การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นโดยมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งขึ้นกับลำดับงานภายใต้นโยบายการผลิตแบบทันเวลาพอดี

อณจ ชัยมณี*
นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิสุทธิ์ สุพิทักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-4050-1960 อีเมล: fenganc@ku.ac.th
รับเมื่อ 1 กันยายน 2557 ตอบรับเมื่อ 25 ธันวาคม 2557 เผยแพร่ออนไลน์ 22 พฤษภาคม 2558
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.12.002 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น (Flexible Flow Shop Scheduling) ซึ่งมีนโยบายการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time Philosophy) ในงานวิจัยกำหนดให้มีงาน n งาน มีกำหนดส่งมอบงานแตกต่างกันและมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งขึ้นกับลำดับงาน (Sequence Dependent Setup Time) ถูกทำการผลิตผ่านขั้นตอนการดำเนินงาน (Operation) จำนวน L ขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วยระบบเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน (Unrelated Parallel Machines) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือการจัดตารางการผลิตเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (Total System Cost) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนด (Earliness Cost) และค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จล่าช้า (Tardiness Cost) ในงานวิจัยกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงคุณลักษณะของปัญหาและใช้หาคำตอบที่ดีสำหรับปัญหาดังกล่าว กระบวนการฮิวริสติกถูกพัฒนาขึ้นโดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการสร้างลำดับของงาน ขั้นตอนที่สองทำการกระจายงานเข้าสู่เครื่องจักรแต่ละเครื่อง และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการหาเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มและสิ้นสุดของงานแต่ละงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง จากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกกับคำตอบที่ดีที่สุดจากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มพบว่าจากปัญหาตัวอย่าง 45 ปัญหา กระบวนการฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่ดีในระยะเวลาการประมวลผลสั้นกว่าการหาคำตอบจากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยจากคำตอบที่ดีที่สุดไม่เกินสองเปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น การจัดตารางการผลิต ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี

การอ้างอิงบทความ: อณจ ชัยมณี และ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, "การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นโดยมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งขึ้นกับลำดับงานภายใต้นโยบายการผลิตแบบทันเวลาพอดี," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 2, หน้า 219 - 231, พ.ค. - ส.ค. 2558. http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2014.12.002

Flexible Flow Shop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Time under Just-In-Time Philosophy

Anot Chaimanee*
Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

Wisut Supithak
Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-4050-1960, E-mail: fenganc@ku.ac.th
Received 1 September 2014; Accepted 25 December 2014; Published online: 22 May 2015
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.12.002 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The research considers the flexible flow-shop scheduling under the production system of Just-In-Time (JIT) philosophy. In the study, there are *n* jobs with sequence dependent setup time and different due dates waiting to be processed through *L* operations. Each operation can be conducted on a set of unrelated parallel machines. The research objective is to determine the job schedule with lower total system cost composing of earliness and tardiness costs. This study employed the mathematical model based on the integer linear programming concept. A heuristic is created to determine the proper solution to the problem. The heuristic can be divided into three major steps. The first step is to create a job sequence. For each job sequence obtained from the first step, the second step is to assign each job to each machine corresponding to its operation. Finally, the starting and completion times of each job in each operation is calculated according to the optimal timing algorithm developed in the research. In order to evaluate the performance of the proposed heuristic, the solution obtained from the heuristic is compared to the optimal solution determined by integer linear programming. From the result of 45 problems, the heuristic can provide the good solution with shorter amount of time than using integer linear programming with the average error less than 2% from the optimal solution.

Keywords: Flexible Flow Shop, Scheduling, Just-In-Time

Please cite this article as: A. Chaimanee and W. Supithak, "Flexible Flow Shop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Time under Just-In-Time Philosophy," *J. KMUTNB*, Vol. 25, No. 2, pp. 219 - 231, May. - Aug. 2015 (in Thai). http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2014.12.002

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภทต้องการให้กระบวนการผลิตมีรูปแบบระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time; JIT) กล่าวคือ มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตสินค้าแต่ละประเภทให้เสร็จตรงกับวันกำหนดส่งเพื่อลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ซึ่งเกิดจากสินค้าผลิตเสร็จก่อนกำหนดส่งมอบและสินค้าที่ผลิตเสร็จล่าช้า ในกรณีที่สินค้าถูกทำเสร็จก่อนกำหนดผู้ผลิตจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บสินค้าคงคลังเนื่องจากลูกค้าไม่ต้องการรับสินค้าก่อนเวลาที่ได้ตกลงกันไว้ นอกจากนี้สินค้าบางประเภทอาจเกิดการเสื่อมสภาพจนไม่สามารถใช้งานได้ ในทำนองกลับกันหากผู้ผลิตไม่สามารถผลิตสินค้าให้เสร็จทันตามกำหนดเวลาจะทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจและผู้ผลิตอาจต้องเสียค่าปรับให้กับลูกค้ารายนั้นๆ อีกทั้งยังส่งผลลบต่อภาพพจน์ของบริษัทจนอาจสูญเสียโอกาสในการผลิตสินค้าครั้งต่อไป

