

ฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องจักร และมีข้อจำกัดของเครื่องจักร

Heuristic for Parallel Machine Scheduling with Sequence Dependent Setup Time and Machine Eligibility

กัญชลา สุตตาชาติ

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอปัญหาการจัดลำดับการผลิต ในระบบการผลิตซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรซึ่งมีการทำงานแบบขนานกัน วัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาในการผลิตของระบบมีค่าต่ำสุด กรณีลำดับการผลิตมีผลต่อเวลาติดตั้งเครื่องจักร และมีข้อจำกัดของเครื่องจักร คือ งานบางงานไม่สามารถดำเนินการบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ รูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง โดยใช้โปรแกรมมิงเชิงจำนวนเต็ม และได้นำเสนอฮิวริสติกสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ จากผลการทดลองพบว่า ฮิวริสติกมีประสิทธิภาพดี โดยให้คำตอบที่แตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 7.60 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การจัดลำดับการผลิต, เครื่องจักรขนาน, เวลาติดตั้งเครื่องจักร

Abstract

In this paper present the parallel machine scheduling problem. The objective is to minimize the makespan in case of sequence dependent setup time with machine eligibility. Mathematical model is developed base on vehicle routing problem (VRP), using an integer programming (IP). This research proposes heuristic procedures to cope with realistic problems. An experiment, the results are compared to the optimal solution and the computational results shown good performances of the proposed heuristics. The difference in results between the optimal solution and the proposed heuristic is 7.60%

Keywords : Scheduling problem, Parallel machine, Sequence dependent setup time

1. บทนำ

การจัดตารางการผลิต เป็นกระบวนการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการระบบการผลิตที่สำคัญในอุตสาหกรรม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ปัญหาการจัดตารางการผลิตมีตั้งแต่ปัญหามิติขนาดเล็ก คือ การจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) จนกระทั่งปัญหาที่มีความซับซ้อน ในกรณีปัญหาการจัดตารางระบบการผลิตแบบตามงาน (Job Shop)

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนาน (Parallel Machine) เป็นปัญหาลักษณะหนึ่งที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก และมีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้นเมื่อพิจารณาข้อกำหนดด้านเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร (Sequence Dependent Setup Time) เป็นปัญหา NP-hard เนื่องจากเมื่อมีจำนวนงานที่ต้องการจัดตารางการผลิตเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก็เพิ่มขึ้นในลักษณะเลขยกกำลัง โดยส่วนใหญ่จุดประสงค์เริ่มต้นของการจัดตาราง คือ เพื่อทำให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด จากเหตุผลในเรื่องเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดทำให้การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติก ได้รับการยอมรับและเห็นว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมในการนำไปใช้มากกว่าการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากประเด็นดังกล่าว งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีการฮิวริสติก เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหา การจัดตารางเครื่องจักรขนาน และเพิ่มความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อพิจารณาข้อจำกัดของงาน เมื่องานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีการวิจัยปัญหาการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน (Parallel Machine) อย่างต่อเนื่อง การจัดตารางเป็นการตัดสินใจ 2 ขั้นตอน คือ การเลือกเครื่องจักรและการจัดลำดับงาน ซึ่งเครื่องจักรทุกเครื่องสามารถทำการผลิตได้ทุกงาน แต่อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมจริงยังมีข้อจำกัดของกระบวนการที่มีความสำคัญมากในปัญหาการจัดตารางการผลิต คือ ข้อจำกัดเรื่องการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup) เมื่อมีการเปลี่ยนงาน ซึ่งได้นักวิจัยทำการศึกษามากมายในกรณีนี้ การศึกษาปัญหาลักษณะ

นี้สามารถที่จะนำปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (VRP) มาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหา ซึ่ง Zou Tong, et al. (2004) [1] ได้พัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (VRP) และมีการแก้ปัญหามิติใหญ่ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

ส่วนของการแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานโดยตรงนั้น มีการวิจัยเพื่อลดเวลาเสร็จสิ้นของการผลิต (Minimize Makespan) Djamel Nait Tahar, et al. (2006) [2] ได้พัฒนาฮิวริสติกซึ่งประยุกต์จากวิธีแก้ปัญหาคำด้วยโปรแกรมมิ่งเชิงเส้นตรง (Linear Programming) เพื่อแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักร และมีข้อจำกัดของงาน คือ สามารถแยกงานได้ (Job Splitting) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกนั้นใช้ดัชนีค่ากลาง

งานวิจัยที่ใกล้เคียงกับปัญหาการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานที่สำคัญคือ การจัดตารางการผลิตต่อเนื่อง (Hybrid Flowshop) ซึ่งมีความซับซ้อนของปัญหามากกว่าแบบเครื่องจักรขนาน โดย กาญจนา เศรษฐนันท์ และคณะ (2005) [3] ได้ศึกษาปัญหานี้โดยพิจารณาข้อจำกัดเรื่องการแยกงาน และข้อจำกัดเกี่ยวกับเครื่องจักรในสถานีนงานหนึ่งๆ อาจจะไม่สามารถผลิตงานได้ทุกงาน (Machine Eligibility) ในเวลาใกล้เคียงกัน Rubén Ruiz and Concepción Maroto (2006) [4] ได้ศึกษาการจัดสายการผลิตต่อเนื่อง กรณีมีข้อจำกัดของเครื่องจักร (Machine Eligibility) โดยเพิ่มข้อจำกัดกระบวนการเรื่องเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร การแก้ปัญหาคำด้วยเจเนติกอัลกอริทึมและทำการทดสอบฮิวริสติกกับข้อมูลจริงเปรียบเทียบสมรรถนะของฮิวริสติก กับ Manual Programming การวิจัยนี้ไม่มีการนำเสนอสมการคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

3. ลักษณะของปัญหา

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษารูปแบบการจัดลำดับการผลิตสำหรับงาน n งาน $(0, 1, 2, 3, \dots, n)$ ซึ่งงาน 0 เป็นงานสมมุติ (dummy job) ไม่มีการดำเนินงานจริง กำหนดขึ้นเพื่อให้สมการคณิตศาสตร์มีความสมบูรณ์เท่านั้น งานทั้ง n งาน จะถูกจัด

