

อีวิริสติกแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการจัดตาราง

การผลิตของระบบการผลิตแบบตามงาน

Mixed Integer Linear Programming Based Heuristic for Job Shop

Scheduling Problem

จักรวาล คุณะดิลก* พชรินทร์ ศรีสองสกุล สัญญา ยิ้มศิริ และ ฤภูวณย์ จันทระสา

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอมือเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

E-mail: jakrawarn@eng.buu.ac.th*

Jakrawarn Kunadilok* Patcharin Srisongsakun Sanya Yimsiri and Ruephuwan Chantrasa

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering

Burapha University, Mueang, Chonburi 20131

E-mail: jakrawarn@eng.buu.ac.th*

Received 25 Sep 2020; Revised 10 Aug 2021

Accepted 25 Dec 2021; Available online 29 Dec 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการจัดตารางการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งที่มีลักษณะเป็นการผลิตแบบตามงาน อีวิริสติกแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมถูกออกแบบให้มีการแบ่งงานที่ต้องการจัดตารางการผลิตที่มีจำนวนมากออกเป็นกลุ่มย่อย แล้วสร้างตารางการผลิตของกลุ่มย่อยจากแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม หากไม่มีงานสายเกิดขึ้นจะสร้างตารางที่มีจุดประสงค์ให้เวลาปิดงานของระบบต่ำที่สุด แต่หากมีงานสายเกิดขึ้นจะสร้างตารางที่มีจุดประสงค์ให้ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของเวลาปิดงานของระบบและเวลาสายสูงสุดของทุกงานต่ำที่สุดเพื่อลดเวลาการทำงานล่วงเวลาในการผลิตงานที่เสร็จไม่ทันตามกำหนด ตารางการผลิตของกลุ่มย่อยจะถูกนำมารวมกันให้เป็นตารางการผลิตสำหรับใช้งาน ผลการวิจัยจากการเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมด้วยปัญหาจริงและจำลองรวม 15 ปัญหา พบว่าวิธีที่เสนอสามารถลดเวลาปิดงานลงได้เฉลี่ยร้อยละ 4.2 และลดเวลาสายสูงสุดลงได้เฉลี่ยร้อยละ 22.6

คำหลัก: การจัดตารางการผลิตแบบตามงาน, กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม, เวลาปิดงานและเวลาสายสูงสุด

Abstract

This research proposed a scheduling method for an automotive part manufacturing process with job shop production environment. A mixed integer linear programming based heuristic (MILP_H) was designed for dividing a group of job orders to several subgroups in case that number of jobs to be scheduled is large. Then the proposed mixed integer linear programming (MILP) models are used for generating a schedule for each subgroup. If all jobs in the subgroup have completed before their due date, the MILP with minimizing makespan will be chosen for scheduling. Otherwise, the MILP with minimizing total weighted makespan and maximum lateness will be used to lessen the extra time for producing the tardy jobs to finish their production within due date. The subgroup schedules then are combined as a production schedule for practice. The 15-problem set consists of real and simulation scheduling problems was used for performance test. The results revealed that the MILP_H can create production schedules with 4.22% reduction in average makespan and 22.62% decrease in the average of the maximum lateness.

Keywords: Job Shop Scheduling, Mixed Integer Linear Programming, Makespan and Maximum Lateness

1. บทนำ

การจัดตารางการผลิตเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพขององค์กร การวางแผนการผลิตที่ดีทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรการผลิตให้เกิดประโยชน์สูงสุด และตอบสนองความต้องการของลูกค้า รวมถึงทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการผลิตของโรงงานต่าง ๆ มีรูปแบบที่แตกต่างกัน การจัดตารางการผลิตที่ดีที่สุดนั้นจึงเป็นเรื่องยาก ดังนั้นการจัดตารางการผลิตที่ใช้เวลาในการจัดไม่มากนัก และผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นที่ยอมรับได้ จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด งานวิจัยนี้เป็นการเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับกรณีศึกษาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง กระบวนการผลิตทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ การทุบขึ้นรูป การรีดเกลียว การอบชุบ และการชุบสังกะสี จำนวนเครื่องจักรรวมทุกขั้นตอนการผลิตเท่ากับ 9 เครื่อง กลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตมีทั้งหมด 9 กลุ่ม แต่ละกลุ่มถูกจำแนกออกเป็นงานรุ่นต่าง ๆ มากกว่า 40 รุ่น งานแต่ละกลุ่มมีขั้นตอนการผลิตที่กำหนดไว้แตกต่างกัน โดยที่แต่ละกลุ่มงานอาจต้องผ่านขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอนหรือไม่ก็ได้ แต่จะถูกกำหนดเครื่องจักรสำหรับการผลิตของแต่ละกลุ่มงานไว้ รูปแบบการผลิตนี้มีลักษณะเป็นการผลิตแบบตามงาน (Job shop) ขั้นตอนการผลิตบนเครื่องจักรต่าง ๆ ของกลุ่มงานทั้ง 9 กลุ่ม ดังตารางที่ 1

