

การจัดตารางการทำงานของพนักงาน สำหรับระบบที่มีเวลาในการดำเนินงานยืดหยุ่น

รชนิศ เรืองศรี¹ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์^{2*}

^{1,2*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : fengwsst@ku.ac.th

รับต้นฉบับ: 28 เมษายน 2564; รับบทความฉบับแก้ไข: 4 พฤษภาคม 2564; ตอบรับบทความ: 10 พฤษภาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 25 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนำเสนอการจัดตารางการทำงาน สำหรับระบบที่มีงานต้องดำเนินการหลายงาน มีจำนวนพนักงานจำกัด ระยะเวลาในการดำเนินงานมีความยืดหยุ่น เปลี่ยนแปลงตามจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรร ซึ่งกำหนดเป็นจำนวนขั้นต่ำและขั้นสูงสำหรับแต่ละงาน ตัวชี้วัดการจัดตารางการทำงานคือการลดระยะเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้าย วิธีวิธีวิสติกสองขั้นตอน ถูกนำเสนอเพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหาดังกล่าว ขั้นตอนหนึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มงาน และจัดสรรงานตามจำนวนพนักงานขั้นสูง โดยพิจารณาพนักงานที่ว่างก่อน ขั้นตอนที่สองเป็นการปรับจำนวนพนักงานในแต่ละงานเพื่อลดเวลาดำเนินงานของพนักงานที่มีเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายสูง เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ปัญหาขนาดเล็กจำนวน 30 ปัญหา และปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 30 ปัญหา ได้ถูกสร้างขึ้นอย่างสุ่ม คำตอบที่ได้จากวิธีวิธีวิสติกถูกนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการค้นหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ จากผลทดสอบปัญหาขนาดเล็กพบว่า คำตอบที่ได้จากวิธีวิธีวิสติกมีค่าเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายสูงกว่าคำตอบที่ได้จากการค้นหาคำตอบด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ โดยเฉลี่ย 1.57 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จากผลทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ วิธีวิธีวิสติกให้คำตอบที่ดีกว่าการค้นหาคำตอบด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ โดยเฉลี่ย 15.45 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การจัดตารางการทำงานพนักงาน จำนวนพนักงานจำกัด เวลาดำเนินงานยืดหยุ่น เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้าย

Workforce Scheduling for the System with Flexible Processing Time Jobs

Rachanid Rueangsri¹ Wisut Supithak^{2*}

^{1,2*}*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: fengwsst@ku.ac.th

Received: 28 April 2021; Revised: 4 May 2021; Accepted: 10 May 2021

Published online: 25 June 2021

Abstract

The research aims to determine the schedule of multiple jobs waiting to be processed by limited number of workers. Each job has its own minimum and maximum number of workers required. The processing time of each job is flexible depended on number of workers being assigned to perform the job. The scheduling objective is to minimize the system makespan. In order to determine a proper solution for the research problem, a two-phase heuristic is presented. The first phase is to cluster jobs according to the maximum number of workers required and assign workers to each job considering their availabilities. The second phase is to reduce number of jobs being assigned to the worker having maximum completion time. For the performance evolution of proposed heuristic, 30 small size and 30 large size problems are randomly generated. The solution obtained from the heuristic has been compared with the solution yielded from searching for the solution of a mathematical model by the evolutionary method. According to the results of small size problems, the solution provided by the proposed heuristic has the makespan value of 1.57 percent greater than the solution yielded from the evolutionary search. For those large size problems, the proposed heuristic yields better solution than the evolutionary search with the average percentage deviation of 15.54 percent.

Keywords: Workforce scheduling, Limited number of workers, Flexible processing time, Makespan

1) บทนำ

ในสถานะที่มีการแข่งขันสูง การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างเหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันขององค์กร ทั้งนี้ทรัพยากรประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อองค์กร คือ ทรัพยากรแรงงาน การจัดการตารางการทำงานของพนักงานอย่างเหมาะสม ทำให้องค์กรสามารถใช้ทรัพยากรแรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการรอคอยของพนักงาน ลดการทำงานล่วงเวลา ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดค่าใช้จ่ายของระบบ อย่างไรก็ตามการวางแผนจัดสรรทรัพยากรแรงงานสำหรับระบบที่มีการทำงานหลากหลายประเภท และมีจำนวนทรัพยากรแรงงานจำกัด เป็นกิจกรรมที่มีความซับซ้อนสูง ตัวอย่างของระบบดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จาก การจัดสรรพนักงานที่ใช้ในงานก่อสร้าง การจัดสรรการทำงานของพนักงานแผนกซ่อมบำรุงในงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร การจัดสรรลูกเรือในงานบริการขนส่ง เป็นต้น

โดยทั่วไปปัญหาการจัดการตารางการทำงานของพนักงานสามารถถูกจำแนกตามความเป็นอิสระต่อกันของช่วงเวลาการทำงานในระบบที่พิจารณา เป็นการจัดการตารางการทำงานรูปแบบกะ (Shift Scheduling) การจัดการตารางวันหยุดงาน (Days Off Scheduling) และการจัดการตารางการทำงานรูปแบบทัวร์ (Tour Scheduling) ทั้งนี้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เริ่มมีการพิจารณาปัญหาการจัดการตารางการทำงาน ถูกนำเสนอโดย [1] การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการตารางการทำงานสามารถพิจารณาได้จาก [2] ทั้งนี้ [3] ได้เพิ่มเติมการพิจารณาภาระงานทั้งทางด้านร่างกาย (Physical Workload) และจิตใจ (Mental Workload) ในการจัดการตารางการทำงานสำหรับระบบงานขนส่งพัสดุ โดยได้นำเสนอโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Goal Programming) ในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว ปัญหาการจัดการตารางการทำงานของระบบที่มีหลายงาน มีความต้องการจำนวนพนักงานดำเนินการแตกต่างกันโดยเป็นค่าคงที่ พนักงานที่พิจารณาในระบบมีความชำนาญงานและเวลาการทำงานที่แตกต่างกัน ได้ถูกศึกษาโดย [4] ซึ่งนำเสนอตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการหาคำตอบของปัญหาดังกล่าว [5] พิจารณาข้อมูลทางกายศาสตร์ของพนักงาน ในการจัดการตารางการทำงานของพนักงาน ซึ่งมีการหมุนเวียนสลับหน้าที่ในแต่ละสายการประกอบ โดยทำการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นจำนวนเต็ม ซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลดรอบเวลาการผลิตรวมในช่วงระยะเวลาการวางแผน โดยทั่วไปปัญหาการจัดการตารางการทำงาน