การสรุปเกี่ยวกับลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบทันเวลาพอดี [1] ประกอบด้วยปัญหาที่งานแต่ละงานมีวันกำหนดส่งเป็นวันเดียวกัน (Common Due Date) และปัญหาที่งานแต่ละงานมีวันกำหนดส่งแตกต่างกัน (Distinct Due Dates) นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายสำหรับงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้าของงานแต่ละงานอาจเท่ากัน (Common Penalties) หรือแตกต่างกัน ในอดีตมีนักวิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop Scheduling) และแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น (Flexible Flow Shop Scheduling) ในระบบทันเวลาพอดี ในคุณลักษณะของปัญหาที่แตกต่างกันออกไปนั่นคือ การศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลโดยพิจารณางาน n งาน ทำการผลิตบนเครื่องจักร 2 เครื่อง [2] โดยค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนด เสร็จล่าช้าและวันกำหนดส่งของทุกงานมีค่าเท่ากัน วัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผลรวมค่าสัมบูรณ์ความผันแปรของเวลาเสร็จงานจากกำหนดส่งให้มีค่าน้อยที่สุด การศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน ประกอบด้วยงาน n งาน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นงานย่อยได้ถูกดำเนินการผลิตบนเครื่องจักร m เครื่อง (Lot-streaming Flow Shop Scheduling) [3] โดยงานแต่ละงานมีค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดเสร็จล่าช้าและวันกำหนดส่งแตกต่างกัน วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ถูกนำมาใช้ร่วมกับกำหนดการเชิงเส้นในการหาคำตอบ ต่อมามีนักวิจัยศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยพิจารณางาน n งาน ซึ่งมีกำหนดส่งงานเป็นช่วงเวลาเดียวกัน (Common Due Window) ถูกผลิตบนเครื่องจักร 2 เครื่อง [4] โดยค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้าของแต่ละงานมีค่าเท่ากัน วัตถุประสงค์เพื่อลดช่วงเวลาที่งานเสร็จเร็วและช้ากว่ากำหนดให้มีค่าน้อยที่สุด วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาขนาดเล็ก และได้พัฒนาฮิวริสติกมาใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ หลังจากนั้นปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนซึ่งประกอบด้วยงาน n งาน และเครื่องจักร m เครื่อง ซึ่งวัตถุประสงค์ในงานวิจัยมี 2 วัตถุประสงค์ [5] ได้ถูกศึกษาคือ การทำให้เวลาการผลิตโดยรวม (Makespan) มีค่าน้อยที่สุด และลดผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้า ในงานวิจัยใช้วิธีการที่เรียกว่า Maximum Membership Function of Mean Value (MMFMV) เข้ามาใช้ในการหาคำตอบ และใช้วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing; SA) ปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนภายใต้ความไม่แน่นอนของเวลาการผลิต [6] ถูกศึกษาโดยพิจารณางาน n งาน บนเครื่องจักร m เครื่อง วิธีการเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้หาคำตอบร่วมกับฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น เพื่อลดผลรวมของค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้า งานวิจัยเกี่ยวกับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนซึ่งใช้วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อลดผลรวมของเวลาเสร็จก่อนกำหนด (Earliness) และเวลาเสร็จล่าช้า (Tardiness) [7] นอกจากนี้วิธีการหาคำตอบได้ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งคำตอบที่ได้ถูกเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีการแตกกิ่งและกำหนด

ขอบเขตเพื่อหาประสิทธิภาพของวิธีการที่สร้างขึ้น วิธีการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสมของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนถูกนำมาใช้ร่วมกับวิธีการเชิงพันธุกรรม [8] โดยโครโมโซมใช้แสดงลำดับของงาน และวิธีการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสมจะใช้หาตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละยีน ซึ่งแสดงถึงงานในแต่ละโครโมโซม วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานเสร็จก่อนกำหนด งานที่เสร็จล่าช้าและค่าใช้จ่ายจากการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup Cost) นอกจากปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน มีนักวิจัยได้ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น [9] ซึ่งในแต่ละการดำเนินงานประกอบด้วยเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน (Identical Parallel Machine) โดยทำการพัฒนากระบวนการหาคำตอบ และใช้วิธีการจำลองการอบอ่อนร่วมกับการค้นหาคำตอบแบบทาบู (Tabu Search; TS) มาใช้หาคำตอบ คำตอบจากกระบวนการที่พัฒนาขึ้นและวิธี SA/TS ถูกนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม กระบวนการฮิวริสติกและวิธีการอาณาจักรมด (Ant Colony) [10] ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการลดค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้า จากการศึกษาผลของคำตอบพบว่าวิธีอาณาจักรมดให้คำตอบที่ดีกว่ากระบวนการทางฮิวริสติก

งานวิจัยนี้พิจารณาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นซึ่งมีนโยบายการผลิตเป็นแบบทันเวลาพอดี โดยระบบประกอบด้วยงาน n งาน มีวันกำหนดส่งแตกต่างกัน งานแต่ละงานมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นกับลำดับของงาน และดำเนินการผลิตบนการดำเนินงาน L ขั้นตอน โดยมีเครื่องจักรขนานที่ไม่มีความสัมพันธ์กันวางอยู่ในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานเสร็จก่อนวันส่งงานถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากันสำหรับงานแต่ละงานและค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จล่าช้าสำหรับงานแต่ละงานก็ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากันเช่นกัน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดอาจถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับหรือแตกต่างจากค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จล่าช้า วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการหาตารางการผลิตเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของระบบ

2. คำอธิบายสัญลักษณ์

n = จำนวนงานทั้งหมดในระบบ

m = จำนวนเครื่องจักรทั้งหมดในระบบ

i,j = ดัชนีแสดงถึงงาน; $i, j = 0,1,...n$

$[i],[j]$ = ดัชนีแสดงถึงลำดับงาน; $i, j = 1,2,...n$

k = ดัชนีแสดงถึงเครื่องจักร; $k = 1,2,...m_l$

l = ดัชนีแสดงถึงการดำเนินงาน; $l = 1,2,...L$

g = ดัชนีแสดงถึงตารางการผลิตย่อย; $g = 1,2,...G$

r = ดัชนีแสดงถึงกลุ่มงาน; $r = 1,2,...R$

C_{il} = เวลาเสร็จงานของงาน i ที่การดำเนินงาน l

d_i = วันกำหนดส่งของงาน i

E_i = ช่วงเวลาเสร็จก่อนกำหนดของงาน i; $E_i = \max(d_i - C_{iL}, 0)$

T_i = ช่วงเวลาเสร็จล่าช้าของงาน i; $T_i = \max(C_{iL} - d_i, 0)$

α_i = ค่าใช้จ่ายต่อวันเมื่องาน i ถูกทำเสร็จก่อนกำหนด

β_i = ค่าใช้จ่ายต่อวันเมื่องาน i ถูกทำเสร็จล่าช้า

P_{ikl} = เวลาการผลิตของงาน i บนเครื่องจักร k ในการดำเนินงาน l

ST_{ijkl} = เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่อถูกผลิตตามหลังงาน i บนเครื่องจักร k ในการดำเนินงาน l

SLT_i = ระยะเวลาที่งานล่าช้าได้ (Slack Time) ของงาน i

m_l = จำนวนเครื่องจักรบนการดำเนินงานที่ l

M = จำนวนที่มีค่ามาก (Large Number)

TC = ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (Total System Cost)

