,200 เมกะวัตต์ ภาครัฐจึงมีนโยบายตอบสนองต่อความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี ซึ่งประกอบด้วย 4 แนวทาง ได้แก่ การพัฒนาโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลัก การพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน การซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน รวมไปถึงการรณรงค์ใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ [1] ทั้งนี้ สถาบันอุดมศึกษาเป็นหนึ่งในหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินงานตามนโยบายของภาครัฐ และยังมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงในแต่ละปี ซึ่งในส่วนของคณะที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ก็ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของภาครัฐ และปฏิบัติตามอย่างสม่ำเสมอ แต่จากข้อมูลของคณะกรณีศึกษา พบว่าใน พ.ศ. 2562 มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีเท่ากับ 4,404,415 บาท เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2561 อยู่ที่ร้อยละ 6.76 แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของนโยบายอนุรักษ์พลังงาน โดยสัดส่วนของค่าไฟฟ้าของคณะกรณีศึกษา ส่วนใหญ่จะเกิดจากการใช้ห้องเรียนบรรยายเพื่อใช้ในการเรียนการสอน



รูปที่ 1 ค่าไฟฟ้าสะสมของคณะกรณีศึกษา

ปัจจุบันการจัดตารางการใช้ห้องเรียนของคณะกรณีศึกษายังคงใช้บุคลากรผู้มีประสบการณ์ด้านการจัดตารางร่วมกับการใช้ข้อมูลในอดีต โดยพิจารณาเพื่อไม่ให้เกิดการทับซ้อนกันของอาจารย์ผู้สอนและรายวิชาเท่านั้น แต่ไม่ได้คำนึงถึงค่าความร้อนของห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา อันมีสาเหตุหลักมาจากค่าความร้อนที่เกิดจากคนและกิจกรรมที่ทำ หรือค่าความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศภายนอกอาคาร เป็นต้น ซึ่งหากส่งเสริมให้มีการใช้งานห้องเรียนที่เหมาะสมกับปัจจัยในด้านต่างๆ ก็จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานลงได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการใช้ห้องเรียนบรรยาย ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) มาช่วยในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นเทคนิคในการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพ สามารถให้คำตอบที่ดีได้ภายใต้เวลาที่รวดเร็ว รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในหลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงวัตถุประสงค์เดียว หรือการพิจารณาฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ โดยการแก้ปัญหาการ

จัดตารางการใช้ห้องเรียนบรรยายในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในห้องเรียนให้ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนจากระบบส่องสว่าง ค่าความร้อนสัมผัสและแฝงจากคน และความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคารผ่านผนัง พื้น และเพดาน

2. ปัญหาการจัดตารางเรียนตารางสอน

สำหรับปัญหาการจัดตารางเรียนตารางสอนเป็นปัญหาที่ต้องทำการสร้างเหตุการณ์ขึ้นมาโดยการประสานเงื่อนไขของบุคลากร สถานที่ และเวลาให้สอดคล้องกัน ซึ่งจะประกอบไปด้วยเงื่อนไขของรายวิชาเรียน ห้องเรียน อาจารย์ผู้สอน กลุ่มผู้เรียนนักศึกษา และช่วงเวลาที่มีความเหมาะสม ซึ่งในแต่ละสถานศึกษาจะมีเงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณาแตกต่างกัน โดยเงื่อนไขในการสร้างตารางเรียนจะแบ่งพิจารณาเป็นเงื่อนไขหลักและเงื่อนไขรอง [2]

โดยเงื่อนไขหลักเป็นเงื่อนไขบังคับที่จะต้องทำการพิจารณาเป็นอันดับแรกและไม่สามารถเกิดข้อขัดแย้งได้ ส่วนเงื่อนไขรองเป็นเงื่อนไขที่จะทำการพิจารณาเป็นลำดับหลัง ซึ่งการกำหนดเงื่อนไขรองของแต่ละสถานศึกษานั้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับนโยบายของสถานศึกษา [3] โดยตัวอย่างเงื่อนไขหลักหรือเงื่อนไขบังคับ เช่น ในวันและเวลาเดียวกันห้องเรียนหนึ่งห้องสามารถลงได้รายวิชาเดียวเท่านั้น หรือในวันและเวลาเดียวกันอาจารย์ผู้สอนหนึ่งคนสามารถสอนได้หนึ่งห้องเรียนต่อผู้เรียนหนึ่งกลุ่มเท่านั้น เป็นต้น และตัวอย่างเงื่อนไขรองหรือเงื่อนไขที่สามารถฝ่าฝืนได้ เช่น จัดรายวิชาบังคับของแต่ละภาควิชาให้มีการเรียนการสอนอยู่ที่ห้องเรียนของตึกประจำภาควิชานั้นๆ เป็นอันดับแรก หรือควรเว้นว่างในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 13.00 น. เพื่อให้ผู้เรียนและอาจารย์ผู้สอนพักรับประทานอาหารกลางวัน หรือพยายามหลีกเลี่ยงในการจัดตารางลงห้องเรียนฝั่งที่โดนแดดตอนบ่าย เนื่องอุณหภูมิของแดดในช่วงบ่ายจะสูงกว่าปกติ เป็นต้น

3. ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ภาระการทำความเย็น หมายถึง จำนวนความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นทั้งจากภายในห้องทำความเย็นและความร้อนจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาในห้องทำความเย็น ซึ่งเป็นภาระที่เครื่องทำความเย็นจะต้องนำออกไปเพื่อลดและรักษาระดับอุณหภูมิในห้องให้ได้ตามที่ต้องการ [4] โดยภาระการทำความเย็นเกิดจากแหล่งความร้อนต่างๆ ดังนี้

1. ความร้อนที่ผ่านเข้ามาตามผนัง พื้น และเพดานของห้องโดยการนำความร้อน (Conduction) ผ่านฉนวนของผนัง

2. ความร้อนที่ผ่านเข้ามาตามผนังที่เป็นกระจกหรือผนังที่ทำจากวัสดุโปร่งแสงต่างๆ โดยการแผ่รังสี (Radiation)

3. ความร้อนที่เกิดจากอากาศร้อนภายนอกเข้ามาในห้องทั้งจากที่ตั้งใจนำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศและจากอากาศภายนอกที่เข้ามาเนื่องจากการเปิดประตูห้องหรือเข้ามาตามรอยรั่วของผนัง

4. ความร้อนจากสิ่งของหรือผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำเข้าไปภายในห้อง เพื่อทำการลดอุณหภูมิลงจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ

5. ความร้อนที่เกิดจากคนที่เข้าไปในห้องทำความเย็น

6. ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ต่างๆ ที่ติดตั้งใช้งานภายในห้อง

4. วิธีการเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เลียนแบบการคัดเลือกโดยธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต โดยประชากรที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะมีโอกาสถูกคัดเลือกในการถ่ายทอดยีนไปสู่รุ่นถัดไป ซึ่งคำตอบของปัญหาจะถูกเข้ารหัสในรูปแบบของโครโมโซม (Chromosome) โดยจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะของปัญหานั้นๆ การค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีกระบวนการพื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วยการคัดเลือกโครโมโซม การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งรูปแบบของกระบวนการเชิงพันธุกรรมอาจมีความแตกต่างกันแล้วแต่ปัญหา [5] โดยรายละเอียดเพิ่มเติมของกระบวนการเชิงพันธุกรรมสามารถศึกษาได้จาก Sethanan [6] หรือ Pitakaso [7] เป็นต้น สำหรับกระบวนการเชิงพันธุกรรมที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 7 ขั้นตอน สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) จะเป็นการนำเข้าข้อมูล และเข้ารหัส (Encoding) ด้วยการสุ่มค่าคำตอบขึ้นมาตามจำนวนโครโมโซมที่กำหนด โดยมีเงื่อนไขหลักที่ฝ่าฝืนไม่ได้คือในช่วงเวลาเดียวกันแต่ละวิชาจะต้องไม่ซ้อนทับกัน และเงื่อนไขรองคือจำนวนผู้เรียนที่ลงทะเบียนเรียนในแต่ละวิชาจะต้องไม่เกินค่าความจุสูงสุดของห้องที่ถูกจัดลง

ตัวอย่างเช่น การจัดตารางการใช้ห้องเรียนบรรยาย ที่มีช่วงเวลาเรียนตั้งแต่ 08.00 น. ถึง 12.30 น. จำนวน 7 รายวิชา (ตารางที่ 1) ลงในห้องเรียนบรรยายทั้งหมด 5 ห้อง ที่มีความจุสูงสุดแตกต่างกัน และสามารถพิจารณาค่าพลังงานความร้อนค่าคงที่รวมของแต่ละห้องซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) ค่าความร้อนจากหลอดไฟ และ 2) ค่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนัง พื้น และเพดาน โดยแต่ละห้องจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางเรียนโจทย์ตัวอย่าง

วิชาที่	เวลาเรียน	จำนวนผู้เรียน
1	08.30 – 10.30 น.	50
2	09.00 – 10.00 น.	52
3	09.00 – 10.30 น.	50
4	09.00 – 10.30 น.	40
5	10.30 – 12.00 น.	40
6	10.30 – 12.30 น.	56
7	10.30 – 12.00 น.	30

ตารางที่ 2 ขนาดความจุของห้องเรียนและค่าพลังงานความร้อนคงที่ในแต่ละช่วงเวลา

ห้องเรียน	ความจุ (คน)	ค่าพลังงานความร้อนคงที่ (ความร้อนจากหลอดไฟและความร้อนผนัง) ในแต่ละช่วงเวลา (วัตต์)							
		08.31 - 09.00 น.	09.01 - 09.30 น.	09.31 - 10.00 น.	10.01 - 10.30 น.	10.31 - 11.00 น.	11.01 - 11.30 น.	11.31 - 12.00 น.	12.01 - 12.30 น.
1	80	17,442	19,756	19,242	16,997	13,719	11,745	10,853	10,273
2	60	11,249	12,619	12,478	11,435	9,781	8,747	8,067	7,632
3	50	7,316	7,743	7,974	8,132	8,103	8,009	7,541	7,251
4	50	9,614	11,283	11,103	9,850	7,886	6,664	5,887	5,387
5	40	5,944	7,048	7,866	7,365	7,383	6,544	6,193	5,425