ของพนักงานสามารถเปรียบเทียบได้กับการจัดการตารางการทำงานของทรัพยากรเครื่องจักร อย่างไรก็ตามในบางกรณีพนักงานหนึ่งคนอาจถูกจัดสรรให้ดำเนินการหลายเครื่องจักร ปัญหาดังกล่าวได้ถูกศึกษาโดย [6] ซึ่งนำเสนอโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม กรณีที่มีสองวัตถุประสงค์ ในการจัดการตารางการทำงานของพนักงานสำหรับระบบที่มีจำนวนพนักงานน้อยกว่าเครื่องจักรหรือระบบที่มีกลุ่มของพนักงานดำเนินการปรับตั้งเครื่องจักรหลายกระบวนการต่อเนื่องกัน

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดการตารางการทำงานของพนักงานสำหรับระบบที่มีจำนวนพนักงานจำกัด และมีงานที่ต้องดำเนินการหลายงาน โดยงานแต่ละงานมีข้อกำหนดด้านจำนวนพนักงานที่ต้องใช้ในการดำเนินงานขั้นต่ำและขั้นสูง ระยะเวลาในการดำเนินงานมีความยืดหยุ่น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรร โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ระยะเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายมีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้หากพิจารณาจากความซับซ้อนของปัญหาเป็นการจัดสรรงานที่เป็นอิสระต่อกันแต่ละงานให้กับพนักงานแต่ละคนในระบบ โดยงานแต่ละงานต้องเพียงพนักงานดำเนินการหนึ่งคน ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการดำเนินงานเป็นค่าคงที่ ลักษณะดังกล่าวคล้ายคลึงกับการจัดการตารางการทำงานเพื่อลดระยะเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายบนเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาชนิด NP [7]

2) คำอธิบายสัญลักษณ์ คุณลักษณะ และคุณสมบัติของปัญหา

2.1) คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ

E	จำนวนพนักงานในระบบ
n	จำนวนงานในระบบ
W_i	พนักงานคนที่ i โดย $i = 1, \dots, m_j$
J_j	งาน j
L_j	จำนวนพนักงานที่น้อยที่สุดที่สามารถทำงาน j โดย $j = 1, \dots, n$
U_j	จำนวนพนักงานที่มากที่สุดที่สามารถทำงาน j โดย $j = 1, \dots, n$
m_j	จำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรรให้ทำงาน j โดย $L_j \leq m_j \leq U_j$
T_j	จำนวนชั่วโมงทำงานสำหรับงาน j
p_{j,m_j}	เวลาที่ใช้ทำงาน j ต่อจำนวนพนักงานที่ทำงาน j
d	จำนวนพนักงานที่เปลี่ยนแปลง โดย $L_j \leq d \leq U_j$

- A_j ระยะเวลาดำเนินการของพนักงานที่ทำงาน j เมื่อถูกดำเนินการด้วยพนักงานจำนวน $m_j - d$ คน
- R_j ระยะเวลาดำเนินการของพนักงานที่ทำงาน j เมื่อถูกดำเนินการด้วยพนักงานจำนวน $m_j + d$ คน
- Z_i เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายบนพนักงานคนที่ i
- $C_{\max}$ เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายที่มากที่สุด โดย $i \in P_1$
- $C'_{\max}$ เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายที่มากที่สุด โดย $i \in P_2$
- P_1 เซตของพนักงานที่มี $Z_i = C_{\max}$
- P_2 เซตของพนักงานที่มี $Z_i \neq C_{\max}$
- $n_{\max}$ จำนวนพนักงานที่มีเวลาแล้วเสร็จของการทำงานสูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ $C_{\max}$
- $n'_{\max}$ จำนวนพนักงานที่มีเวลาแล้วเสร็จของการทำงานไม่เท่ากับ $C_{\max}$ (โดย $n'_{\max} = E - n_{\max}$)
- S_1 เซตของงานทั้งหมดที่ดำเนินการโดยพนักงานที่มี $Z_i = C_{\max}$
- S_2 เซตของงานทั้งหมดที่ดำเนินการโดยพนักงานที่มี $Z_i \neq C_{\max}$
- F ผลรวมของผลต่างระหว่างเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายมากที่สุด ($i \in P_1$) กับเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้าย ($i \in P_2$) บนพนักงานเซต P_2 โดย $F = (C_{\max} - C'_{\max}) \times n'_{\max}$

