วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

บทความวิจัย

ตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์และวิธีการสำหรับปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์: กรณีศึกษาสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล

รติ มณีงาม[1] อภิชิต มณีงาม[2*] และ มานพ ชูนิล[1]

[1] ภาควิชามนุษยศาสตร์, คณะศิลปศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: apichit.m@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 7 มกราคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 14 มิถุนายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 26 กรกฎาคม 2565
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 16 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์ (Multi-Objective Binary Integer Programming Model) สำหรับปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์กรณีศึกษาสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้เหลืองบประมาณมากที่สุดและเพิ่มคะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์มากที่สุด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการเพื่อแก้ปัญหาตัวแบบจำลองที่นำเสนอโดยมี 2 ขั้นตอนดังนี้ คือ (1) การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (2) แก้ปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์ด้วยวิธีการแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut Algorithm) และสร้างพาเรโตฟร้อน (Pareto Front) ด้วยวิธีข้อจำกัดเอปซิลอน (ε-constraint method) จากนั้นจัดสนทนากลุ่มเพื่อรูปแบบที่ดีที่สุดจากพาเรโตฟร้อน ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์ที่นำเสนอสามารถทำให้เหลืองบประมาณมากขึ้นจาก 500,950 บาท เป็น 501,550 บาท หรือร้อยละ 0.12 และเพิ่มคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์โดยรวมจาก 47.83 คะแนนเป็น 49.60 คะแนน หรือร้อยละ 3.70 ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวแบบที่นำเสนอสามารถลดเวลาในการคำนวณให้น้อยลงจากเดิม 173,520 วินาที เป็น 55.80 วินาที หรือร้อยละ 99.97

คำสำคัญ: กำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์; ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์; วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับหลายจุดประสงค์; วิธีข้อจำกัดเอปซิลอน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

บทความวิจัย

A Multi-Objective Binary Integer Programming Model and Method for Online Course Timetable Problem: A Case Study of Mechanical Drawing Division

Rati Maneengam[1], Apichit Maneengam[2*] and Manop Chunin[1]

[1] Department of Humanities, Faculty of Applied Arts, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*] Corresponding author, E-mail: apichit.m@cit.kmutnb.ac.th

Received: 7 January 2022; Revised: 14 June 2022; Accepted: 26 July 2022
Online Published: 16 August 2022

Abstract: This paper presents the multi-objective binary integer programming model for online course timetable problems of case studies in mechanical drawing division to maximize to the remaining budget and maximize the overall lecturer satisfaction score. In addition, we propose a method to solve the proposed model with two steps: (1) Data pre-processing (2) Solve the multi-objective binary integer programming model using the branch and cut algorithm, generate a Pareto Front using the Ɛ constraint method, and then organize focus group discussions to choose the optimal solution from a Pareto Front. The results showed that the proposed method increased the remaining budget from 500,950 baht to 501,550 baht or 0.12% and increased the total satisfaction score of lecturers from 47.83 to 49.60 or 3.70%, respectively. In addition, the proposed model reduced the computational time from 173,520 seconds to 55.80 seconds or 99.97%.

Keywords: Multi-Objective Binary Integer Programming; Online Course Timetable Problem; Multi-Objective Optimization Method; Ɛ-constraint Method

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

1. บทนำ

ในปัจจุบันสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล (DG) มีการจัดตารางสอนใหม่ทุกภาคการศึกษา โดยทั่วไปแล้วหัวหน้าสาขาวิชาหรือผู้รับผิดชอบหลักสูตรต้องจัดตารางสอนให้เหมาะสมกับอาจารย์ กลุ่มนักศึกษา วิชาเรียน ห้องเรียน เงื่อนไขคุณวุฒิของอาจารย์ผู้สอนที่กำหนดโดยสภาวิศวกร และเงื่อนไขด้านช่วงเวลาในการสอน การจัดตารางสอนที่เหมาะสมจะทำให้สามารถดำเนินการเรียนการสอนได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาการจัดตารางสอน (Course Timetabling Problem) นั้นซับซ้อนอย่างมาก เพราะเป็นปัญหาที่ถูกจัดอยู่ในประเภท NP-Hard [1–3] ทำให้เมื่อจัดตารางสอนด้วยมนุษย์ต้องใช้เวลาในการจัดตารางสอนนานมาก และเกิดข้อผิดพลาดบ่อยครั้ง ทำให้ผู้จัดตารางสอนมักจะต้องแก้ไขตารางสอนบ่อยครั้งเพื่อทำให้อาจารย์ผู้สอนทุกท่านได้ดำเนินการสอนตามรูปแบบที่พึงพอใจมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขทั้งหมด ซึ่งความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนนั้นมีความหลากหลาย เพราะแต่ละท่านมีความต้องการในแต่ละด้านไม่เหมือนกัน ทำให้เป็นการยากมากที่บอกได้ว่าตารางที่จัดเสร็จแล้วเหมาะสมหรือไม่

ในปัจจุบันเกิดการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ซึ่งส่งผลให้ทุกมหาวิทยาลัยในประเทศไทยต้องเปลี่ยนวิธีการจัดการเรียนการสอนเป็นรูปแบบออนไลน์ทั้งหมดเพื่อลดการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในสถานศึกษา สถานการณ์นี้ทำให้สาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลจำเป็นต้องจัดตารางการเรียนการสอนแบบออนไลน์อย่างเร่งด่วน ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์นี้ต่างจากการปัญหาการจัดตารางสอนทั่วไปคือ ไม่มีข้อจำกัดด้านห้องเรียนอีกต่อไป แต่เนื่องจากไม่เคยมีการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์มาก่อนทำให้ผู้วิจัยต้องนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้อาจารย์ในสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลมีความพึงพอใจรวมมากที่สุด และทำให้เหลืองบประมาณมากที่สุด โดยมีเงื่อนไขดังนี้ เงื่อนไขข้อแรกคือ อาจารย์ทุกท่านมีคะแนนความพึงพอใจรวมอยู่ในช่วงความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ยอมรับได้ เงื่อนไขข้อที่สองคือ ต้องจัดตารางสอนให้อาจารย์ 1 ท่านได้สอน 1 วิชาต่อ 1 ช่วงเวลา และนักศึกษาเรียนได้ 1 วิชาต่อ 1 ช่วงเวลาเท่านั้น เงื่อนไขข้อที่สามคือ จำกัดจำนวนหน่วยกิตที่เป็นภาระงานสอนของอาจารย์แต่ละท่านต้องอยู่ในช่วงที่มหาวิทยาลัยกำหนดไว้ ในที่นี้ข้อกำหนดภาระงานของอาจารย์แต่ละท่านไม่เท่ากันขึ้นอยู่ตำแหน่งของอาจารย์แต่ละท่าน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังต้องพิจารณาแนวทางการจัดตารางสอนให้ทุกฝ่ายมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเพื่อลดความขัดแย้งโดยที่ยังคงระยะห่างทางสังคมเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อีกด้วย

2. การทบทวนวรรณกรรม

หลายปีมานี้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาปัญหาการจัดตารางสอนโดยมีรายละเอียดต่อไปนี้ งานวิจัยของ Daskalaki และ Birbas [4] ได้สร้างตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มของปัญหาการจัดตารางเวลาของมหาวิทยาลัยโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนให้น้อยที่สุด จากนั้นแก้ปัญหานี้ด้วยวิธีการผ่อนคลายสองขั้นตอน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาแบบขั้นตอนเดียว วิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการคำนวณลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่สูญเสียคุณภาพของคำตอบ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