ตารางบนเครื่องจักร $M(s)$ เครื่อง (1,2,3,..., $M(s)$) มีการตัดสินใจเลือกงานที่จะดำเนินการและเลือกเครื่องจักรเพื่อผลิตงานนั้นๆ การจัดเรียงเครื่องจักรเป็นแบบขนาน และมีเงื่อนไขของเครื่องจักร คือ งานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ และงานทุกงานจะต้องมีเครื่องจักรอย่างน้อยหนึ่งเครื่องที่สามารถผลิตงานนั้นได้ การจัดตารางการผลิตพิจารณาเมื่อเครื่องจักรมีการเปลี่ยนการผลิตจากงาน i ($i=0,1,2,3,...,n$) ไปเป็นงาน j ($j=0,1,2,3,...,n$) จะมีเวลาติดตั้งเครื่องจักร $T(i,j) \geq 0$ และมีสมมติฐานว่างานที่ดำเนินการเริ่มต้นบนแต่ละเครื่องจักรไม่มีเวลาติดตั้งเครื่องจักร คือ $T(0,i)=0$ การจัดตารางการผลิตนี้เพื่อที่จะทำให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด

4. การแก้ปัญหาโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์

ในการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาลำดับการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในสายการผลิตที่เครื่องจักรจัดเรียงแบบขนาน กรณีลำดับการผลิตมีผลต่อเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร คือ งานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ เมื่อพิจารณาการจัดตารางการผลิตของงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด ได้มีการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่งของ Zou Tong, Li Ning and Sun Debao (2004) [2] โดยใช้ integer programming

คำอธิบายความหมายของพารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์

Parameters

- i, j = ตัวชี้ (index) ของผลิตภัณฑ์
 m = ตัวชี้ (index) ของเครื่องจักร
 PD = เซตของผลิตภัณฑ์ = $\{0,1,2,...,n\}$
 MC = เซตของเครื่องจักร = $\{1,2,3,...,M(s)\}$
 n = จำนวนผลิตภัณฑ์
 $P(j)$ = เวลาที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ j บนเครื่องจักร m ใดๆ
 $W(i,m) = 1$: เมื่อผลิตภัณฑ์ i สามารถผลิตบนเครื่องจักร m

$= 0$: เมื่อเป็นอย่างอื่น

M = จำนวนจริงที่มีค่ามากๆ และมีค่าเป็นบวก (BigM)

Decision variables

- C = เวลาที่งานสุดท้ายออกจากระบบ
 $F(j)$ = เวลาไหลอยู่ในระบบของงาน j
 $T(i,j)$ = เวลาติดตั้งเครื่องจักร เมื่องาน i ถูกผลิตก่อนงาน j ทันที

Binary variables

- $X(i,j,m) = 1$: เมื่องาน i ถูกผลิตก่อนงาน j ทันทีบนเครื่องจักร m
 $= 0$: เมื่อเป็นอย่างอื่น

สมการเป้าหมาย (Objective function): Minimize : $Z = C$ (1)

สมการเงื่อนไข (Constraints):

$$C \geq F(j) \quad \text{for } j = \{1,2,3,...,n\} \quad (2)$$

$$F(0) = 0 \quad (3)$$

$$F(j) - F(i) + \{M[1 - (X(i,j,m))(W(i,m))(W(j,m))]\} \geq P(j) + T(i,j) \quad (4)$$

$$\text{for } i, j = \{0,1,2,3,...,n\} \quad \text{for } m = \{1,2,3,...,M(s)\}$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{m=1}^{M(s)} [(X(i,j,m))(W(i,m))(W(j,m))] = 1 \quad (5)$$

$$m \in MC \quad \text{for } j = \{1,2,3,...,n\}$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{m=1}^{M(s)} [(X(i,j,m))(W(i,m))(W(j,m))] = 1 \quad (6)$$

$$m \in MC \quad \text{for } i = \{1,2,3,...,n\}$$

$$X(i,j,m) = 0 \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } i = j, \text{ for } i, j = \{0,1,2,...,n\}, m = \{1,2,3,...,M(s)\}$$

$$\sum_{j=0}^n [(X(0,j,m))(W(j,m))] = 1 \quad (8)$$

$$\text{for } m = \{1,2,3,...,M(s)\}$$

$$\sum_{i=0}^n [(X(i,0,m))(W(i,m))] = 1 \quad (9)$$

$$\text{for } m = \{1,2,3,...,M(s)\}$$

$$\left\{ \sum_{j=0}^n [(X(j,i,m))(W(i,m))(W(j,m))] \right\} - \left\{ \sum_{j=0}^n [(X(i,j,m))(W(i,m))(W(j,m))] \right\} = 0$$

$$\text{for } i = \{1,2,3,...,n\} \quad \text{for } m = \{1,2,3,...,M(s)\} \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^{MC} \{ [X(i,j,m) + X(j,i,m)] (W(i,m))(W(j,m)) \} \leq 1 \quad (11)$$

$$\text{for } i, j = \{0,1,2,...,n\}$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{m=1}^{MC} [(X(0,j,m))(W(j,m))] = M(s) \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{m=1}^{MC} [(X(i, 0, m))(W(i, m))] = M(s) \quad (13)$$

