

บทที่ 5

ฮิวริสติกอัลกอริทึม

1. บทนำ

ปัญหาการจัดตารางการผลิตขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของโรงงานกรณีศึกษามีเป้าหมายเพื่อให้ได้ตารางการผลิตที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นปัญหาคำนวณที่ซับซ้อนและมีความซับซ้อนได้ จึงได้มีการพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึม ที่มีผลเฉลยใกล้เคียงกับผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Near-optimal solution) เพราะรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในบทที่ 4 มีความเหมาะสมกับการหาคำตอบของปัญหาคำนวณที่เล็กเท่านั้น ไม่สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจะใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีความอ่อนปรนซึ่งประกอบด้วย 4 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ คือ 1) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง 3) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการจัดลำดับการผลิต 4) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงตารางการผลิตให้เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึมและรายละเอียดของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

2. พารามิเตอร์ (Parameters)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีฮิวริสติก มีดังนี้

j	ดัชนีแสดงชนิดผลิตภัณฑ์ มีค่าตั้งแต่ 1, 2,..., N
k	ดัชนีแสดงเครื่องจักร มีค่าตั้งแต่ 1, 2,..., P
m	ดัชนีแสดงรอบการผลิต มีค่าตั้งแต่ 1, 2,..., W
a	ดัชนีแสดงชนิดผลิตภัณฑ์ มีค่าตั้งแต่ 0, 1,..., N ($i=0$ คือ ไม่มีการผลิต)
b	ดัชนีแสดงชนิดผลิตภัณฑ์ มีค่าตั้งแต่ 0, 1,..., N ($j=0$ คือ ไม่มีการผลิต)
t	ดัชนีแสดงลำดับการผลิต มีค่าตั้งแต่ 1, 2,..., Q
Sc_{Avg}	ค่าใช้จ่ายการเตรียมงานเฉลี่ย (บาทต่อครั้งการเตรียมงาน)
Pc	ค่าใช้จ่ายการผลิต (บาทต่อคาบเวลาผลิต)
Hc	ค่าใช้จ่ายวัสดุคงคลัง (บาทต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ต่อรอบการผลิต)
$Uph_{j,k}$	กำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ j บนเครื่องจักร k (หน่วยผลิตภัณฑ์)
Pt	เวลาการผลิตในแต่ละคาบเวลาผลิต (หน่วยเวลา)
$D_{j,m}$	ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ j ในรอบการผลิต m (หน่วยผลิตภัณฑ์)
Oh_j	ปริมาณผลิตภัณฑ์ j ที่มีอยู่บนมือก่อนเริ่มการผลิต (หน่วยผลิตภัณฑ์)
S	จำนวนคาบเวลาผลิตที่มีใน 1 รอบการผลิต
M	จำนวนที่มีค่ามหาศาลและมีค่าเป็นบวก

$Z_{j,k,m}$	เป็น 1 เมื่อ $Xa_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่า 1 นอกจากนั้นมามีค่าเป็น 0
$St_{a,b}$	เวลาเตรียมงานของการเปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์ a ไปผลิตผลิตภัณฑ์ b ของเครื่องจักรที่จัดลำดับการผลิต
Ps	ชนิดผลิตภัณฑ์ที่เครื่องจักรผลิตอยู่ก่อน
$Pp_{b,t}$	เป็น 1 เมื่อในลำดับการผลิต t มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ b ถ้าเป็นไปได้ไม่มีค่าเป็น 0
Wp_b^m	เป็น 1 เมื่อมีผลิตภัณฑ์ b ที่ต้องจัดลำดับการผลิตในรอบการผลิต m นอกจากนั้นเป็น 0
Tw^m	ค่าลำดับการผลิตซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางผลิตภัณฑ์สุดท้ายของรอบการผลิต m
$St_{j,k,m}$	ค่าเวลาเตรียมงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ j บนเครื่องจักร k รอบการผลิต m ที่เกิดขึ้นจากตารางการผลิตก่อนปรับปรุง
Rp	จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ยอมให้มีค่าลดลงจากตารางการผลิตก่อนปรับปรุง
$Xe_{j,k,m}$	จำนวนคาบเวลาผลิตที่เครื่องจักร k ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ j ในรอบการผลิต m จากตารางการผลิตก่อนทำการปรับปรุง

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

ตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในวิธีฮิวริสติก มีดังนี้

$Xa_{j,k,m}$	จำนวนคาบเวลาผลิตที่เครื่องจักร k ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ j ในรอบการผลิต m โดย $Xa_{j,k,m}$ มีค่าเป็นจำนวนจริง
$Xb_{j,k,m}$	จำนวนคาบเวลาผลิตที่เครื่องจักร k ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ j ในรอบการผลิต m โดย $Xb_{j,k,m}$ มีค่าเป็นจำนวนเต็ม
$Xc_{a,b,t}$	เป็น 1 เมื่อมีการผลิตผลิตภัณฑ์ b ในลำดับ t โดยในลำดับก่อนหน้าผลิตผลิตภัณฑ์ a นอกจากนั้นมามีค่าเป็น 0
$Xd_{j,k,m}$	จำนวนคาบเวลาผลิตที่เครื่องจักร k ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ j ในรอบการผลิต m โดย $Xd_{j,k,m}$ มีค่าเป็นจำนวนเต็ม
$Inv_{j,m}$	ปริมาณพัสดุคงคลังของผลิตภัณฑ์ j ในรอบการผลิต m (หน่วยผลิตภัณฑ์)
$Y_{j,k,m}$	เป็น 1 เมื่อ $Xa_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่า 0 นอกจากนั้นเป็น 0

4. ขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึม ประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนข้อมูลนำเข้าของปัญหา ประกอบด้วย จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) จำนวนเครื่องจักร (P) จำนวนคาบเวลาผลิต (S) จำนวนรอบการผลิต (W) ค่าผลิต (P_c) ค่าเตรียมงานเฉลี่ย (Sc_{Avg}) ค่าพัสดุดึงคลัง (H_c) เวลาในคาบเวลาผลิต (Pt) ค่ากำลังการผลิต ($Uph_{j,k}$) ปริมาณความต้องการ ($D_{j,m}$) ปริมาณพัสดุดึงคลังบนมือ (Oh_j) เวลาเตรียมงาน ($St_{i,j,k}$) และผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (Ps) จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 วางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดของการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3 จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดให้ค่า $Z_{j,k,m}$ โดย $Z_{j,k,m}$ จะมีค่าเป็น 1 เมื่อค่า $Xa_{j,k,m}$ จากขั้นตอนที่ 3 มีค่าเกิน 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 5 วางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็มโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดของการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็มจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4 จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 จากผลการวางแผนกำลังการผลิตในขั้นตอนนี้ทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิต จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 7 ซึ่งพารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณมีดังนี้

1) ค่า $Pp_{b,t}$ ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เมื่อในลำดับการผลิต t มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ j ถ้าเป็นไปได้จะมีค่าเป็น 0