Al-Betar และ Khader [5] ได้นำเสนอวิธีปรับปรุงฮาร์โมนีเซิร์ช (Modified Harmony Search Algorithm) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาการสอนของมหาวิทยาลัย Napier ในประเทศสก็อตแลนด์ ซึ่งพบว่าวิธีที่นำเสนอได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดอย่างมาก ต่อมา Mahiba และ Durai [6] ได้นำเสนอวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ร่วมกับกลยุทธ์การค้นหาสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางสอน โดยใช้วิธีการค้นหาเฉพาะพื้นที่เพื่อปรับปรุงคำตอบ ซึ่งวิธีนี้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ Badoni *et al.* [7] ได้นำเสนออัลกอริทึมไฮบริดที่รวมอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมกับการค้นหาในพื้นที่และการใช้เหตุการณ์ตามการจัดกลุ่มของนักเรียนได้รับการอธิบายเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาของหลักสูตรของมหาวิทยาลัย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมไฮบริด สามารถให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมอื่นๆ ที่มีอยู่ Babaei *et al.* [1] วิเคราะห์แนวทางที่มีอยู่ในการแก้ปัญหาการจัดตาราสอนระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งแบ่งแนวทางแก้ปัญหาออกเป็น 3 กลุ่ม คือ วิธีแม่นตรง (Exact Method), วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Methods) และวิธีการใหม่อื่นๆ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบวิธีการตามระบบหลายตัวแทนแบบกระจาย (วิธีการค้นหาแบบร่วมมือกัน) นอกจากนี้พวกเขาได้แนะนำชุดข้อมูลที่เชื่อถือได้ทั้งหมดเพื่อทดสอบและประเมินโครงสร้างของอัลกอริทึมที่พิจารณาแล้ว Skoullis *et al.* [8] ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฝูงแมวแบบไฮบริด (Hybrid Cat Swarm Optimization: CSO) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาของโรงเรียน พวกเขาทำการทดลองกับข้อมูลอินพุตในโลกแห่งความเป็นจริง ข้อมูลนี้รวบรวมจากโรงเรียนมัธยมหลายแห่งในกรีซยังถูกใช้เป็นตัวอย่างการทดสอบโดยนักวิจัยอื่น ๆ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ใช้ CSO แบบไฮบริดนี้ใช้กับโรงเรียนเดียวกันแสดงประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยใช้เวลาในการคำนวณน้อยลงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ Akkan และ Gülcü [9] มุ่งเน้นไปที่ปัญหาการจัดตารางเวลาตามหลักสูตรแบบสองจุดประสงค์ พวกเขาแก้ไขปัญหานี้ด้วยอัลกอริทึมทางพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ไฮบริดกับการใช้อัลกอริทึมการปีนเขา (Hill Climbing) และการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing) อัลกอริทึมนี้ได้แสดงชุดพาเรโตโวลูชั่น (Pareto Solution) ที่มีคุณภาพสูง Bagger *et al.* [10] ได้นำเสนอวิธีการสลายตัวของเบนเดอร์ (Benders' Decomposition) บนตัวแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดตารางสอน โดยมีวัตถุประสงค์คือจัดตารางสอน โดยกำหนดช่วงเวลาและห้องเรียนให้กลุ่มอาจารย์ให้เหมาะสม Nugroho และ Hermawan [11] ได้นำเสนอวิธีการวิธีการลอกแบบและตามกฎเกณฑ์ (Memetic Algorithms and Rule-Based) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอน Yasari *et al.* [3] ได้พัฒนาตัวแบบกำหนดการสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน (Two-Stage Stochastic Programming Model) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยแบบที่มีหลายจุดประสงค์ประกอบด้วย (1) การลดวิชาที่ทับซ้อนกันให้น้อยที่สุด (2) เพิ่มมูลค่าการมอบหมายโดยรวมให้มากที่สุด (3) ลดวันทำงานของทั้งอาจารย์และนักเรียน (4) ลดเวลาว่างรวมของอาจารย์และนักเรียน (5) ลดจำนวนหน่วยกิตของหลักสูตรที่มอบหมายให้อาจารย์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เหล่านี้ถูกนำมารวมกันเป็นฟังก์ชันผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted Sum Function) นอกจากนี้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

พวกเขายังนำเสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหานี้อีกด้วย Hossain *et al.* [2] ได้นำเสนอวิธีอนุภาคกลุ่ม (Particle Swarm Optimization) กับวิธีการการค้นหาแบบเฉพาะ (Selective Search) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอนให้กับภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรม มหาวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี Khulna ให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด Saviniec *et al.* [12] ได้พัฒนาตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมและใช้วิธีเมตาฮิวริสติกที่งานร่วมมือกันแบบขนานเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมัธยมโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการละเมิดข้อจำกัดที่อ่อนนุ่มให้น้อยที่สุด Gülcü และ Akkan [13] ได้กำหนดปัญหาการจัดตารางการสอนแบบโรบัส ในระดับมหาวิทยาลัย (Robust University Course Timetabling Problem) โดยแบ่งเป็นสองรูปแบบคือ (1) สมมติว่ามีการบรรยายเพียงครั้งเดียวที่ถูกรบกวน (2) สมมติว่ามีการบรรยายหลายครั้งถูกรบกวน หลังจากนั้นพวกเขาได้นำเสนอวิธีการจำลองการอบอ่อนแบบหลายจุดประสงค์ (Multi-Objective Simulated Annealing) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอนนี้ เร็วๆนี้งานวิจัยของ Rezaeipanah *et al.* [14] ได้นำเสนอวิธีไฮบริดระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรม และวิธีค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัย Arratia-Martinez *et al.* [15] ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มสำหรับปัญหาการจัดตารางสอนระดับมหาวิทยาลัยในประเทศเม็กซิโก (Mexico) และแก้ปัญหานี้ด้วยวิธีแตกกิ่งและขอบเขต (Branch-and-Bound Algorithm) แบบทั่วไป โดยได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหาเป็นหลัก การแก้ปัญหาการจัดตารางสอนยังคงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับสถาบันการศึกษา ความท้าทายของปัญหาการจัดตารางสอนคือ ปัญหามีขนาดใหญ่และจำนวนของข้อจำกัดที่มีอยู่มาก [16] งานวิจัยส่วนมากแก้ปัญหาขนาดใหญ่ด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Methods) เพราะเป็นวิธีที่ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาการคำนวณที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแม่นตรง (Exact Method) ผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีงานวิจัยที่นำเสนอปัญหาและวิธีการจัดตารางการสอนแบบออนไลน์ในระดับมหาวิทยาลัยที่มีการพิจารณาความพึงพอใจของผู้สอนที่มีต่อตารางการสอนพร้อมกับค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนเลย เนื่องจากปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์เป็นปัญหาใหม่ที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ทำให้ยังไม่มีนักวิจัยศึกษาด้านนี้ อย่างไรก็ตามปัญหาการจัดตารางสอนของกรณีศึกษานี้มีขนาดปัญหาค่อนข้างเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดปัญหาของงานวิจัยอื่น เนื่องจากเป็นการจัดตารางสอนสำหรับสาขาวิชาที่เป็นหน่วยงานที่เล็กที่สุดของมหาวิทยาลัย ซึ่งมีจำนวนอาจารย์และรายวิชาที่ต้องรับผิดชอบน้อย ทำให้การเลือกใช้วิธีการแม่นตรงมาแก้ปัญหาของกรณีศึกษานี้จะได้ค่าที่ดีสุดภายในเวลาที่จำกัดได้เพราะขนาดปัญหาค่อนข้างเล็กและสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลต้องการเพียงแค่ประยุกต์ใช้เครื่องมือแก้ปัญหาที่ดีที่สุด (Optimization Solver) ที่ใช้วิธีการแม่นตรงเพื่อจัดตารางสอนสำหรับแต่ละเทอมเนื่องจากเครื่องมือแก้ปัญหาที่ดีที่สุดสามารถประยุกต์ใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องรอพัฒนาโปรแกรมเพื่อจัดตารางสอน และหัวหน้าสาขาวิชา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

สามารถปรับเปลี่ยนได้เองในกรณีที่มีเงื่อนไขใหม่เพิ่มเข้ามา ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องเลือกใช้เครื่องมือแก้ปัญหาที่ดีที่สุดเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์และวิธีการที่นำเสนอมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางสอน [1, 16] ดังนี้ (1) ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับห้องเรียน (2) มีข้อจำกัดในการแบ่งปันค่าคะแนนความพึงพอใจให้ใกล้เคียงกันตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้า (3) วิธีการที่นำเสนอมีการเปิดโอกาสให้อาจารย์ที่เกี่ยวข้องได้มีส่วนร่วมในการตัดสินใจตั้งแต่ต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้าย (4) มีการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามโดยใช้วิธีการตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (IOC) ซึ่งข้อแตกต่างเหล่านี้ทำให้สามารถเติมเต็มช่องว่างงานวิจัยที่ศึกษาด้านการจัดตารางสอนได้

3. ลักษณะของปัญหา

ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์นั้นมีลักษณะแบบเดียวกันการปัญหาการจัดตารางสอนทั่วไปคือการจัดตารางโดยจัดสรรอาจารย์แต่ละท่านให้เหมาะสมกับวิชา กลุ่มนักศึกษา ช่วงเวลา และวันที่สอน แต่ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์นี้จะไม่มีการพิจารณาการจัดห้องเรียนเนื่องจากเป็นการเรียนการสอนผ่านระบบประชุมออนไลน์ในช่วงการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 โดยที่กรณีศึกษามีเงื่อนไขพิเศษคือคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์ทุกท่านต้องแตกต่างจากคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และขั้นตอนการจัดตารางสอนควรต้องให้อาจารย์ในสาขาวิชาได้มีส่วนร่วมโดยยังคือรักษาระยะห่างระหว่างกันตามมาตรการของรัฐอีกด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดสมมุติฐานของปัญหาไว้ดังนี้