2.2) คุณลักษณะของปัญหา

งานวิจัยพิจารณาระบบที่มีจำนวนงาน n งาน จำนวนพนักงาน E คน โดยงานไม่มีความสัมพันธ์ในลำดับก่อน-หลัง และพนักงานหนึ่งคนสามารถทำงานได้เพียงงานเดียวในแต่ละช่วงเวลา ทั้งนี้งานแต่ละงานมีความต้องการพนักงานดำเนินการเป็นจำนวนขั้นต่ำและจำนวนขั้นสูงแตกต่างกัน ระยะเวลาในการดำเนินงานขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรรให้งานนั้น ในรูปแบบความสัมพันธ์เอกซ์โพเนนเชียล แสดงดังสมการที่ 1

$$p_{j,m_j} = \frac{T_j}{m_j} \quad (1)$$

หากงานใดมีจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรรตั้งแต่สองคนขึ้นไป พนักงานทุกคนที่ถูกจัดสรรให้ทำงานนั้น ต้องเริ่มดำเนินงานและ

สิ้นสุดงานนั้นพร้อมกัน สมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

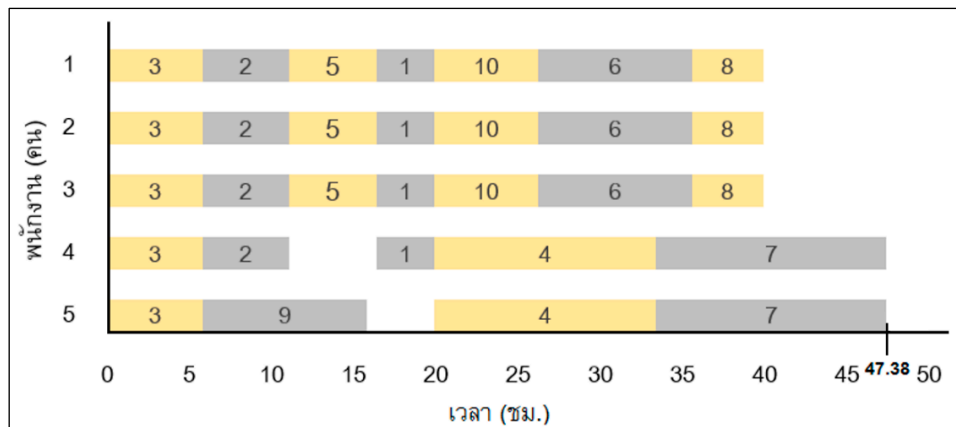
- พนักงานทุกคนมีความสามารถในการทำงานเท่ากัน
- เมื่องานใดเริ่มดำเนินการแล้ว จะต้องถูกดำเนินการให้แล้วเสร็จ โดยไม่มีการแบ่งงานหรือหยุดพัก
- งานทุกงานพร้อมที่จะถูกดำเนินการตั้งแต่ต้นช่วงเวลาของการจัดตารางการทำงาน

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้ระบบมีจำนวนงานที่ต้องดำเนินการ 10 งาน และจำนวนพนักงาน 5 คน โดยทุกงานพร้อมจะถูกดำเนินการตั้งแต่ต้นช่วงเวลาการจัดตารางการทำงาน รายละเอียดของงานแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของงาน

งาน	ระยะเวลาดำเนินการ (จำนวนชั่วโมงต่อ หนึ่งคนทำงาน)	จำนวนพนักงาน ที่ต้องการ (คน)	
		ขั้นต่ำ	ขั้นสูง
1	14	3	4
2	21	4	4
3	29	5	5
4	27	2	5
5	16	3	3
6	28	2	3
7	28	2	4
8	13	3	5
9	10	1	1
10	19	2	5

กำหนดให้คำตอบการจัดตารางการทำงานที่สนใจ (คำตอบดังกล่าวอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) มีจำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรรให้กับ งาน 1 2 3 4 5 6 7 8 9 และ 10 เท่ากับ 4 4 5 2 3 3 2 3 1 และ 3 คน ตามลำดับ จากสมการที่ (1) เมื่อทราบจำนวนพนักงานที่ดำเนินการแต่ละงาน สามารถคำนวณระยะเวลาในการดำเนินงานทั้ง 10 งาน ได้เท่ากับ 3.50 5.25 5.80 13.50 5.33 9.33 14.00 4.33 10.00 และ 6.33 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของงานที่กำหนด ตารางการทำงานสามารถถูกแสดงได้ด้วยแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิแกนต์แสดงตารางการทำงานของพนักงาน

จากแผนภูมิแกนต์ด้านบน สามารถแสดงรายละเอียดการทำงานแต่ละงานได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของการทำงานแต่ละงาน

งาน	จำนวนพนักงานดำเนินการ (คน)	ระยะเวลาในการดำเนินงาน (ชม.)	เวลาเริ่มงาน (ชม.)	เวลาแล้วเสร็จของงาน (ชม.)
1	4	3.50	16.38	19.88
2	4	5.25	5.80	11.05
3	5	5.80	0.00	5.80
4	2	13.50	19.88	33.38
5	3	5.33	11.05	16.38
6	3	9.33	26.21	35.54
7	2	14.00	39.88	47.38
8	3	4.33	35.54	39.87
9	1	10.00	5.80	15.80
10	3	6.33	19.88	26.21

ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้ว่าเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายจากตารางการทำงานดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 47.38 ชั่วโมง

2.3) คุณสมบัติของปัญหางานวิจัย

2.3.1) คุณสมบัติที่ 1 หากงาน J_a และงาน J_b ถูกทำโดยพนักงานมากกว่าหนึ่งคน ลำดับก่อนหลังของงาน J_a และงาน J_b บนพนักงานทั้งหมดที่ทำงานดังกล่าวจะต้องเหมือนกัน

คำอธิบาย : จากคุณลักษณะของปัญหา งานใดที่ถูกดำเนินการโดยพนักงานมากกว่าหนึ่งคน พนักงานทุกคนที่ทำงาน

นั้น ต้องดำเนินงานดังกล่าวพร้อมกัน เนื่องจากงานเดียวกันต้องมีเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดงานบนพนักงานแต่ละคนพร้อมกัน