2) ค่า Wp^m_b ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เมื่อมีผลิตภัณฑ์ b ถูกจัดให้ผลิตในรอบการผลิต m

3) ค่า Tw^m คือค่าลำดับการผลิตซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางผลิตภัณฑ์สุดท้ายของรอบการผลิต m

ขั้นตอนที่ 7 จัดลำดับการผลิตบนแต่ละเครื่องจักรโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ที่ละเครื่องจักรจนครบทุกเครื่องจักร ซึ่งรายละเอียดของการจัดลำดับการผลิตจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5 โดยเมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้และนำตารางการผลิตบนแต่ละเครื่องจักรมารวมกันจะได้ตารางการผลิตออกมา จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 8 พิจารณาว่าแผนการผลิตปัจจุบันสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้หรือไม่ ถ้าตารางการผลิตสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ไปยังขั้นตอน 11 ถ้ายังไม่สามารถทำการผลิตตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ไปยังขั้นตอน 9

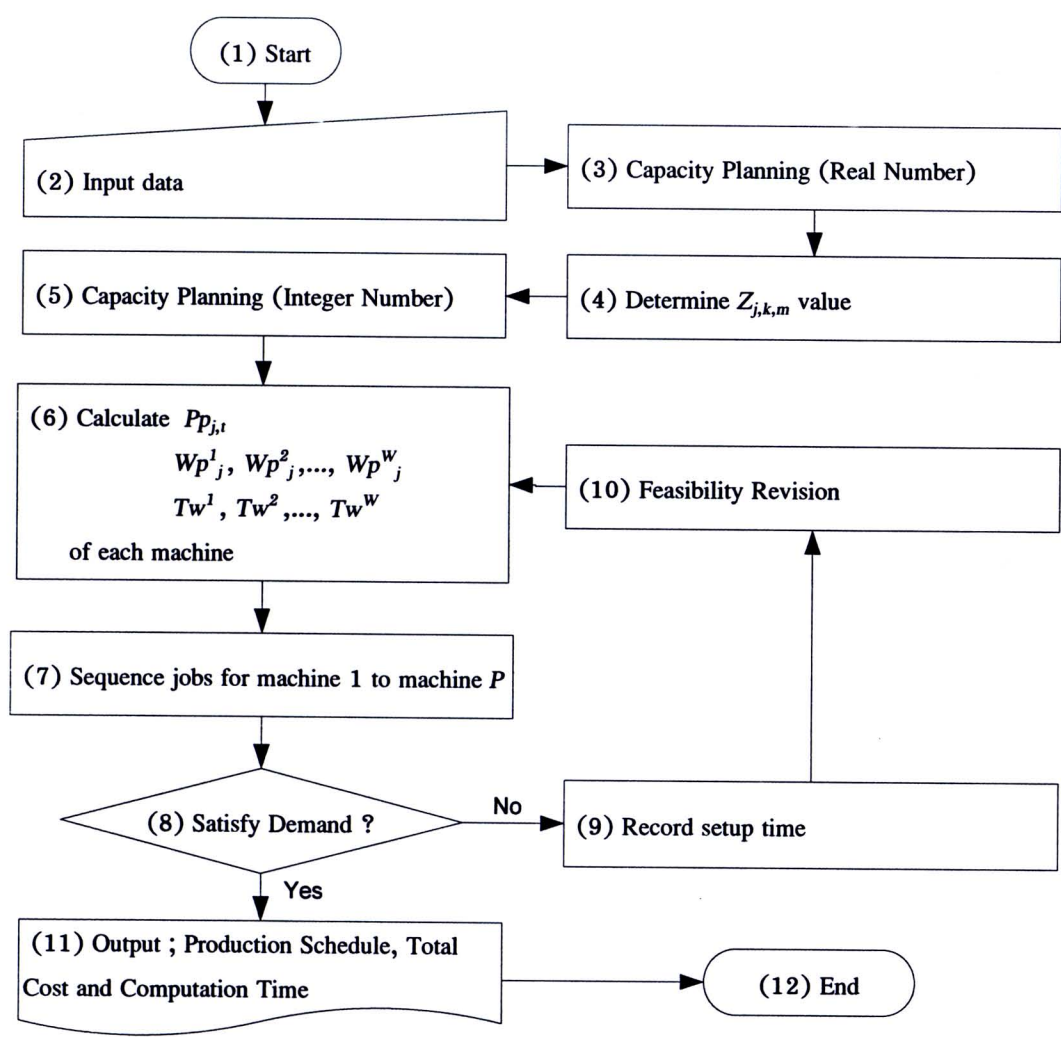
ขั้นตอนที่ 9 เก็บค่าเวลาเตรียมงานที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการปรับปรุงตารางการผลิต จากนั้นไปยังขั้นตอน 10

ขั้นตอนที่ 10 ปรับปรุงตารางการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดของการปรับปรุงตารางการผลิตจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 6 จากนั้นกลับไปยังขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 11 เก็บค่าตารางการผลิต ผลรวมของต้นทุนการจัดตารางการผลิต และเวลาประมวลผลของฮิวริสติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่ 12 สิ้นสุดการทำงาน

เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพของการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึมถูกแสดงในรูปภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แผนผังการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึม

5. รูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

รูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง ใช้เพื่อการจัดว่าเครื่องจักรใดจะทำการผลิตชนิดผลิตภัณฑ์ใด โดยผลเฉลยจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงจะอยู่ในรูปของค่าจำนวนคาบเวลาผลิตที่เครื่องจักรต่างๆ ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในแต่ละรอบการสั่งผลิตซึ่งมีค่าเป็นจำนวนจริง ซึ่งการกำหนดให้ค่าตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนจริงนั้นเพื่อให้ปัญหามีความผ่อนปรนสามารถใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่และใช้เวลาประมวลผลน้อย ซึ่งจากการทดลองกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนเต็มเพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษาที่ว่าต้องผลิตผลิตภัณฑ์ 1 ชนิดเต็มคาบเวลาพบว่าในปัญหาขนาดใหญ่ รูปแบบทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาประมวลผลนานและในบางปัญหาไม่สามารถหาผลเฉลยได้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนจริง และใช้ผลเฉลยจากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็มในขั้นตอนต่อไป มีรายละเอียดดังนี้

5.1 สมมติฐาน (Assumptions)

สมมติฐานของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 กำหนดให้จำนวนคาบเวลาผลิตที่ใช้ผลิต ($Xa_{j,k,m}$) มีค่าเป็นจำนวนจริง

5.1.2 กำหนดให้พิจารณาเหตุการณ์การเกิดการเตรียมงานแบบคร่าวๆ คือเมื่อมีการผลิตไม่ว่ากี่คาบเวลาผลิตจะต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมงาน ซึ่งกำหนดให้เป็นค่าเตรียมงานเฉลี่ยต่อครั้งการเตรียมงาน (Sc_{Avg}) โดย

$$Sc_{Avg} = Sc \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^P Sc_{i,j,k}}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^P G_{i,j,k}} ; G_{i,j,k} \text{ มีค่าเป็น 1 เมื่อ } Sc_{i,j,k} \text{ มีค่ามากกว่า 0}$$