- ทุกวิชามีหน่วยกิตเท่ากันคือ 3 หน่วยกิต
- จัดตารางสอนสำหรับวันจันทร์ถึงวันเสาร์
- ตอนเรียนของทุกวิชาถูกรวมเป็นเซต S
- มี 3 ช่วงเวลาคือ 9.00-12.00 น., 13.00-16.00 น. และ 17.00-20.00 น.
- เวลานอกราชการคือ ช่วงเวลา 17.00-20.00 น. และวันเสาร์ในช่วงเวลา 9.00-12.00 น., 13.00-16.00 น. และ 17.00-20.00 น.
- มีอาจารย์แต่ละท่านมีเงื่อนไขจำนวนหน่วยกิตมากที่สุดและน้อยที่สุดที่สามารถสอนได้แตกต่างกัน
- ความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจที่มีต่อตารางสอนมีค่าเท่ากัน
- กลุ่มนักศึกษาพร้อมเรียนในทุกช่วงเวลาและทุกวัน

3.1 จุดประสงค์ของปัญหา

ปัญหานี้มี 2 จุดประสงค์ คือ (1) เพิ่มคะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์ในสาขาเขียนแบบเครื่องกลให้มากที่สุด (2) ทำให้เหลืองบประมาณเพื่อนำมาใช้ซื้อวัสดุและครุภัณฑ์มากที่สุด ซึ่งฟังก์ชันจุดประสงค์นี้ได้มาจากการนำงบประมาณที่สาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลได้รับจัดสรรมาหักลบกับต้นทุนค่าสอนโดยรวมของอาจารย์ทุกท่านสำหรับทุกวิชาในการจัดตารางสอนครั้งนี้ ส่วนต้นทุนค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ ค่าอุปกรณ์อื่นๆไม่ได้นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นการสอนแบบออนไลน์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

3.2 ข้อจำกัดของปัญหา

ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์นี้มีทั้งข้อจำกัดหลัก (Hard Constraints) และข้อจำกัดรอง (Soft Constraints) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 ข้อจำกัดหลัก

- หนึ่งตอนเรียนจะมีอาจารย์สอนได้ 1 ท่าน ในวันและเวลาเดียวกัน
- ในวันและเวลาเดียวกันนักศึกษาหนึ่งกลุ่มสามารถเรียนได้หนึ่งรายวิชาเท่านั้น
- จำนวนหน่วยกิตรวมที่มอบหมายให้อาจารย์แต่ละท่านต้องอยู่ช่วงหน่วยกิตมากที่สุดและหน่วยกิตขั้นต่ำที่กำหนดไว้ตามเงื่อนไขของตำแหน่งแต่ละท่าน
- 1 ตอนเรียน มีจำนวนนักศึกษาได้ไม่เกิน 80 คน
- ควรเว้นคาบว่างในเวลา 12.00-13.00 น.
- ในแต่ละวันอาจารย์ไม่สามารถสอนวิชาบรรยายติดต่อกันเกิน 3 คาบ
- คะแนนความพึงพอใจของอาจารย์แต่ละท่านต้องแตกต่างจากคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้
- กลุ่มนักเรียนต้องว่างในวันและช่วงเวลาสำหรับตอนเรียนนั้นๆ
- อาจารย์ต้องว่างในวันและช่วงเวลาสำหรับตอนเรียนนั้นๆ

3.2.2 ข้อจำกัดรอง

- ไม่ควรมีการเรียนการสอนนอกเวลาราชการหรือวันเสาร์

3.2.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

โดยปกติแล้วหัวหน้าสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลใช้วิธีฮิวริสติกที่ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของหัวหน้าสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์ จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีเก่าไม่สามารถรับประกันว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดหรือไม่ และวิธีเก่าที่ใช้แก้ปัญหานี้ยังใช้เวลานานอย่างมากในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์แต่ละครั้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์สำหรับปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์เพื่อทำให้เหลืองบประมาณและมีความพอใจของอาจารย์มากที่สุด ภายใต้เงื่อนไขข้อตกลงการกระจายความพอใจของอาจารย์ควรใกล้เคียงกัน ข้อตกลงนี้จะมีการกำหนดค่าระดับความแตกต่างของค่าคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์ที่ยอมรับได้ (α) ซึ่งรูปแบบการตั้งเงื่อนไขแบบเดียวกับงานวิจัยของ Maneengam และ Udomsakdigool [17] และระดับการแบ่งปันนี้ต้องผ่านความเห็นชอบของที่ประชุมของสาขาวิชาก่อนการจัดตารางสอนเพื่อให้อาจารย์ทุกท่านได้มีส่วนร่วมในการกำหนดค่าระดับการแบ่งปันนี้ ตัวแบบที่นำเสนอนี้ช่วยให้มีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบมากขึ้น และเมื่อใช้วิธีแม่นตรงในการแก้ปัญหาสำหรับตัวแบบนี้จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นการช่วยให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจสามารถเลือกตารางสอนที่ดีที่สุดสำหรับกรณีศึกษานี้ได้ นอกจากนี้ยังเป็นลดภาระงานหัวหน้าสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์มีพารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจดังต่อไปนี้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

ดัชนี:

a ดัชนีของรูปแบบผลรวมหน่วยกิต a, a = {3, 6, 9, 12, 15} หรือ a ∈ A และ A=5

d ดัชนีของวัน d, d = {วันจันทร์, วันอังคาร, วันพุธ, วันพฤหัสบดี, วันศุกร์, วันเสาร์} หรือ d ∈ D และ D = 6

p ดัชนีของช่วงเวลา p, p = {9.00-12.00 น., 13.00-16.00 น., 17.00-20.00 น.} หรือ p ∈ P และ P = 3

s ดัชนีของตอนเรียนสำหรับกลุ่มวิชาที่ s, s ∈ S ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้รวมทุกวิชาเป็นกลุ่มวิชาเดียวกันเพื่อให้สามารถกำหนดเป็นดัชนี s สำหรับทุกวิชาได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ s = {กลุ่มวิชา ตอนที่ 1, 2, 3, …, ตอนที่ S} และ S = 57 ตอนเรียน

t ดัชนีของอาจารย์ t, t = {อาจารย์ท่านที่1, 2, 3, …, T} หรือ t ∈ T, T = 14 ท่าน

u ดัชนีของกลุ่มนักศึกษาที่ u, u ∈ U หรือ u = {กลุ่มนักศึกษาที่ 1, 2, 3, …, U}, U = 41 กลุ่ม

พารามิเตอร์และตัวแปร:

c_{dpst} ต้นทุนเมื่อกำหนดให้อาจารย์ประจำคนที่ t สอนวิชา s วัน d ในช่วงเวลา p

C_{dpst} ต้นทุนและค่าล่วงเวลาเมื่อกำหนดให้อาจารย์ประจำคนที่ t สอนวิชา s วัน d ในช่วงเวลา p

c_{at} คะแนนความพึงพอใจด้านจำนวนหน่วยกิตรวมที่สอนของอาจารย์ t สำหรับรูปแบบจำนวนหน่วยกิตรวม a

c_s จำนวนหน่วยกิตของตอนเรียนที่ s

f_1 งบประมาณที่เหลือหลังหักต้นทุนโดยรวม

f_2 คะแนนความพึงพอใจรวมทุกด้านของอาจารย์ทั้งหมด

k ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์ทุกท่าน

I งบประมาณต่อคนที่ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลจัดสรรให้สาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลตามจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียน

M ค่าล่วงเวลาเมื่อมีการจัดการสอนนอกเวลาราชการ (M = 6,000 บาท/วัน/ช่วงเวลา)

MC_t จำนวนหน่วยกิตรวมมากที่สุดที่สามารถมอบหมายให้อาจารย์ t สอนได้

MNC_t จำนวนหน่วยกิตรวมที่น้อยที่สุดที่สามารถมอบหมายให้อาจารย์ t สอนได้

MP คะแนนมากที่สุดของระดับความพึงพอใจต่อตารางสอนของปัจจัยแต่ละด้านในแบบสอบถาม (5 คะแนน)

MS_t จำนวนวิชามากที่สุดที่อาจารย์ t สอนได้

MSP_t คะแนนพึงพอใจรวมที่เป็นไปได้มากที่สุดของอาจารย์ t

n_s จำนวนนักศึกษาของตอนเรียน s

OD ลำดับวันแรกที่เป็นวันนอกเวลาราชการ OD = 6 อ้างอิงจาก d = 6 หรือ วันเสาร์

OP ลำดับช่วงเวลาแรกที่เป็นเวลานอกราชการ OP = 3 หรือ ช่วงเวลา 17.00- 20.00 น.

sp_{pt} คะแนนความพึงพอใจด้านช่วงเวลาสอนของอาจารย์ t สำหรับการสอนช่วงเวลา p

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

sd_{dt} คะแนนความพึงพอใจด้านวันสอนของอาจารย์ t สำหรับวันสอน d

ss_{st} คะแนนความพึงพอใจด้านตอนเรียนที่สอนของอาจารย์ t สำหรับตอนเรียน s

sq_{st} คะแนนความพึงพอใจด้านจำนวนนักศึกษาที่สอนของอาจารย์ t สำหรับตอนเรียน s

TP_t สัดส่วนคะแนนความพึงพอใจรวมด้านช่วงเวลาสอนของอาจารย์ t ต่อ MSP_t

TD_t สัดส่วนคะแนนความพึงพอใจรวมด้านวันสอนของอาจารย์ t ต่อ MSP_t

TS_t สัดส่วนคะแนนความพึงพอใจรวมด้านวิชาและตอนเรียนที่สอนของอาจารย์ t ต่อ MSP_t

TQ_t สัดส่วนคะแนนความพึงพอใจรวมด้านจำนวนนักศึกษาที่ต้องสอนของอาจารย์ t ต่อ MSP_t

TC_t สัดส่วนคะแนนความพึงพอใจรวมด้านจำนวนหน่วยกิตที่ต้องสอนของอาจารย์ t ต่อ MP

TT_t คะแนนความพึงพอใจรวมทุกด้านของอาจารย์ t

α ค่าระดับความแตกต่างของคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์รวมกับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ยอมรับได้ α =0 คือมีระดับคะแนนความพอใจเท่ากัน α =1 คือมีระดับคะแนนความพอใจต่างกันอย่างมาก