2.3.2) คุณสมบัติที่ 2 หากทราบงานที่พนักงานแต่ละคนต้องดำเนินการและทราบลำดับการดำเนินงาน จะสามารถจัดตารางการทำงานได้ทันที เนื่องจากการจัดตารางการทำงานที่ควรเริ่มทุกงานให้เร็วที่สุด เพื่อลดค่าของตัวชี้วัด ซึ่งเป็นเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้าย

คำอธิบาย : ตัวชี้วัดชนิดเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้าย เป็นตัวชี้วัดที่ไม่ควรมีการล่าช้าที่ไม่จำเป็นของงาน หากทราบลำดับของงาน ตารางการทำงานสามารถถูกกำหนดได้โดยเริ่มงานทุกงานให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.3.3) คุณสมบัติที่ 3 สำหรับงาน J_j ใด ๆ หากมีการลดจำนวนพนักงานที่ดำเนินงานจาก m_j คน เป็น $m_j - d$ คน จะทำให้เวลาดำเนินการของพนักงานที่ทำงาน J_j เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$R_j = \frac{T_j d}{m_j^2 - m_j d} \quad (2)$$

คำอธิบาย : หากมีการลดจำนวนพนักงานที่ทำงาน J_j จาก m_j คน เป็น $m_j - d$ คน คน จะทำให้ระยะเวลาในการดำเนินงาน J_j ที่เหลืออยู่มีค่ามากขึ้น โดยมีค่าผลต่างของระยะเวลาดำเนินงาน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R_j = \frac{T_j}{m_j - d} - \frac{T_j}{m_j} \quad (3)$$

$$= \frac{T_j d}{m_j^2 - m_j d} \quad (4)$$

2.3.4) *คุณสมบัติที่ 4* สำหรับงาน J_j ใด ๆ หากมีการเพิ่มจำนวนพนักงานที่ดำเนินงานจาก m_j คน เป็น $m_j + d$ คน จะทำให้เวลาดำเนินการของพนักงานที่ทำงาน J_j ลดลง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$A_j = \frac{T_j d}{m_j^2 + m_j d} \quad (5)$$

คำอธิบาย : หากมีการเพิ่มจำนวนพนักงานที่ทำงาน J_j จาก m_j คน เป็น $m_j + d$ คน จะทำให้ระยะเวลาในการดำเนินงาน J_j ที่เหลืออยู่มีค่าน้อยลง โดยมีค่าผลต่างของระยะเวลาดำเนินงาน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A_j = \frac{T_j}{m_j} - \frac{T_j}{m_j + d} \quad (6)$$

$$= \frac{T_j d}{m_j^2 + m_j d} \quad (7)$$

2.3.5) *คุณสมบัติที่ 5* หากทุกงานมีจำนวนพนักงานขั้นสูงเท่ากับ E คน ทุกงาน คำตอบที่ดีที่สุด คือ การสรรจัดจำนวนพนักงานให้กับงานแต่ละงานเท่ากับจำนวนพนักงานขั้นสูง และลำดับของงานสามารถจัดเรียงได้ทุกรูปแบบ

คำอธิบาย : หากทุกงานมีความต้องการพนักงานขั้นสูงเท่ากับ E คน สามารถจัดเรียงงานได้ทุกแบบ คือ เรียงลำดับงานอย่างไรก็ตาม $C_{\max}$ ที่เท่ากันทุกแบบ เช่น มีพนักงานทั้งหมดจำนวน 5 คน งาน A งาน B และงาน C มีความต้องการพนักงานขั้นสูงเท่ากับ 5 คน สามารถจัดเรียงลำดับได้ทุกแบบ คือ ABC ACB BAC BCA CAB และ CBA เนื่องจากมีค่า $C_{\max}$ เท่ากัน แม้จะเรียงลำดับงานก่อนหลังไม่เหมือนกัน

2.3.6) *คุณสมบัติที่ 6* หากทุกงานมีความต้องการพนักงานขั้นต่ำมากกว่า $\frac{E}{2}$ คน และขั้นสูง U_j คน ควรใช้จำนวนพนักงานในการดำเนินการ U_j คน ทุกงาน

คำอธิบาย : หากงาน J_j ใช้พนักงานในการดำเนินงานเป็นจำนวนขั้นต่ำที่มากกว่า $\frac{E}{2}$ คน งานอื่นจะไม่สามารถเริ่มดำเนินการได้ เนื่องจากพนักงานจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของพนักงานทั้งหมด กำลังดำเนินงาน J_j จึงควรใช้พนักงานทั้งหมดในการดำเนินงาน J_j เพราะช่วงลระยะเวลาในการดำเนินการ อีกทั้งยังทำให้งานอื่นได้เริ่มดำเนินการเร็วขึ้น

2.3.7) *คุณสมบัติที่ 7* หากงานมีความต้องการพนักงานขั้นต่ำและขั้นสูงเท่ากับ 1 คน ปัญหาการจัดจำนวนพนักงานสามารถถูกพิจารณาเป็นปัญหาชนิด NP

คำอธิบาย : หากงานในระบบมีความต้องการพนักงานขั้นต่ำและขั้นสูงเท่ากับ 1 คน ลักษณะปัญหาดังกล่าวเปรียบได้กับการลดเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายบนเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาชนิด NP [7]

3) วิธีฮิวริสติกสองขั้นตอน

จากคุณสมบัติของปัญหาที่กล่าวมา วิธีฮิวริสติกได้ถูกพัฒนาเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาทางวิจัยในระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการฮิวริสติกสามารถจำแนกได้เป็นสองขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย การจัดตารางการทำงานเริ่มต้น และการปรับปรุงตารางการทำงานเริ่มต้น โดยมีรายละเอียดสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1) การจัดตารางการทำงานเริ่มต้น