5.1.3 กำหนดให้ไม่มีการพิจารณาเวลาสูญเสียจากการเตรียมงาน คือในขั้นตอนนี้พิจารณาให้ไม่มีการสูญเสียเวลาในการผลิตจากเวลาการเตรียมงาน

5.2 สมการเป้าหมาย (Objective function)

สมการเป้าหมายของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงคือ

$$\text{Minimize} \quad Pc \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{m=1}^W Xa_{j,k,m} + Sc_{Avg} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{m=1}^W Y_{j,k,m} + Hc \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^W Inv_{j,m} \quad (1a)$$



สมการ (1a) คือสมการเป้าหมายของต้นทุนรวมทั้งหมดประกอบด้วย ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการเตรียมงานและต้นทุนพัสดุดังคลึงโดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมทั้งหมดต่ำที่สุด

5.3 สมการและอสมการข้อจำกัด (Constraints)

สมการและอสมการข้อจำกัดของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง มีดังนี้

5.3.1 สมการกำหนดค่าปริมาณพัสดุดังคลึง

$$Inv_{j,1} = Oh_j + (Pt \sum_{k=1}^P Uph_{j,k} Xa_{j,k,1}) - D_{j,1} \quad ; \forall j, m=1 \quad (2a)$$

$$Inv_{j,m} = Inv_{j,m-1} + (Pt \sum_{k=1}^P Uph_{j,k} Xa_{j,k,m}) - D_{j,m} \quad ; \forall j, m=2,3,...,W \quad (3a)$$

สมการ (2a) และ (3a) หมายถึง ปริมาณพัสดุดังคลึงคือผลรวมของปริมาณพัสดุดังคลึงในรอบการผลิตก่อนหน้าและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในรอบการผลิตปัจจุบัน ลบด้วยปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยพัสดุดังคลึงของรอบการผลิตแรก คือ Oh_j

5.3.2 อสมการกำหนดค่าปริมาณพัสดุดังคลึงให้มีค่าเป็นบวก

$$Inv_{j,m} \geq 0 \quad ; \forall j, \forall m \quad (4a)$$

สมการ (4a) หมายถึง ปริมาณพัสดุดังคลึงต้องมีค่าเป็นบวก นั่นคือสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

5.3.3 อสมการกำหนดให้ผลิตได้ไม่เกินคาบเวลาผลิตที่มี

$$\sum_{j=1}^N Xa_{j,k,m} \leq S \quad ; \forall k, \forall m \quad (5a)$$

สมการ (5a) หมายถึง บนเครื่องจักร k รอบการผลิต m จำสามารถผลิตได้ไม่เกิน S คาบเวลาผลิต

5.3.4 สมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Xa_{j,k,m}$ กับค่า $Y_{j,k,m}$

$$MY_{j,k,m} \geq Xa_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (6a)$$

$$Y_{j,k,m} \leq MXa_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (7a)$$

$$Y_{j,k,m} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (8a)$$

สมการ (6a), (7a), (8a) จะบังคับให้ค่า $Y_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อ $Xa_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่า 0 นอกเหนือจากนั้น $Y_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 0

5.3.5 อสมการกำหนดให้ $Xa_{j,k,m}$ มีมากกว่าหรือเท่ากับ 0

$$Xa_{j,k,m} \geq 0 \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (9a)$$

สมการ (9a) หมายถึง $Xa_{j,k,m}$ ทุกตัวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

6. รูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

รูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม ใช้เพื่อการจัดว่าเครื่องจักรใดจะทำการผลิตชนิดผลิตภัณฑ์ใด โดยมีแนวคิดให้วางแผนกำลังการผลิตยึดตามผลเฉลยของการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงและกำหนดให้ค่าต้นทุนการเตรียมงานมีค่าเป็นจำนวนบวกที่มีค่ามหาศาลเพื่อให้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เกิดความผ่อนคลาย ช่วยให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้แม้กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนเต็ม โดยผลเฉลยจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตมีค่าเป็นจำนวนเต็มแสดงค่าจำนวนคาบเวลาผลิตที่เครื่องจักรต่างๆ ผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในแต่ละรอบการสั่งผลิต มีรายละเอียดดังนี้

6.1 สมมติฐาน (Assumptions)

สมมติฐานของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1.1 กำหนดให้จำนวนคาบเวลาผลิตที่ใช้ในการผลิต ($Xb_{j,k,m}$) มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

6.1.2 กำหนดให้พิจารณาเหตุการณ์การเกิดการเตรียมงานแบบคร่าวๆ คือเมื่อมีการผลิตไม่ว่ากี่คาบเวลาผลิตจะต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมงาน ซึ่งกำหนดให้ค่าเตรียมงานมีค่ามหาศาล

6.1.3 กำหนดให้ไม่มีการพิจารณาเวลาสูญเสียจากการเตรียมงาน

6.2 สมการเป้าหมาย (Objective function)

สมการเป้าหมายของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม คือ

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & Pc \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{m=1}^W Xb_{j,k,m} + M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{m=1}^W Y_{j,k,m} \\ & + Hc \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^W Inv_{j,m} \end{aligned} \quad (1b)$$

สมการ (1b) คือสมการเป้าหมายของต้นทุนรวมทั้งหมดประกอบด้วย ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการเตรียมงานและต้นทุนพัสดุคงคลังโดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมทั้งหมดต่ำที่สุด

6.3 สมการและอสมการข้อจำกัด (Constraints)

สมการและอสมการข้อจำกัดของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม มีดังนี้

6.3.1 สมการกำหนดค่าปริมาณพัสดุคงคลัง

$$\begin{aligned} Inv_{j,1} = Oh_j + (Pt \sum_{k=1}^P Uph_{j,k} Xb_{j,k,1}) - D_{j,1} \\ ; \forall j, m = 1 \end{aligned} \quad (2b)$$

$$\begin{aligned} Inv_{j,m} = Inv_{j,m-1} + (Pt \sum_{k=1}^P Uph_{j,k} Xb_{j,k,m}) - D_{j,m} \\ ; \forall j, m = 2, 3, \dots, W \end{aligned} \quad (3b)$$

สมการ (2b) และ (3b) หมายถึง ปริมาณพัสดุคงคลังคือผลรวมของปริมาณพัสดุคงคลังในรอบการผลิตก่อนหน้าและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในรอบการผลิตปัจจุบัน ลบด้วยปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยพัสดุคงคลังของรอบการผลิตแรก คือ Oh_j

6.3.2 อสมการกำหนดค่าปริมาณพัสดุคงคลังให้มีค่าเป็นบวก

$$Inv_{j,m} \geq 0 \quad ; \forall j, \forall m \quad (4b)$$

สมการ (4b) หมายถึง ปริมาณพัสดุคงคลังต้องมีค่าเป็นบวก นั่นคือสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

6.3.3 อสมการกำหนดให้ผลิตได้ไม่เกินคาบเวลาผลิตที่มี

$$\sum_{j=1}^N Xb_{j,k,m} \leq S \quad ; \quad \forall k, \forall m \quad (5b)$$

สมการ (5b) หมายถึง บนเครื่องจักร k รอบการผลิต m จำสามารถผลิตได้ไม่เกิน S คาบเวลาผลิต