η_{dspu} พารามิเตอร์กำหนดสถานะของกลุ่มนักศึกษาแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ดังนี้

2 คือ นักศึกษากลุ่ม u ต้องเรียนในตอนเรียน s แต่ไม่ว่างในช่วงเวลา p และวัน d

1 คือ นักศึกษากลุ่ม u ต้องเรียนในตอนเรียน s และว่างในช่วงเวลา p และวัน d

0 คือ นักศึกษากลุ่ม u ไม่ต้องเรียนตอนเรียน s ในช่วงเวลา p และวัน d

μ_{dspt} 1 คือ อาจารย์ t ไม่ว่างสอนตอนเรียน s ในช่วงเวลา p และวัน d

0 คือ อาจารย์ t ว่างสอนตอนเรียน s ในช่วงเวลา p และวัน d

σ_{st} 1 คือ อาจารย์ t ไม่สามารถสอนตอนเรียน s ได้ A

0 คือ อาจารย์ t สามารถสอนตอนเรียน s ได้

τ_a จำนวนหน่วยกิตรวมรูปแบบ a

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{dspt} 1 เมื่อกำหนดให้อาจารย์ t สอนตอนเรียนที่ s วัน d ในช่วงเวลา p

0 ในกรณีอื่นๆ

z_{at} 1 เมื่อกำหนดให้อาจารย์ t มีหน่วยกิตรวมที่ต้องสอนรวมเท่ากับรูปแบบผลรวมหน่วยกิต a

0 ในกรณีอื่นๆ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

ตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์สำหรับปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์สำหรับกรณีศึกษาสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลดังแสดงต่อไปนี้

$$\text{Max } f_1 = \sum_{s\in S} n_s I - \sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T} x_{dpst} C_{dpst} \quad (1)$$

$$\text{Max } f_2 = \sum_{t\in T} TT_t \quad (2)$$

เมื่อ

$$TT_t = TP_t + TD_t + TS_t + TQ_t + TC_t \quad (3)$$

$$TP_t = \frac{\sum_{d\in D}\sum_{s\in S}\left(\sum_{p\in P} x_{dpst} sp_{pt}\right)}{MSP_t} \quad (4)$$

$$TD_t = \frac{\left(\sum_{d\in D}\sum_{s\in S}\left(\left(\sum_{p\in P} x_{dpst}\right) sd_{dt}\right)\right)}{MSP_t} \quad (5)$$

$$TS_t = \frac{\left(\sum_{d\in D}\sum_{s\in S}\left(\left(\sum_{p\in P} x_{dpst}\right) ss_{st}\right)\right)}{MSP_t} \quad (6)$$

$$TQ_t = \frac{\left(\sum_{d\in D}\sum_{s\in S}\left(\left(\sum_{p\in P} x_{dpst}\right) sq_{st}\right)\right)}{MSP_t} \quad (7)$$

$$TC_t = \frac{\left(\sum_{a\in A} z_{at} c_{at}\right)}{MP} \quad (8)$$

$$C_{dpst} = \begin{cases} c_{dpst}, (p < OP) \vee (d < OD) \\ c_{dpst} + M, \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} x_{dpst} = 1 \quad \forall s \in S \quad (10)$$

$$\sum_{a\in A} z_{at} = 1 \quad \forall t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{a\in A} z_{at}\tau_a = \sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{s\in S} x_{dpst} c_s \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{s\in S} x_{dpst} c_s \le MC_t \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{p\in P}\sum_{s\in S} x_{dpst} c_s \ge MNC_t \quad \forall t \in T \quad (14)$$

$$TT_t \le k + [k(\alpha)] \quad \forall t \in T \quad (15)$$

$$TT_t \ge k - [k(\alpha)] \quad \forall t \in T \quad (16)$$

$$x_{dpst}\eta_{dspu} \le 1 \quad \forall d \in D, s \in S, p \in P, u \in U, t \in T \quad (17)$$

$$x_{dpst}(\mu_{dpst} + \sigma_{st}) \le 0 \quad \forall d \in D, s \in S, p \in P, t \in T \quad (18)$$

$$\sum_{s\in S} x_{dpst} \le 1 \quad \forall t \in T, d \in D, p \in P \quad (19)$$

$$x_{dpst} \in \{0,1\} \; \forall d \in D, s \in S, p \in P, t \in T \quad (20)$$

$$z_{at} \in \{0,1\} \quad \forall a \in A, t \in T \quad (21)$$

เมื่อ

$$MSP_t = MS_t(MP) \quad (22)$$

$$k = \frac{f_2}{T} \quad (23)$$

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

จากสมการที่ 1 คือ ฟังชันจุดประสงค์เพื่อทำให้เหลืองบประมาณให้มากที่สุด สมการที่ 2 ฟังชันจุดประสงค์เพื่อเพิ่มคะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์ทุกท่านให้มากที่สุด สมการที่ 3 อธิบายคะแนนความพึงพอใจรวมทุกด้านของอาจารย์ t สมการที่ 4 อธิบายรายละเอียดของคะแนนความพึงพอใจรวมด้านช่วงเวลาในการสอนของอาจารย์ t สมการที่ 5 อธิบายรายละเอียดของคะแนนความพึงพอใจรวมด้านวันที่สอนของอาจารย์ t สมการที่ 6 อธิบายรายละเอียดของคะแนนความพึงพอใจรวมด้านวิชาที่สอนของอาจารย์ t สมการที่ 7 อธิบายรายละเอียดของคะแนนความพึงพอใจรวมด้านจำนวนนักศึกษาที่ต้องสอนของอาจารย์ t สมการที่ 8 อธิบายรายละเอียดของคะแนนความพึงพอใจรวมด้านจำนวนหน่วยกิตโดยรวมที่ต้องสอนของอาจารย์ จากสมการที่ 4 ถึง 8 เป็นการทำคะแนนความพึงพอใจแต่ละด้านให้เป็นมาตรฐาน (Normalized) เพื่อให้ค่าคะแนนความพึงพอใจแต่ละด้านมีสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญที่เท่ากัน สมการที่ 9 อธิบายต้นทุนรวมเมื่อกำหนดให้อาจารย์คนที่ t สอนวิชา s วัน d ในช่วงเวลา p ข้อจำกัดที่ 10 เพื่อให้มั่นใจว่า 1 ตอนเรียนจะมีอาจารย์สอนได้ 1 ท่าน ข้อจำกัดที่ 11 เพื่อให้มั่นใจว่าอาจารย์ t จะได้สอนตามรูปแบบจำนวนหน่วยกิตรวมเพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น ข้อจำกัดที่ 12 เพื่อให้มั่นใจว่าจำนวนหน่วยกิตรวมของอาจารย์ทุกท่านที่ได้คำนวณจากตัวแปรตัดสินใจ z_{at} สอดคล้องกับจำนวนหน่วยกิตรวมของอาจารย์ทุกท่านที่คำนวณด้วยตัวแปรตัดสินใจ x_{dspt} ข้อจำกัดที่ 13 เพื่อให้มั่นใจว่าจำนวนหน่วยกิตรวมของอาจารย์ t ต้องน้อยกว่าหน่วยกิตรวม มากที่สุดที่อาจารย์ t สามารถสอนได้ ข้อจำกัดที่ 14 เพื่อให้มั่นใจว่าหน่วยกิตรวมของอาจารย์ t ต้องมากกว่าจำนวนหน่วยกิตรวมที่น้อยที่สุดที่สามารถมอบหมายให้อาจารย์ t สอนได้ ข้อจำกัดที่ 15 เพื่อให้มั่นใจว่าคะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์ t ต้องน้อยกว่าค่าระดับความแตกต่างมากที่สุดที่ยอมรับได้ของคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์โดยรวมกับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย ข้อจำกัดที่ 16 เพื่อให้มั่นใจว่าคะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์ t ต้องมากกว่าค่าระดับความแตกต่างต่ำสุดที่ยอมรับได้ของคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์โดยรวมกับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย ข้อจำกัดที่ 15 และ 16 ทำให้สามารถควบคุมให้ค่าคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์แต่ละท่านมีค่าใกล้เคียงกันเพื่อความยุติธรรม ข้อจำกัดที่ 17 เพื่อให้มั่นใจว่านักเรียนกลุ่ม u ต้องว่างในวัน d ช่วงเวลา p สำหรับตอนเรียน s ข้อจำกัดที่ 18 เพื่อให้มั่นใจว่าอาจารย์ t สามารถสอนวิชาสำหรับตอนเรียน s ได้และว่างในวัน d ช่วงเวลา p ข้อจำกัดที่ 19 เพื่อให้มั่นใจว่าในวัน d อาจารย์ t สามารถสอนได้เพียง 1 ตอนเรียนต่อ 1 ช่วงเวลาเท่านั้น ข้อจำกัดที่ 20 และ 21 กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจเป็นไบนารี่ สมการที่ 22 อธิบายคะแนนพึงพอใจรวมที่เป็นไปได้มากที่สุดของอาจารย์ t สมการที่ 23 อธิบายค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์ทุกท่าน

4. วิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล ส่วนที่ 2 การแก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์และสร้างพาเรโตฟร้อน (Pareto Front) จากนั้นจัดสนทนากลุ่มเพื่อเลือกรูปแบบตารางที่ดีที่สุด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

4.1 การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล

การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผลนี้ถูกแบ่งออกแบ่ง 2 ส่วนคือ (1) การสร้างแบบสอบถาม (2) การจัดการสนทนากลุ่มแบบออนไลน์ (Online Focus Group) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การสร้างแบบสอบถาม

ส่วนแรกผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามเพื่อให้อาจารย์ทุกท่านได้ทำการให้คะแนนความพึงพอใจของปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่ (1) ช่วงเวลา (2) วันที่สอน (3) จำนวนหน่วยกิตรวมที่สอน (4) จำนวนนักศึกษาที่สอน (5) วิชาที่สอน และสร้างแบบสอบถามโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท (Likert rating scale) [18] เพื่อกำหนดค่าระดับความพึงพอใจของปัจจัยแต่ละด้านไว้ 5 ระดับ ดังนี้

5 คะแนน คือ ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
4 คะแนน คือ ระดับความพึงพอใจมาก
3 คะแนน คือ ระดับความพึงพอใจปานกลาง
2 คะแนน คือ ระดับความพึงพอใจน้อย
1 คะแนน คือ ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

จากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้วิธีการตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (Index of Item-objective Congruence: IOC) ของ Rovinelli และ Hambleton [19] ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้แก่ (1) รองศาสตราจารย์ ชวนีย์ พงศาพิชณ์ (ผู้เชี่ยวชาญทางจิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์การ) (2) อาจารย์ ดร.นนทิรัตน์ พัฒนภักดี (ผู้เชี่ยวชาญทางจิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์การ) (3) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา อุบลทิพย์ (ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาเขียนแบบวิศวกรรมและเป็นอาจารย์ในสาขาวิชากรณีศึกษา) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดคะแนนค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่ให้โดยผู้เชี่ยวชาญมี 3 ระดับ ดังนี้

1 หมายถึง ท่านแน่ใจว่าข้อความนี้ สามารถวัดได้ตามนิยามปฏิบัติการของแบบสอบถาม
0 หมายถึง ท่านไม่แน่ใจว่าข้อความนี้ สามารถวัดได้ตามนิยามปฏิบัติการของแบบสอบถาม
-1 หมายถึง ท่านแน่ใจว่าข้อความนี้ ไม่สามารถวัดได้ตามนิยามปฏิบัติการของแบบสอบถาม

เมื่อผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านตรวจสอบและส่งคะแนนกลับมาให้ผู้วิจัยแล้ว ผู้วิจัยได้นำคะแนนรวมจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านมาหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์จากสูตรของ Rovinelli และ Hambleton [19] ที่ถูกลดรูปสมการมาแล้วสำหรับแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อวัดเพียงวัตถุประสงค์เดียวคือความพึงพอใจของอาจารย์ดังสมการที่ 24

$$IOC_b = \frac{\sum_{e \in E} R_{be}}{E} \quad (24)$$

เมื่อ

IOC = ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อความกับนิยามศัพท์

R_e = ผลรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน

e = ดัชนีของผู้เชี่ยวชาญ e = {1, 2, E}

b = ดัชนีข้อคำถามในแบบสอบถาม b = {1, 2, B}

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

จากนั้นทำการเลือกข้อคำถามที่ยอมรับได้ที่มีค่า IOC มากกว่า 0.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอย่างน้อยร้อยละ 50 ของผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนที่สมบูรณ์แบบแก่ข้อคำถามนั้นๆว่ามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามที่ Rovinelli และ Hambleton [19] ให้คำแนะนำไว้ นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องทำการปรับปรุงแก้ไขข้อความตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ข้อความที่กระชับ เหมาะสม และถูกต้อง ถ้าข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ต่ำกว่า 0.5 ผู้วิจัยจะนำไปปรับปรุงแก้ไขหรือตัดทิ้งตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

4.1.2 การจัดการสนทนากลุ่มแบบออนไลน์

ส่วนที่สองผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการสนทนากลุ่มแบบออนไลน์มาใช้กำหนดค่าระดับความแตกต่างของคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์ที่ยอมรับได้ (α) และกำหนดจำนวนครั้งที่ต้องการหาพาเรโตโซลูชัน (Pareto Solutions) ที่อาจารย์ทุกท่านต้องการก่อนการทำพาเรโตฟร้อน (Pareto Front) ในขั้นตอนถัดไป โดยที่ Merriam [20] ได้กล่าวไว้ว่าการสนทนากลุ่มนี้เป็นวิธีการที่เปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมสามารถพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ประสบการณ์ สมาชิกในกลุ่มแต่ละคนจะได้ฟังคำตอบของคนอื่นๆ ในกลุ่ม และในขณะเดียวกันก็อาจให้ข้อมูลของตนเพิ่มเติมในส่วนที่เป็นคำตอบที่ตนต้องการนำเสนอ ซึ่งสมาชิกในกลุ่มอาจไม่เห็นด้วยกับความเห็นของสมาชิกที่นำเสนอก็ได้ วิธีนี้ทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกันเพื่อหาข้อสรุป หรือแนวทางในประเด็นวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทำให้วิธีนี้เก็บข้อมูลนี้ได้คำตอบเชิงลึกที่มีคุณภาพ และมีต้นทุนการในเก็บข้อมูลต่ำเมื่อเทียบกับวิธีเก็บข้อมูลแบบอื่น [21] ภายใต้เงื่อนไขการจำกัดทรัพยากร เทคนิคการสนทนากลุ่มจะลดการเดินทางระหว่างสถานที่ต่างๆ และได้ข้อมูลจำนวนมากภายในกรอบเวลาที่จำกัด [22] จากข้อดีข้างต้นของการสนทนากลุ่มแสดงให้เห็นว่าวิธีการเก็บข้อมูลนี้เหมาะสมกับกรณีศึกษาที่กลุ่มผู้เข้าร่วมสนทนามีเวลาให้เก็บข้อมูลค่อนข้างน้อยและยังเป็นการรักษาระยะห่างระหว่างกันเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อีกด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ใช้โอกาสนี้เพื่อส่งแบบสอบถามให้กับอาจารย์ทุกท่านให้ได้กำหนดคะแนนความพึงพอใจแต่ละด้านของตารางสอนเพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาใช้แก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์ต่อไป

4.2 การแก้ปัญหาและสร้างพาเรโตฟร้อน

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาจากหัวข้อที่ 4.1 เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในตัวแบบของปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์ที่นำเสนอ จากนั้นแก้ปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์ด้วยวิธีการแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut Algorithm) ในโปรแกรม OpenSolver 2.9.4 ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการนี้เพราะว่าสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลเป็นหน่วยงานที่มีอาจารย์จำนวนน้อยและมีจำนวนวิชาที่รับผิดชอบไม่มากทำให้ขนาดปัญหาค่อนข้างเล็ก การเลือกใช้วิธีแม่นตรงมาแก้ปัญหาได้ค่าที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้ นอกจากนี้สาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลสามารถนำโปรแกรมและวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ได้ทันทีโดยไม่เสียงบประมาณใดๆ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของกรณีศึกษา และ จากนั้นผู้วิจัยสร้างพาเรโตฟร้อนด้วยวิธีข้อจำกัดเอปซิลอน (ε-constraint) ของ Chankong และ Haimes [23] เพื่อนำมาใช้ช่วยในตัดสินใจจากการเปรียบเทียบระดับงบประมาณที่เหลือและคะแนนความพึงพอใจโดยรวม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