สมการเป้าหมาย (1) เพื่อให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด สมการเงื่อนไข (2) เวลาปิดงานของระบบ คือ เวลาแล้วเสร็จของงานสุดท้ายที่ออกจากระบบ (3) เวลาเริ่มต้นของระบบ คือ เวลา 0 (4) เวลาแล้วเสร็จของงาน j ใดๆ จะเท่ากับเวลาแล้วเสร็จของงาน i รวมกับเวลาดำเนินการของงาน j รวมกับเวลาติดตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่องาน j ผลิตตามหลังงาน i บนเครื่องจักรเครื่องเดียวกันและมีข้อแม้ว่าทั้งงาน i และงาน j สามารถผลิตบนเครื่องจักรเครื่องนี้ได้ (5) งานที่ผลิตก่อนงาน j ใดๆ จะมีเพียงหนึ่งงานเท่านั้นและทั้งงาน j และหนึ่งงานนั้นจะต้องเลือกผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว (6) งานที่ตามหลังงาน i ใดๆ จะมีเพียงหนึ่งงานเท่านั้นและทั้งงาน i และหนึ่งงานนั้นจะต้องเลือกผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว (7) งานสองงานที่ผลิตต่อเนื่องกันจะเป็นงานเดียวกันไม่ได้ (8) ในแต่ละเครื่องจักรจะมีงานเริ่มต้นเพียงงานเดียวเท่านั้นและงานนั้นจะต้องผลิตบนเครื่องจักรนั้นๆ ได้ (9) ในแต่ละเครื่องจักรจะมีงานที่ผลิตเป็นลำดับสุดท้ายเพียงงานเดียวเท่านั้นและงานนั้นจะต้องผลิตบนเครื่องจักรนั้นๆ ได้ (10) สำหรับแต่ละเครื่องจักร ถ้ามีงานหนึ่งงานใด ถูกเลือกผลิตก่อนงาน i แล้ว งานนั้นจะไม่สามารถถูกเลือกเพื่อผลิตเป็นงานในลำดับถัดจากงาน i ได้อีก (11) งานทุกงานจะต้องได้รับเลือกเพื่อผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น (12) ทุกเครื่องจักรจะต้องมีอย่างน้อยหนึ่งงานเป็นงานเริ่มต้น และ (13) ทุกเครื่องจักรจะต้องมีอย่างน้อยหนึ่งงานเป็นงานที่ผลิตเป็นลำดับสุดท้าย

5. การแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติก

การพัฒนาวิธีทางฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาคำถามลำดับการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในสายการผลิตที่เครื่องจักรจัดเรียงแบบขนาน กรณีลำดับการผลิตมีผลต่อเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร เมื่อพิจารณาการจัดตารางการผลิตของงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด จึงพื้นฐานการจัดลำดับงานตามกฎ

เลือกงานที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องน้อยที่สุด (Closest Unvisited City, CUC) โดยมีการค้นหาคำตอบ 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การค้นหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงลำดับงาน (Arrangement Solution)

ขั้นตอนที่ 3 การย้ายงาน (Moving Solution)

5.1 การค้นหาคำตอบเริ่มต้น

1) จาก Setup Time ใน From-To-Chart เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

2) เลือกคู่งานแรกตามลำดับในข้อ 1 ที่สามารถดำเนินงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียวกันได้และจัดตารางให้กับ 2 งานนั้น

3) จัดตารางให้กับคู่งานในลำดับถัดไป ตามที่จัดเรียงในข้อ 1 ที่ยังไม่ได้ถูกจัดตารางและสามารถดำเนินงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียวกันได้ โหลด 2 งานนั้นลงบนเครื่องจักรที่ไม่มีภาระงาน จนทุกเครื่องจักรมีภาระงานครบทุกเครื่อง

หมายเหตุ: ในกรณีที่ไม่สามารถหาคู่งานใดๆ โหลดลงบนเครื่องจักรได้ ให้เลือกงานใดก็ได้ที่ยังไม่ได้จัดตารางโหลดลงบนเครื่องจักรนั้นๆ

4) เลือกเครื่องจักรที่มีภาระงานน้อยที่สุด โหลดงานใดๆ ที่ยังไม่ได้ถูกจัดตารางซึ่งงานนั้น จะต้องมีการ Setup Time ตามหลังงานสุดท้ายบนเครื่องจักรนั้นน้อยที่สุด

5) ทำตามขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่งโหลดงานครบทุกงาน หากว่าเครื่องจักรที่มีภาระงานน้อยที่สุด ไม่สามารถนำงานใดๆ โหลดลงได้ ให้พิจารณาเครื่องจักรที่มีภาระงานน้อยในลำดับถัดไป

5.2 การจัดเรียงลำดับงาน

1) คำนวณผลรวมของ Setup Time ที่ได้จากการจัดเรียงในขั้นตอน Initial Solution ของเครื่องจักรแรก

2) เรียงงานใหม่โดยพิจารณาเซตของงานที่อยู่บนเครื่องจักรแรกเลือกคู่งานที่มี Setup Time น้อยที่สุด โหลด 2 งานนั้นๆ เป็นงานเริ่มต้น

3) เลือกงานที่ยังไม่ได้จัดตาราง จากเซตของงานที่อยู่บนเครื่องจักรแรกที่มี Setup Time ตามหลังงานสุดท้ายน้อยที่สุด จัดตารางให้กับงานนั้น (กฎ CUC)

4) ทำตามขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งทุกงานในเซตถูกจัดตารางครบ

5) พิจารณางานที่เรียงใหม่ แบ่งได้เป็น 2 กรณี

กรณี 1 ผลการจัดเรียงลำดับงานเหมือนกับ Initial Solution: ให้กลับไปจัดเรียงงานใหม่ตามขั้นตอนที่ 2-4 แต่ครั้งนี้ให้เลือกงานเริ่มต้นเป็นคู่งานที่มี Setup Time น้อยในลำดับถัดไป

คำนวณผลรวม Setup Time ถ้าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ตามขั้นตอนที่ 1 เราจะได้เซตของงานที่จัดเรียงลำดับใหม่เป็น Initial Solution สำหรับขั้นตอนการย้ายงานต่อไป แต่ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ เราจะจัดเรียงงานตาม Initial Solution เดิม

กรณี 2 ผลการจัดเรียงลำดับงานไม่เหมือนกับ Initial Solution: - คำนวณผลรวม Setup Time และเลือกการจัดเรียงที่ให้ผลรวม Setup Time น้อยที่สุดระหว่าง Initial Solution เดิม กับ ผลรวม Setup Time ที่ได้จากการจัดเรียงงานใหม่

6) จัดเรียงงานใหม่ ตามขั้นตอนที่ 1-5 ให้กับเซตงานบนเครื่องจักรอื่นๆ จนครบทุกเครื่องจักร