6.3.4 อสมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Xb_{j,k,m}$ กับค่า $Y_{j,k,m}$

$$MY_{j,k,m} \geq Xb_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (6b)$$

$$Y_{j,k,m} \leq MXb_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (7b)$$

$$Y_{j,k,m} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (8b)$$

สมการ (6b), (7b), (8b) จะบังคับให้ค่า $Y_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อ $Xb_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่า 0 นอกเหนือจากนั้น $Y_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 0

6.3.5 อสมการกำหนดให้ผลิตได้ไม่เกินคาบเวลาผลิตที่มี

$$Xb_{j,k,m} \geq 0 \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (9b)$$

สมการ (9) หมายถึง $Xb_{j,k,m}$ ทุกตัวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

6.3.6 อสมการกำหนดให้ $Xb_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $Z_{j,k,m}$

$$Xb_{j,k,m} \geq Z_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (10b)$$

สมการ (10b) หมายถึง $Xb_{j,k,m}$ ทุกตัวมีค่ามากกว่าหรือ $Z_{j,k,m}$

7. รูปแบบทางคณิตศาสตร์การจัดลำดับการผลิต

รูปแบบทางคณิตศาสตร์การจัดลำดับการผลิต ใช้เพื่อการจัดว่าชนิดผลิตภัณฑ์ใดจะถูกทำการผลิตก่อนหรือหลังเพื่อให้เกิดเวลาเตรียมงานน้อยที่สุดบนแต่ละเครื่องจักร โดยจะจัดลำดับการผลิตให้สอดคล้องกับการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม ผลเฉลยจะอยู่ในรูปของลำดับการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่งๆ มีรายละเอียดดังนี้



7.1 สมมติฐาน (Assumptions)

สมมติฐานของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การจัดลำดับการผลิต มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1.1 พิจารณาเวลาเตรียมงานของแต่ละเครื่องจักรและลำดับงานก่อนหลังไม่เป็นอิสระต่อกัน

7.1.2 ในแต่ละรอบการผลิต กำหนดให้วางผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันไว้ติดกัน ตัวอย่างเช่น ไม่ว่าผลจากการวางแผนกำลังการผลิตจะใช้กี่คาบเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A เราจะมองว่าเป็น 1 ก่อนของผลิตภัณฑ์ A เท่านั้น

7.1.3 ในแต่ละรอบการผลิต ถ้าผลจากการวางแผนกำลังการผลิตใช้คาบเวลาในการผลิตไม่เต็มคาบเวลาที่มิในแต่ละรอบการผลิต จะต้องทำการวางผลิตภัณฑ์ 0 (ไม่มีการผลิต) ที่ลำดับสุดท้ายของรอบการผลิตนั้น

7.2 สมการเป้าหมาย (Objective function)

สมการเป้าหมายของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การจัดลำดับการผลิต คือ

$$\text{Minimize} \quad \sum_{a=0}^N \sum_{b=0}^N \sum_{t=1}^Q St_{a,b} Xc_{a,b,t} \quad (1c)$$

สมการ (1c) คือสมการเป้าหมายแสดงผลรวมของเวลาเตรียมงานรวมบนแต่ละเครื่องจักร โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดเวลาเตรียมงานน้อยที่สุด

7.3 สมการและอสมการข้อจำกัด (Constraints)

สมการและอสมการข้อจำกัดของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การจัดลำดับการผลิต มีดังนี้

7.3.1 สมการกำหนดให้จัดลำดับได้เพียง 1 ลักษณะการผลิต

$$\sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^N Xc_{a,b,t} = 1 \quad ; \quad \forall t \quad (2c)$$

สมการ (2c) หมายถึง ในแต่ละคาบเวลามีลักษณะการผลิตได้เพียง 1 ลักษณะ คือ ผลิตผลิตภัณฑ์ b โดยในลำดับก่อนหน้าผลิตผลิตภัณฑ์ a

7.3.2 อสมการกำหนดไม่ให้จัดลำดับที่เป็นไปไม่ได้

$$\sum_{a=0}^N Xc_{a,b,t} \leq Pp_{b,t} \quad ; \quad \forall b, \forall t \quad (3c)$$

สมการ (3c) หมายถึง ไม่สามารถจัดให้เกิดการผลิต ภายใต้สถานการณ์ที่เป็นไปไม่ได้

7.3.3 สมการกำหนดความสอดคล้องระหว่างลำดับการผลิตของแต่ละคาบเวลา

$$\sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^N aXc_{a,b,t} = Ps \quad ; t=1 \quad (4c)$$

$$\sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^N bXc_{i,j,t-1} = \sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^N aXc_{a,b,t} \quad ; t=2,3,\dots,Q \quad (5c)$$

สมการ (4c) และ (5c) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ b ของลำดับการผลิต $t-1$ คือค่า a ของลำดับการผลิต t

7.3.4 สมการกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็น 0-1

$$Xc_{a,b,t} \in \{0,1\} \quad ; \forall a, \forall b, \forall t \quad (6c)$$

สมการ (6c) หมายถึง ค่า $Xc_{a,b,t}$ มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

7.3.5 สมการกำหนดลำดับการผลิตในแต่ละรอบการผลิต

$$\sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^Q Xc_{a,b,t} = Wp_b^1 \quad ; t \leq Tw^1 \quad (7.1c)$$

$$\sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^Q Xc_{a,b,t} = Wp_b^2 \quad ; Tw^1 + 1 \leq t \leq Tw^2 \quad (7.2c)$$

.

.

.

$$\sum_{a=0}^N \sum_{b=1}^Q Xc_{a,b,t} = Wp_j^w \quad ; Tw^{w-1} + 1 \leq t \leq Tw^w \quad (7.Wc)$$

สมการ (7.1c) ถึง (7.Wc) หมายถึงสมการกำหนดให้ในแต่ละรอบการผลิตต้องจัดผลิตภัณฑ์ให้ครบตามที่แผนการจัดกำลังการผลิตวางไว้

8. รูปแบบทางคณิตศาสตร์ปรับปรุงตารางการผลิตให้เหมาะสม

รูปแบบทางคณิตศาสตร์การปรับปรุงตารางการผลิตให้เหมาะสม ใช้เพื่อปรับปรุงตารางการผลิตให้สามารถตอบสนองความต้องการได้ โดยพยายามยึดตามผลเฉลยของการวางแผนกำลังการผลิตก่อนการปรับปรุงตารางการผลิต และมีการพิจารณาค่าเวลาเตรียมงานจากตารางการผลิต

ก่อนปรับปรุง ผลเฉลยจะอยู่ในรูปของลำดับการผลิตว่าจะผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใด มีรายละเอียดดังนี้

8.1 สมมติฐาน (Assumptions)

สมมติฐานของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การปรับปรุงตารางการผลิตให้เหมาะสม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.1.1 กำหนดให้จำนวนคาบเวลาผลิตที่ใช้ในการผลิต ($Xd_{j,k,m}$) มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