SB = เซตของงานทั้งหมดก่อนการหาลำดับงานเริ่มต้น

SF = เซตของลำดับงานเริ่มต้น

$$x_{ijkl} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้างาน } i \text{ ถูกทำก่อนงาน } j \text{ บนเครื่องจักร } k \text{ ที่การดำเนินงาน } l \\ 0 & \text{ในทางตรงกันข้าม} \end{cases}$$

$$y_{ikl} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้างาน } i \text{ ถูกจัดให้อยู่บนเครื่องจักร } k \text{ ที่การดำเนินงาน } l \\ 0 & \text{ในทางตรงกันข้าม} \end{cases}$$

$C_{[i],k}$ = เวลาเสร็จงานสำหรับงานตำแหน่ง i บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$S_{[i],k}$ = เวลาเริ่มงานสำหรับงานตำแหน่ง i บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$ST_{[i],[j],k}$ = เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่อถูกผลิตตามหลังงาน i บนเครื่องจักร k ในการดำเนินงานสุดท้าย

$P_{[i],k}$ = เวลาการผลิตของงานตำแหน่ง i บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$d_{[i],k}$ = เวลาส่งงานของงานตำแหน่ง i ซึ่งอยู่บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$\alpha_{[i],k}$ = ค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดของงานตำแหน่ง i บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$\beta_{[i],k}$ = ค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จล่าช้าของงานตำแหน่ง i บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

g_k = ตารางการผลิตย่อย g บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

J_i = งาน i จากงานทั้งหมด n งาน

$J_{first,g,k}$ = งานแรกในตารางการผลิตย่อย g บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$J_{last,g,k}$ = งานสุดท้ายในตารางการผลิตย่อย g บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$J_{U,r,k}$ = งานแรกในกลุ่มงาน r ซึ่งอยู่บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$J_{I,r,k}$ = งานสุดท้ายที่เสร็จก่อนกำหนดในกลุ่มงาน r ซึ่งอยู่บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

$J_{V,r,k}$ = งานสุดท้ายในกลุ่มงาน r ซึ่งอยู่บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

R_g = กลุ่มงานสุดท้ายบนตารางการผลิตย่อยที่ g บนเครื่องจักรที่กำลังพิจารณาในการดำเนินงานสุดท้าย

$\sigma_{r,k}$ = กลุ่มงาน r ซึ่งอยู่บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

n_k = จำนวนงานที่อยู่บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

3. ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา

กำหนดให้ระบบการผลิตประกอบด้วยงาน 5 งาน ถูกดำเนินการผลิตผ่านการดำเนินงาน 2 ขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วยเครื่องจักรขนานที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน 2 เครื่อง ตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แสดงข้อมูลรายละเอียดของงานทั้ง 5 งาน

ตารางที่ 1 แสดงเวลาการผลิต วันกำหนดส่ง ค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้า

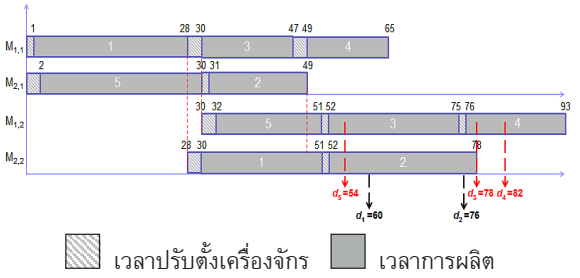
งาน	d_i	α_i	β_i	การดำเนินงาน 1		การดำเนินงาน 2	
				P_{i11}	P_{i21}	P_{i12}	P_{i22}
1	60	4	5	27	29	22	21
2	76	4	5	30	18	25	26
3	78	4	5	17	26	23	20
4	82	4	5	16	23	17	24
5	54	4	5	23	28	19	15

ตารางที่ 2 แสดงเวลาปรับตั้งเครื่องจักร

งาน	เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (ST_{ijkl})					เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (ST_{ijkl})				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	1/1	2/2	3/2	1/3	1/3	1/2	2/1	1/2	1/1	2/1
2	1/2	2/1	3/2	2/2	2/1	3/1	2/2	1/2	1/1	2/2
3	2/3	**(3)**/1	2/2	1/2	2/2	2/2	1/2	2/1	**(2)**/1	1/2
4	1/1	1/1	2/1	2/1	1/2	1/1	1/2	1/2	1/2	2/1
5	2/1	2/1	1/1	1/1	1/2	1/1	1/1	2/2	1/1	2/2

ข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงถึงเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งขึ้นกับลำดับงานและเครื่องจักรที่ทำงานนั้น ตัวอย่างเช่น หากในการดำเนินงานที่ 1 มีงาน 3 ถูกดำเนินการผลิตตามหลังงาน 2 บนเครื่องจักรที่ 2 จะมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักร 3 วัน หรือหากในการดำเนินงานที่ 2 งาน 3 ถูกดำเนินการผลิตตามหลังงาน 4 บนเครื่องจักรที่ 1 จะมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักร 2 วัน

กำหนดให้คำตอบที่สนใจ (อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) เป็นตารางการผลิตซึ่งสามารถถูกแสดงด้วยแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตารางการผลิตของคำตอบที่กำหนด

จากแผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 1 พบว่างาน 1 ถูกทำเสร็จก่อนกำหนดส่ง 9 วัน งาน 3 และ 5 ถูกทำเสร็จก่อนกำหนดส่ง 3 วัน ส่วนงาน 2 และงาน 4 ถูกทำเสร็จล่าช้า 2 วัน และ 11 วันตามลำดับ ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (TC) สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$TC = \alpha_5(E_5) + \alpha_3(E_3) + \alpha_1(E_1) + \beta_2(T_2) + \beta_4(T_4)$$
$$= 4(3)+4(3)+4(9)+5(2)+5(11) = 125 \text{ บาท}$$

4. กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ปัญหาในงานวิจัยสามารถแสดงในรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{minmize } TC = \alpha\sum_{i=1}^{n}(E_i) + \beta\sum_{i=1}^{n}(T_i)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n}\sum_{k=1}^{m_l} x_{ijkl} = 1 \quad ;\forall j,l \qquad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{0jkl} = 1 \quad ; \forall k,l \qquad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{m_l} y_{ikl} = 1 \quad ; \forall i,l \qquad (3)$$

$$\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n} x_{ijkl} = y_{jkl} \quad ; \forall j,k,l \qquad (4)$$

$$\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n} x_{ijkl} \le y_{ikl} \quad ; \forall i,k,l \qquad (5)$$

$$C_{jl} - C_{il} + M(1-x_{ijkl}) \ge P_{jkl} + ST_{ijkl} \; ;\forall i,j,k,l;(i \neq j) \qquad (6)$$

$$C_{jl} \ge \sum_{k=1}^{m_l} P_{jkl} y_{jkl} + \sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n}\sum_{k=1}^{m_l} ST_{ijkl} x_{ijkl} \quad ; \forall j,l \qquad (7)$$

$$C_{jl} - \sum_{k=1}^{m_l} P_{jkl} y_{jkl} - \sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n}\sum_{k=1}^{m_l} ST_{ijkl} x_{ijkl} \ge C_{j(l-1)} \; ; \forall j,l \qquad (8)$$

$$C_{iL} - T_i + E_i = d_i \quad ; \forall i \qquad (9)$$

สมการวัตถุประสงค์แสดงถึงการลดผลรวมของค่าใช้จ่ายจากงานที่เสร็จก่อนกำหนดและงานที่เสร็จล่าช้า

ข้อจำกัดที่ (1) ในแต่ละการดำเนินงาน งาน j ต้องถูกดำเนินการผลิตตามหลังงาน i ใดๆ เพียง 1 งาน และงานทั้งสองต้องถูกทำบนเครื่องจักร k ใดๆ ซึ่งเป็นเครื่องจักรเดียวกัน

ข้อจำกัดที่ (2) ต้องมีงาน j ใดๆ ถูกดำเนินการผลิตตามหลังงานหลอก (Dummy Job) เพื่อเป็นงานแรกบนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงาน l

ข้อจำกัดที่ (3) ในแต่ละการดำเนินงาน งาน i จะถูกดำเนินการผลิตบนเครื่องจักรใดๆ ได้เพียงครั้งเดียว

ข้อจำกัดที่ (4) ในแต่ละการดำเนินงาน ถ้างาน j ถูกทำบนเครื่องจักร k ใดๆ แล้วงาน i ซึ่งถูกทำก่อนงาน j ต้องอยู่บนเครื่องจักรเดียวกัน

ข้อจำกัดที่ (5) ในแต่ละการดำเนินงาน ถ้างาน i ถูกทำบนเครื่องจักร k ใดๆ งาน j ซึ่งตามหลังงาน i ต้องอยู่บนเครื่องจักรเดียวกัน

ข้อจำกัดที่ (6) ในการดำเนินงานใดๆ ถ้างาน j ถูกดำเนินการผลิตตามหลังงาน i และอยู่บนเครื่องจักรเดียวกัน งานทั้งสองต้องไม่ซ้อนทับกัน

ข้อจำกัดที่ (7) ในการดำเนินงานใดๆ เวลาเสร็จงานของงาน j ใดๆ ซึ่งถูกดำเนินการผลิตบนเครื่องจักร k ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาปรับตั้งเครื่องจักรรวมกับเวลาการผลิตของงาน j นั้นๆ บนเครื่องจักร k

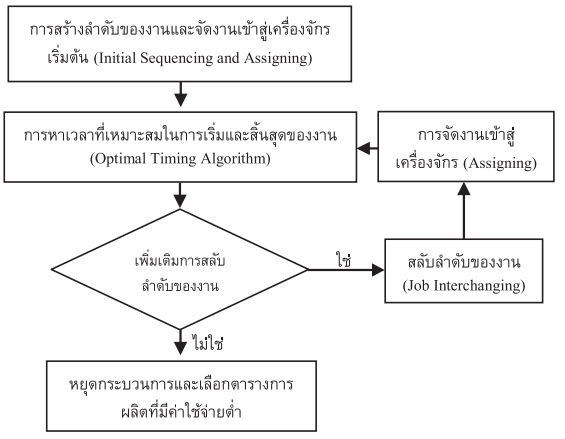
ข้อจำกัดที่ (8) งาน j ซึ่งอยู่ในการดำเนินงานที่ต่อ

เนื่องกันต้องไม่ซ้อนทับกัน

ข้อจำกัดที่ (9) เวลากำหนดส่งของแต่ละงานต้องเท่ากับเวลาเสร็จงานบนการดำเนินงานสุดท้ายบวกช่วงเวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดหรือลบช่วงเวลาที่งานเสร็จล่าช้า

5. กระบวนการทางฮิวริสติก

กระบวนการฮิวริสติกได้ถูกพัฒนาขึ้นมาแก้ปัญหาในงานวิจัยเพื่อใช้หาคำตอบที่ดี แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการฮิวริสติกแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนของกระบวนการฮิวริสติก

การสร้างลำดับของงานและจัดงานเข้าสู่เครื่องจักรเริ่มต้น เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการทางฮิวริสติกซึ่งใช้หลักการเลือกงานโดยพิจารณา Slack Time ของงานแต่ละงานแล้วเลือกงานที่มีค่า Slack Time น้อยที่สุดมาทำก่อน ลำดับงานที่ได้จะถูกกำหนดให้เป็นลำดับงานเริ่มต้น ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการสร้างลำดับงานและจัดงานเข้าสู่เครื่องจักรเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้เซต $SB = \{J_1,J_2,..., J_n\}$ เซต $SF = \{\}$ และกำหนดให้ $j = 0$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดให้ $j = j + 1$

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณางานแต่ละงานในเซต SB ให้เป็นงานในตำแหน่งที่ $[j]$ และจัดงานเข้าสู่เครื่องจักรที่ส่งผลให้เวลาเสร็จงานในแต่ละขั้นตอนมีค่าต่ำที่สุด แล้วคำนวณ Slack Time ของแต่ละงานจากสมการ $SLT_i = d_i - C_{iL}$