5.3 การย้ายงาน

1) กำหนดให้ $n=1$ และกำหนดให้งานที่จัดเรียงตาม Initial Solution ให้เป็น S_1 จะได้

$$Makespan_1 = Makespan(initial)$$

2) เลือกเครื่องจักร m_k ที่ให้เวลาเสร็จงานของงานสุดท้ายบนเครื่องจักรมากที่สุด (C_{m_k}) และ m'_k ที่ให้เวลาเสร็จงานของงานสุดท้ายบนเครื่องจักรน้อยที่สุด ($C_{m'_k}$)

3) เลือกงานที่สามารถย้ายจากเครื่องจักร $m_k \rightarrow m'_k$ ได้ หากมีมากกว่า 1 งานให้พิจารณางานที่มี Setup Time มากที่สุด เป็นงานที่จะดำเนินการย้ายงาน (งาน j)

4) พิจารณาดำเนินการสำหรับงาน j เพื่อโหลดลงบน m'_k โดยเลือกตำแหน่งที่ให้ค่าน้อยที่สุด (งาน j เป็นงานบน m_k ที่จะย้าย)

$$\text{กำหนดให้ } m'_k = \{i, i+1, i+2, \dots, n\}$$

$$\text{Min} = \begin{cases} \text{setup}(j, i), \text{setup}(j, i) + \text{setup}(j, i+1) - \text{setup}(i, i+1), \\ \text{setup}(i+1, j) + \text{setup}(j, i+2) - \text{setup}(i+1, i+2), \dots \\ \dots, \text{setup}(j, n) \end{cases}$$

5) วางงาน j ลงบนตำแหน่งที่เลือกในข้อ 4 คำนวณเวลาเสร็จงานของงานสุดท้ายของเครื่องจักร m'_k เมื่อวางงาน j แล้ว

ก) ถ้า $C_{m'_k} < Makespan_1$ ดำเนินการย้ายงาน j ไป m'_k

ข) ถ้า $C_{m'_k} \geq Makespan_1$ ไม่ย้ายงาน j ไป m'_k ทำตามขั้นตอนต่อไป

- กลับไปทำตามขั้นตอนที่ 3 ใหม่โดยเลือกงาน j ที่ให้ Setup Time มากในลำดับถัดไป

- หากพบว่าไม่มีงาน j ใดๆ สามารถย้ายได้ให้เลือกเครื่องจักร m'_k ใหม่ ที่ให้ค่าเวลาเสร็จงานของงานสุดท้ายบนเครื่องจักรน้อยตัวถัดไป

6) เมื่อดำเนินการย้ายงาน j เรียบร้อยแล้ว ให้จัดเรียงลำดับงานใหม่ตามหัวข้อ 5.2 ให้กับเซตของงานบน m_k

7) เพิ่มค่า n ขึ้นอีก 1 จะได้เซตของงานที่เรียงในปัจจุบัน คือ S_2 $Makespan_2 = Makespan(S_2)$

8) ทำตามขั้นตอน 2 – 7 จนไม่สามารถย้ายงานใดๆ ได้

6. ตัวอย่างแสดงการแก้ปัญหาด้วยวิธีสถิติ

การหาลำดับการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในสายการผลิตที่เครื่องจักรจัดเรียงแบบขนานจำนวน 3 เครื่องจักร และมีจำนวนงานเท่ากับ 10 งาน โดยเวลาทำงานของแต่ละงานแสดงดังตารางที่ 1 เมื่อลำดับการผลิตมีผลต่อเวลาติดตั้งเครื่องจักร โดยข้อมูลเวลาติดตั้งเครื่องจักรแสดงดังตารางที่ 2 และข้อมูลข้อจำกัดของเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งแนวตั้งแสดงหมายเลขเครื่องจักร แนวนอนแสดงหมายเลขงาน ซึ่งถ้ามีค่าเป็น 0 แสดงว่างานนั้นไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรนั้นๆ ได้ ถ้าเป็น 1 แสดงว่างานนั้นสามารถผลิตบนเครื่องจักรได้ เมื่อพิจารณาการจัดตารางการผลิตของงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เวลาในการผลิตรวมของระบบ (Makespan) มีค่าต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงเวลาทำงานของแต่ละงาน

JOB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PT.	15	19	6	2	10	5	9	10	19	5

Job : งาน

PT : เวลาดำเนินการผลิตของแต่ละงาน บนเครื่องจักรใดๆ

ตารางที่ 2 From-To-Chart แสดงเวลาติดตั้งเครื่องจักร

		Job									
From/To		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0	7	3	10	2	6	5	6	7	9
2		9	0	8	8	8	5	2	3	9	3
3		3	10	0	5	5	2	2	6	8	4
4		2	8	5	0	8	2	6	3	7	1
Job 5		2	4	4	4	0	7	9	10	1	9
6		5	8	9	1	3	0	9	6	9	1
7		9	7	2	10	9	6	0	2	6	4
8		2	2	7	9	2	1	9	0	9	4
9		6	3	5	8	6	6	2	4	0	7
10		2	2	3	7	9	3	2	8	1	0

จากตารางที่ 2 แสดงเวลาติดตั้งเครื่องจักรโดยที่แต่ละแถวและแต่ละคอลัมน์แสดงงาน (Job) หากอ่านค่าจากตารางในแถวแรก ซึ่งหมายถึง งาน 1 (Job 1) และคอลัมน์ที่ 2 ซึ่งหมายถึง งาน 2 (Job 2) อ่านค่าในตารางได้เท่ากับ 7 แสดงว่า เมื่อดำเนินการผลิตงาน 1 บนเครื่องจักรใดๆ แล้วดำเนินการผลิตงาน 2 ตามหลังทันที จะต้องใช้เวลาในการติดตั้งเครื่องจักรเท่ากับ 7 ก่อนดำเนินการผลิตงาน 2 ได้

ตารางที่ 3 แสดงข้อจำกัดของเครื่องจักร

Job	MC1	MC2	MC3
1	1	0	0
2	1	1	0
3	0	1	0
4	1	0	0
5	0	1	1
6	0	1	1
7	1	0	1
8	1	0	1
9	1	1	1
10	0	1	0