8.1.2 กำหนดให้พิจารณาเหตุการณ์การเกิดการเตรียมงาน โดยเวลาเตรียมงานได้จากตารางการผลิตก่อนปรับปรุง

8.2 สมการเป้าหมาย (Objective function)

สมการเป้าหมายของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม คือ

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & Pc \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{m=1}^W Xd_{j,k,m} + M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{m=1}^W Y_{j,k,m} \\ & + Hc \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^W Inv_{j,m} \end{aligned} \quad (1d)$$

สมการ (1d) คือสมการเป้าหมายของต้นทุนรวมทั้งหมดประกอบด้วย ต้นทุนการผลิต ต้นทุนการเตรียมงานและต้นทุนพัสดุคงคลังโดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมทั้งหมดต่ำที่สุด

8.3 สมการและอสมการข้อจำกัด (Constraints)

สมการและอสมการข้อจำกัดของรูปแบบทางคณิตศาสตร์การปรับปรุงตารางการผลิตให้เหมาะสม มีดังนี้

8.3.1 สมการกำหนดค่าปริมาณพัสดุคงคลัง

$$\begin{aligned} Inv_{j,1} = Oh_j + \sum_{k=1}^P Uph_{j,k} (PtXd_{j,k,1} - St_{j,k,1} Y_{j,k,1}) - D_{j,1} \\ ; \forall j, m = 1 \end{aligned} \quad (2d)$$

$$\begin{aligned} Inv_{j,m} = Inv_{j,m-1} + \sum_{k=1}^P Uph_{j,k} (PtXd_{j,k,m} - St_{j,k,1} Y_{j,k,m}) - D_{j,m} \\ ; \forall j, m = 2, 3, \dots, W \end{aligned} \quad (3d)$$

สมการ (2d) และ (3d) หมายถึง ปริมาณพัสดุคงคลังคือผลรวมของปริมาณพัสดุคงคลังในรอบการผลิตก่อนหน้าและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในรอบการผลิต

ปัจจุบัน ลดด้วยปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยพัสดุดังกล่าวของรอบการผลิตแรก คือ Oh_j

8.3.2 อสมการกำหนดค่าปริมาณพัสดุดังกล่าวให้มีค่าเป็นบวก

$$Inv_{j,m} \geq 0 \quad ; \quad \forall j, \forall m \quad (4d)$$

สมการ (4d) หมายถึง ปริมาณพัสดุดังกล่าวต้องมีค่าเป็นบวก นั่นคือสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

8.3.3 อสมการกำหนดให้ผลิตได้ไม่เกินคาบเวลาผลิตที่มี

$$\sum_{j=1}^N Xd_{j,k,m} \leq S \quad ; \quad \forall k, \forall m \quad (5d)$$

สมการ (5d) หมายถึง บนเครื่องจักร k รอบการผลิต m จำสามารถผลิตได้ไม่เกิน S คาบเวลาผลิต

8.3.4 อสมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Xd_{j,k,m} + Z_{j,k,m}$ กับค่า $Y_{j,k,m}$

$$MY_{j,k,m} \geq Xd_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (6d)$$

$$Y_{j,k,m} \leq MXd_{j,k,m} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (7d)$$

$$Y_{j,k,m} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (8d)$$

สมการ (6d), (7d) และ (8d) จะบังคับให้ค่า $Y_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อ $Xd_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่า 0 นอกเหนือจากนั้น $Y_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 0

8.3.5 อสมการกำหนดให้ผลิตได้ไม่เกินคาบเวลาผลิตที่มี

$$Xd_{j,k,m} \geq Xe_{j,k,m} - Rp \quad ; \quad \forall k, \forall m \quad (9d)$$

สมการ (9d) หมายถึง $Xd_{j,k,m}$ ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ $Xe_{j,k,m} - Rp$

8.3.6 อสมการกำหนดให้ผลิตได้ไม่เกินคาบเวลาผลิตที่มี

$$Xd_{j,k,m} \geq 0 \quad ; \quad \forall j, \forall k, \forall m \quad (10d)$$

สมการ (10d) หมายถึง $Xd_{j,k,m}$ ทุกตัวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

9. ตัวอย่างการคำนวณและผลลัพธ์จากวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม

จากตัวอย่างการคำนวณและผลลัพธ์จากวิธีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ จะเห็นได้ว่าได้ผลคำตอบซึ่งเป็นตารางการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ทำให้เกิดต้นทุนในการดำเนินการผลิตต่ำที่สุด ในหัวข้อนี้เราจะทำการนำปัญหาเดียวกันมาหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม มีรายละเอียดดังนี้

9.1 การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

9.1.1 พารามิเตอร์

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหาการจัดตารางการผลิต ดังนี้

- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) = 3 ชนิดผลิตภัณฑ์
- จำนวนเครื่องจักร (P) = 3 เครื่องจักร
- จำนวนคาบเวลาผลิต (S) = 5 คาบเวลา
- จำนวนรอบการผลิต (W) = 3 รอบ
- ค่าใช้จ่ายการเตรียมงานเฉลี่ย

$$Sc_{Avg} = Sc \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^P Sc_{i,j,k}}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^P G_{i,j,k}} = 2,500 \left(\frac{32.5}{18} \right) = 4,513.89 \text{ บาทต่อครั้ง}$$

- ค่าใช้จ่ายการผลิต (Pc) = 15,000 บาทต่อคาบเวลาผลิต
- ค่าใช้จ่ายสต็อกคลัง (Hc) = 100 บาทต่อพื้นที่รอบการผลิต
- เวลาการผลิตในแต่ละคาบเวลาผลิต (Pt) = 7 ชั่วโมง
- กำลังการผลิต ($Uph_{j,k}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2
- ปริมาณความต้องการ ($D_{j,m}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3
- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่บนมือ (Oh_j) = {0, 0, 0, 0} พื้นที่
- ค่า M = 1,000,000

9.1.2 ผลลัพธ์จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

จากพารามิเตอร์ข้างต้น แก้ปัญหาโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิต ($Xa_{j,k,m}$) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ปริมาณพัสดุคงคลังแสดงในตารางที่ 5.2 ค่า $y_{j,k,m}$ แสดงในตารางที่ 5.3 เกิดต้นทุนการผลิต 634,958.85 บาท ต้นทุนพัสดุคงคลัง 4,100 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 49,652.78 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 688,711.63 บาท

ตารางที่ 5.1 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	2.75	0	0
	2	5	4.94	5
	3	0	0	0
2	1	0	5	5
	2	0	0	0
	3	4.39	0	0.73
3	1	2.11	0	0
	2	0	0	0
	3	0	3.70	3.70

ตารางที่ 5.2 ปริมาณพัสดุคงคลังจากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	0	9	0
2	32	0	0
3	0	0	0

ตารางที่ 5.3 ค่า $y_{j,k,m}$ จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	1	0	0
	2	1	1	1
	3	0	0	0
2	1	0	1	1
	2	0	0	0
	3	1	0	1
3	1	1	0	0
	2	0	0	0
	3	0	1	1