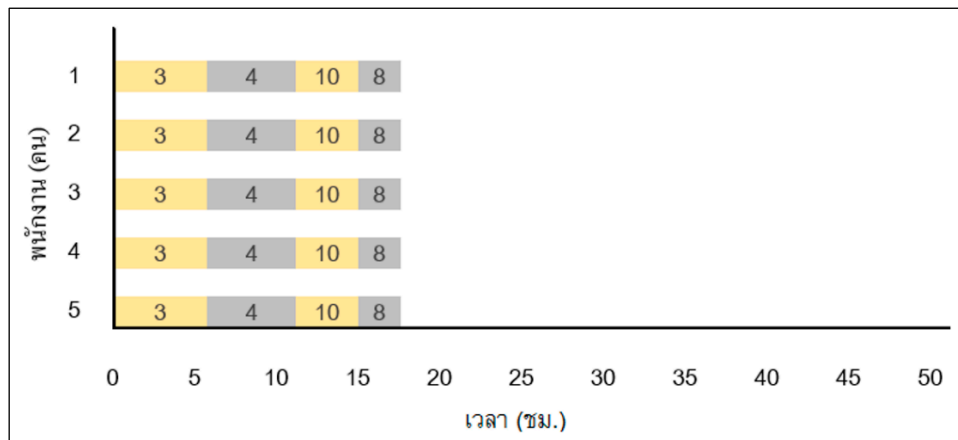
กำหนดให้จำนวนพนักงานดำเนินการแต่ละงาน มีค่าเท่ากับจำนวนพนักงานขั้นสูงที่สามารถดำเนินงานนั้นได้ ($m_j = U_j$) และ เซต A เป็นเซตของงานที่ยังไม่ได้ถูกกำหนดตารางการทำงาน

1. เรียงงานในเซต A ตามลำดับจากค่า m_j มากไปน้อย
2. พิจารณาจำนวนพนักงานดำเนินการแต่ละงานที่อยู่ในเซต A กำหนดให้ a มีค่าเท่ากับค่ามากที่สุดของ m_j
3. พิจารณาเซต A เลือกงานกลุ่มที่มี $m_j = a$ มาจัดตารางการทำงาน โดยกำหนดให้พนักงานคนที่ W_1 ถึง W_{m_j} เป็นคนดำเนินการ ทั้งนี้นงานในกลุ่มเดียวกันที่มี p_{j,m_j} สูงที่สุด จะถูกนำมาจัดตารางการทำงานก่อน
4. นำงานที่ถูกจัดเรียงแล้วจากขั้นตอนที่ 3.1 ออกจากเซต A
5. พิจารณาเซต A เลือกงานกลุ่มที่มี $m_j = E - a$ มาจัดตารางการทำงานให้กับพนักงานจำนวน m_j คนที่ว่างก่อน โดยมีเงื่อนไขงานต้องถูกเริ่มดำเนินการเร็วที่สุด และพนักงานทุกคนที่ถูกจัดสรรงานเดียวกันต้องเริ่มงานพร้อมกัน ทั้งนี้นงานในกลุ่มเดียวกันที่มี p_{j,m_j} สูงที่สุด จะถูกนำมาจัดตารางการทำงานก่อน
6. นำงานที่ถูกจัดเรียงไปแล้วจากขั้นตอน 4.1 ออกจากเซต A

7. ทำซ้ำขั้นตอน 2 ถึงขั้นตอน 4 จนกระทั่งไม่เหลืองานในเซต A
8. สิ้นสุดการจัดตารางการทำงานเริ่มต้น

ตัวอย่างที่ 2 จากตารางที่ 1 สามารถนำมาจัดตารางการทำงานด้วยวิธีการจัดตารางการทำงานเริ่มต้น ดังนี้

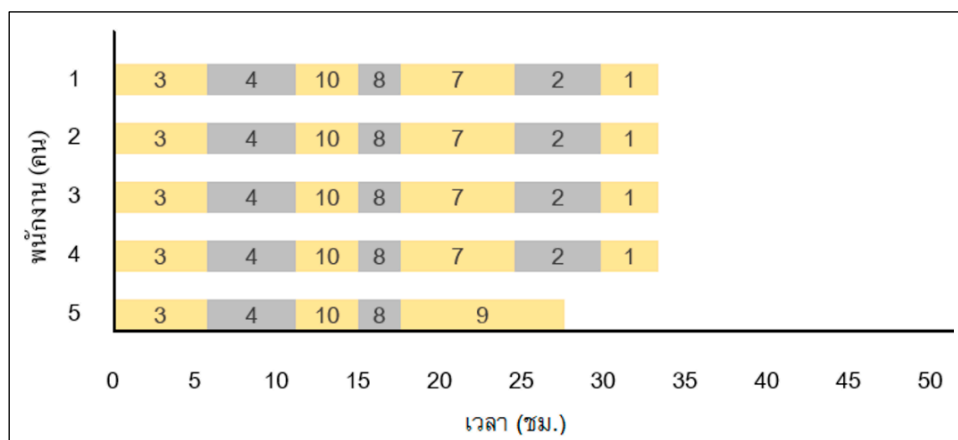
จากตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้ $E = 5$ จากขั้นตอน 2 เลือกงานที่มีค่า m_j มากที่สุด คือ $m_j = a = 5$ จากนั้นขั้นตอน 3.1 นำงานกลุ่ม a มาจัดตารางการทำงานให้พนักงานคนที่ W_1 ถึง W_5 ดำเนินการ จะได้การจัดตารางการทำงานเริ่มต้นรอบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การจัดตารางการทำงานเริ่มต้นรอบที่ 1