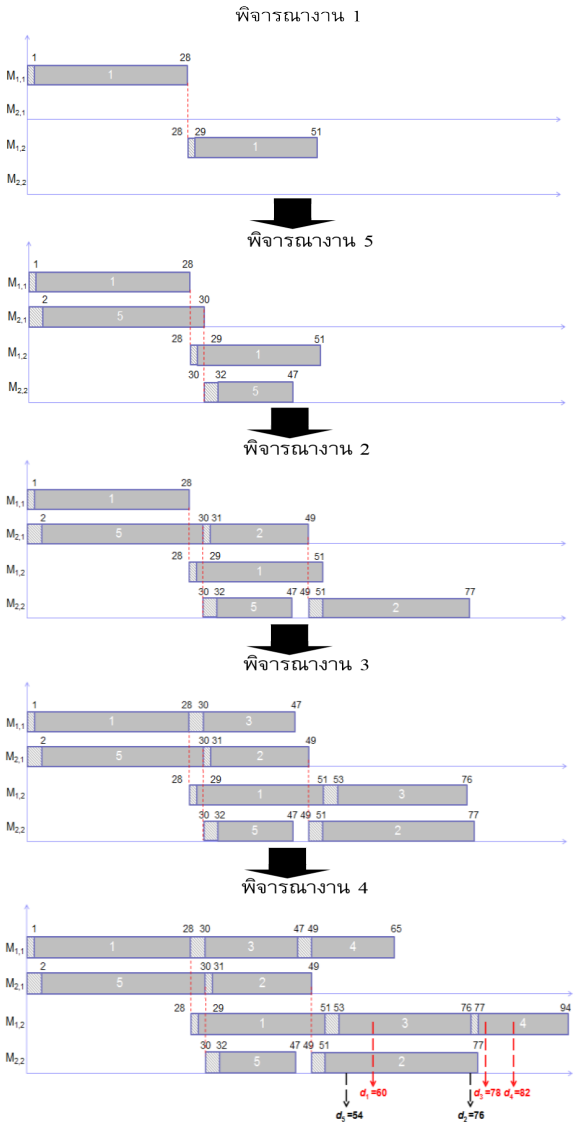
ขั้นตอนที่ 4 เลือกงานที่ SLT_i น้อยที่สุด จัดงานดังกล่าวให้อยู่ในตำแหน่งที่ $[j]$ ตัดงานนั้นออกจากเซต SB และเพิ่มงานดังกล่าวในเซต SF

ขั้นตอนที่ 5 ถ้า $j < n$ ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ในทางตรงข้าม หยุดกระบวนการ และกำหนดลำดับงานเริ่มต้นตามลำดับของงานในเซต SF

จากตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา การหาลำดับงานเริ่มต้นในตำแหน่งที่ 1 สามารถทำได้โดยกำหนดให้ $SB = \{J_1,J_2,J_3,J_4,J_5\}$ และ $SF = \{\}$ พิจารณางานแต่ละงานในเซต SB ให้เป็นงานในตำแหน่งที่ 1 จัดงานเข้าสู่เครื่องจักรที่ส่งผลทำให้เวลาเสร็จงานในแต่ละขั้นตอนต่ำที่สุด จะได้ค่า Slack Time ของงาน 1, 2, 3, 4 และ 5 คือ 12, 33, 41, 42 และ 16 วัน ตามลำดับ พบว่างาน 1 มีค่า Slack Time น้อยที่สุด ดังนั้นงาน 1 จึงถูกกำหนดให้เป็นงานในตำแหน่งที่ 1 ตัดงาน 1 ออกจาก SB และเพิ่มเข้าสู่ SF จะได้ $SB = \{J_2,J_3,J_4,J_5\}$ และ $SF = \{J_1\}$ จากนั้นพิจารณางานที่เหลืออยู่เพื่อกำหนดงานในตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะได้เซต $SB = \{\}$ และเซต $SF = \{J_1,J_5J_2,J_3,J_4\}$ และได้ลำดับงานเริ่มต้น คือ 1→5→2→3→4

การจัดงานเข้าสู่เครื่องจักร จากลำดับงานที่มีในขั้นตอนนี้งานจะถูกจัดสรรเข้าสู่เครื่องจักรโดยพิจารณาเลือกลงงานบนเครื่องจักรที่ส่งผลให้เวลาเสร็จงานในแต่ละขั้นตอนมีค่าต่ำที่สุด จากตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหาเมื่อพิจารณาจากลำดับงานเริ่มต้นแล้ว การจัดงานเข้าสู่เครื่องจักรสามารถแสดงได้ดังแผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 3

การหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสม กระบวนการนี้เป็นการคำนวณหาเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มและสิ้นสุดงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสมเริ่มจากการแบ่งงานบนแต่ละเครื่องจักรในการดำเนินงานสุดท้ายเข้าสู่กลุ่มงานโดยพิจารณาอสมการที่ (10) และสมการที่ (11)



รูปที่ 3 แผนภูมิแกนต์จากการจัดงานเข้าสู่เครื่องจักร

$$d_{[i+1],k} - d_{[i],k} \le P_{[i+1],k} + ST_{[i],[i+1],k} \quad (10)$$

$$S_{[i+1],k} - C_{[i],k} = 0 \quad (11)$$

จากตารางการผลิตที่ได้จากขั้นตอนการสร้างลำดับงานและการจัดงานเข้าสู่เครื่องจักร ถ้าอสมการที่ (10) และสมการที่ (11) เป็นจริงงานในตำแหน่งที่ $[i]$ และ $[i + 1]$ จะอยู่ในกลุ่มงานเดียวกัน กำหนดให้ $\sigma_{r,k}$ คือ เซตของงานซึ่งอยู่ในกลุ่มงาน r บนเครื่องจักร k ที่การดำเนินงานสุดท้าย พิจารณาเซตของงานในกลุ่มงาน $\sigma_{r,k} = \{J_{U,r,k}, J_{U+1,r,k},\ldots,J_{I,r,k},J_{V,r,k}\}$ บนแต่ละเครื่องจักรในการดำเนินงานสุดท้าย จากนั้นจัดกลุ่มงานแต่ละกลุ่มเข้าสู่ตารางการผลิตย่อย (Sub-schedule) ในการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสมของงานในแต่ละกลุ่มจะพิจารณาไปทีละตารางการผลิตย่อยบนแต่ละเครื่องจักรโดยเริ่มจากการคำนวณ

$$\Delta(r,k) = \sum_{i=U}^{I} \alpha_{i,r,k} - \sum_{i=I+1}^{V} \beta_{i,r,k} \quad (12)$$

ถ้า $\Delta(r,k) > 0$ กลุ่มงาน r ต้องการย้ายตำแหน่ง (Shift) ไปทางขวาเพื่อให้ค่าใช้จ่ายลดลงเท่ากับ $\Delta(r,k)$ คูณกับระยะการย้ายตำแหน่ง แต่ถ้า $\Delta(r,k) \le 0$ กลุ่มงาน r ไม่ต้องการย้ายตำแหน่งโดยระยะการย้ายตำแหน่งของกลุ่มงาน r บนตารางการผลิตย่อย g_k แสดงดังสมการที่ (13)

$$E(r,k) = \min_{U \le i \le I} \left\{ d_{i,r,k} - C_{i,r,k}, S_{first,(g+1),k} - C_{last,g,k} \right\} \quad (13)$$