9.2 คำนวณหาค่า $Z_{j,k,m}$

หาค่า $Z_{j,k,m}$ เพื่อเก็บลักษณะการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริงโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ก่อนทำการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม โดยค่า $Z_{j,k,m}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อค่า $Xa_{j,k,m}$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงค่า $Z_{j,k,m}$ ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่า $Z_{j,k,m}$ จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนจริง

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	1	0	0
	2	1	1	1
	3	0	0	0
2	1	0	1	1
	2	0	0	0
	3	1	0	0
3	1	1	0	0
	2	0	0	0
	3	0	1	1

9.3 การวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็มโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

9.3.1 พารามิเตอร์

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการวางแผนกำลังการผลิต ดังนี้

- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) = 4 ชนิดผลิตภัณฑ์
- จำนวนเครื่องจักร (P) = 3 เครื่องจักร
- จำนวนคาบเวลาผลิต (S) = 5 คาบเวลา
- จำนวนรอบการผลิต (W) = 3 รอบ
- ค่าใช้จ่ายการผลิต (Pc) = 15,000 บาทต่อคาบเวลาผลิต
- ค่าใช้จ่ายพัสดุคงคลัง (Hc) = 100 บาทต่อพื้นที่ต่อรอบการผลิต
- เวลาการผลิตในแต่ละคาบเวลาผลิต (Pt) = 7 ชั่วโมง
- กำลังการผลิต ($Uph_{j,k}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2
- ปริมาณความต้องการ ($D_{j,m}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3
- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่บนมือ (Oh_j) = {0, 0, 0, 0} พันชิ้น
- ค่า $M = 1,000,000$
- ค่า $Z_{j,k,m}$ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.4

9.3.2 ผลลัพธ์จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

จากพารามิเตอร์ข้างต้น แก้ปัญหาโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนกำลังการผลิต ($xb_{j,k,m}$) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ปริมาณพัสดุคงคลังแสดงในตารางที่ 5.6 ค่า $y_{j,k,m}$ แสดงในตารางที่ 5.7 เกิดต้นทุนการผลิต 660,000 บาท ต้นทุนพัสดุคงคลัง 13,800 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 12,000,000 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 12,673,800 บาท

ตารางที่ 5.5 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	2	0	0
	2	5	5	5
	3	1	0	0
2	1	0	5	5
	2	0	0	0
	3	4	2	0
3	1	3	0	0
	2	0	0	0
	3	0	3	4

ตารางที่ 5.6 ปริมาณพัสดุคงคลังจากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	0.1	11.1	2.1
2	20.4	48.6	26.6
3	16.7	3.4	9

ตารางที่ 5.7 ค่า $y_{j,k,m}$ จากการวางแผนกำลังการผลิตเป็นจำนวนเต็ม

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	1	0	0
	2	1	1	1
	3	1	0	0
2	1	0	1	1
	2	0	0	0
	3	1	1	0
3	1	1	0	0
	2	0	0	0
	3	0	1	1

9.4 การจัดลำดับการผลิตโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

ในส่วนนี้เป็นขั้นตอนการนำแผนกำลังการผลิตจากหัวข้อ 7.3 ซึ่งแสดงในตาราง 5.5 มาทำการจัดลำดับการผลิตโดยจะจัดลำดับที่ละเครื่องจักร

9.4.1 การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1

7.4.1.1 พารามิเตอร์

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหาการจัดตารางการผลิตดังนี้

- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) = 3 ชนิดผลิตภัณฑ์
- จำนวนลำดับการผลิต (Q) = 5 ลำดับการผลิต
- จำนวนรอบการผลิต (W) = 3 รอบการผลิต
- เวลาเตรียมงานของเครื่องจักร 1 แสดงในตาราง 5.8
- ชนิดผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (Ps) บนเครื่องจักร 1 คือ 0
- ค่า $Pp_{b,i}$ แสดงในตาราง 5.9
- ค่า $Tw^1 = 2, Tw^2 = 3, Tw^3 = 5$
- ค่า Wp_b^m แสดงในตาราง 5.10

ตารางที่ 5.8 ค่าเวลาเตรียมงานของเครื่องจักรที่ 1 จากการจัดลำดับการผลิต

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เวลาเตรียมงาน
0	0	0
0	1	0
0	2	0
0	3	0
1	0	0
1	1	0
1	2	1.7
1	3	2
2	0	0
2	1	2.5
2	2	0
2	3	1.6
3	0	0
3	1	1.4
3	2	1.7
3	3	0

ตารางที่ 5.9 ค่า $Pp_{b,t}$ จากการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1

ผลิตภัณฑ์ (j)	ลำดับการผลิต (t)			
	1	2	3	4
0	0	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	0	1	1
3	1	1	0	0

ตารางที่ 5.10 ค่า Wp_b^m จากการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1

ผลิตภัณฑ์ (j)	Wp_b^1	Wp_b^2	Wp_b^3
0	0	0	0
1	1	0	0
2	0	1	1
3	1	0	0

9.4.1.2 ผลลัพธ์ของการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1

การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ผลค่าตัวแปรตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 5.11 ได้ลำดับการผลิตแสดงในตารางที่ 5.12 สูญเสียเวลาเตรียมงานแสดงในตารางที่ 5.13 รวมเป็นค่าเป้าหมายคือผลรวมของเวลาเตรียมงานรวมเท่ากับ 3.1 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.11 ค่าตัวแปรตัดสินใจการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 จากการจัดลำดับการผลิต

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	ลำดับการผลิต (t)			
		1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0
0	3	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
1	2	0	0	1	0
1	3	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
2	2	0	0	0	1
2	3	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
3	1	0	1	0	0
3	2	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0

ตารางที่ 5.12 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 จากการจัดลำดับการผลิต

	ลำดับการผลิต (<i>t</i>)				
	<i>Ps</i>	1	2	3	4
ผลิตภัณฑ์ (<i>j</i>)	0	3	1	2	2

ตารางที่ 5.13 เวลาเตรียมงานบนเครื่องจักรที่ 1 จากการจัดลำดับการผลิต

	ลำดับการผลิต (<i>t</i>)			
	1	2	3	4
เวลาเตรียมงาน	0	1.4	1.7	0

9.4.2 การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2

9.4.2.1 พารามิเตอร์

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหาการจัดตารางการผลิต

ดังนี้

- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (*N*) = 3 ชนิดผลิตภัณฑ์
- จำนวนลำดับการผลิต (*Q*) = 3 ลำดับการผลิต
- จำนวนรอบการผลิต (*W*) = 3 รอบการผลิต
- เวลาเตรียมงานของเครื่องจักร 2 แสดงในตาราง 5.14
- ชนิดผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (*Ps*) บนเครื่องจักร 2 คือ 1
- ค่า $Pp_{j,t}$ แสดงในตาราง 5.15
- ค่า $Tw^1 = 1, Tw^2 = 2, Tw^3 = 3$
- ค่า Wp_j^m แสดงในตาราง 5.16