โดยในการเข้ารหัสโครโมโซม (Encoding) จะกำหนดจำนวนยีนให้เท่ากับจำนวนวิชาทั้งหมด จากโจทย์ตัวอย่างข้างต้นจะได้ โครโมโซมที่มีจำนวนยีนเท่ากับ 7 ยีน แสดงดังรูปที่ 2 โดยตำแหน่งของยีนนั้นจะเป็นลำดับของวิชาเรียนตามลำดับ กล่าวคือยีนตำแหน่งที่ 1 คือวิชาเรียนลำดับที่ 1 ยีนตำแหน่งที่ 2 คือวิชาเรียนลำดับที่ 2 จนครบทั้งหมด 7 วิชา แต่ละวิชาจะถูกจัดลงห้องเรียนต่างๆ ด้วยวิธีการสุ่มเลขห้องโดยเริ่มจากวิชาเรียนลำดับที่ 1 ไปจนถึงลำดับสุดท้าย ในการสุ่มห้องเรียนของรายวิชาถัดไปนั้นจะมีการตรวจสอบเพื่อป้องกันการฝ่าฝืนเงื่อนไขหลักคือ ในวันและเวลาเดียวกันห้องเรียนหนึ่งห้องสามารถจัดลงได้รายวิชาเดียวเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluate) จะประเมินโดยการถอดรหัส (Decode) ให้เป็นตารางการใช้ห้องเรียนแล้วคำนวณค่าภาระการทำความเย็นรวม ซึ่งจากตัวอย่างการเข้ารหัสดังรูปที่ 2 สามารถถอดรหัสออกมาเป็นการจัดตารางรายวิชาเรียนแต่ละห้องเรียนและส่งผลให้ได้จำนวน

ผู้เรียนที่ถูกจัดลงในแต่ละห้องเรียน ดังรูปที่ 3 โดยในการประเมินความเหมาะสมของโครโมโซมจะใช้ค่าภาระการทำความเย็นรวม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ค่าพลังงานความร้อนคงที่ของห้องเรียนบรรยายแต่ละห้องในแต่ละช่วงเวลา พิจารณาจากค่าความร้อนจากระบบส่องสว่างและค่าความร้อนถ่ายเทผ่านผนังของห้องเรียนบรรยายแต่ละห้องในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากสภาพอากาศภายนอกและรังสีจากดวงอาทิตย์ค่าความร้อน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจาก Arora [8] เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนนี้ และ 2) ค่าพลังงานความร้อนผันแปร พิจารณาจากค่าความร้อนแฝง (Latent Heat) และค่าความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) มีค่าเท่ากับ 55 และ 75 วัตต์ต่อคน ตามลำดับ [9]

วิชาที่ 1	วิชาที่ 2	วิชาที่ 3	วิชาที่ 4	วิชาที่ 5	วิชาที่ 6	วิชาที่ 7
1	2	4	3	5	2	4

รูปที่ 2 ตัวอย่างโครโมโซมเริ่มต้น

	08.31 - 09.00 น.	09.01 - 09.30 น.	9.31 - 10.00 น.	10.01 - 10.30 น.	10.31 - 11.00 น.	11.01 - 11.30 น.	11.31 - 12.00 น.	12.01 - 12.30 น.
ห้องเรียนที่ 1	50	50	50	50	0	0	0	0
ห้องเรียนที่ 2	0	52	52	0	56	56	56	56
ห้องเรียนที่ 3	0	40	40	40	0	0	0	0
ห้องเรียนที่ 4	0	50	50	50	30	30	30	0
ห้องเรียนที่ 5	0	0	0	0	40	40	40	0

รูปที่ 3 จำนวนผู้เรียนที่ถูกจัดลงแต่ละห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา (คน)

$$Q_{Total} = \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}(Q_{n,t}^{F} A_{n,t}) + \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}(S_{n,t}(Q^{L} + Q^{S})) \quad (1)$$

เมื่อ

n = ดัชนีของห้องเรียน; n = 1, 2, ..., N

t = ดัชนีของช่วงเวลา; t = 1, 2, ..., T

Q_{Total} = ค่าภาระการทำความเย็นรวม

$Q_{n,t}^{F}$ = ค่าพลังงานความร้อนคงที่ ณ ห้องเรียนที่ n ที่ช่วงเวลา t

$S_{n,t}$ = จำนวนผู้เรียนที่ถูกจัดตารางเรียน ณ ห้องเรียนที่ n ที่ช่วงเวลา t

Q^{L} = ค่าความร้อนแฝง

Q^{S} = ค่าความร้อนสัมผัส

$A_{n,t}$ = 1, เมื่อมีการจัดตารางเรียน ณ ห้องเรียนที่ n ที่ช่วงเวลา t, อื่นๆ มีค่าเป็น 0

ดังนั้น จากตัวอย่างการเข้ารหัสดังรูปที่ 2 สามารถคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของแต่ละห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลาได้ดังรูปที่ 4 ส่งผลให้เกิดค่าภาระการทำความเย็นรวมของโครโมโซมนี้ เท่ากับ 360,443 วัตต์

ซึ่งในการประเมินความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมนั้น จะทำการเพิ่มค่าปรับค่าภาระการทำความเย็นสำหรับรายวิชานั้นเท่ากับ $1x10^{7}$ วัตต์ ต่อ 1 ช่วงเวลา หรือ 30 นาที เพื่อลดโอกาสที่โครโมโซมที่มีความจุของห้องน้อยกว่าจำนวนผู้เรียนที่ลงทะเบียนในรายวิชานั้นจะถูกคัดเลือกเพื่อนำไปพัฒนาคำตอบในรอบถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือก (Selection) โครโมโซมที่ได้จากการคัดเลือกจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โครโมโซมที่ดีที่สุดจำนวนร้อยละ 10 ของจำนวนโครโมโซมทั้งหมด และโครโมโซมที่เหลือจะได้จากการคัดเลือกด้วยวิธีวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel

Selection) โดยในการสร้างวงล้อรูเล็ตจะทำการสร้างจากโครโมโซมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 4 การผสมข้ามพันธุ์ (Crossover) ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการจับคู่โครโมโซมด้วยวิธีการสุ่มและวิธีการสลับสายพันธุ์แบบสองตำแหน่ง (Two Point Crossover) แสดงดังรูปที่ 5 เนื่องจากจะช่วยให้โครโมโซมลูกที่ได้มีความหลากหลายของคำตอบมากกว่าการใช้วิธีการสลับสายพันธุ์แบบหนึ่งตำแหน่ง (One-Point Crossover) [10]

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) ในการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการกลายพันธุ์ด้วยวิธีการสลับสองตำแหน่ง (2-Opt Move) แสดงดังรูปที่ 6

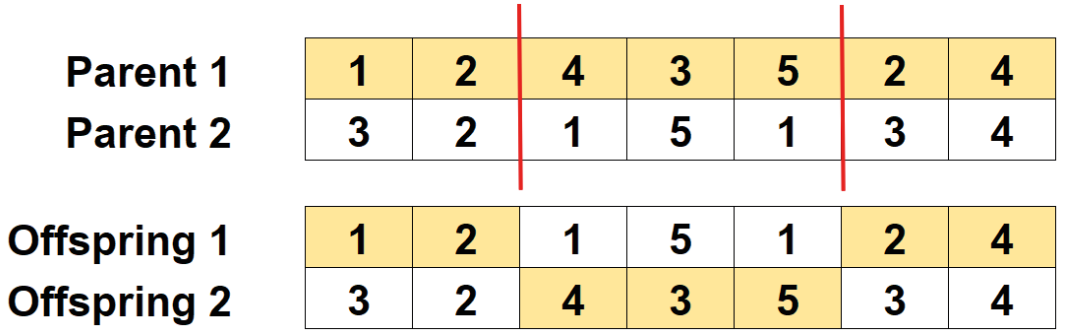
ขั้นตอนที่ 6 การตรวจสอบเพื่อซ่อมแซมโครโมโซม (Repair Chromosome) เป็นกระบวนการตรวจสอบโครโมโซมว่าขัดต่อเงื่อนไขหลักหรือไม่ เพื่อทำการปรับปรุงโครโมโซมให้เป็นไปตามเงื่อนไขหลักต่อไป

ตัวอย่างเช่นโครโมโซมที่ได้จากรูปที่ 6 เมื่อตรวจสอบการจัดตารางการใช้ห้องเรียนพบว่า ณ ช่วงเวลาเดียวกันมีการจัดรายวิชาเรียน 2 วิชาลงในห้องเดียวกันดังรูปที่ 7 ดังนั้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครโมโซม ณ ตำแหน่งยีนที่มีรายวิชาไปทับซ้อนการใช้ห้องเรียนของรายวิชาอื่น โดยการสุ่มห้องเรียนที่ไม่มีการใช้งานที่สามารถจัดรายวิชานั้นลงไปได้ ตัวอย่างเช่น สุ่มได้หมายเลขห้องที่ 2 ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมใหม่ดังรูปที่ 8

ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด (Termination) จะหยุดการคำนวณ เมื่อดำเนินการคำนวณครบตามจำนวนรอบที่ได้กำหนดเอาไว้ และทำการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากค่าความเหมาะสมที่ต่ำที่สุดของโครโมโซมทั้งหมด

	08.31 - 09.00 น.	09.01 - 09.30 น.	9.31 - 10.00 น.	10.01 - 10.30 น.	10.31 - 11.00 น.	11.01 - 11.30 น.	11.31 - 12.00 น.	12.01 - 12.30 น.
ห้องเรียนที่ 1	23,942	26,256	25,742	23,497	0	0	0	0
ห้องเรียนที่ 2	0	19,379	19,238	0	17,061	16,027	15,347	14,912
ห้องเรียนที่ 3	0	12,943	13,174	13,332	0	0	0	0
ห้องเรียนที่ 4	0	17,783	17,603	16,350	11,786	10,564	9,787	0
ห้องเรียนที่ 5	0	0	0	0	12,583	11,744	11,393	0

รูปที่ 4 ค่าภาระการทำความเย็นของแต่ละห้องเรียนในแต่ละช่วงเวลา (วัตต์)

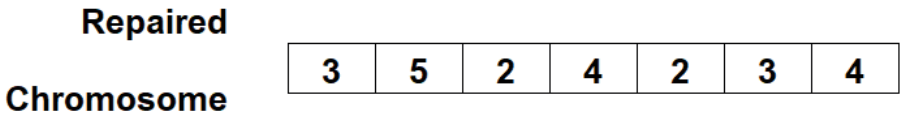


รูปที่ 5 ตัวอย่างวิธีการผสมข้ามพันธุ์

รูปที่ 6 ตัวอย่างวิธีการผสมข้ามพันธุ์

	08.31 - 09.00 น.	09.01 - 09.30 น.	9.31 - 10.00 น.	10.01 - 10.30 น.	10.31 - 11.00 น.	11.01 - 11.30 น.	11.31 - 12.00 น.	12.01 - 12.30 น.
ห้องเรียนที่ 1	0	0	0	0	0	0	0	0
ห้องเรียนที่ 2	0	0	0	0	5	5	5	0
ห้องเรียนที่ 3	1	**1 , 3**	**1 , 3**	**1 , 3**	6	6	6	6
ห้องเรียนที่ 4	0	4	4	4	0	0	0	0
ห้องเรียนที่ 5	0	2	2	0	7	7	7	0