ระบบการผลิตแบบตามงาน (Job shop) ที่งานแต่ละงานมีลำดับการผลิตเป็นของตัวเอง เป็นระบบที่จัดตารางการผลิตให้มีเวลาปิดงานของระบบต่ำที่สุดได้ยาก [1] กิจกรรมการจัดตารางการผลิตของโรงงานตัวอย่างเริ่มจากการรวบรวมคำสั่งซื้อของลูกค้าที่ประกอบด้วยข้อมูลสำคัญ คือ รุ่นของงาน ปริมาณที่ต้องการ และกำหนดส่งมอบ เมื่อถึงรอบเวลาการจัดตารางการผลิต ผู้วางแผนการผลิตจะทำการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการประยุกต์กฎการจัดลำดับการผลิตที่งานที่มีกำหนดส่งมอบก่อนให้ทำการผลิตก่อน (Earliest due date, EDD) [2] หากมีงานที่ผลิตเสร็จไม่ก่อนกำหนดส่งมอบ ผู้วางแผนจะกำหนดให้มีการทำงานล่วงเวลาในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อทำให้งานส่งทันตามกำหนดหรือส่งช้ากว่ากำหนดน้อยที่สุด การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการนี้จัดเป็นวิธีการเชิงประมาณแบบเสริมสร้าง (Constructive approximation method) ที่ใช้วิธีการอย่างง่ายในการเพิ่มงานครั้งละ 1 งานเข้าไปในตารางการผลิตแบบบางส่วน (Partial production schedule) และจนครบทุกงานที่ต้องผลิต [3] ประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการนี้ยังคงสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยวิธีการเชิงประมาณแบบค้นหาซ้ำ (Iterative search approximation method) [4]

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตกลุ่มงานในโรงงานการศึกษา

กลุ่มงาน	รหัส	สถานีงาน
1	A	M1→M3→M6→M7
2	B	M1→M3→M6→M8
3	C	M1→M3→M6→M9
4	D	M1→M6→M5→M8
5	E	M1→M6→M5→M9
6	F	M2→M5→M6→M9
7	G	M2→M4→M6→M8
8	H	M2→M6→M5→M9
9	I	M2→M6→M7→M4

ปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบผลิตแบบตามงานให้มีเวลาปิดงานที่ต่ำที่สุดเป็นปัญหาประเภทเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-hard) [5] การใช้วิธีการแบบแน่นอน (Exact method) หรือวิธีการหาผลลัพท์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) อาจช่วยจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปิดงานที่ต่ำที่สุดหรือมีเวลาสายสูงสุดของทุกงานมีค่าต่ำที่สุดได้ [6,7] อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้สามารถจัดตารางการผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขที่จำนวนงานและจำนวนขั้นตอนการผลิตต้องไม่มากเกินไป [8] รอบเวลาของการจัดตารางการผลิตในทางปฏิบัติของโรงงานตัวอย่างมีจำนวนงานประมาณ 40 งาน ซึ่งเป็นจำนวนงานที่มากสำหรับการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบตามงานนี้ ดังนั้นการออกแบบวิธีการเชิงประมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้สร้างตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพในด้านเวลาปิดงาน และเวลาสายสูงสุดได้

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการจัดตารางการผลิตภายใต้แนวคิด 3 ส่วน คือ 1) การจัดตารางการผลิตที่มีตัวชี้วัดประสิทธิภาพ 2 ตัว เป็นลักษณะการจัดตารางการผลิตแบบสองวัตถุประสงค์ที่เพิ่มความซับซ้อนของปัญหาดังนั้นจึงต้องออกแบบวิธีคิดที่เหมาะสมเพื่อให้ตารางการผลิตมีค่าเวลาปิดงานของระบบต่ำที่ทำให้กระบวนการผลิตพร้อมที่จะผลิตงานในรอบการวางแผนถัดไป และเวลาสายสูงสุดที่ต่ำซึ่งทำให้เกิดต้นทุนด้านการทำงานล่วงเวลาที่ไม่สูงเกินไปในการผลิตงานสายให้ส่งมอบงานได้ทันเวลา 2) การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ในการสร้างตารางการผลิตที่สามารถ

ประมวลผลได้บนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลซึ่งเป็นโปรแกรมถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมประเทศไทยจะทำให้ผู้วางแผนมีความคุ้นเคยและสามารถนำวิธีการที่ออกแบบไปใช้สร้างตารางการผลิตได้ 3) การออกแบบวิธีการวิธีวิสตักใช้แนวคิดการแบ่งกลุ่มย่อยของงาน (Decomposition) เพื่อให้ขนาดจำนวนงานในกลุ่มย่อยไม่มากเกินไป แล้วใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการผลิตแบบบางส่วนที่มีเงื่อนไขด้านเวลาพร้อมผลิตของเครื่องจักรของกลุ่มต่าง ๆ เหล่านั้น แล้วมารวมกันเป็นตารางการผลิตของปัญหาจริง

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการสำหรับจัดตารางการผลิตแบบตามงานของโรงงานการศึกษาด้วยวิธีวิธีวิสตักแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming based heuristic, MILP_H) ที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ต่ำที่สุด และเวลาสายสูงสุดของทุกงาน (Maximum lateness) มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาแบบเอ็นพี-ฮาร์ด ทำให้การใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวน

EDD แยกกลุ่มงาน

เมื่อพิจารณาถึงเป้าหมายของตารางการผลิตในงานวิจัยนี้มี 2 จุดประสงค์ ทั้งด้านเวลาปิดงานของระบบและเวลาสายสูงสุด การสร้างตัวแบบ MILP ในการแก้ปัญหาสองจุดประสงค์นี้ทำได้หลายวิธี เช่น การกำหนดวัตถุประสงค์หนึ่งไว้ที่ฟังก์ชันเป้าหมายของตัวแบบ และกำหนดค่าสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ไว้ที่สมการขอบข่ายหรือเงื่อนไขบังคับของตัวแบบ เป็นต้น งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวแบบ MILP สำหรับสร้างตารางการผลิตที่มีค่าเวลาปิดงานของระบบต่ำที่สุดก่อนแล้วพิจารณาว่ามีการสายเกิดขึ้นหรือไม่ (เรียกตัวแบบนี้ว่า MILP I) ภายใต้ความเชื่อว่าจำนวนคำสั่งซื้อของลูกค้าและเวลาส่งมอบในรอบเวลาของการจัดตารางการผลิตนั้นถูกประมาณการให้ผลิตได้ทันจากแผนการผลิตหลัก (Master production schedule, MPS) แล้ว หากผลการจัดตารางการผลิตพบว่าไม่มีงานสายเกิดขึ้น ก็สามารถใช้ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นได้เลย กรณีที่มีงานสายเกิดขึ้นงานวิจัยนี้เสนอตัวแบบ MILP แบบสองจุดประสงค์สำหรับสร้างตารางการผลิตที่ทำให้ผลรวมของเวลาสายสูงสุดกับเวลาปิดงานของระบบแบบถ่วงน้ำหนักมีค่าต่ำที่สุด (เรียกตัวแบบนี้ว่า MILP II) โดยงานวิจัยนี้เสนอให้เวลาสายสูงสุดมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่าเวลาปิดงานของระบบ 100 เท่า ภายใต้แนวคิดที่ไม่ต้องการให้เกิดการทำงานล่วงเวลาเพื่อผลิตงานที่ส่งมอบไม่ทันตามกำหนด เช่น รอบการจัดตารางการผลิตของบริษัทนี้ศึกษาสร้างตารางการผลิตที่มีค่าเวลาปิดงานของระบบประมาณ 5,000 นาที และมีค่าเวลาสายสูงสุดประมาณ 700 นาที เมื่อพิจารณาการใช้ตัวแบบที่สองที่มีจุดประสงค์ทำให้เวลาสายสูงสุดมีค่าต่ำที่สุด จะทำการถ่วงน้ำหนักขนาด 0.01 ให้กับค่าเวลาปิดงานของระบบ ซึ่งทำให้ผลรวมของเวลาสายสูงสุดกับเวลาปิดงานของระบบแบบถ่วงน้ำหนักที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของตัวแบบจะมีค่าเท่ากับ $700 + (0.01 \times 5,000) = 750$ และเมื่อใช้ตัวแบบที่สองนี้ในการสร้างตารางการผลิต โปรแกรมจะประมวลผลโดยพยายามลดค่าฟังก์ชันเป้าหมายลงให้ต่ำที่สุด ซึ่งคาดว่าจะสามารถทำให้อัตราการลดลงของค่าเวลาสายสูงสุดดีกว่าอัตราการลดลงของเวลาปิดงาน และกรณีที่สามสามารถทำให้เวลาสายสูงสุดเท่ากับศูนย์ได้ (ไม่มีงานสายเกิดขึ้น) หรือลดลงได้ต่ำ

มากแล้ว โปรแกรมจะประมวลผลต่อไปเพื่อที่จะลดค่าเวลาปิดงานลงให้ต่ำที่สุดได้

อีวิริสติกแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการจัดตารางการผลิตแบบตามงานของโรงงานตัวอย่าง แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1 มีขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำข้อมูลคำสั่งซื้อในรอบเวลาการจัดตารางการผลิตมาคำนวณเวลาการผลิตในทุกลำดับการผลิตของงานแต่ละงาน จากอัตราการผลิตของเครื่องจักรสำหรับการผลิตงานในขั้นตอนการผลิตของงานแต่ละงาน

2. พิจารณาว่าจำนวนงานที่ต้องผลิตมีมากกว่า 25 งานหรือไม่

2.1 ถ้าไม่เกิน 25 งาน ให้ดำเนินการจัดตารางการผลิตตามขั้นตอนที่ 3

2.2 กรณีที่เกิน 25 งาน ให้เรียงลำดับงานจากกำหนดส่งมอบน้อยที่สุดไปมากที่สุด แล้วแบ่งงานออกเป็นกลุ่มย่อยโดยแต่ละกลุ่มย่อยให้มีปริมาณงานเท่า ๆ กัน โดยกลุ่มย่อยที่ 1 เป็นกลุ่มงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุด จะถูกนำไปจัดตารางการผลิตก่อน ตามขั้นตอนที่ 3