กำหนดให้ $S_{first,(G+1),k} = \infty$ และ $S_{first,(G+1),k} - C_{last,G,k} = \infty$ ถ้ากลุ่มงานใดไม่มีงานที่เสร็จก่อนกำหนดแล้วกำหนดให้

$$\Delta(r,k) = -\sum_{i=U}^{V} \beta_{i,r,k} \quad (14)$$

$$E(r,k) = \infty \quad (15)$$

ขั้นตอนการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 1 แบ่งงาน n_k งานบนเครื่องจักร k เข้าสู่กลุ่มงานโดยถ้าอสมการที่ (10) และสมการที่ (11) เป็นจริงแล้วงานในตำแหน่ง $[i]$ และ $[i + 1]$ อยู่ในกลุ่มงานเดียวกันบนเครื่องจักร k

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาเครื่องจักร k ($k = 1,2,\ldots,m_L$) จัดกลุ่มงานที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ออกเป็น G_k ตารางการผลิตย่อย โดยถ้า $C_{V,r,k} = S_{U,r+1,k}$ แล้วกลุ่มงานที่ r

และ $r + 1$ อยู่ในตารางการผลิตย่อยเดียวกันบนเครื่อง k ที่การดำเนินงานสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาตารางการผลิตย่อยที่ g_k (g = 1,2,...,G; k = 1,2,...,m_L) คำนวณ $\Delta(r,k)$ และ $E(r,k)$ ของแต่ละกลุ่มงาน

ขั้นตอนที่ 4 หา h ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ $\sum_{r=1}^{h}\Delta(r,k)\le 0$ แล้วพิจารณากรณีดังต่อไปนี้

4.1 ถ้า $h = R_g$ เซต $g_k = (g+1)_k$; ถ้า $g > G$ แล้วเซต $k = k+1$ ถ้า $k > m_L$ หยุดกระบวนการ ในทางตรงข้ามกลับไปทำขั้นตอนที่ 1

4.2 ถ้า $h \neq R_g$ แล้วไปทำขั้นตอนที่ 5

4.3 ถ้าไม่มี h ที่ทำให้ $\sum_{r=1}^{h}\Delta(r,k)\le 0$ แล้วไปทำในขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 5 ตัด h กลุ่มงานออกจากการพิจารณาแล้วกลับไปทำในขั้นตอนที่ 4 เพื่อพิจารณากลุ่มงานที่เหลืออยู่ในตารางการผลิตย่อย g_k

ขั้นตอนที่ 6 หา $\min_{1\le r\le R_g}\{E(r,k)\}$ แล้วทำการย้ายตำแหน่งกลุ่มงานในตารางการผลิตย่อยที่ g_k เป็นระยะ $\min_{1\le r\le R_g}\{E(r,k)\}$ แล้วไปทำขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 ถ้า $C_{last,g,k} < S_{first,(g+1),k}$ คำนวณ $\Delta(r,k)$ และ $E(r,k)$ ใหม่แล้วกลับไปทำในขั้นตอนที่ 4 ถ้า $C_{last,g,k} = S_{first,(g+1),k}$ แล้วไปทำในขั้นตอนที่ 8

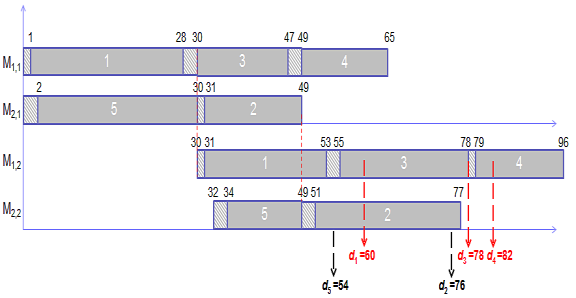
ขั้นตอนที่ 8 รวมกลุ่มงานจากตารางการผลิตย่อยที่ g_k เข้าสู่ตารางการผลิตย่อย $(g+1)_k$ เซต $g_k = (g+1)_k$; ถ้า $g > G$ เซต $k = k+1$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ในทางตรงข้ามกลับไปทำขั้นตอนที่ 3

แผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 3 หลังผ่านขั้นตอนการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสมแล้วจะได้แผนภูมิแกนต์ใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายโดยรวมเท่ากับ 123 บาท

ขั้นตอนการสลับลำดับของงาน

ขั้นตอนที่ 1 สลับงานในตำแหน่งที่ 1 และ 2 จากลำดับงานเริ่มต้น จัดงานเข้าสู่เครื่องจักร หาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสม และเลือกลำดับของงานที่ดีที่สุด จากการพิจารณาลำดับของงานที่ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด กำหนดให้ $i = 3$

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณางานในตำแหน่งที่ [i] จาก



รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์หลังผ่านขั้นตอนการหาเวลาเริ่มงานที่เหมาะสม

ลำดับงานที่ดีที่สุด โดยวางในทุกตำแหน่งที่เป็นไปได้ของลำดับงานย่อย (ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ [i]) จัดงานเข้าสู่เครื่องจักร หาเวลาเริ่มงานที่ดีที่สุดและคำนวณค่าใช้จ่ายโดยรวมของทุกลำดับงาน

ขั้นตอนที่ 3 เลือกลำดับงานที่ดีที่สุดจากขั้นตอนที่ 2 โดยพิจารณาลำดับงานที่ค่าใช้โดยรวมต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 ถ้า $i = n$ หยุดกระบวนการ ในทางตรงข้ามเซต $i = i + 1$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 2

จากขั้นตอนการสลับลำดับงานข้างต้นแสดงตัวอย่างการสลับลำดับงาน โดยงานที่มีเครื่องหมาย (*) กำกับคืองานที่อยู่ในตำแหน่งงานที่กำลังถูกพิจารณาในการสลับลำดับของงาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สลับงานในตำแหน่งที่ 1 และ 2 จากลำดับงานเริ่มต้น จะได้ลำดับงานและค่าใช้จ่ายโดยรวม ดังนี้

Sequence 1: 1→5*→2→3→4: TC = 123

Sequence 2: 5*→1→2→3→4: TC = 124

เลือกลำดับของงานที่ให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยกว่าเซต $i = 3$