จากตารางที่ 3 แสดงข้อจำกัดของเครื่องจักร หมายความว่างานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ ซึ่งแต่ละแถวแสดงงาน (Job) และแต่ละคอลัมน์แสดงหมายเลขเครื่องจักร (MC) หากอ่านค่าในตารางในแถวแรก และคอลัมน์แรก อ่านได้เท่ากับ 1 หมายถึง งาน 1 (Job1) สามารถจัดให้ดำเนินการผลิตบนเครื่องจักร 1 (MC1) ได้ หากอ่านค่าในแถวแรก และคอลัมน์ที่ 2 อ่านค่าได้เท่ากับ 0 หมายความว่า งาน 1 (Job1) ไม่สามารถจัดให้ดำเนินการผลิตบนเครื่องจักร 2 (MC2) ได้

การค้นหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

1) เรียงลำดับ Setup Time พบนงาน 5-9 มีค่าน้อยสุด Load MC2

2) ลำดับถัดไปคือ งาน 8-6 มีค่าน้อยสุด Load MC3

3) ลำดับถัดไปคือ งาน 2-7 มีค่าน้อยสุด Load MC1

4) เลือกเครื่องจักรที่มีเวลาเสร็จของงานสุดท้ายน้อยที่สุด คือ

MC3 → เซตของงานที่โหลดได้ซึ่งยังไม่ถูกจัดตาราง {๘}

พิจารณาเครื่องจักร ตัวถัดไป คือ

MC1 → เซตของงานที่โหลดได้ {1,4}

เลือกงาน 1 โหลดเพราะมี Setup Time ตามหลังงาน 7 น้อยที่สุด

5) เลือกเครื่องจักรที่มีเวลาเสร็จของงานสุดท้ายน้อยที่สุด คือ

MC2 → เซตของงานที่โหลดได้ {3,10}

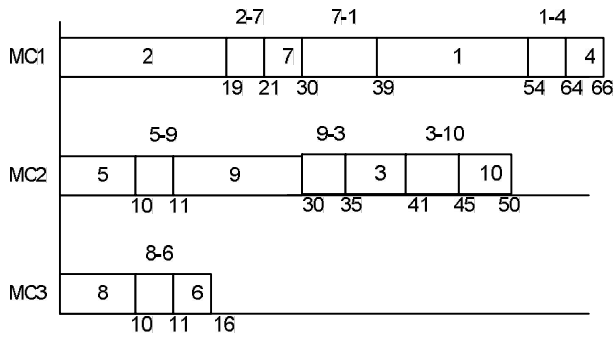
เลือกงาน 3 โหลดเพราะมี Setup Time ตามหลังงาน 9 น้อยที่สุด

6) เลือกเครื่องจักรที่มีเวลาเสร็จของงานสุดท้ายน้อยที่สุด คือ

MC2 → เซตของงานที่โหลดได้ {10}

เลือกงาน 10 โหลด

7) โหลด งาน 4 ลงบน MC1



การจัดเรียงลำดับงาน (Arrangement Solution)

1) MC1 {2-7-1-4} มี Setup Time = 2+9+10 = 21

เรียงงานใหม่ → เริ่มที่ Setup น้อยที่สุด คือ 2-7

จากนั้น ใช้ CUC เลือกงาน จะได้ 2-7-1-4

(เหมือนเดิม)

เรียงงานใหม่ → เริ่มที่ Setup น้อยถัดไป คือ 4-1

จากนั้น ใช้ CUC เลือกงาน จะได้ 4-1-7-2

มี Setup Time = 2+5+7 = 14 (ดีกว่า)

จะได้การจัดเรียงใหม่ คือ {4-1-7-2}

2) MC2 {5-9-3-10} มี Setup Time = 1+5+4 = 10

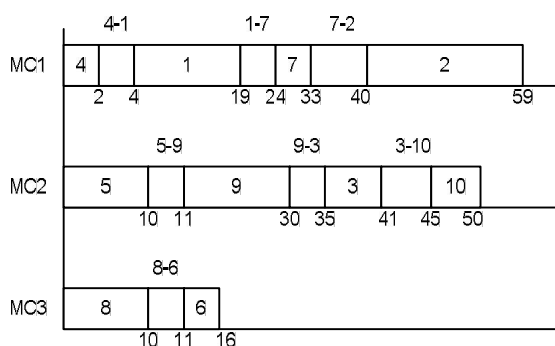
เรียงงานใหม่ตามขั้นตอนข้อ 1 จะได้ 10-9-3-5

มี Setup Time = 1+5+5 = 14 (แย่กว่าเดิม)

3) MC3 {8-6} มี Setup Time = 1

เรียงงานใหม่ตามขั้นตอนข้อ 1 จะได้ 6-8

มี Setup Time = 6 (แย่กว่าเดิม)



การย้ายงาน (Moving Solution)

1) $n = 1, S_1 = \begin{cases} 4-1-7-2 \\ 5-9-3-10 \\ 8-6 \end{cases} \rightarrow Makespan_1 = 59$

2) $m_k = MC1$ และ $m'_k = MC3$ มีงาน 7 งานเดียวที่ย้ายได้

3) ตำแหน่งว่างงาน 7 บน MC3

*7-8 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 2

8-7-6 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 9+6-1=14

6-7 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 9

เลือกวางงาน 7 ก่อนงาน 8

เวลาปิดงาน บน MC3 = เวลาปิดงานเดิม + Setup เพิ่มจากเดิม + เวลาดำเนินงานของงาน 7 = 16+2+9=27 <