ของอาจารย์ทุกท่าน ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีข้อจำกัดเอปซิลอนเพราะว่าเป็นวิธีสร้างพาเรโตฟร้อนที่ใช้ความพยายามในการสร้างพาเรโตฟร้อนน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีสร้างพาเรโตฟร้อนแบบพื้นฐานอื่นๆ [24, 25] โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแก้ปัญหาวัตถุประสงค์เดียวที่ครอบคลุมแบบจำลองตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีวัตถุประสงค์เดียว (เลือกจุดประสงค์เพื่อทำให้เหลืองบประมาณมากที่สุด) จะถูกแก้ไขโดยวิธีแยกกิ่งและตัด (Branch and Cut Algorithm) โดยใช้สมการ (1) และชุดข้อจำกัด (10) - (20) ในทำนองเดียวกันกับการแก้ปัญหาวัตถุประสงค์ที่สอง (เลือกจุดประสงค์เพื่อเพิ่มคะแนนความพึงพอใจรวมมากที่สุด) โดยทำการแก้ปัญหาสำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยแชร์ชุดข้อจำกัดเดียวกันกับจุดประสงค์แรกและใช้สมการ (2) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของการแก้ปัญหาวัตถุประสงค์เดียวที่เลือกฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อเพิ่มคะแนนความพึงพอใจรวมมากที่สุด (f_1^*) และค่าที่เหมาะสมที่สุดของการแก้ปัญหาวัตถุประสงค์เดียวที่เลือกฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อทำให้เหลืองบประมาณสูงที่สุด (f_2^*)

ขั้นตอนที่ 2 ผู้มีอำนาจตัดสินใจจะกำหนดจำนวนครั้งที่ต้องการหาพาเรโตโซลูชันที่พวกเขาต้องการก่อนในขั้นตอนการสนทนากลุ่มแบบออนไลน์ โดยกำหนดให้ G หมายถึงจำนวนพาเรโตโซลูชันในการสร้างพาเรโตฟร้อน g โดยที่ g = 1,2, ... , G ในบทความนี้ผู้วิจัยกำหนดจำนวนพาเรโตโซลูชัน (G) ตามข้อสรุปร่วมกันของอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลในการสนทนากลุ่มในช่วงการเตรียมข้อมูลก่อนประมวลผล

ขั้นตอนที่ 3 ทำการหาคำตอบสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ m (f_m) ดังที่แสดงในสมการ (25) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่น ๆ จะถูกแปลงเป็นข้อจำกัดที่มีค่าคงที่ ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ถูกทำให้เป็นข้อจำกัด y (f_y) และกำหนดให้เป็น ε_y ซึ่งข้อจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้คือ $y \in Y, y \neq m$ แสดงในสมการ (26)

$$\min_{x \in X} f_m(x) \tag{25}$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$f_y(x) \leq \varepsilon_y \quad y \in Y, y \neq m \tag{26}$$

เมื่อ x เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรการตัดสินใจของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ m ซึ่งพาเรโตโซลูชันสามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ใน RHS ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ y ที่จำกัดโดยค่าพารามิเตอร์ ε_y

ขั้นตอนที่ 4 ผู้วิจัยต้องจัดการสนทนากลุ่มแบบออนไลน์อีกครั้งเพื่อเลือกตารางสอนที่เหมาะสมจากพาเรโตฟร้อนที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 วิธีนี้จะทำให้สามารถเลือกตารางสอนที่เป็นที่ยอมรับและเพิ่มการมีส่วนรวมในการจัดตารางสอนของอาจารย์ทุกท่าน

5. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แก้ปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์โดยใช้ฟังก์ชัน COIN Branch and Cut Solver ในโปรแกรม OpenSolver 2.9.4 เพื่อทำให้เหลืองบประมาณมากที่สุดและคะแนนความพึงพอใจรวมสูงที่สุด และรันผลบนคอมพิวเตอร์ AMD Ryzen 5 4600H 3.00 GHz RAM 16 GB ผู้วิจัยใช้วิธีการที่นำเสนอกับปัญหาการจัดตารางสอนออนไลน์ในเทอมที่ 1 ปีการศึกษาที่ 2564 ของสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

เป็นกรณีศึกษาที่มีอาจารย์จำนวน 14 ท่าน มีตอนเรียนรวมทั้งหมด 57 ตอน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ด้านต้นทุนและรายได้มีการกำหนดขึ้นมาใหม่ให้แตกต่างจากข้อมูลจริงเล็กน้อย เนื่องจากสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลไม่ต้องการแสดงข้อมูลจริงในงานวิจัยนี้

5.1 ผลจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนประมวลผล

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้แบ่งผลเตรียมข้อมูลก่อนประมวลผลออกเป็นสามส่วนคือ (1) ผลการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิค IOC (2) ผลการสร้างแบบสอบถามออนไลน์ และ (3) ผลจากการจัดสนทนากลุ่มในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนประมวลผล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิค IOC

จากการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิค IOC พบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้ให้คะแนนเป็น 1 สำหรับทุกข้อคำถาม ทำให้เมื่อคำนวณค่า IOC แล้วจะได้เท่ากับ 1 สำหรับทุกข้อคำถามเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าผู้เชี่ยวชาญทุกท่านแน่ใจว่าข้อความในคำถามทุกข้อในแบบสอบถามนี้สามารถวัดได้ตามนิยามปฏิบัติการของแบบสอบถาม หรือ ทุกข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของแบบสอบถามนี้

5.1.2 ผลการสร้างแบบสอบถามออนไลน์

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบสอบถามออนไลน์เพื่อเก็บข้อมูลระดับความพึงพอใจของอาจารย์แต่ละท่านในปัจจัยด้านต่างๆ ใน Google Forms โดยสามารถเข้าถึงแบบสอบถามได้จากลิงค์ (Link) ต่อไปนี้ https://forms.gle/BAjCMHXGWePAETzMA

5.1.3 ผลจากการจัดสนทนากลุ่มในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนประมวลผล

จากการสนทนากลุ่มของอาจารย์ในสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลได้ข้อสรุปดังรายละเอียดต่อไปนี้ (1) จำนวนพาเรโตโซลูชันในการสร้างพาเรโตฟร้อน (G) เท่ากับ 10 ครั้ง (2) กำหนดค่าระดับความแตกต่างของคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์ที่ยอมรับได้ (α) เท่ากับ 0.3 หรือ ร้อยละ 30 ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองค่านี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการแก้ปัญหาต่อไป

5.2 ผลจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีที่นำเสนอ

ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบพาเรโตฟร้อนที่ได้จากวิธีข้อจำกัด ε และวิธีผลรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Sum Method) โดยตรวจสอบจากจำนวนพาเรโตโวลูชันที่ได้และค่าไฮเปอร์โวลุม (Hypervolume Indicator: HV) ผู้วิจัยกำหนดจำนวนครั้งที่ใช้หาพาเรโตโซลูชันเท่ากับ 10 ครั้ง (G = 10) สำหรับวิธีการที่นำเสนอ เพื่อให้ได้เซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set) เช่นเดียวกับวิธีผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้กำหนดให้น้ำหนักของวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนักถูกปรับ 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะทำการปรับมีค่าน้ำหนักของ f_1 (W_1) ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1 และค่าน้ำหนักของ f_2 (W_2) มีค่าแปรผกผันกับของค่าน้ำหนักที่คูณกับ f_1 ค่าน้ำหนักของทั้งสองฟังก์ชันจุดประสงค์รวมเป็น 1 ค่าเสมอ คือ $W_2+W_1=1$ ผลที่ได้รับจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีที่นำเสนอนี้ทำให้ได้พาเรโตฟร้อน (Pareto Front) หรือการเปรียบเทียบ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

ระหว่างงบประมาณที่เหลือ (f_1) และคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์โดยรวม (f_2) ที่ได้รับจากแต่ละวิธีได้แสดงดังในรูปที่ 1 และตารางที่ 1

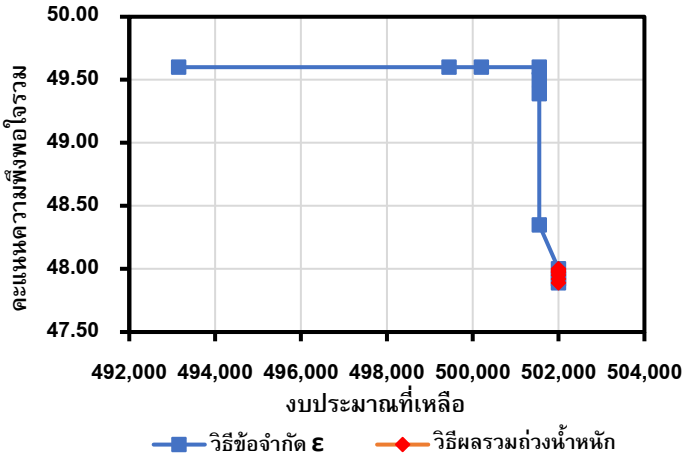
ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากวิธีข้อจำกัดเอปซิลอน และวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก

g	วิธีข้อจำกัด ε		วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก	
	RB	SO	RB	SO
1	502,000	47.89	502,000	47.89
2	502,000	47.92	502,000	47.92
3	502,000	48.00	502,000	47.95
4	501,550	48.35	502,000	47.97
5	501,550	49.39	502,000	47.98
6	501,550	49.50	502,000	47.98
7	501,550	49.60	502,000	47.99
8	500,200	49.60	502,000	47.99
9	499,450	49.60	502,000	47.99
10	493,150	49.60	502,000	48.00