รูปที่ 7 ตารางการใช้ห้องเรียนที่ได้จากโครโมโซมจากรูปที่ 6



รูปที่ 8 ตัวอย่างโครโมโซมหลังผ่านกระบวนการปรับปรุง

5. การทดลอง

การวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการแก้ปัญหาการจัดตารางการใช้ห้องเรียนในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจัดตารางการใช้ห้องเรียนแบบเดิมของกรณีศึกษา (Relative Improvement: *RI*) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$RI = ((Sol_C - Sol_P) / Sol_C) \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ Sol_C คือ คำตอบจากวิธีการแบบเดิมของกรณีศึกษา และ Sol_P คือ คำตอบจากวิธีการที่นำเสนอ

และสามารถสรุปตารางการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอได้ดังตารางที่ 3 โดยใช้ข้อมูลการจัดตารางการใช้ห้องเรียนของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ของภาคต้นและภาคปลายในปีการศึกษา 2560 และ 2561

ตารางที่ 3 โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

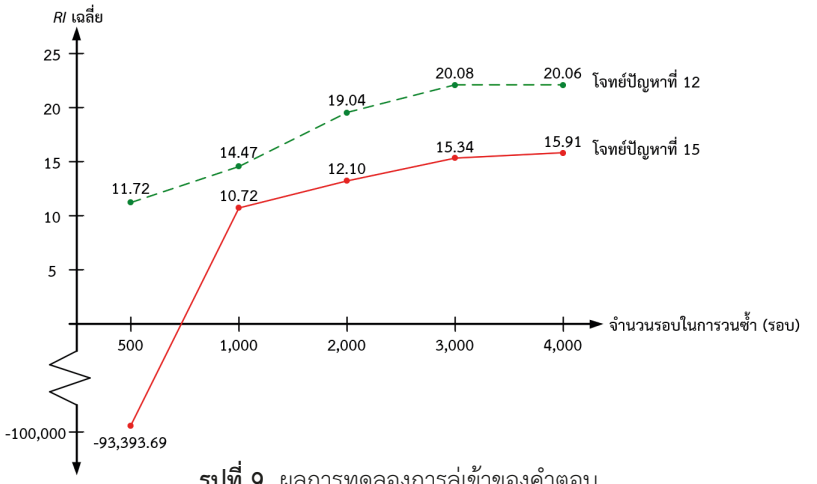
ชุดข้อมูล	ปัญหาที่	จำนวนห้องเรียน	จำนวนวิชาเรียน
ภาคต้น ปีการศึกษา 2560	1	19	46
	2	19	66
	3	19	56
	4	19	59
	5	19	33
ภาคปลาย ปีการศึกษา 2560	6	21	54
	7	21	68
	8	21	63
	9	21	62
	10	21	33
ภาคต้น ปีการศึกษา 2561	11	22	53
	12	22	62
	13	22	53
	14	22	54
	15	22	39
ภาคปลาย ปีการศึกษา 2561	16	20	52
	17	20	74
	18	20	59
	19	20	51
	20	20	37

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวิธีวิธีเชิงพันธุกรรม งานวิจัยนี้ได้ศึกษางานวิจัยของ [11], และ [12] รวมถึงการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในเบื้องต้นสามารถกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการผสมข้ามพันธุ์ (P_C) และค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ได้เท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนประชากรหรือโครโมโซมเท่ากับจำนวนรายวิชา และได้ทดลองเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนรอบในการวนซ้ำที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์การลู่เข้าของคำตอบ จากโจทย์ปัญหาที่มีจำนวนห้องเรียนมากที่สุดคือ 22 ห้อง และมีจำนวนวิชาเรียนมากที่สุดและน้อยที่สุดของชุดโจทย์ปัญหานั้น คือ โจทย์ปัญหาที่ 12 และ 15 ซึ่งมีจำนวนวิชาเรียนเท่ากับ 62 วิชา และ 39 วิชา ตามลำดับ โดยเริ่มตั้งแต่จำนวนรอบในการวนซ้ำ 500 1,000 2,000 3,000 และ 4,000 รอบ ตามลำดับ

ซึ่งผลการทดลองการลู่เข้าของคำตอบเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ แสดงดังรูปที่ 9 พบว่าทั้งโจทย์ปัญหาที่ 12 และ 15 ค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อกำหนดจำนวนรอบในการวนซ้ำเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ที่จำนวนรอบในการวนซ้ำที่ 3,000 รอบ เป็นต้นไป และในโจทย์ปัญหาที่ 15 ค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบเฉลี่ยที่มีค่าติดลบค่อนข้างมากที่จำนวนรอบในการวนซ้ำ 500 รอบ เนื่องจากผลการทดลอง