ดำเนินการรอบที่สอง จากขั้นตอน 2 เลือกงานที่มีค่า m_j มากที่สุด คือ $m_j = a = 4$ จากนั้นขั้นตอน 3.1 นำงานกลุ่ม a มาจัดตารางการทำงานให้พนักงานคนที่ W_1 ถึง W_4 ดำเนินการ

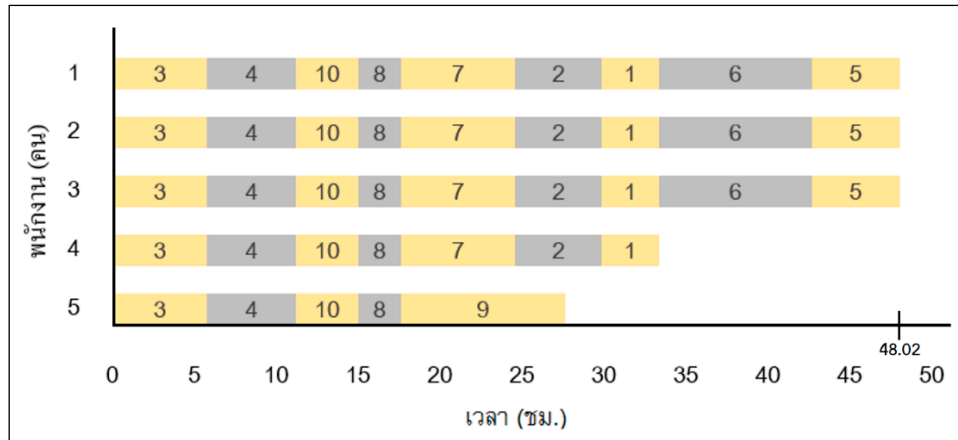
และจากข้อ 4.1 จะได้ $m_j = 5 - 4 = 1$ มาจัดตารางการทำงานให้พนักงานคนที่ W_5 ดำเนินการ จะได้การจัดตารางการทำงานเริ่มต้นรอบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจัดตารางการทำงานเริ่มต้นรอบที่ 2

ดำเนินการรอบที่สาม จากขั้นตอน 2 เลือกงานที่มีค่า m_j มากที่สุด คือ $m_j = a = 3$ จากนั้นขั้นตอน 3.1 นำงานกลุ่ม a มาจัดตารางการทำงานให้พนักงานคนที่ W_1 ถึง W_3 ดำเนินการ

และจากข้อ 4.1 จะได้ $m_j = 5 - 3 = 2$ แต่เนื่องจากตัวอย่างที่ 1 ไม่มี $m_j = 2$ จึงได้ตารางการทำงานเริ่มต้น แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตารางการทำงานเริ่มต้น

3.2) การปรับปรุงตารางการทำงานเริ่มต้น

จากตารางการทำงานเริ่มต้น คำนวณ $C_{\max}$ $C'_{\max}$ $n_{\max}$ และ $n'_{\max}$

- พิจารณากลุ่มงานที่มีจำนวนพนักงานดำเนินการ เท่ากับ $\frac{E}{2}$ คน (ในตารางการทำงานเริ่มต้น งานกลุ่มดังกล่าวถูกดำเนินการโดยพนักงานคนที่ W_1 ถึง $W_{\frac{E}{2}}$) เลื่อยย้ายงานที่มีค่า p_{j,u_j} ต่ำที่สุดในกลุ่ม ให้พนักงานคนที่ $W_{\frac{E}{2}+1}$ ถึง W_E ดำเนินการ ทำซ้ำในขั้นตอนนี้ หาก $C_{\max}$ ยังมีค่าลดลง ปรับปรุงค่า $C_{\max}$ $C'_{\max}$ $n_{\max}$ และ $n'_{\max}$
- สร้างเซตของพนักงาน P_1 และ P_2 และสร้างเซตของงาน S_1 และ S_2
- คำนวณค่า $F = (C_{\max} - C'_{\max}) \times n'_{\max}$ หากมีงานใดในเซต S_1 ที่มีค่า $T_j < F$ ให้ดำเนินการขั้นตอนที่ 4; หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ให้ข้ามไปดำเนินการขั้นตอนที่ 7
- พิจารณางานในเซต S_1 คัดเลือกงานที่มี $L_j > n'_{\max}$ นำออกไปจากเซต S_1 และคัดเลือกงานที่มี $U_j \leq n'_{\max}$ นำออกไปจากเซต S_1
- พิจารณาทุกงานที่เหลืออยู่ในเซต S_1 ที่มีค่า $T_j \leq F$ และใกล้เคียงกับค่า F ที่สุด จำนวน 1 งาน (หากมีงานที่มีค่า T_j เท่ากัน และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ F มากกว่า 1 งาน ให้เลือกงานที่มีค่า U_j มากกว่า) กำหนดงานนั้นให้พนักงานทุกคนในเซต P_2 ดำเนินการ
- ปรับปรุงค่า $C_{\max}$ $C'_{\max}$ $n_{\max}$ และ $n'_{\max}$ ย้อนกลับไปที่ดำเนินการขั้นตอนที่ 2
- หยุดกระบวนการ

ตัวอย่างที่ 3 จากคำตอบการจัดตารางการทำงานเริ่มต้นในตัวอย่างที่ 2 สามารถนำมาปรับปรุงตารางการทำงานให้เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายมีค่าลดลง แสดงได้ดังนี้

จากตารางการทำงานเริ่มต้นซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 มีค่า $C_{\max} = 48.02$ ชั่วโมง $C'_{\max} = 33.35$ ชั่วโมง $n_{\max} = 3$ คน และ $n'_{\max} = 2$ คน

ขั้นตอนที่ 1: ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตารางการทำงานเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2: พนักงานในเซต P_1 ได้แก่ พนักงานคนที่ W_1 ถึง W_3