RB คืองบประมาณที่เหลือที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ (บาท), SO คือคะแนนความพึงพอใจรวมที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ

จากตารางที่ 1 เซตของโซลูชันที่ไม่ถูกครอบงำ (The Non-dominated Solutions Set) หรือเซตของพาเรโตโซลูชัน (Pareto Solutions Set) ของวิธีข้อจำกัดเอปซิลอนมีจำนวนมากกว่าและหลากหลายกว่าวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนักอย่างชัดเจน เนื่องจากพาเรโตโซลูชันที่ได้จากวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนักทำให้ได้ผลลัพธ์ซ้ำกันหลายครั้ง เช่น พาเรโตโซลูชันที่ 5-6 และ 7-9

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่องบประมาณที่เหลือเพิ่มขึ้นคะแนนความพึงพอใจรวมกลับลดลง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือวิธีวัดไฮเปอร์โวลุม (Hypervolume Indicator: HV) [26] ตัวชี้วัดนี้จะแสดงถึงพื้นที่ที่อยู่ใต้พาเรโตฟร้อนสำหรับปัญหาสองจุดประสงค์ โดยการวัดสมรรถนะของวิธีแก้ปัญหาด้วยวิธีวัดไฮเปอร์โวลุมนั้นจะพิจารณาจากค่า HV ถ้าวิธีการใดมีค่า HV มากกว่าแสดงว่าวิธีนั้นมีคุณภาพของเซตพาเรโต-โซลูชันที่ดีกว่าดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 พาเรโตฟร้อนแสดงการเปรียบเทียบระหว่างงบประมาณที่เหลือและคะแนนความพึงพอใจรวม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

ตารางที่ 2 ค่าไฮเปอร์โวลุมของแต่ละวิธี

HVe	HVw	HVe - HVw
95.24%	6.43%	88.81%

HVe = ค่าไฮเปอร์โวลุมของ ε-constraint method,
HVw = ค่าไฮเปอร์โวลุมของ weighted sum method

จากตัวบ่งชี้ค่า HV ของ [26] ของทั้งสองวิธีการในตารางที่ 2 ผู้วิจัยพบว่าวิธีข้อจำกัดเอปซิลอน มีค่า HV มากกว่าวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก 88.81% จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวิธีข้อจำกัดเอปซิลอนเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนักทั้งด้านความหลากหลายของคำตอบ จำนวนพาเรโตโซลูชัน และค่า HV

เมื่อได้พาเรโตฟร้อนมาแล้ว ผู้จัดตารางได้จัดให้มีการสนทนากลุ่มออนไลน์อีกครั้งเพื่อเลือกตารางที่เหมาะสมที่สุด โดยอาจารย์ผู้เกี่ยวข้องในสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลได้ลงมติเลือกพาเรโตโซลูชันที่ 7 ที่มีงบประมาณที่เหลือเท่ากับ 501,550 บาท และมีคะแนนความพึงพอใจรวมเท่ากับ 49.60 คะแนน โดยเหตุผลที่ผู้เข้าร่วมการสนทนากลุ่มได้เลือกพาเรโตโซลูชันที่ 7 มีดังต่อไปนี้ (1) สาขาวิชาได้มีแผนในการซื้อวัสดุและครุภัณฑ์ไว้แล้วที่ 501,000 บาท จึงทำให้พาเรโตโซลูชันที่ 8 ถึง 10 ถูกตัดออกจากพิจารณา เนื่องจากเป็นพาเรโตโซลูชันที่ทำให้เหลืองบประมาณน้อยกว่าแผนในการซื้อวัสดุและครุภัณฑ์ที่กำหนดไว้ (2) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนรวมความพึงพอใจของอาจารย์ระหว่างพาเรโตโซลูชันที่ 1 ถึง 7 พบว่าพาเรโตโซลูชันที่ 7 มีค่ามากที่สุด จากเหตุผลข้างต้นทั้งสองข้อทำให้ผู้เข้าร่วมการสนทนากลุ่มเลือกพาเรโตโซลูชันที่ 7 สำหรับกรณีศึกษานี้ ซึ่งผลการจัดตารางสอนออนไลน์ได้แสดงดังรูปที่ 2

5.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธีแบบเก่าสำหรับกรณีศึกษา

จากหัวข้อ 5.1 ผู้วิจัยได้นำผลการจัดตารางสอนออนไลน์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอมาเปรียบเทียบผลการจัดตารางสอนออนไลน์ด้วยวิธีการแบบเก่าของสาขาเขียนแบบเครื่องกลที่ใช้ประสบการณ์ของหัวหน้าสาขาวิชาในการจัดตารางสอนมาโดยตลอด โดยใช้ข้อจำกัดเดียวกันเพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอดังแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าวิธีเก่าทั้งด้านงบประมาณที่เหลือ คะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์ที่มากขึ้น 0.12% และ 3.70% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการจัดตารางสอนออนไลน์ด้วยวิธีการที่นำเสนอน้อยกว่าวิธีเก่า 99.97% ถึงแม้ว่างบประมาณที่เหลือและคะแนนความพึงพอใจรวมที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอจะต่างจากวิธีการเก่าเพียงเล็กน้อยเพราะว่าหัวหน้าสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกลมีประสบการณ์การจัดตารางมาหลายปีจนทำให้สามารถจัดตารางออนไลน์ให้มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับพาเรโตฟร้อนอย่างมาก แต่วิธีการที่นำเสนอสามารถรับประกันว่าผลลัพธ์ที่ได้จะไม่มีผลลัพธ์ใดที่ดีกว่าหรือไม่มีผลลัพธ์ใดที่สามารถครอบงำชุดผลลัพธ์นี้ได้ โดยเรียกผลลัพธ์นี้เป็นกลุ่มผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal) และผู้มีอำนาจตัดสินใจจะได้รับตารางที่มีรูปแบบที่หลากหลายให้เลือกมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเก่าที่มีรูปแบบตารางสอนเพียงแบบเดียวเท่านั้น

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

			ช่วงเวลา (p)		
อาจารย์ (t)	ตอนเรียน (s)	วัน (d)	1	2	3
1	39	1	1	0	0
1	41	4	1	0	0
1	45	4	0	1	0
1	46	2	1	0	0
1	47	3	1	0	0
2	42	3	0	1	0
2	43	5	1	0	0
2	44	4	0	1	0
2	51	5	0	1	0
2	52	1	1	0	0
3	15	5	0	1	0
3	24	1	1	0	0
3	30	5	1	0	0
3	49	4	1	0	0
4	6	3	0	1	0
4	12	5	1	0	0
4	21	2	0	1	0
4	33	4	0	1	0
4	54	1	0	1	0
5	18	4	1	0	0
5	29	3	0	1	0
5	36	2	0	1	0
5	40	6	0	1	0
5	55	4	0	1	0
6	1	5	1	0	0
6	4	1	0	1	0
6	8	5	0	1	0
6	19	4	1	0	0
6	34	4	0	1	0
7	31	6	1	0	0
7	37	2	0	1	0
7	38	5	0	1	0
7	56	1	1	0	0
7	57	5	1	0	0
8	48	2	0	0	1
8	50	1	0	0	1

X_{dspt}

รูปที่ 2 ผลการจัดตารางสอนออนไลน์ของกรณีศึกษา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

			ช่วงเวลา (p)		
อาจารย์ (t)	ตอนเรียน (s)	วัน (d)	1	2	3
9	11	2	0	1	0
9	17	1	0	1	0
9	22	2	1	0	0
9	25	5	1	0	0
9	27	5	0	1	0
10	7	1	1	0	0
10	10	3	0	1	0
10	16	2	1	0	0
10	23	3	1	0	0
10	35	4	1	0	0
11	2	5	1	0	0
11	3	4	1	0	0
11	5	5	0	1	0
11	32	4	0	1	0
11	53	3	0	1	0
12	28	1	0	1	0
13	9	6	1	0	0
13	13	4	1	0	0
13	14	1	1	0	0
13	26	3	1	0	0
14	20	4	1	0	0

รูปที่ 2 (ต่อ) ผลการจัดตารางสอนออนไลน์ของกรณีศึกษา

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธีเก่า

	RB*	SO*	MT
วิธีเก่า	500,950	47.83	173,520
วิธีที่นำเสนอ	501,550	49.60	55.80
%Δ	0.12%	3.70%	99.97%

RB* คืองบประมาณที่เหลือ (บาท), SO* คือคะแนนความพึงพอใจรวม, %Δ คือเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างวิธีเก่าและวิธีที่นำเสนอ และ MT คือเวลาคำนวณรวมที่ใช้ในการจัดตารางสอน (วินาที), ค่า MT ของวิธีเก่าจะจับเวลาเฉพาะขณะที่หัวหน้าสาขาวิชากำลังจัดตารางสอนอยู่เท่านั้น, ค่า MT ของวิธีที่นำเสนอคือเวลารวมในการคำนวณทุกพาเรโตโซลูชันทั้ง 10 โซลูชัน