$Makespan_1 = 59$

ดำเนินการย้ายงาน 7

4) เรียงงานบน MC1 ใหม่

จาก MC1 {4-1-2} มี Setup Time = 2+7 = 9

เรียงงานใหม่ จะได้ 1-2-4

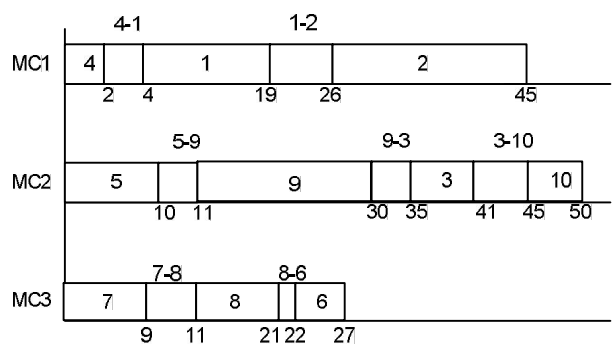
มี Setup Time = 7+8 = 15 (แย่กว่าเดิม)

จะได้ MC1 {4-1-2}

เวลาปิดงานของ MC1 = 9 + (2+15+19) = 45

เวลาปิดงานของ MC2 = 50

เวลาปิดงานของ MC3 = 27



การย้ายงาน (Moving Solution)

1) $n = 2, S_2 = \begin{cases} 4-1-2 \\ 5-9-3-10 \\ 7-8-6 \end{cases} \rightarrow Makespan_2 = 50$

2) $m_k = MC2$ และ $m'_k = MC3$ มีงาน 5, 9 ที่ย้ายได้ เลือกย้ายงาน 9 เนื่องจากมี Setup Time มากกว่างาน 5

3) ตำแหน่งว่างงาน 9 บน MC3

*9-7 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 2

7-9-8 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 6+4-2=8

8-9-6 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 9+6-1=14

6-9 → Setup บน MC3 เพิ่มจากเดิม = 9

เลือกวางงาน 9 ก่อนงาน 7

เวลาปิดงาน บน MC3 = $27+2+19=49 < Makespan_2 = 50$

เรียงงานบน MC2 ใหม่

จาก MC2 {5-3-10} มี Setup Time = $4+4=8$

เรียงงานใหม่ จะได้ 10-3-5

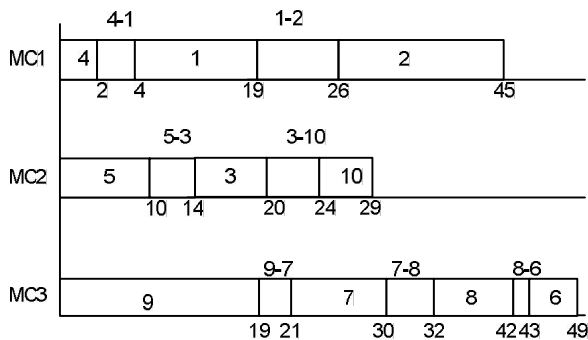
มี Setup Time = $3+5=8$ (น้อยกว่าเดิม)

จะได้ MC2 {5-3-10}

เวลาปิดงานของ MC1 = 45

เวลาปิดงานของ MC2 = $8+(10+6+5)=29$

เวลาปิดงานของ MC3 = 49



การย้ายงาน (Moving Solution)

$$1) n = 3, S_3 = \begin{Bmatrix} 4-1-2 \\ 5-3-10 \\ 9-7-8-6 \end{Bmatrix} \rightarrow Makespan_3 = 49$$

2) $m_k = MC3$ และ $m'_k = MC2$ มีงาน 9, 6 ที่ย้ายได้ งาน 9 เคยย้ายแล้วพิจารณาเลือกย้ายงาน 6

3) ตำแหน่งว่างงาน 6 บน MC2

6-5 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = 3

5-6-3 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = $7+9-4=12$

*3-6-10 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = $2+1-4=-1$

10-6 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = 3

เลือกวางงาน 6 ก่อนงาน 10

เวลาปิดงาน บน MC2 = $29-1+5=33 < Makespan_3 = 49$

4) เรียงงานบน MC3 ใหม่

จาก MC3 {9-7-8} มี Setup Time = $2+2=4$

เรียงงานใหม่ จะได้ 7-8-9

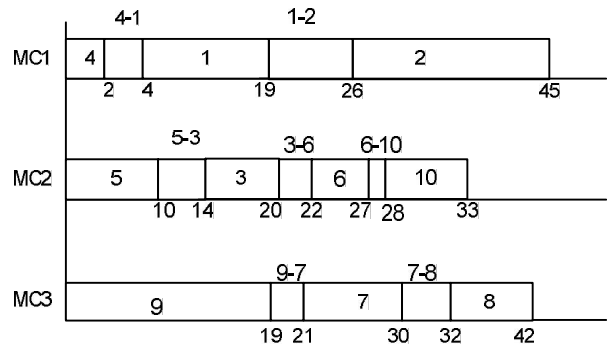
มี Setup Time = $2+9=11$ (น้อยกว่าเดิม)

จะได้ MC3 {9-7-8}

เวลาปิดงานของ MC1 = 45

เวลาปิดงานของ MC2 = 33

เวลาปิดงานของ MC3 = $4+(9+10+19)=42$



การย้ายงาน (Moving Solution)

$$1) n = 4, S_4 = \begin{Bmatrix} 4-1-2 \\ 5-3-6-10 \\ 9-7-8 \end{Bmatrix} \rightarrow Makespan_4 = 45$$

2) $m_k = MC1$ และ $m'_k = MC2$ มีงาน 2 ที่ย้ายได้

3) ตำแหน่งว่างงาน 2 บน MC2

2-5 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = 8

5-2-3 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = $4+8-4=8$

3-2-6 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = $10+5-2=13$

6-2-10 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = $8+3-1=10$

*10-2 → Setup บน MC2 เพิ่มจากเดิม = 2

เลือกวางงาน 2 ตามหลังงาน 10

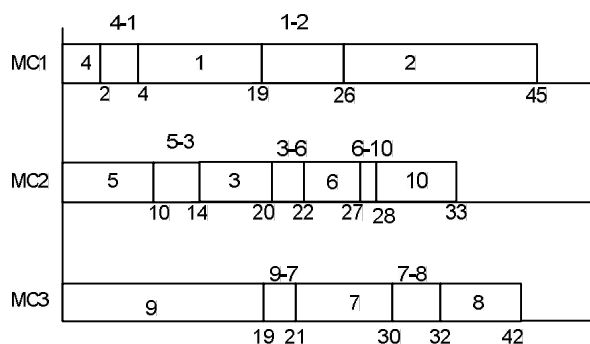
เวลาปิดงาน บน MC2 = $33+2+19=54 > Makespan_4 = 45$