พนักงานในเซต P_2 ได้แก่ พนักงานคนที่ W_4 และ W_5

งานในเซต S_1 ได้แก่ $J_3 J_4 J_{10} J_8 J_7 J_2 J_1 J_6$ และ J_5

งานในเซต S_2 ได้แก่ $J_3 J_4 J_{10} J_8 J_7 J_9 J_2$ และ J_1

ขั้นตอนที่ 3: ค่า $F = (48.02 - 33.35) \times 2 = 29.34$

ขั้นตอนที่ 4: จะเหลืองานในเซต S_1 ได้แก่ $J_4 J_{10} J_7$ และ J_6

ขั้นตอนที่ 5: J_4 มีค่า $T_4 = 27$ และ $U_4 = 5$

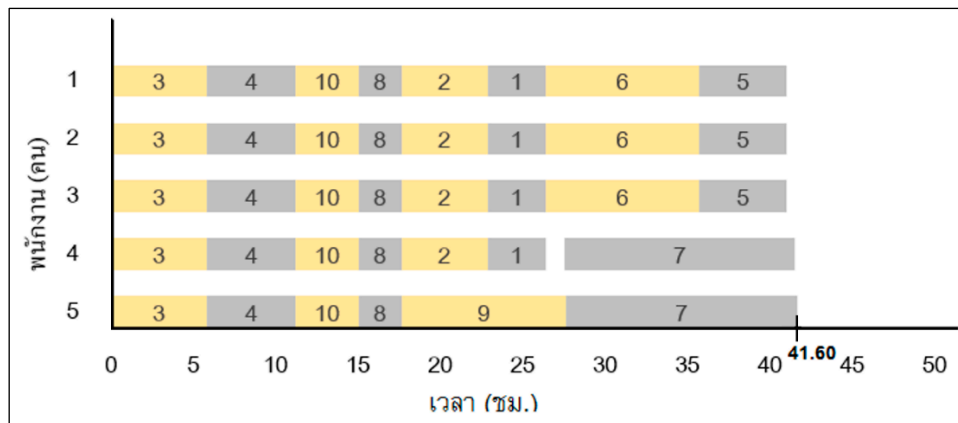
J_{10} มีค่า $T_{10} = 19$ และ $U_{10} = 5$

J_7 มีค่า $T_7 = 28$ และ $U_7 = 4$

J_6 มีค่า $T_6 = 28$ และ $U_6 = 3$

เลือก J_7 ให้พนักงานคนที่ W_4 และ W_5 ดำเนินการ

เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนที่ 5 สามารถทำการปรับปรุงตารางการทำงาน ซึ่งเขียนเป็นแผนภูมิแกนต์ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตารางการทำงานหลังการปรับปรุงตารางการทำงานเริ่มต้น

พิจารณาการเข้าเพื่อปรับปรุงตารางการทำงานในรอบที่สองโดยเริ่มจากการปรับปรุงค่าต่าง ๆ ในชั้นตอนที่ 6 ได้ดังนี้
ชั้นตอนที่ 6: ทำการปรับปรุงค่าพบว่า $C_{\max} = 41.60$ ชั่วโมง

$$C'_{\max} = 41.02 \text{ ชั่วโมง } n_{\max} = 2 \text{ คน และ } n'_{\max} = 3 \text{ คน}$$

ย้อนกลับไปทำชั้นตอนที่ 2

ชั้นตอนที่ 2: พนักงานในเซต P_1 ได้แก่ พนักงานคนที่ W_4 และ W_5
พนักงานในเซต P_2 ได้แก่ พนักงานคนที่ W_1 ถึง W_3
งานในเซต S_1 ได้แก่ $J_3 J_4 J_{10} J_8 J_2 J_9 J_1$ และ J_7
งานในเซต S_2 ได้แก่ $J_3 J_4 J_{10} J_8 J_2 J_1 J_6$ และ J_5

ชั้นตอนที่ 3: $F = (41.60 - 41.02) \times 2 = 1.16$

เนื่องจาก $F < T_9$ โดย $T_9 = 10$ ซึ่งเป็นค่า T_j ที่น้อยที่สุดในเซต S_1 ดังนั้นข้ามไปดำเนินการในชั้นตอนที่ 7

ชั้นตอนที่ 7: หยุดกระบวนการ

ทั้งนี้พิจารณาได้ว่า ไม่สามารถทำการปรับปรุงตารางการทำงานเพิ่มเติมได้ ตารางการทำงานหลังปรับปรุงที่ได้จึงยังคงเป็นดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นผลจากการปรับปรุงในรอบแรก

4) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีวิริสติกสองชั้นตอน

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีวิริสติก ซึ่งถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคำตอบที่ได้จากวิธีวิริสติกถูกนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการค้นหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ

ปัญหาที่สุ่มขึ้นพิจารณาปัจจัยหลักสองปัจจัยได้แก่ จำนวนงานย่อย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 5 งาน และ 10 งาน และจำนวนพนักงานในระบบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ 3 คน และ 5 คน สามารถแบ่งปัญหาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก (พนักงานในระบบจำนวน 3 คน และงานจำนวน 5 งาน) และปัญหาขนาดใหญ่ (พนักงานในระบบจำนวน 5 คน และงานจำนวน 10 งาน) ทั้งนี้ปัญหาแต่ละรูปแบบได้ถูกสร้างขึ้นอย่างสุ่ม โดยปัญหาที่แตกต่างกันจำนวน 30 ปัญหา จึงมีปัญหาที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 60 ปัญหา ค่าพารามิเตอร์ของปัญหาในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์และค่าที่กำหนด