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มทวิภาคแบบหลายจุดประสงค์วิธีการแก้ปัญหาสำหรับการจัดตารางสอนออนไลน์โดยใช้กรณีศึกษาสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล จุดประสงค์ของปัญหานี้เพื่อเพิ่มงบประมาณที่เหลือมากที่สุดและเพิ่มคะแนนความพึงพอใจรวมของอาจารย์มากที่สุด วิธีการที่นำเสนอเพื่อแก้ปัญหาตัวแบบจำลองนี้มี 2 ขั้นตอน คือ (1) การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (2) แก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut Algorithm) และสร้างพาเรโตฟร้อนด้วยวิธีข้อจำกัดเอปซิลอน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

(Ɛ-constraint) จากนั้น จัดสนทนากลุ่มเพื่อเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดจากพาเรโตฟร้อน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มงบประมาณที่เหลือและเพิ่มคะแนนความพึงพอใจของอาจารย์โดยรวมได้ 0.12% และ 3.70% ตามลำดับ ถึงแม้ว่าหัวหน้าสาขาวิชาจะมีประสบการณ์ในการจัดตารางสอนมาหลายปีแต่ต้องใช้เวลาในการจัดตารางสอนออนไลน์นานมากเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขทั้งหมด และเมื่อเปรียบเทียบเวลาในการจัดตารางสอนระหว่างทั้งสองวิธีพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถจัดตารางสอนได้เร็วกว่าเดิมถึง 99.97% ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าวิธีการเก่าทั้งในด้านงบประมาณที่เหลือและคะแนนรวมความพึงพอใจของอาจารย์และยังช่วยให้หัวหน้าสาขาวิชาสามารถจัดตารางสอนออนไลน์ได้รวดเร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอยังนี้เปิดโอกาสให้อาจารย์ที่เกี่ยวข้องทุกท่านได้มีส่วนร่วมในการจัดตารางสอนทั้งการให้อาจารย์แต่ละท่านได้กำหนดคะแนนความพอใจในแต่ละด้านด้วยตนเองและมีการจัดสนทนากลุ่มทั้งก่อนและหลังการจัดตารางสอนในการรับฟังความเห็นของอาจารย์ทุกท่านเพื่อให้สามารถจัดตารางสอนออนไลน์ได้อย่างเหมาะสมที่สุดโดยที่ยังคงรักษาระยะห่างระหว่างกันเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ได้อีกด้วย ผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีวิธีการจัดตารางในงานวิจัยใดก่อนหน้านี้ได้เปิดโอกาสให้อาจารย์ที่เกี่ยวข้องได้ร่วมตัดสินใจมากเท่ากับตัวแบบและวิธีการที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ แต่วิธีการที่นำเสนอยังขาดการพิจารณาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของอาจารย์แต่ละท่าน เนื่องจากอาจารย์แต่ละท่านอาจจะให้คำสำคัญกับแต่ละปัจจัยไม่เท่ากัน นอกจากนี้ขั้นตอนการเลือกพาเรโตโซลูชั้นที่เหมาะสมโดยใช้วิธีสนทนากลุ่มมีแนวทางที่ไม่แน่นอนและผู้เข้าร่วมบางคนอาจถูกชักจูงให้เลือกรูปแบบตารางสอนตามกันอาจารย์ท่านอื่นๆ จึงทำให้ได้ตารางสอนที่อาจจะเป็นพึงพอใจของอาจารย์เพียงบางท่านเท่านั้น

ในอนาคต ผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) เพื่อใช้ในการให้น้ำหนักความสำคัญของคะแนนความพึงพอใจแต่ละด้าน เนื่องจากอาจารย์แต่ละท่านอาจจะให้ความสำคัญกับปัจจัยแต่ละด้านไม่เท่ากัน และใช้เทคนิค TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบตารางสอนออนไลน์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ผู้วิจัยจะเพิ่มการพิจารณาการลดเวลาว่างและเวลาทำงานของอาจารย์และนักศึกษาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะศิลปศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาเขียนแบบเครื่องกล ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้อย่างดี

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

8. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Babaei, J. Karimpour and A. Hadidi, A survey of approaches for university course timetabling problem, Computers and Industrial Engineering, 2015, 86, 43-59.

[2] S. Imran Hossain, M.A.H. Akhand, M.I.R. Shuvo, N. Siddique and H. Adeli, Optimization of university course scheduling problem using particle swarm optimization with selective search, Expert Systems with Applications, 2019, 127, 9-24.

[3] P. Yasari, M. Ranjbar, N. Jamili and M.H. Shaelaie, A two-stage stochastic programming approach for a multi-objective course timetabling problem with courses cancelation risk, Computers and Industrial Engineering, 2019, 130, 650-660.

[4] S. Daskalaki and T. Birbas, Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming, European Journal of Operational Research, 2005, 160(1), 106-120.

[5] M.A. Al-Betar and A.T. Khader, A harmony search algorithm for university course timetabling, Annals of Operations Research, 2012, 194(1), 3-31.

[6] A.A. Mahiba and C.A.D. Durai, Genetic algorithm with search bank strategies for university course timetabling problem, Procedia Engineering, 2012, 38, 253-263.

[7] R.P. Badoni, D.K. Gupta, and P. Mishra, A new hybrid algorithm for university course timetabling problem using events based on groupings of students, Computers and Industrial Engineering, 2014, 78, 12-25.

[8] V.I. Skoullis, I.X. Tassopoulos, and G.N. Beligiannis, Solving the high school timetabling problem using a hybrid cat swarm optimization based algorithm, Applied Soft Computing Journal, 2017, 52, 277-289.

[9] C. Akkan and A. Gülcü, A bi-criteria hybrid Genetic Algorithm with robustness objective for the course timetabling problem, Computers and Operations Research, 2018, 90, 22-32.

[10] N.C.F. Bagger, M. Sørensen, and T.R. Stidsen, Benders' decomposition for curriculum-based course timetabling, Computers and Operations Research, 2018, 91, 178-189.

[11] M.A. Nugroho and G. Hermawan, Solving university course timetabling problem using memetic algorithms and rule-based approaches, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 407, 012012.

[12] L. Saviniec, M.O. Santos, A.M. Costa, and L.M.R. dos Santos, Pattern-based models and a cooperative parallel metaheuristic for high school timetabling problems, European Journal of Operational Research, 2020, 280(3), 1064-1081.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

[13] A. Gülcü and C. Akkan, Robust university course timetabling problem subject to single and multiple disruptions, European Journal of Operational Research, 2020, 283(2), 630- 646.

[14] A. Rezaeipanah, S.S. Matoori, and G. Ahmadi, A hybrid algorithm for the university course timetabling problem using the improved parallel genetic algorithm and local search, Applied Intelligence, 2021, 51(1), 467-492.

[15] N.M. Arratia-Martinez, C. Maya-Padron, and P.A. Avila-Torres, University course timetabling problem with professor assignment, Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021, 6617177.

[16] M.C. Chen, S.N. Sze, S.L. Goh, N.R. Sabar, and G. Kendall, A Survey of University course timetabling problem: perspectives, Trends and Opportunities, IEEE Access, 2021, 9, 106515-106529.

[17] A. Maneengam and A. Udomsakdigool, Solving the collaborative bidirectional multi-period vehicle routing problems under a profit-sharing agreement using a covering model, International Journal of Industrial Engineering Computations, 2020, 11(2), 185-200.

[18] R. Likert, A technique for the measurement of attitudes, Archives of Psychology, 1932, 22(140), 55.

[19] R.J. Rovinelli and R.K. Hambleton, On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity, Tijdschrift voor Onderwijsresearch, 1977, 2(2), 49-60.

[20] S.B. Merriam, Qualitative research: A guide to design and implementation, 3rd Ed., Jossey-Bass, CA, USA, 2009.

[21] C. Puchta and J. Potter, Focus group practice, 1st Ed., SAGE Publications Ltd, CA, USA, 2004.

[22] T.O. Nyumba, K. Wilson, C.J. Derrick, and N. Mukherjee, The use of focus group discussion methodology: Insights from two decades of application in conservation, Methods in Ecology and Evolution, 2018, 9, 20-32.

[23] V. Chankong and Y.Y. Haimes, Multiobjective decision making: Theory and methodology. Elsevier Science Publishing Company, Inc., NY, USA, 1983.

[24] G. Mavrotas, Effective implementation of the ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems, Applied Mathematics and Computation, 2009, 213(2), 455-465.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.004

[25] G. Chiandussi, M. Codegone, S. Ferrero, and F.E. Varesio, Comparison of multi-objective optimization methodologies for engineering applications, Computers and Mathematics with Applications, 2012, 63(5), 912-942.

[26] T. Friedrich, C. Horoba, and F. Neumann, Multiplicative approximations and the hypervolume indicator, The 11th Annual Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2009), Proceeding, 2009, 571-578.