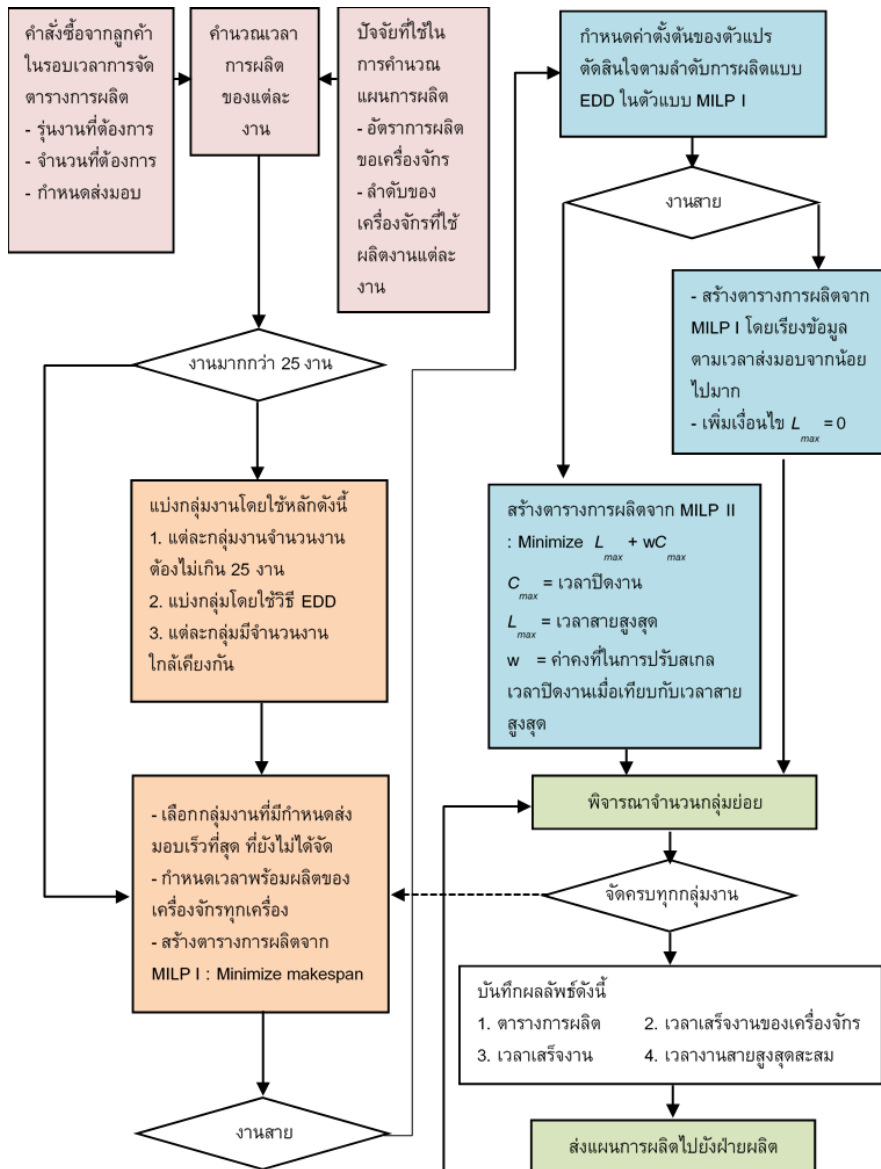
3. จัด

6. จัดตารางการผลิตด้วยกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับสร้างตารางการผลิตที่ทำให้ผลรวมของเวลาสายสูงสุดกับเวลาปิดงานของระบบแบบถ่วงน้ำหนักมีค่าต่ำที่สุด (MILP II) แล้วดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 7

7. พิจารณาว่าจัดงานครบทุกกลุ่มย่อยแล้วหรือไม่

7.1 หากยังไม่ครบ ให้กำหนดเวลาพร้อมผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องสำหรับการจัดตารางการผลิตสำหรับงานในกลุ่มย่อยถัดไปตามเวลาผลิตเสร็จของตารางการผลิตที่จัดแล้วล่าสุด

7.2 หากครบแล้ว ให้บันทึกผลลัพธ์ตารางการผลิตรวมทุกกลุ่มย่อยเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 1 วิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีสถิติแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองกำหนดการเรียงเส้นจำนวนเต็มผสม สำหรับสร้างตารางการผลิตดัดแปลงจากแบบจำลองที่ใช้ลำดับการดำเนินงาน (operation sequence) เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี และเวลาผลิตเสร็จเป็นตัวแปรแบบจำนวนจริง [9] วิธีการที่เสนอประกอบด้วยแบบจำลอง 2 ตัวแบบ ดัชนีและเซต พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจของตัวแบบทั้งสองมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนีและเซต

i, j = ดัชนีของการดำเนินงาน (Operation) โดยที่การดำเนินงาน i หมายถึงขั้นตอนการผลิตหนึ่ง ๆ ของงานที่ต้องการผลิต เช่น การจัดตารางการผลิตของกลุ่มงานทั้งหมด n งาน แต่ละงานใช้ขั้นตอนการผลิต 4 ขั้นตอน ดังนั้นการดำเนินงานของงานที่ 1 ประกอบด้วย การดำเนินงาน 1 ถึง การดำเนินงาน 4 และงานสุดท้ายคือ งานที่ n ประกอบด้วย การดำเนินงาน $4n-3$ ถึง การดำเนินงาน $4n$

k = ดัชนีของเครื่องจักร ($k = 1, 2, \dots, m$) เมื่อ m คือจำนวนเครื่องจักร

B = เซตของการดำเนินงานแรกของแต่ละงาน เช่น การจัดตารางการผลิตของกลุ่มงานทั้งหมด n งาน แต่ละงานใช้ขั้นตอนการผลิต 4 ขั้นตอน เซต $B = \{1, 5, 9, \dots, 4n-3\}$