ไม่ย้ายงาน 2

4) $m_k = MC1$ และ $m'_k = MC3$ ไม่มีงานใดย้ายได้

$$\text{คำตอบฮิวริสติก} \begin{Bmatrix} 4-1-2 \\ 5-3-6-10 \\ 9-7-8 \end{Bmatrix} \rightarrow Makespan = 45$$

Ans



ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกกับผลเฉลยที่ดีที่สุด ที่ได้จากการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO6.0 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง คือ Intel® Core™ 2 Duo CPU 2.10 GHz. ทำการทดลองกับข้อมูลตัวอย่าง 39 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นมาด้วยการสุ่มตัวเลข ผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 4

7. ผลการทดลอง

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์และฮิวริสติก

No.	(Job, M/C)	Optimal	Heuristic	(Opt. - Heur.)	%Error	Running Time Opt. (Sec.)	Running Time Heuristic (Sec.)	Different Time (Sec)
1	5,2	20	20	0	0.00	1	0.109	1
2	5,2	44	45	-1	2.22	1	0.109	1
3	5,2	101	101	0	0.00	1	0.110	1
4	5,2	44	44	0	0.00	1	0.109	1
5	5,2	21	21	0	0.00	1	0.078	1
6	8,2	45	45	0	0.00	2	0.093	2
7	8,2	53	54	-1	1.85	2	0.093	2
8	8,2	65	80	-15	18.75	1	0.125	1
9	8,2	71	71	0	0.00	6	0.124	6
10	8,2	40	45	-5	11.11	3	0.078	3
11	9,2	66	66	0	0.00	37	0.110	37
12	9,2	78	80	-2	2.50	4	0.125	4
13	9,2	53	58	-5	8.62	5	0.125	5
14	9,2	300	373	-73	19.57	9	0.124	9
15	9,2	49	54	-5	9.26	8	0.125	8
16	9,3	41	41	0	0.00	42	0.124	42
17	9,3	46	55	-9	16.36	5	0.093	5
18	9,3	203	232	-29	12.50	8	0.124	8
19	9,3	37	41	-4	9.76	21	0.125	21
20	9,3	207	234	-27	11.54	8	0.128	8

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์และฮิวริสติก (ต่อ)

No.	(Job, M/C)	Optimal	Heuristic	(Opt. - Heur.)	%Error	Running Time Opt. (Sec.)	Running Time Heuristic (Sec.)	Different Time (Sec)
21	10,2	55	57	-2	3.51	29	0.125	29
22	10,2	53	55	-2	3.64	77	0.125	77
23	10,2	93	102	-9	8.82	21	0.125	21
24	10,2	99	101	-2	1.98	157	0.125	157
25	10,2	49	54	-5	9.26	37	0.093	37
26	10,3	36	39	-3	7.69	70	0.073	70
27	10,3	41	45	-4	8.89	167	0.073	167
28	10,3	58	67	-9	13.43	31	0.093	31
29	10,3	37	40	-3	7.50	93	0.073	93
30	10,3	34	45	-11	24.44	35	0.093	35
31	10,4	23	26	-3	11.54	54	0.125	54
32	10,4	24	29	-5	17.24	117	0.140	117
33	10,4	30	30	0	0.00	75	0.133	75
34	10,4	31	38	-7	18.42	208	0.125	208
35	12,2	82	96	-14	14.58	5356	0.093	5356
36	12,2	75	80	-5	6.25	3374	0.124	3374
37	12,2	119	127	-8	6.30	1833	0.125	1833
38	12,2	107	107	0	0.00	3596	0.157	3596
39	12,2	62	68	-6	8.82	10415	0.125	10415

AVG. 7.60

SD. 6.76

% ของคำตอบจากฮิวริสติกที่ได้คำตอบเท่ากับค่าที่ดีที่สุด = 23.08%

หมายเหตุ: จากคอลัมน์ที่ 2 แสดงขนาดของปัญหา โดยที่

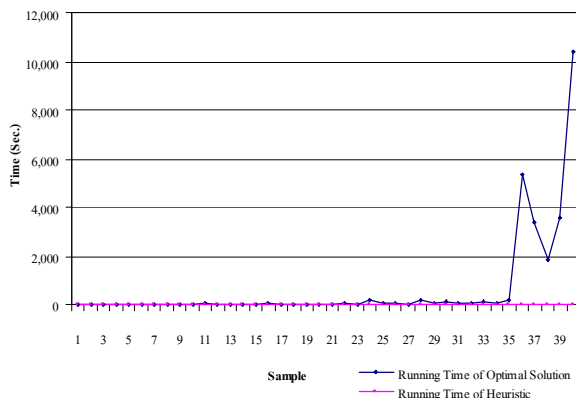
Job หมายถึง จำนวนงาน

MC หมายถึง จำนวนเครื่องจักร

ตัวอย่าง ในแถวที่ 1: (Job, MC) = (5, 2) หมายถึง

ตัวอย่างนี้มีจำนวนงานเป็น 5 และมีจำนวนเครื่องจักรเป็น 2 เครื่อง

กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาการหาคำตอบโดย
วิธี Optimal Solution และ วิธี Heuristic Solution



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบโดยวิธี
Optimal Solution และวิธี Heuristic Solution

8. สรุป

ในการจัดการตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน โดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Integer Programming) สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) สำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก แต่ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ เมื่อจำนวนงานมากกว่า 10 ขึ้นไป การหาคำตอบวิธีนี้ต้องใช้เวลาในการหาคำตอบเป็นเวลานาน จากผลการทดลองพบว่าบางตัวอย่างใช้เวลาหาคำตอบมากกว่า 2 ชั่วโมง ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในสภาพความเป็นจริง จากการวิจัยได้พัฒนาวิธีฮิวริสติกขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาโดยฮิวริสติกสามารถหาคำตอบจากขั้นตอนการค้นหาคำตอบที่สามารถหาคำตอบได้โดยไม่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Manual Solution) และในการทดลองหาคำตอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าวิธีฮิวริสติกใช้เวลาในการค้นหาคำตอบไม่ถึง 1 วินาที โดยหาคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด ทำให้สะดวกในการนำไปใช้งานมากขึ้น จากการทดลองได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกด้วยตัวอย่างปัญหามีไม่เกิน 12 งาน สรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 7.60 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.76 และฮิวริสติกสามารถหาคำตอบเท่ากับค่าที่ดีที่สุด เป็นร้อยละ 23.08 ของจำนวนตัวอย่างทดลองทั้งหมด

9. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด สามารถหาคำตอบได้เฉพาะปัญหามีขนาดเล็ก (จากผลการทดลองพบว่าจำนวนงานมากกว่า 10 งาน ใช้เวลาหาคำตอบมากกว่า 2 ชั่วโมง) จากผลการทดลองจึงมีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์กับวิธีการหาคำตอบด้วยฮิวริสติกเฉพาะปัญหามีขนาดเล็ก สำหรับปัญหามีขนาดใหญ่แล้วควรเลือกวิธีการเปรียบเทียบฮิวริสติกกับค่าขอบเขตล่าง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติก ซึ่งเป็นแนวทางที่จะเพิ่มเติมสำหรับขยายผลจากงานวิจัยฉบับนี้

แนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคตลักษณะปัญหาควรใกล้เคียงสภาพปัญหาในอุตสาหกรรมมากที่สุด โดยเฉพาะในเรื่องเวลาเริ่มงาน รวมทั้งเวลาในการส่งมอบงานควรนำมาพิจารณา ซึ่งจะทำให้การจัดการตารางการผลิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อภาคอุตสาหกรรมได้หลากหลายมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

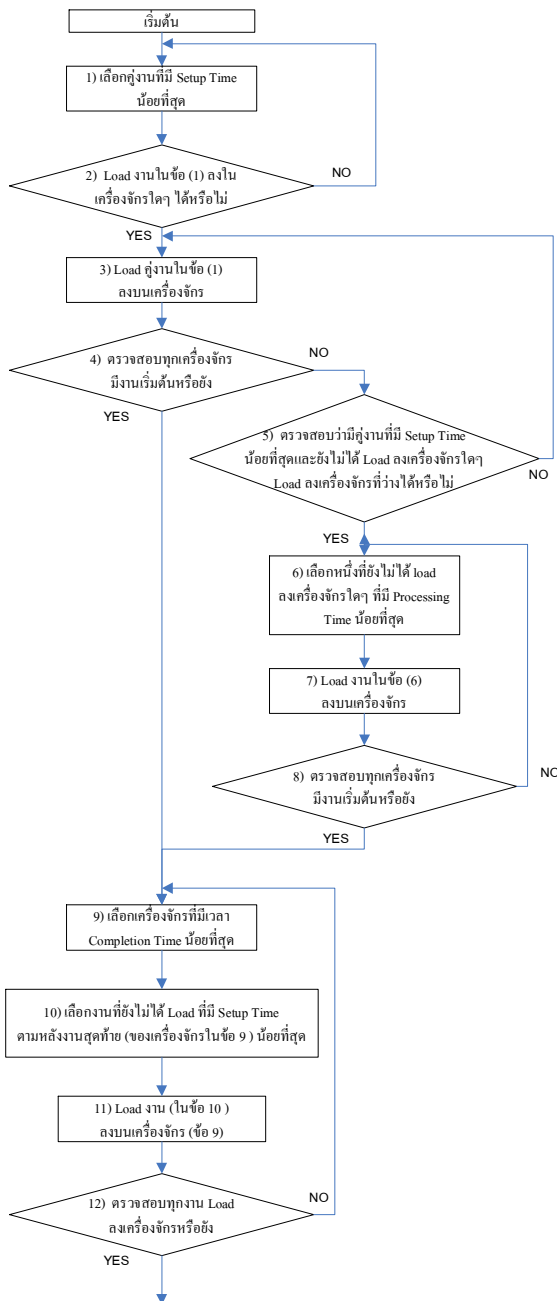
1. T. Zou, L. Ning and S. Debaio, "Genetic algorithm for vehicle routing problem with time window with uncertain vehicle number." Intelligent Control and Automation, WCICA 2004. Fifth World Congress on Volume 4:2846 – 2849, 2004.
2. D. N. Tahar, F. Yalaoui, C. Chengbin and A. Lionel, "A linear programming approach for identical parallel machine scheduling with job splitting and sequence-dependent setup times." International Journal of Production Economics, Volume 99, Issues 1-2, January-February 2006, Pages 63-73.
3. กาญจนา เศรษฐนันท์, จักรพงษ์ เกิดจันทิก, ดารารัตน์ แพงพวย และ สุทธิชัย พิศขุมทอง, "การจัดการตารางผลิตในสายการผลิตต่อเนื่องแบบผสมเมื่อพิจารณาการแบ่งผลิตของงานและข้อจำกัดของเครื่องจักร" ประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2548 (IE Network Conference 2005)

- 4 R. Ruiz and C. Maroto. "A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility." European Journal of Operational Research, Volume169, Issue3,16 March 2006, Pages 781-800.

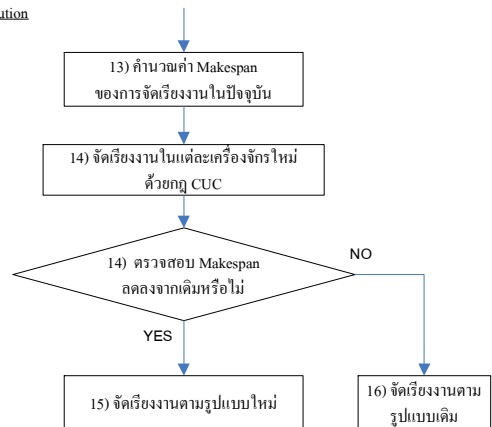
Appendix

Algorithm ของการจัดงานตามวิธีฮิวริสติก

Initial Solution



Arrangement Solution



Moving Solution