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณางานในตำแหน่ง 3 โดยนำไปจัดวางในตำแหน่ง 2 และ 1 ในลำดับงานที่ถูกเลือกจากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งจะได้ลำดับงานและค่าใช้จ่ายโดยรวม ดังนี้

Sequence 1: 1→5→2*→3→4: TC = 123

Sequence 3: 1→2*→5→3→4: TC = 230

Sequence 4: 2*→1→5→3→4: TC = 259

ขั้นตอนที่ 3 เลือกลำดับของงานที่ให้ค่าใช้จ่ายโดย

รวมน้อยที่สุดจาก 3 ลำดับงานที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 $i \neq n$ เซต $i = i + 1$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณางานในตำแหน่ง 4 โดยนำไปจัดวางในตำแหน่ง 3 ตำแหน่ง 2 และ 1 ในลำดับงานที่ถูกเลือกจากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งจะได้ลำดับงานและค่าใช้จ่ายโดยรวม ดังนี้

Sequence 1: 1→5→2→3*→4: TC = 123

Sequence 5: 1→5→3*→2→4: TC = 159

Sequence 6: 1→3*→5→2→4: TC = 296

Sequence 7: 3*→1→5→2→4: TC = 238

ขั้นตอนที่ 3 เลือกลำดับของงานที่ให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยที่สุดจาก 4 ลำดับงานที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 เซต $i \neq n$ เซต $i = i + 1$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณางานในตำแหน่ง 5 โดยนำไปจัดวางอยู่ในตำแหน่ง 4 ตำแหน่ง 3 ตำแหน่ง 2 และ 1 ในลำดับงานที่ถูกเลือกจากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งจะได้ลำดับงานและค่าใช้จ่ายโดยรวม ดังนี้

Sequence 1: 1→5→2→3→4*: TC = 123

Sequence 8: 1→5→2→4*→3: TC = 166

Sequence 9: 1→5→4*→2→3: TC = 166

Sequence 10: 1→4*→5→2→3: TC = 322

Sequence 11: 4*→1→5→2→3: TC = 298

ขั้นตอนที่ 3 เลือกลำดับงานที่ให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยที่สุดจาก 5 ลำดับงานที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 $i = n$ หยุดกระบวนการ โดยจะได้ลำดับของงานที่ให้ค่าใช้จ่ายต่ำ คือ

Best Sequence: 1→5→2→3→4: TC = 123

6. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิวริสติก

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกระบวนการฮิวริสติกได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทดสอบจำนวน 45 ปัญหา คำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกถูกนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยตัวแปรนำเข้า (Input Variable) เพื่อสร้างตัวแบบปัญหาแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรนำเข้า

ตัวแปรนำเข้า	การกำหนดค่า
เวลาการผลิต (P_{ikl})	~U[15,30]
เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (ST_{ijkl}); หมายเหตุ งาน j เป็นงานที่ตามหลังงาน i ทันที	$(0.05\times P_{ikl})+(0.05\times P_{jkl})$
	$(0.1\times P_{ikl})+(0.1\times P_{jkl})$
	$(0.2\times P_{ikl})+(0.2\times P_{jkl})$
วันกำหนดส่ง (d_i)	1.2×(~U[30,80])
ค่าใช้จ่ายจากงานเสร็จก่อนกำหนด (α)	~U[1,10]
อัตราส่วน β/α	1,2,4

จากตารางที่ 3 เวลาการผลิตถูกกำหนดมาจากเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 30 ในการแจกแจงแบบเอกรูป เวลาปรับตั้งเครื่องจักรก่อนการดำเนินงานและหลังเสร็จสิ้นการดำเนินงานถูกกำหนดให้มีค่า 5% 10% และ 20% ของเวลาการผลิตของงานก่อนหน้าและงานตามหลัง ตามลำดับ นั่นคือ เป็นเวลาที่ต้องนำงานในตำแหน่งที่ [i] ออกจากเครื่องจักรและเวลาที่ต้องนำงานในตำแหน่งที่ [j] เข้าสู่เครื่องจักร โดยงานในตำแหน่งที่ [i] และ [j] ถูกดำเนินการผลิตต่อเนื่องกัน และอยู่บนเครื่องจักรเดียวกัน เพื่อครอบคลุมปัญหาที่หลากหลาย วันกำหนดส่งงานถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1.2 เท่าของเลขสุ่มแบบเอกรูประหว่าง 30 ถึง 80 ซึ่งทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของวันกำหนดส่งเมื่อเทียบกับเวลารวมที่ใช้ผลิตงานนั้น (Due Date Tightness) อยู่ระหว่าง 0.68 ถึง 2.65 ทั้งนี้หากเลขดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น แสดงว่าวันกำหนดส่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ทำงานนั้น สำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานเสร็จก่อนกำหนดถูกสร้างมาจากเลขสุ่มแบบเอกรูปที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานเสร็จล่าช้าถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับและมากกว่าค่าใช้จ่ายจากงานที่เสร็จก่อนกำหนด

2 เท่า และ 4 เท่า เพื่อสร้างความหลากหลายของปัญหาทดสอบ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (% *dev*) ของคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้รับจากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (16)

$$\%\ \text{ความแตกต่าง}\ (\%dev) = \frac{\left(TC_{Heu} - TC_{Opt}\right)\times 100}{TC_{Opt}} \quad (16)$$

โดย TC_{Heu} = ค่าใช้จ่ายโดยรวมจากกระบวนการทางฮิวริสติก

TC_{Opt} = ค่าใช้จ่ายโดยรวมจากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ผลการวิเคราะห์ปัญหาทั้งหมด 45 ปัญหาโดยแบ่งกลุ่มปัญหาตามอัตราส่วนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานเสร็จก่อนกำหนดและเสร็จล่าช้า (β/α) และเวลาปรับตั้งเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างและเวลาการประมวลผล