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
จำนวนงานย่อย (n)	5, 10
เวลาที่ใช้ในการทำงาน (T_j) ชั่วโมง-คน	$\sim U [10, 30]$
จำนวนพนักงานขั้นต่ำ (L_j)	$\sim U [1, 3], \sim U [1, 5]$
จำนวนพนักงานขั้นสูง (U_j)	$\sim U [L_j, 3], \sim U [L_j, 5]$

ค่าเปรียบเทียบที่นำมาพิจารณา คือ เปอร์เซนต์ความแตกต่าง (% dev) ของคำตอบที่ได้จากวิธีวิริสติกและการค้นหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$\% dev = \frac{(C_{HEU} - C_{EVO}) \times 100}{C_{EVO}} \quad (8)$$

โดย C_{HEU} = เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายจากวิธีวิริสติก

C_{EVO} = เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายจากการค้นหา
คำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิง
วิวัฒนาการ

ผลการวิเคราะห์ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซ็นต์ความ
แตกต่างสำหรับปัญหาขนาดเล็กและช่วงความเชื่อมั่นของ
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ สามารถแสดง
ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ช่วงความเชื่อมั่นของ % *dev* ที่แต่ละระดับของปัจจัย

รูปแบบ	ขนาด ของ ปัญหา	จำนวน		ช่วงความเชื่อมั่น ของ % <i>dev</i>
		พนักงาน (คน)	งาน (งาน)	
1	เล็ก	3	5	(0.30, 2.84)
2	ใหญ่	5	10	(-20.46, -10.44)

จากตารางที่ 4 สำหรับปัญหาขนาดเล็ก (พนักงานในระบบ
จำนวน 3 คน และงานจำนวน 5 งาน) คำตอบที่ได้จากวิธี
ฮิวริสติกมีเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายแตกต่างจากการค้นหา
คำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการเล็กน้อย
โดยวิธีฮิวริสติกมีเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายสูงกว่า (ค่า
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเป็นบวก) การค้นหาคำตอบของตัวแบบ
ทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการโดยประมาณ 1.57 เปอร์เซ็นต์
หรือมีค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
เท่ากับ (0.30, 2.84) สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ (พนักงานในระบบ
จำนวน 5 คน และงานจำนวน 10 งาน) คำตอบที่ได้จากวิธี
ฮิวริสติกมีเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายแตกต่างจากการค้นหา
คำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ โดย
วิธีฮิวริสติกมีเวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายต่ำกว่า (ค่าเปอร์เซ็นต์
ความแตกต่างเป็นลบ) การค้นหาคำตอบของตัวแบบทาง
คณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ โดยประมาณ 15.45 เปอร์เซ็นต์
หรือมีค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
เท่ากับ (20.46, 10.44)

5) สรุป

งานวิจัยทำการศึกษาการจัดตารางการทำงานของพนักงาน
สำหรับระบบที่มีจำนวนพนักงานจำกัด และมีงานที่ต้อง
ดำเนินการหลายงาน โดยงานแต่ละงานมีข้อกำหนดด้านจำนวน
พนักงานที่ต้องใช้ในการดำเนินงานขั้นต่ำและขั้นสูง ระยะเวลาใน
การดำเนินงานมีความยืดหยุ่น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตาม

จำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรร วิธีฮิวริสติกได้ถูกพัฒนาเพื่อค้นหา
คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหางานวิจัยในระยะเวลาที่เหมาะสม จาก
การประเมินคุณภาพคำตอบที่ได้รับจากวิธีฮิวริสติก โดย
เปรียบเทียบกับการค้นหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์
ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ สำหรับ 60 ปัญหา ซึ่งแบ่งเป็น ปัญหาขนาดเล็ก
จำนวน 30 ปัญหา และปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 30 ปัญหา
พบว่าที่ปัญหาขนาดเล็ก วิธีฮิวริสติกให้คำตอบที่มีค่าเวลาแล้ว
เสร็จของงานสุดท้ายสูงกว่าการค้นหาคำตอบของตัวแบบทาง
คณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์
ความแตกต่างของคุณภาพคำตอบเท่ากับ 1.57 เปอร์เซ็นต์
โดยประมาณ ทั้งนี้จากผลทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ พบว่าวิธี
ฮิวริสติกที่นำเสนอให้คำตอบที่ดีกว่าการค้นหาคำตอบของ
ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ โดยเฉลี่ย 15.45
เปอร์เซ็นต์

REFERENCES

- [1] K. R. Baker, "Workforce allocation in cyclical scheduling problems: A survey," *Journal of the Operational Research Quarterly*, vol. 27, no. 1, pp. 155–167, 1976.
- [2] U. S. Pawar and D. B. Hanchate, "Literature review on personannel sheduling," *Int. Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, vol. 4, no. 5, pp. 312–324, Sep. 2013.
- [3] D. S. Dewi and T. Septiana, "Workforce sheduling considering physical and mental workload: A case sudy of domestic freight forwarding," *Procedia Manufacturing*, vol. 4, pp. 445–453, 2015.
- [4] T. Garaix, M. Gondran, P. Lacomme, E. Mura, and N. Tchernev, "Workforce scheduling linear programming formulation," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 264–269, 2018.
- [5] S. E. Moussavi, M. Mahdjoub, and O. Grunder, "Reducing production cycle time by ergonomic workforce scheduling," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 12, pp. 419–424, 2016.
- [6] M. Liu and X. Liu, "Satisfaction-driven bi-objective multi-skill workforce scheduling problem," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 229–234, 2019.
- [7] P. Alcan and H. Başlıgil, "A genetic algorithm application using fuzzy processing times in non- identical parallel machine scheduling problem," *Advances in Engineering Software*, vol. 45, no. 1, pp. 272–280, Mar. 2012.