ตารางที่ 5.14 ค่าเวลาเตรียมงานของเครื่องจักรที่ 2 จากการจัดลำดับการผลิต

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เวลาเตรียมงาน
0	0	0
0	1	0
0	2	0
0	3	0
1	0	0
1	1	0
1	2	2.4
1	3	2.3
2	0	0
2	1	1.1
2	2	0
2	3	2
3	0	0
3	1	1.1
3	2	1.3
3	3	0

ตารางที่ 5.15 ค่า $Pp_{b,t}$ จากการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2

ผลิตภัณฑ์ (j)	ลำดับการผลิต (t)		
	1	2	3
0	0	0	0
1	1	1	1
2	0	0	0
3	0	0	0

ตารางที่ 5.16 ค่า Wp_b^m จากการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2

ผลิตภัณฑ์ (j)	Wp_b^1	Wp_b^2	Wp_b^3
0	0	0	0
1	1	1	1
2	0	0	0
3	0	0	0

9.4.2.2 ผลลัพธ์ของการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2

การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2 โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ผลค่าตัวแปรตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 5.17 ได้ลำดับการผลิตแสดงในตารางที่ 5.18 สูญเสียเวลาเตรียมงานแสดงในตารางที่ 5.19 รวมเป็นค่าเป้าหมายคือผลรวมของเวลาเตรียมงานรวมเท่ากับ 0 ชั่วโมง (ไม่สูญเสียเวลาเตรียมงาน)

ตารางที่ 5.17 ค่าตัวแปรตัดสินใจการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	ลำดับการผลิต (t)		
		1	2	3
0	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	2	0	0	0
0	3	0	0	0
1	0	0	0	0
1	1	1	1	1
1	2	0	0	0
1	3	0	0	0
2	0	0	0	0
2	1	0	0	0
2	2	0	0	0
2	3	0	0	0
3	0	0	0	0
3	1	0	0	0
3	2	0	0	0
3	3	0	0	0

ตารางที่ 5.18 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2 จากการจัดลำดับการผลิต

	ลำดับการผลิต (t)			
	P_s	1	2	3
ผลิตภัณฑ์ (j)	1	1	1	1

ตารางที่ 5.19 เวลาเตรียมงานบนเครื่องจักรที่ 2 จากการจัดลำดับการผลิต

	ลำดับการผลิต (t)				
	1	2	3	4	5
เวลาเตรียมงาน	0	0	0	0	0

9.4.3 การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3

9.4.3.1 พารามิเตอร์

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของปัญหาการจัดตารางการผลิต

ดังนี้

- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) = 3 ชนิดผลิตภัณฑ์
- จำนวนลำดับการผลิต (Q) = 6 ลำดับการผลิต
- จำนวนรอบการผลิต (W) = 3 รอบการผลิต
- เวลาเตรียมงานของเครื่องจักร 3 แสดงในตาราง 5.20
- ชนิดผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (P_s) บนเครื่องจักร 3 คือ 2
- ค่า $Pp_{j,t}$ แสดงในตาราง 5.21
- ค่า $Tw^1 = 2, Tw^2 = 4, Tw^3 = 6$
- ค่า Wp_j^m แสดงในตาราง 5.22



ตารางที่ 5.20 ค่าเวลาเตรียมงานของเครื่องจักรที่ 3 จากการจัดลำดับการผลิต

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	เวลาเตรียมงาน
0	0	0
0	1	0
0	2	0
0	3	0
1	0	0
1	1	0
1	2	2.3
1	3	1.3
2	0	0
2	1	2.1
2	2	0
2	3	2
3	0	0
3	1	1.2
3	2	2.5
3	3	0



ตารางที่ 5.21 ค่า $Pp_{b,t}$ จากการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3

ผลิตภัณฑ์ (j)	ลำดับการผลิต (t)					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0
3	0	0	1	1	1	0

ตารางที่ 5.22 ค่า Wp_b^m จากการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3

ผลิตภัณฑ์ (j)	Wp_b^1	Wp_b^2	Wp_b^3
0	0	0	1
1	1	0	0
2	1	1	0
3	0	1	1

9.4.3.2 ผลลัพธ์ของการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3

การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3 โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ผลค่าตัวแปรตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 5.23 ได้ลำดับการผลิตแสดงในตารางที่ 5.24 สูญเสียเวลาเตรียมงานแสดงในตารางที่ 5.25 รวมเป็นค่าเป้าหมายคือผลรวมของเวลาเตรียมงานรวมเท่ากับ 6.4 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.23 ค่าตัวแปรตัดสินใจการจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3

ผลิตภัณฑ์ (i)	ผลิตภัณฑ์ (j)	ลำดับการผลิต (t)					
		1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	2	0	1	0	0	0	0
1	3	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0
2	2	0	0	1	0	0	0
2	3	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1
3	1	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	1	0

ตารางที่ 5.24 ลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ 3 จากการจัดลำดับการผลิต

	ลำดับการผลิต (t)						
	Ps	1	2	3	4	5	6
ผลิตภัณฑ์ (j)	2	1	2	2	3	3	0

ตารางที่ 5.25 เวลาเตรียมงานบนเครื่องจักรที่ 3 จากการจัดลำดับการผลิต

	ลำดับการผลิต (t)					
	1	2	3	4	5	6
เวลาเตรียมงาน	2.1	2.3	0	2	0	0

9.5 การพิจารณาความเหมาะสมของตารางการผลิต

เมื่อถึงจุดนี้ จะสามารถได้ตารางการผลิตจากการนำผลลัพธ์จากการวางแผนกำลังการผลิตและการจัดลำดับการผลิตมาประกอบกัน โดยตารางการผลิตที่ได้จากขั้นตอนข้างต้นสามารถแสดงในตารางที่ 5.26

ตารางที่ 5.26 ตารางการผลิตจากการวางแผนกำลังการผลิตและจัดลำดับการผลิต

เครื่องจักร (k)	รอบผลิต 1					รอบผลิต 2					รอบผลิต 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	3	3	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	0

จากตารางการผลิตในตารางที่ 5.26 เมื่อนำมาพิจารณาการตอบสนองความต้องการของลูกค้าพบว่า ตารางการผลิตนี้ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ โดยทางผู้วิจัยพิจารณาจากปริมาณพัสดุดังคล้ง ซึ่งยังมีค่าติดลบอยู่ แสดงในตารางที่ 5.27

ตารางที่ 5.27 ปริมาณพัสดุดังกล่าวที่ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	-12.15	-1.15	-10.15
2	10.51	30.55	8.55
3	16.7	-2	3.6

จากตาราง 5.27 พบว่าปริมาณพัสดุดังกล่าวมีค่าลบ หมายถึงไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ โดยสาเหตุของการเกิดปริมาณพัสดุดังกล่าวเป็นลบ เนื่องจากในขั้นตอนการวางแผนกำลังการผลิต ผู้วิจัยกำหนดให้ไม่มีการพิจารณาเวลาเตรียมงาน ซึ่งเมื่อพิจารณาเวลาในการทำงานที่สูญเสียไปกับเวลาการเตรียมงาน ทำให้ปริมาณพัสดุดังกล่าวมีค่าติดลบ ดังนั้นการปรับปรุงตารางการผลิตให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