β/α	Setup Time	ปัญหา	TC_{Heu}	เวลา (วินาที)	TC_{Opt}	เวลา (วินาที)	% *dev*
1	5%	1	145	0.1485	140	6114.25	3.57
		2	96	0.1780	90	1220.77	6.67
		3	244	0.1480	244	5162.36	0
		4	46	0.1503	46	1750.73	0
		5	282	0.2361	282	77396.69	0
	10%	1	183	0.1453	180	9584.63	1.67
		2	91	0.1813	91	20836.56	0
		3	99	0.1832	99	7033.44	0
		4	208	0.1669	208	14162.75	0
		5	522	0.1589	522	8139.67	0
	20%	1	180	0.1552	180	40531.73	0
		2	155	0.1518	155	11744.67	0
		3	931	0.1555	854	1017.40	9.02
		4	204	0.2223	188	1183.68	8.51
		5	268	0.1543	268	3774.59	0
ค่าเฉลี่ย				0.1690		13976.93	1.96
2	5%	1	108	0.1761	108	4120.92	0
		2	49	0.1990	49	4894.72	0
		3	90	0.1660	90	12044.21	0
		4	88	0.1873	88	1104.31	0
		5	600	0.1535	600	21536.52	0
	10%	1	288	0.1650	288	5562.20	0
		2	816	0.2084	816	3822.13	0
		3	148	0.1491	138	4139.49	7.25
		4	52	0.1578	52	2609.73	0
		5	60	0.1756	60	35949.60	0
	20%	1	387	0.1520	387	1907.67	0
		2	581	0.1580	581	51598.34	0
		3	212	0.1738	204	10322.86	3.92
		4	360	0.1672	312	5047.93	15.38
		5	86	0.1605	86	2024.65	0
ค่าเฉลี่ย				0.1700		11112.35	1.77
4	5%	1	576	0.1447	564	8108.88	2.13
		2	351	0.1793	351	1,860.28	0
		3	0	0.1662	0	1357.36	0
		4	154	0.1554	154	16195.13	0
		5	160	0.2214	144	9259.11	11.11
	10%	1	333	0.1401	333	2048.88	0
		2	356	0.1457	336	462.86	5.95
		3	58	0.1527	58	24982.56	0
		4	165	0.1564	165	86000.63	0
		5	204	0.1554	204	26701.41	0
	20%	1	392	0.1568	392	4253.30	0
		2	820	0.1711	744	4253.30	10.22
		3	1680	0.1836	1680	5467.78	0
		4	505	0.1894	505	3072.46	0
		5	1824	0.1528	1760	698.03	3.64
ค่าเฉลี่ย				0.1647		12981.46	2.20
ค่าเฉลี่ยรวม				0.1679		12690.25	1.98

จากการประมวลผลดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า จาก 45 ปัญหามี 32 ปัญหาที่กระบวนการทางฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด และมี 13 ปัญหาที่กระบวนการทางฮิวริสติกให้ค่าคำตอบที่สูงกว่าคำตอบที่ได้จากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุด 15.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน β/α เท่ากับ 2 และที่เวลาปรับตั้งเครื่องจักร 20 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการผลิตของงานที่อยู่ต่อเนื่องกัน และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่น้อยที่สุด 1.67 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วน β/α เท่ากับ 1 และที่เวลาปรับตั้งเครื่องจักร 10 เปอร์เซ็นต์ของเวลาการผลิตของงานที่อยู่ต่อเนื่องกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยรวมของทุกปัญหาจากคำตอบที่ดีที่สุด คือ 1.98 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาเวลาการประมวลผลพบว่ากระบวนการทางฮิวริสติกและกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มมีเวลาการประมวลผลโดยเฉลี่ยจากทั้ง 45 ปัญหา คือ 0.1679 วินาทีและ 12690.25 วินาที ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่ากระบวนการทางฮิวริสติกให้ค่าของคำตอบที่ดีโดยใช้เวลาการประมวลผลที่สั้นกว่ากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

7. สรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นในนโยบายการผลิตแบบทันเวลาพอดี ในงานวิจัยได้พัฒนากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อแสดงรูปแบบของปัญหา กระบวนการทางฮิวริสติกได้ถูกพัฒนาขึ้นมาแก้ปัญหาในงานวิจัยเพื่อใช้หาคำตอบที่ดีเพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยรวมของกระบวนการผลิต จากการทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการทางฮิวริสติก พบว่ากระบวนการทางฮิวริสติกใช้เวลาการประมวลผลสั้นกว่ากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและให้ค่าคำตอบที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] K.R. Baker and G.D. Scudder, "Sequencing with Earliness and Tardiness Penalties: A Review," *Operations Research*, vol. 38, pp. 22-37, 1990.

[2] H. Sarper, "Minimizing the Sum of Absolute Deviations About a Common Due Date for the Two-Machine Flow Shop Problem," *Appl. Math. Modeling*, vol. 19, pp. 698-710, 1995.

[3] S.H. Yoon and J.A. Ventura, "An Application of Genetic Algorithms to Lot-streaming Flow Shop Scheduling," *IIE Transaction*, vol. 34, pp. 779-787, 2002.

[4] W.K. Yeung, C. Oguz, and T.C. Edwin Cheng, "Two-Stage Flow Shop Earliness and Tardiness Machine Scheduling Involving a Common Due Window," *International Journal of Production Economics*, vol. 90, pp. 421-434, 2004.

[5] L. Zheng and G. Xingsheng, "Fuzzy Production Scheduling in No-wait Flow shop to Minimize the Makespan with E/T Constraints Using SA," *The National High-tech Research & Development Project*, vol. 863, pp. 2909-2913, 2004.

[6] L. Sufen, Z. Yunlong, and L. Xiaoying, "Earliness/Tardiness Flow-shop Scheduling under Uncertainty," *IEEE International Conference on Tool with Artificial Intelligence*, vol. 17, pp. 415-422, 2005.

[7] G. Moslehi, M. Mirzaee, M. Vasei, Modarres, and A. Azaron, "Two-machine flow shop scheduling to minimize the sum of maximum earliness and tardiness," *Int. J. Production Economics*, vol. 122, pp. 763-773, 2009.

[8] W. Supithak, P. Kaweegitbundit, and A. Chaimanee, "Memetic Algorithm for Flow Shop Scheduling Problems under Just-In-Time Philosophy," in *Proceedings of Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, Kitakyushu, Japan*, Dec. 2009, pp.14-16.

[9] M.B Fakhrzad and H. Mehdi, "A Heuristic Algorithm for Hybrid Flow Shop Production Scheduling to Minimize the Sum of the Earliness and Tardiness Costs," *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 25, pp.105-115, 2008.

[10] S. Khalouli, F. Ghedjati, and A. Hamzaoui, "A Meta-Heuristic Approach to Solve a JIT Scheduling Problem in Hybrid Flow Shop," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, pp. 765-771, 2010.