จำนวน 3 จาก 5 ครั้ง มีค่าปรับค่าภาระการทำความเย็นเกิดขึ้นจากการจัดให้มีจำนวนผู้เรียนเกินความจุของห้องเรียน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดลองสำหรับจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ 3,000 และ 4,000 รอบ ในทั้ง 2 โจทย์ปัญหา แสดงดังรูปที่ 10 พบว่าผลการทดสอบ F-test มีค่า Sig. >0.05 (0.087 และ 0.353 สำหรับโจทย์ปัญหาที่ 12 และ 15 ตามลำดับ) แสดงว่าความแปรปรวนของค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบเฉลี่ยสำหรับจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ 3,000 และ 4,000 รอบนี้ไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาค่าสถิติ t-test มีค่า Sig. >0.05 (0.989 และ 0.590 สำหรับโจทย์ปัญหาที่ 12 และ 15 ตามลำดับ) แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบเฉลี่ยสำหรับจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ 3,000 และ 4,000 รอบนี้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงทำให้งานวิจัยนี้เลือกจำนวนรอบในการวนซ้ำที่ 3,000 รอบ เนื่องจากจะทำให้เกิดความมั่นใจว่าทุกครั้งที่ทำการประมวลผลจะได้คำตอบของการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่เหมาะสมและเลี่ยงการจัดสรรการใช้ห้องเรียนเกินความจุที่สามารถรองรับได้ ภายใต้เวลาในการประมวลผลที่ไม่สูงเกินไป



รูปที่ 9 ผลการทดลองการลู่เข้าของคำตอบ

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
RI	Equal variances assumed	3.816	.087	.015	8	.989	.01761	1.20303	-2.75657	2.79179
	Equal variances not assumed			.015	6.214	.989	.01761	1.20303	-2.90164	2.93686

(ก) โจทย์ปัญหาที่ 12

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
RI	Equal variances assumed	.973	.353	-.562	8	.590	-.56980	1.01476	-2.90983	1.77024
	Equal variances not assumed			-.562	6.416	.594	-.56980	1.01476	-3.01432	1.87472

(ข) โจทย์ปัญหาที่ 15

รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนรอบในการวนซ้ำที่ 3,000 และ 4,000 รอบ

6. ผลการทดลอง

ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 2017 และทำการประมวลผลสำหรับแต่ละโจทย์ปัญหาจำนวน 10 ซ้ำ ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วประมวลผล 2.20 GHz หน่วยความจำ 8.00 GBytes ภายใต้ระบบปฏิบัติการไมโครซอร์ฟ วินโดวส์ 10 (Microsoft Windows 10) โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าภาระการทำความเย็นรวม และ 2) การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอ

6.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าภาระการทำความเย็นรวม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าภาระการทำความเย็นรวมระหว่างการจัดตารางการใช้ห้องเรียนบรรยายโดยบุคลากรและจากวิธีที่นำเสนอ สามารถคำนวณค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจัดตารางการใช้ห้องเรียนแบบเดิม (*RI*) ได้จากสมการที่ 2 ดังผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่า วิธีการที่นำเสนอให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการจัดโดยบุคลากรในทุกการทดลองซ้ำของทุกโจทย์ปัญหา โดยมีค่าร้อยละการปรับปรุงคำตอบอยู่ระหว่างร้อยละ 2.93 ถึง 22.39 ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.59 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง 0.75 ถึง 1.67 ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.08 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระการทำความเย็นรวมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนว่าการจัดตารางการใช้ห้องในปัจจุบันมีการเลือกใช้ห้องที่ไม่เหมาะสม จึงได้ยกตัวอย่างผลการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่ 19 (จากผลการจัดสรรทั้งหมด 20 ห้องเรียน) ในภาคปลาย ปีการศึกษา 2561 แสดงดังรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าการจัดโดยบุคลากรมีการจัดรายวิชาเรียนลงในห้องเรียนที่ 19 เป็นจำนวนมาก (รูปที่ 11(ก)) เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่มีขนาดใหญ่ มีความสามารถในการรองรับผู้เรียนจำนวนมากจากผู้เรียนที่ลงทะเบียนเรียนในช่วงเวลาปกติและผู้เรียนที่ลงทะเบียนเพิ่มในแต่ละรายวิชา แต่เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้งของห้องเรียนนี้ซึ่งตั้งอยู่ในทิศตะวันออกและมีหน้าต่างขนาดใหญ่ที่ใช้กระจกเป็นวัสดุหลัก ส่งผลให้ห้องเรียนที่ 19 นี้ มีค่าความร้อนถ่ายเทผ่านผนังของห้องเรียนที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลา 8.00 – 12.00 น. ซึ่งวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ได้มีการพิจารณาปัจจัยที่ก่อให้เกิดค่าภาระการทำความเย็นในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งที่ตั้ง ขนาดของห้อง วัสดุที่ใช้ทำผนัง รวมไปถึงจำนวนผู้เรียนในห้องเรียน ดังนั้น ผลคำตอบที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอจะพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ห้องเรียนที่ตั้งอยู่ในทิศทางที่รับแสงแดด และห้องเรียนที่มีพื้นที่ผนังด้านนอกในการรับความร้อนจำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 11(ข) เพื่อช่วยลดค่าภาระการทำความเย็นรวมที่จะเกิดขึ้น

วัน / เวลา	09.00 - 10.00 น.	10.00 - 11.00 น.	11.00 - 12.00 น.	12.00 - 13.00 น.	13.00 - 14.00 น.	14.00 - 15.00 น.	15.00 - 16.00 น.	16.00 - 17.00 น.	17.00 - 18.00 น.
จันทร์	02206111		02201313					02204101	
อังคาร	02204385		01208352		01208222		01203323		02201443
พุธ	02206111		02206213		02204452		02204201		
พฤหัสบดี	01203223		01203224						
ศุกร์			02212332		02204223				