E = เซตของการดำเนินงานสุดท้ายของแต่ละงาน เช่น การจัดตารางการผลิตของกลุ่มงานทั้งหมด n งาน แต่ละงานใช้ขั้นตอนการผลิต 4 ขั้นตอน เซต $E = \{4, 8, 12, \dots, 4n\}$

K = เซตของเครื่องจักรที่ใช้ในรอบการจัดตารางการผลิต

S_k = เซตของการดำเนินงานที่ต้องผลิตบนเครื่องจักร k

พารามิเตอร์

สัญลักษณ์ของข้อมูลนำเข้า ข้อมูลการผลิต และค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง ประกอบด้วย

n = จำนวนงานที่ต้องการจัดตารางการผลิต

D_i = กำหนดส่งมอบของการดำเนินงาน i เมื่อ i

$\in E$

R_k = เวลาพร้อมทำงานของเครื่องจักร k

P_j = เวลาการผลิตของการดำเนินงาน j

M = ค่าคงที่มีค่ามากพอสำหรับการคำนวณ

เวลาผลิตเสร็จของทุกการดำเนินงาน

w = น้ำหนักของเวลาปิดงาน

ตัวแปรตัดสินใจ

ดำเนินงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่เกี่ยวข้องกับการผลิตการดำเนินงานนั้น ๆ สมการ (2) เป็นการเลือกการดำเนินงานหนึ่ง ๆ ให้เป็นการดำเนินงานแรกของเครื่องจักร สมการ (3) ทำให้มั่นใจได้ว่าการผลิต การดำเนินงานใด ๆ จะต้องมีการดำเนินงานหนึ่ง ๆ ที่ผลิตตามหลังเสมอ กรณีการดำเนินงานที่ถูกจัดลำดับเป็นลำดับสุดท้ายในการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่ง ๆ จะต้องมีการดำเนินงานที่ $4n+1$ ตามหลังเพื่อแสดงการสิ้นสุดการผลิตของเครื่องจักร สมการ (4) ทำให้มั่นใจได้ว่าการผลิตการดำเนินงานใด ๆ จะต้องมีการดำเนินงานหนึ่ง ๆ ที่ผลิตก่อนหน้าเสมอบนทุกเครื่องจักร กรณี การดำเนินงานที่ถูกจัดลำดับเป็นลำดับแรกในการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่ง ๆ จะต้องมีการดำเนินงานที่ 0 ก่อนหน้าเพื่อแสดงการเริ่มผลิตของเครื่องจักร

สมการ (5) ถึง (7) แสดงการคำนวณเวลาผลิตเสร็จของทุกการดำเนินงาน สมการ (5) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเวลาผลิตเสร็จของการดำเนินงาน j ใด ๆ ที่ผลิตเป็นลำดับแรกบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะไม่เร็วกว่าเวลาพร้อมทำงานของเครื่องจักร ซึ่งเป็นเวลาเริ่มผลิตที่เร็วที่สุดที่เป็นไปได้ในการเริ่มผลิตของการดำเนินงาน j รวมกับเวลาการผลิตของการดำเนินงาน j นั้น สมการ (6) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเวลาผลิตเสร็จของการดำเนินงาน j ใด ๆ ที่ไม่ได้ผลิตเป็นลำดับแรกบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะไม่เร็วกว่าเวลาการผลิตเสร็จของการดำเนินงาน i ที่ถูกผลิตในลำดับก่อนหน้านั้นของเครื่องจักรเดียวกัน รวมกับเวลาการผลิตของการดำเนินงาน j นั้น สมการ (7) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเวลาผลิตเสร็จของการดำเนินงาน j ใด ๆ จะไม่เร็วกว่าเวลาการผลิตเสร็จของการดำเนินงาน i นั้นตอนก่อนหน้าของงานเดียวกัน รวมกับเวลาการผลิตของการดำเนินงาน j นั้น จากเงื่อนไขบังคับในชุดสมการ (5) ถึง (7) นี้ เมื่อพิจารณาการดำเนินงาน j ใด ๆ จะพบว่าเวลาการผลิตเสร็จของการดำเนินงาน j ต้องไม่น้อยกว่าผลรวมของเวลาเริ่มผลิตกับเวลาการผลิตของการดำเนินงาน j

สมการ (8) แสดงการคำนวณเวลาปิดงานของระบบที่จะไม่เร็วกว่าเวลาการผลิตเสร็จของทุกงาน สมการ (9) และ (10) แสดงเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจ

แบบจำลองสำหรับการจัดตารางการผลิตที่ทำให้ผลรวมของเวลาสายสูงสุดกับเวลาปิดงานแบบถ่วง

น้ำหนักมีค่าต่ำที่สุด (MILP II) เป็นแบบจำลองแรกที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต ประกอบด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ และข้อจำกัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } L_{\max} + wC_{\max} \quad (11)$$

ข้อจำกัด

สมการ (2) ถึง (10)

$$L_j \geq c_j - D_j, j \in E \quad (12)$$

$$L_{\max} \geq L_j, j \in E \quad (13)$$

$$L_j, L_{\max} \geq 0, j \in E \quad (14)$$

แบบจำลอง MILP II ประกอบด้วย สมการ (11) แสดงฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ต้องการให้ตารางการผลิตมีผลรวมของเวลาสายสูงสุดกับเวลาปิดงานแบบถ่วงน้ำหนักมีค่าต่ำที่สุด สมการ (2) ถึง (10) เป็นสมการที่นำมาจากแบบจำลอง MILP I ที่ใช้สำหรับจัดลำดับการดำเนินงานบนเครื่องจักรทุกเครื่อง สมการ (12) และ (13) ใช้สำหรับคำนวณเวลาสายของงาน

ที่เป็นตัวประมวลผลแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่มีประสิทธิภาพสูง [11] และสามารถเริ่มหาผลลัพธ์จากผลลัพธ์ตั้งต้นที่กำหนดได้ การทดลองได้ออกแบบลักษณะของกลุ่มย่อยของงานออกเป็นสามรูปแบบ คือ ปัญหาที่ไม่แยกกลุ่มย่อย และปัญหาที่แยกออกเป็น 2 และ 3 กลุ่มย่อย การค้นหาผลลัพธ์กำหนดให้ใช้เวลาการประมวลผลสูงสุด 3,600 วินาที ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สรุปปัญหาด้านแบบสำหรับทดสอบ

กลุ่ม	จำนวนงาน	เวลาผลิตงานเฉลี่ย (นาที่)	เวลาส่งมอบงานเฉลี่ย (นาที่)
1	5	250	5,664
2	19	306	4,876
3	1	286	1,920
4	2	599	1,680
5	9	47	4,853
6	1	21	7,200
7	2	35	8,880
8	1	82	3,360
9	1	152	1,920
รวม	41	227	4,882

ตารางที่ 3 เวลาปิดงานเมื่อจัดตารางการผลิตด้วย MILP I ของปัญหากรณีศึกษา 41 งาน

จำนวนกลุ่มย่อย (จำนวนงาน)	เวลาการประมวลผลสูงสุด*	เวลาปิดงาน** (นาที่)	เวลาที่พบผลลัพธ์*** (วินาที)
1 (41)	3600	4,583	274
2 (21/20)	1800	3,992	1,010
3 (15/13/13)	1200	4,091	520

หมายเหตุ * หน่วยเป็นวินาทีต่อกลุ่มย่อย ** เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่โปรแกรมประมวลได้ภายใต้เวลาประมวลผลสูงสุดที่กำหนด มีหน่วยเป็นนาที่ *** เป็นเวลาสูงสุดของทุกกลุ่มย่อยที่โปรแกรมพบผลลัพธ์และไม่มีปรับปรุงผลลัพธ์อีกจนครบเวลาประมวลผล

ผลลัพธ์เวลาปิดงานของระบบจากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณงานในกลุ่มย่อยประมาณ 20 งานให้ผลเวลาปิดงานของระบบดีที่สุด และหลังจากประมวลผลไป

แล้ว 1,010 วินาที โปรแกรมไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้นได้จนกระทั่งประมวลผลครบ 1,800 วินาที งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานของปริมาณงานสำหรับการจัดตารางการผลิตว่า มีจำนวนงานที่ต้องจัดตารางการผลิตต่อรอบประมาณ 40-50 งาน ดังนั้นวิธีการจัดตารางการผลิตที่เสนอในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้แบ่งงานย่อยออกเป็นสองกลุ่มในปริมาณเท่ากันที่มีจำนวนงานระหว่าง 20 ถึง 25 งาน และกำหนดเวลาสูงสุดที่ 900 วินาทีต่อการประมวลผลครั้ง เนื่องจากวิธีการฮิวริสติกที่เสนอ อาจต้อง

ปัญหา โดยจำลองกำหนดส่งมอบด้วยอัตราส่วนผลรวม เวลาส่งมอบทั้งหมดต่อผลรวมเวลาผลิตทั้งหมดสูงกว่า ชุดที่ 2 (5 ปัญหา)

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพวิธีการ MILP_H เปรียบเทียบกับวิธีการ EDD โดยมีดัชนีชี้วัด 2 ค่า คือ

เวลาเปิดงานของระบบ และเวลาสายสูงสุดของงานทุก งาน การทดสอบนี้เป็นการจัดตารางการผลิตครั้งละ 1 ปัญหา ทุกปัญหามีเวลาพร้อมทำงานของเครื่องจักรทุก เครื่องพร้อมกันเท่ากับศูนย์นาที ผลการทดสอบแสดง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ

ที่	จำนวน งาน	(1) เวลาเปิดงาน (นาที)		(2) เวลาสายสูงสุด (นาที)		(1)+(2) เวลาเปิดงานรวมทำงานล่วงเวลา	
		EDD	MILP_H	EDD	MILP_H	EDD	MILP_H
1	41	3,925	3,789	655	415	4,580	4,204
2	41	3,974	3,907	655	399	4,629	4,306
3	41	3,860	4,043	319	117	4,179	4,160
4	41	2,517	2,501	115	0	2,632	2501
5	49	4,846	4,921	632	581	5,478	5,502
6	45	5,174	5,218	0	0	5,174	5,218
7	49	4,846	4,872	632	538	5,478	5,410
8	49	5,979	5,618	0	0	5,979	5,618
9	50	6,660	5,753	0	0	6,660	5,753
10	50	5,418	4,753	649	525	6,067	5,278
11	49	4840	4,823	638	634	5,478	5,457
12	45	5,174	5,150	0	0	5,174	5,150
13	4						

ผลการทดสอบจากตารางที่ 5 พบว่าในภาพรวมของการทดสอบ ตารางการผลิตที่สร้างจาก MILP_H มีเวลาปิดงานของระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะเวลาทำงานปกติลดลง 148 นาที คิดเป็นการลดลง 3.02% เวลาสายสูงสุดของทุกงานลดลง 74 นาทีคิดเป็นการลดลง 22.62% เมื่อพิจารณาการทำงานตามเวลาปกติ 8 ชั่วโมงต่อวันของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าวิธีการ EDD สามารถจัดตารางการที่ไม่มีงานสายเกิดขึ้นได้ 6 ปัญหา คือ ปัญหาที่ 6 8 9 12 14 และ 15 ซึ่งเป็นปัญหาที่ MILP_H สามารถจัดตารางที่ไม่มีงานสายได้เช่นกัน และยังสามารถจัดตารางที่มีเวลาปิดงานต่ำกว่าวิธีการ EDD ทุกปัญหายกเว้นปัญหาที่ 6 ที่มีเวลาปิดงานมากกว่า 44 นาที สำหรับอีก 9 ปัญหา คือ ปัญหาที่ 1 ถึง 5 และ ปัญหาที่ 7 10 11 และ 13 วิธีการ MILP_H สามารถจัดตารางที่มีเวลาสายสูงสุดต่ำกว่า EDD ได้ทุกปัญหา และสามารถจัดตารางการผลิตของปัญหาที่ 7 ที่ทุกงานส่งมอบได้ทันเวลา เมื่อผลลัพธ์เวลาปิดงานของกลุ่มปัญหาที่มีงานสายนี้พบว่า วิธีการ MILP_H มีเวลาปิดงานของระบบต่ำกว่าวิธีการ EDD จำนวน 5 ปัญหา

ในกรณีที่จัดตารางการผลิตแล้วมีงานสายเกิดขึ้น จะกำหนดให้มีวางแผนการทำงานล่วงหน้าได้วันละไม่เกิน 480 นาที เมื่อพิจารณาเวลาสายสูงสุดของทุกปัญหา พบว่าวิธีการ EDD และ MILP_H มีเวลาสายสูงสุดที่ 655 และ 634 นาทีตามลำดับ ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานล่วงหน้าในการผลิตงานสายให้ทันเวลาในรอบการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปิดงานโดยประมาณที่ 4800 นาที หรือ 10 วันทำงาน

เมื่อเปรียบเทียบตารางการผลิตที่จัดให้มีการทำงานล่วงหน้าตามเวลาสายสูงสุด โดยพิจารณาจากเวลาปิดงานรวมกับเวลาสายสูงสุด พบว่าวิธีการ MILP_H มีเวลาปิดงานรวมของระบบลดลงโดยเฉลี่ย 220 นาที คิดเป็นการลดลง 4.22% และสามารถจัดตารางการผลิตที่มีเวลาปิดงานรวมนี้ได้ต่ำกว่าวิธีการ EDD จำนวน 12 ปัญหาจาก 15 ปัญหา โดยปัญหาที่ 5 6 และ 13 มีเวลาปิดงานรวมสูงกว่าเท่ากับ 24 44 และ 32 นาที ตามลำดับ