9.6 การปรับปรุงตารางการผลิตให้มีความเหมาะสมรอบที่ 1

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำตารางการผลิตในขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการปรับปรุงให้เหมาะสมโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ มีรายละเอียดดังนี้

9.6.1 พารามิเตอร์

- กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการปรับปรุงตารางการผลิตมีดังนี้
- จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ (N) = 4 ชนิดผลิตภัณฑ์
 - จำนวนเครื่องจักร (P) = 3 เครื่องจักร
 - จำนวนคาบเวลาผลิต (S) = 5 คาบเวลา
 - จำนวนรอบการผลิต (W) = 3 รอบ
 - ค่าใช้จ่ายการผลิต (P_c) = 15,000 บาทต่อคาบเวลาผลิต
 - ค่าใช้จ่ายพัสดุดังกล่าว (H_c) = 100 บาทต่อพื้นที่ขึ้นต่อรอบการผลิต
 - เวลาการผลิตในแต่ละคาบเวลาผลิต (P_t) = 7 ชั่วโมง
 - กำลังการผลิต ($Uph_{j,k}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2
 - ปริมาณความต้องการ ($D_{j,m}$) แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3
 - ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่บนมือ (Oh_j) = {0, 0, 0, 0} พื้นที่ขึ้น
 - ค่า M = 1,000,000
 - ค่า $Xe_{j,k,m}$ แสดงในตารางที่ 5.5
 - ค่า $St_{j,k,m}$ แสดงในตารางที่ 5.28
 - ค่า Rp = 1

ตารางที่ 5.28 ค่าเวลาเตรียมงาน $St_{j,k,m}$

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	1.4	0	0
	2	0	0	0
	3	2.1	0	0
2	1	0	1.7	0
	2	0	0	0
	3	2.3	0	0
3	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	2	0

9.6.2 ผลลัพธ์จากรูปแบบคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงตารางการผลิต

จากพารามิเตอร์ข้างต้น การแก้ปัญหาโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงตารางการผลิต ได้ผลลัพธ์ ($Xd_{j,k,m}$) ดังแสดงในตารางที่ 5.29 ปริมาณพัสดุดังแสดงในตารางที่ 5.30 ค่า $y_{j,k,m}$ แสดงในตารางที่ 5.31 เกิดต้นทุนการผลิต 660,000 บาท ต้นทุนพัสดุดัง 7,029 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 13,000,000 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 13,667,029 บาท

ตารางที่ 5.29 จำนวนคาบเวลาการผลิตที่ใช้ ($Xd_{j,k,m}$)

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	3	0	0
	2	5	5	5
	3	0	0	0
2	1	0	5	4
	2	0	0	0
	3	4	1	2
3	1	2	0	0
	2	0	0	0
	3	1	4	3

ตารางที่ 5.30 ปริมาณพัสดุคงคลัง ($I_{j,m}$)

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	1.36	12.36	3.36
2	10.51	0.45	5.05
3	16.7	16.9	3.6

ตารางที่ 5.31 ค่า $Y_{j,k,m}$

ผลิตภัณฑ์ (j)	เครื่องจักร (k)	รอบการผลิต (m)		
		1	2	3
1	1	1	0	0
	2	1	1	1
	3	0	0	0
2	1	0	1	1
	2	0	0	0
	3	1	1	1
3	1	1	0	0
	2	0	0	0
	3	1	1	1

9.7 การจัดลำดับการผลิต

หลังจากทำการปรับปรุงตารางการผลิต จากนั้นทำการจัดลำดับการผลิต ซึ่งวิธีการเหมือนกันกับการจัดลำดับการผลิตในหัวข้อ 7.4 โดยใช้ข้อมูลจากการปรับปรุงแผนการผลิต ผลการจัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร 1, 2 และ 3 แสดงในตารางที่ 5.32, 5.33 และ 5.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.32 เวลาเตรียมงานบนเครื่องจักรที่ 1

	ลำดับการผลิต (t)				
	1	2	3	4	5
ผลิตภัณฑ์ (j)	3	1	2	2	0

ตารางที่ 5.33 เวลาเตรียมงานบนเครื่องจักรที่ 2

	ลำดับการผลิต (t)		
	1	2	3
ผลิตภัณฑ์ (j)	1	1	1

ตารางที่ 5.34 เวลาเตรียมงานบนเครื่องจักรที่ 3

	ลำดับการผลิต (t)					
	1	2	3	4	5	6
ผลิตภัณฑ์ (j)	2	3	3	2	2	3

9.8 การพิจารณาความเหมาะสมของตารางการผลิต

จากการปรับปรุงตารางการผลิตรอบที่ 1 ได้ตารางการผลิตดังแสดงในตารางที่ 5.35 และค่าปริมาณพัสดุดังกล่าว แสดงในตารางที่ 5.36

ตารางที่ 5.35 ตารางการผลิตหลังการปรับปรุงรอบที่ 1

เครื่องจักร (k)	รอบผลิต 1					รอบผลิต 2					รอบผลิต 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3

ตารางที่ 5.36 ปริมาณพัสดुकคงคลังหลังการปรับปรุงรอบที่ 1

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	1.36	12.36	3.36
2	20.4	-0.41	4.19
3	11.3	16.9	-1.8

เนื่องจากตารางการผลิตที่ได้ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงตารางการผลิตต่อไป

9.9 การปรับปรุงตารางการผลิตรอบที่ 2

ทำการปรับปรุงตารางการผลิตและจัดลำดับการผลิตในทำนองเดียวกันกับการปรับปรุงตารางการผลิตในรอบแรก จะได้ตารางการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 5.37 และทำการตรวจสอบปริมาณพัสดुकคงคลัง แสดงในตารางที่ 5.38

ตารางที่ 5.37 ตารางการผลิตหลังการปรับปรุงรอบที่ 2

เครื่องจักร (k)	รอบผลิต 1					รอบผลิต 2					รอบผลิต 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3

ตารางที่ 5.38 ปริมาณพัสดुकคงคลังหลังการปรับปรุงรอบที่ 2

ผลิตภัณฑ์ (j)	รอบการผลิต (m)		
	1	2	3
1	1.36	12.36	3.36
2	15.74	3.09	11.19
3	11.3	16.9	17.1

เมื่อตารางการผลิตสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ถือเป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกอัลกอริทึม โดยจะถือตารางการผลิตในการปรับปรุงตารางการผลิตรอบสุดท้ายเป็นคำตอบของฮิวริสติกอัลกอริทึม ซึ่งสำหรับปัญหานี้ ผลลัพธ์ของฮิวริสติกอัลกอริทึมคือ ตารางการผลิตที่แสดงในตารางที่ 5.37 เกิดต้นทุนการผลิต 675,000 บาท ต้นทุนพัสดุคงคลัง 9,240 บาท ต้นทุนเตรียมงาน 24,000 บาท รวมเป็นค่าเป้าหมาย 708,240 บาท โดยสำหรับปัญหานี้ วิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมใช้เวลาในการประมวลผล 48 วินาที