(ก) ตารางการใช้ห้องเรียนที่จัดโดยบุคลากร

วัน / เวลา	09.00 - 10.00 น.	10.00 - 11.00 น.	11.00 - 12.00 น.	12.00 - 13.00 น.	13.00 - 14.00 น.	14.00 - 15.00 น.	15.00 - 16.00 น.	16.00 - 17.00 น.	17.00 - 18.00 น.
จันทร์			02206231						
อังคาร					01208361		01208222		
พุธ					02201337		02201424		
พฤหัสบดี					02206111		01208441		02201497
ศุกร์									

(ข) ตารางการใช้ห้องเรียนที่จัดโดยวิธีการที่นำเสน

รูปที่ 11 ตัวอย่างตารางการใช้ห้องเรียนที่ 19 ในภาคปลาย ปีการศึกษา 2561

6.2 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอ

ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการวางแผนการจัดตารางการใช้ห้องเรียน 2 ปัจจัย ได้แก่

1) ปัจจัยจำนวนห้องเรียนที่ใช้ในการวางแผน โดยแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ระดับคือ ระดับต่ำ (Low Level) คือ จำนวนห้องเรียนที่พิจารณาเท่ากับ 19 ห้องเรียน และระดับสูง (High Level) คือ จำนวนห้องเรียนที่พิจารณาเท่ากับ 22 ห้องเรียน

2) ปัจจัยจำนวนวิชาเรียนที่ใช้ในการวางแผน โดยแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ระดับคือ ระดับต่ำ (Low Level) คือ จำนวนวิชาเรียนที่น้อยที่สุดในภาคการศึกษาที่พิจารณา และระดับสูง (High Level) คือ จำนวนวิชาเรียนที่มากที่สุดในภาคการศึกษาที่พิจารณา

จากการกำหนดระดับของปัจจัยดังกล่าวสามารถสรุปโจทย์ปัญหาที่จะใช้ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5 เมื่อได้นำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ซึ่งผลตอบสนองที่สนใจคือ ร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีการที่นำเสนอ (*RI*) ภายใต้การพิจารณา 2 ปัจจัยหลัก พบว่าทั้ง 2 ปัจจัยหลัก มีผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนออย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยจะส่งผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบเช่นเดียวกัน (แสดงดังรูปที่ 12) และเมื่อทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Duncan (Duncan's test) เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าในแต่ละปัจจัยหลักที่มีระดับแตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนออย่างไร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปัจจัยจำนวนห้องเรียนที่ใช้ในการวางแผนในระดับของปัจจัยที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอเพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของปัจจัยจำนวนวิชาเรียนที่ใช้ในการวางแผนในระดับของปัจจัยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอลดลง แสดงดังรูปที่ 13 (ก) และ 13 (ข) ตามลำดับ

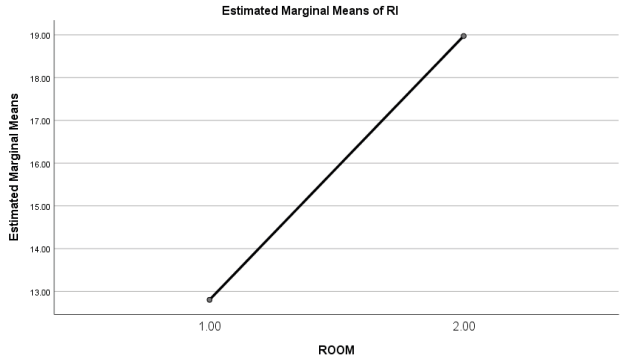
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: RI

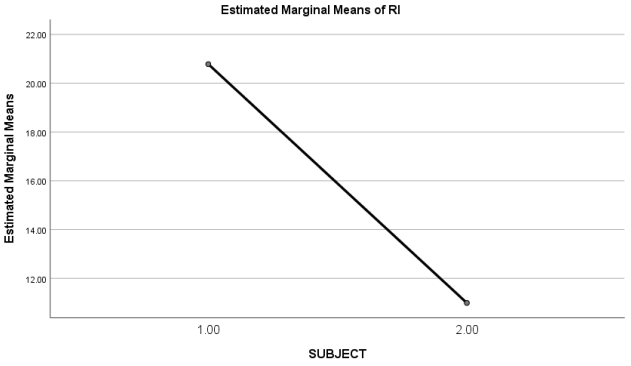
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1425.375[a]	3	475.125	437.578	.000
Intercept	10096.925	1	10096.925	9299.000	.000
ROOM	380.669	1	380.669	350.586	.000
SUBJECT	957.882	1	957.882	882.184	.000
ROOM * SUBJECT	86.825	1	86.825	79.964	.000
Error	39.089	36	1.086		
Total	11561.389	40			
Corrected Total	1464.464	39			

a. R Squared = .973 (Adjusted R Squared = .971)

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุงคำตอบ



(ก) ปัจจัยจำนวนห้องเรียนที่ใช้ในการวางแผน



(ข) ปัจจัยจำนวนวิชาเรียนที่ใช้ในการวางแผน

รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการปรับปรุงคำตอบของแต่ละปัจจัยที่ระดับแตกต่างกัน