5. สรุปผลการวิจัย

ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงานของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งที่ใช้เป็นกรณีศึกษาอยู่ภายใต้ข้อกำหนดว่าหากผลิตงานไม่ทันกำหนดส่งมอบต้องแก้ปัญหาเบื้องต้นด้วยการทำงานล่วงเวลาก่อนการดำเนินการอย่างอื่น วิธีการ EDD ซึ่งเป็นวิธีการเดิมที่บริษัทใช้อยู่เป็นวิธีการสร้างตารางการผลิตที่มีเป้าหมายในการผลิตงานให้ทันกำหนดส่งมอบ โดยไม่ได้คำนึงเวลาปิดงานของระบบที่มีผลต่ออัตราผลผลิตในระยะยาว และต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการทำงานล่วงเวลาในกรณีที่ไม่สามารถผลิตงานได้ทันในช่วงเวลาการทำงานปกติ ดังนั้นปัญหาการจัดตารางการผลิตของงานวิจัยนี้จึงเป็นแบบสองจุดประสงค์ คือ การลดเวลาปิดงานของระบบ และการทำให้เวลาการทำงานล่วงเวลาลดต่ำที่สุดด้วย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการอิวิริสติกแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม อิวิริสติกที่เสนอถูกออกแบบให้มีการแบ่งงานที่ต้องจัดตารางการผลิตออกเป็นสองกลุ่ม โดยใช้เกณฑ์การแบ่งกลุ่มตามกำหนดส่งมอบของงานของกลุ่มแรกที่เร็วกว่ากลุ่มที่สอง แล้วใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการผลิตที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบต่ำที่สุด (MILP I) ครึ่งละ 1 กลุ่มย่อย หากพบว่าสามารถส่งงานได้ตาม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอแสดงให้เห็นว่าวิธีวิสติกกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยมีผลเวลาปิจงานของระบบโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการ EDD และสามารถลดเวลาเฉลี่ยในการทำงานล่วงเวลาลงได้ด้วย (เวลาสายสูงสุดเฉลี่ยลดลง) อย่างไรก็ตามปัญหาทดสอบหนึ่งที่มีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการ EDD แล้วไม่เกิดงานสายและยังมีเวลาปิจงานของระบบต่ำกว่าวิธีการที่เสนอ ทั้งที่วิธีการที่เสนอได้ออกแบบให้แยกกลุ่มงานออกเป็น 2 กลุ่มย่อยตามลำดับกำหนดส่งมอบและเริ่มประมวลผลจากลำดับงานที่สร้างขึ้นจากวิธี EDD จึงคาดว่าผลการประมวลผลสร้างตารางการผลิตครั้งละกลุ่มงานย่อยอาจทำให้ตารางการผลิตที่สร้างจากวิธีการที่เสนอมีเวลาปิจงานของระบบที่สูงกว่าวิธีการ EDD ใน 1 ปัญหาทดสอบที่ไม่พบงานสาย การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้จึงควรใช้วิธีการหลาย ๆ วิธี แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตที่สร้างขึ้นก่อนเลือกนำไปใช้จริง

การใช้งานวิธีการที่เสนอในงานวิจัยนี้ ควรสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันที่สามารถนำวิธีการที่เสนอไปใช้ในการจัดตารางการผลิตได้ง่าย โปรแกรมที่สร้างขึ้นควรใช้ตัวประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เริ่มหาผลลัพธ์จากผลลัพธ์ตั้งต้นที่กำหนดให้ได้ สำหรับการนำวิธีการนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตอื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นการผลิตแบบตามงาน ควรทดสอบจำนวนงานในกลุ่มย่อย และการถ่วงน้ำหนักเวลาปิจงานของระบบกับเวลาสายสูงสุดก่อนค่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เกิดจากการทดลองตามเงื่อนไขการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษานี้เท่านั้น

การออกแบบเมตาฮิวริสติกสำหรับแก้ไขปัญหานี้เพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้แทนแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม อาจส่งผลให้ไม่ต้องแบ่งงานออกเป็นกลุ่มย่อย เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนภายใต้เวลาการประมวลที่รวดเร็วกว่าที่ขนาดปัญหาเท่ากัน ในกรณีศึกษานี้คือจำนวนงานระหว่าง 40 ถึง 50 งาน และจำนวนขั้นตอนการผลิต 4 ขั้นตอน รวมจำนวนการดำเนินงานทั้งสิ้น 160 ถึง 200 การดำเนินงาน การใช้เมตาฮิวริสติกในปัญหานี้ควรทดสอบคุณภาพของเวลาปิจ

งานและเวลาสายสูงสุดเปรียบเทียบกับวิธีการที่เสนอต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาหมายเลข 74/2552

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pinedo, ML. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. New Jersey: Prentice-Hall; 2002.
- [2] Wanlapa Kowmanee. Job-Shop scheduling by using heuristic method for FIFO management system development [Master's thesis in Manufacturing Engineering]. Kuala Lumpur; University of Malaya; 2014.
- [3] ปารเมศ ชูติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2555.
- [4] Jain AS, Meeran S. Deterministic Job-shop Scheduling: Past, Present

- [8] Pan JCH, Chen JS. Mixed Binary Integer Programming Formulations for the Reentrant Job Shop Scheduling Problem. Computers & Operations Research. 2005; 32: 1197-1212.
- [9] Kunadilok J, Kurz ME. Mixed integer programming for scheduling flexible reentrant job shop problems. In Proceedings of the Annual Industrial Engineering Research Conference; 2005 May 15-18; Atlanta, Georgia, USA. 2005. CD version.
- [10] Mason AJ. OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel. In Proceedings of Operations Research Conference; 2011 Aug 30 - Sep 2; Zurich, Switzerland. 2012. p. 401-406.
- [11] Gurobi Optimization Inc. Gurobi Optimizer Reference Manual. [cited 2016 May 10] Retrieved from <http://www.gurobi.com>