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการจัดตารางการใช้ห้องเรียนบรรยายของคณะกรณีศึกษา โดยประยุกต์ใช้วิธี GA เพื่อช่วยในการตัดสินใจ แทนการจัดตารางการใช้ห้องเรียนแบบเดิมที่จัดโดยบุคลากรที่อาศัยประสบการณ์ แต่ไม่ได้คำนึงถึงความเหมาะสมของพลังงานความร้อน ซึ่งเมื่อพลังงานความร้อนหรือภาระการทำความเย็นภายในห้องสูงขึ้นจนเกินความเหมาะสม จะทำให้เกิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศอยู่ตลอดเวลา ผู้วิจัยได้ศึกษาเฉพาะการใช้ห้องเรียนบรรยายของคณะกรณีศึกษา ในปีการศึกษา 2560 และ 2561 และใช้ข้อมูลตารางเวลาเรียนของแต่ละวิชาซึ่งกำหนดโดยคณะกรณีศึกษา จากการทดลองทั้ง 20 โจทย์ปัญหา พบว่า วิธีที่นำเสนอให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าหรือมีค่าภาระการทำความเย็นรวมที่ต่ำกว่าวิธีการจัดโดยบุคลากรในทุกการทดลองซ้ำของทุกโจทย์ปัญหา โดยมีค่าร้อยละในการปรับปรุงคำตอบอยู่ระหว่างร้อยละ 2.93 ถึง 22.39 ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.59 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 1.08 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดภาระการทำความเย็นรวมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบสมมติฐานทางด้านความแตกต่างของผลตอบสนองของร้อยละการปรับปรุงปรับตอบของวิธีที่นำเสนอในส่วนของค่าภาระการทำความเย็นรวม ภายใต้การพิจารณา 2 ปัจจัยหลักและอิทธิพลของปัจจัยร่วม พบว่า ทั้ง 2 ปัจจัยหลักและอิทธิพลของปัจจัยร่วม มีผลกระทบต่อร้อยละการปรับปรุง

คำตอบของวิธีการที่นำเสนออย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ พบว่าปัจจัยจำนวนห้องเรียนที่ใช้ในการวางแผนในระดับของปัจจัยที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอเพิ่มขึ้น แต่ในส่วนของปัจจัยจำนวนวิชาเรียนที่ใช้ในการวางแผนในระดับของปัจจัยที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีที่นำเสนอลดลง ดังนั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอนอกจากจะช่วยลดเวลาในการจัดตารางการใช้ห้องเรียนแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน และยังช่วยลดเวลาในการจัดตารางการใช้ห้องเรียน รวมไปถึงยังช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากตัวบุคลากรเองได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธีที่นำเสนอให้มากขึ้นในอนาคต สามารถต่อยอดการวิจัยด้วยการพัฒนาเมตะฮิวริสติกส์แบบผสม (Hybrid metaheuristics) รวมถึงการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ในการสร้างโอกาสในการปรับปรุงคำตอบอย่างความน่าจะเป็นในการผสมข้ามพันธุ์ และค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่เหมาะสมหรือการปรับใช้การปรับค่าพารามิเตอร์ได้เองในกระบวนการค้นหาคำตอบ (self-adaptive parameter tuning)

8. เอกสารอ้างอิง

1. Pojana, P., 2011, “Electric Energy Crisis ...The Last Solution Remaining,” *EGAT Magazine,* 5 (5), pp. 12-15. (In Thai)

2. Willemen, R.B., 1996, School Timetable Construction: Algorithms and Complexity [Online], Available: https://pure.tue.nl/ws/files/ 1849715/ 200211248.pdf.

3. Sittikorn, K., 2009, A Support System for Classroom Scheduling to Minimize Energy Utilization Index, Master of Engineering Thesis, Khon Kaen University. (In Thai)

4. Jaojaruek, K., 2011, Air Conditioning [handout], Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University. (In Thai)

5. Janjarassuk, U., 2017, “Parallel Genetic Algorithm for the Stochastic Network Interdiction Problem,” *KMUTT Research and Development Journal*, 40 (3), pp. 405-414. (In Thai)

6. Sethanan, K., 2015, Metaheuristics and Applications for Industry, Klungnana Vitthaya Press, Khon Kaen. (In Thai)

7. Pitakaso, R., 2011, Metaheuristic Approach for Solving Production and Logistics Problems, Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok. (In Thai)

8. Arora, C.P., 2015, Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill, New York.

9. ASHRAE, 2001, ASHRAE Research: Improving the Quality of Life [Online], Available: https:// sovathrothsama.files.word press.com/2016/03/ ashrae-hvac-2001-funda mentals-handbook.pdf.

10. Kraithong, R., 2014, A Cooperative Coevolution Genetic Algorithm for Generating Trading Strategies, Master of Science Thesis, National Institute of Development Administration. (In Thai)

11. Sangsawang, C., Sethanan, K., Fujimoto, T. and Gen, M., 2015, “Metaheuristics Optimization Approaches for Two-stage Reentrant Flexible Flow Shop with Blocking Constraint,” *Expert Systems with Applications*, 42, pp. 2395–2410.

12. Rahmani Hosseinabadi, A.A., Vahidi, J., Saemi, B., Sangaiah, A.K. and Elhoseny, M., 2019, “Extended Genetic Algorithm for Solving Open-shop Scheduling Problem,” *Soft Computing*, 23, pp. 5099–5116.