บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

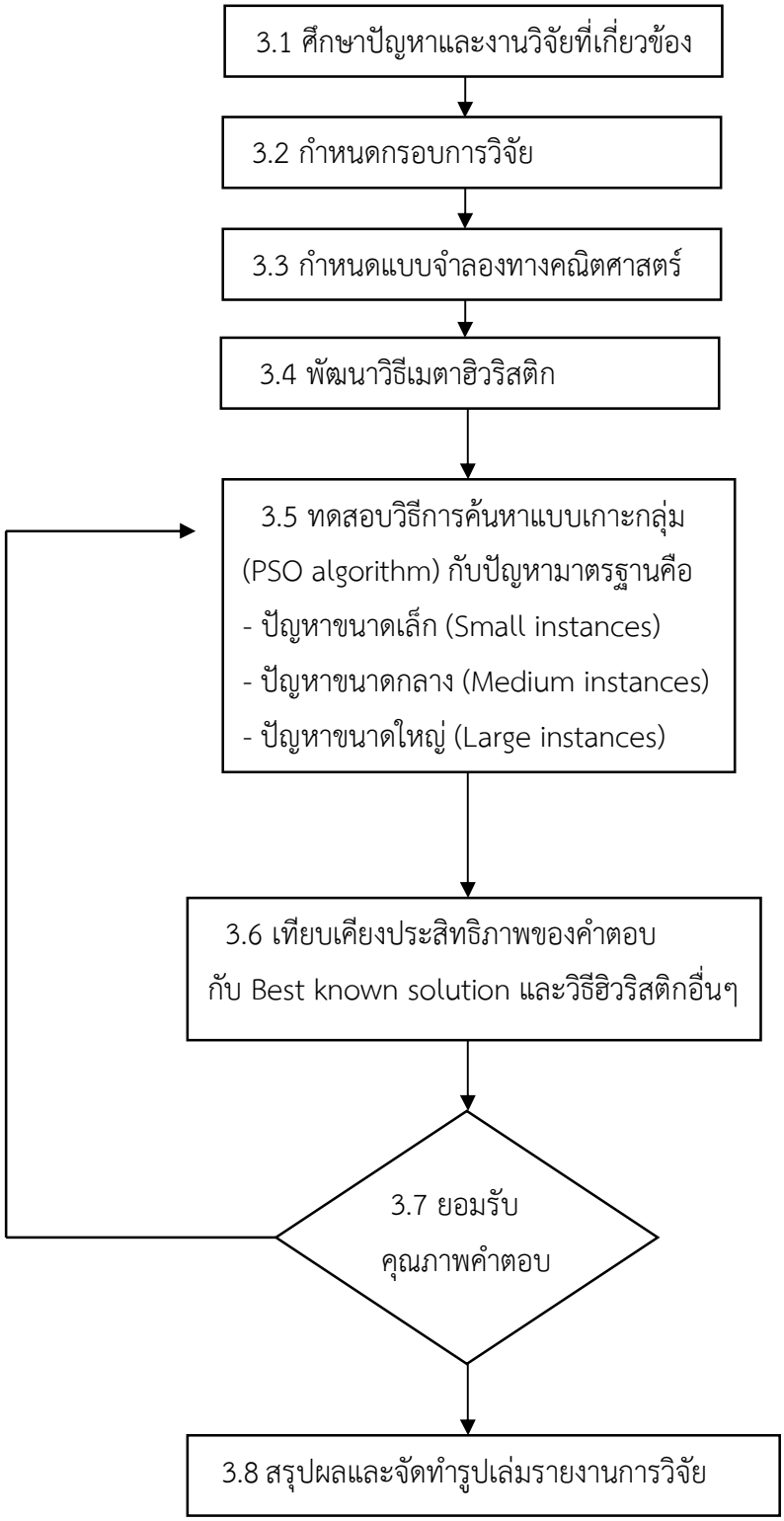
ในบทนี้กล่าวถึงตอนขั้นและระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย โดยมีแผนการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตที่เหมาะสมแบบหลายระดับขั้น (Multi level lot-sizing problem: MLLS) มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษารูปแบบปัญหาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารูปแบบของปัญหารวมไปถึงหลักการ ทฤษฎี ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) ในการแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตที่เหมาะสมแบบหลายระดับขั้น ศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบทั้งแบบวิธีที่ดีที่สุด (Exact Method) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic Method) จากงานวิจัยทั้งในประเทศต่างประเทศ รายละเอียดในบทที่ 2

3.2 กำหนดกรอบการวิจัย

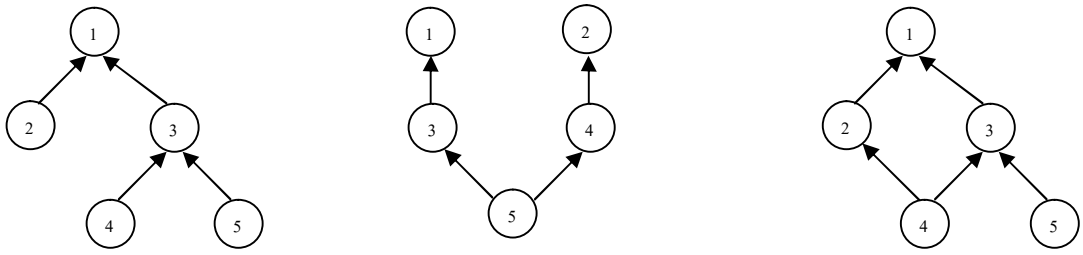
หลังจากทำการศึกษาปัญหาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยเริ่มกำหนดลักษณะของปัญหาที่ต้องการศึกษา กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย และข้อตกลงในการวิจัย ดังรายละเอียดในบทที่ 1



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนแผนการดำเนินงานวิจัย

3.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการวางแผนการผลิตแบบหลายระดับขั้น (Multi level lot-sizing problem: MLLS) สามารถอธิบายได้ในรูปแบบโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (Product structure) พื้นฐาน ดังรูปที่ 3.2



(3.2.1) (3.2.2) (3.2.3)

ภาพที่ 3.2 โครงสร้างผลิตภัณฑ์พื้นฐาน

รูปที่ 3.2.1 โครงสร้างแบบสายการประกอบ (Assembly system) ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีเพียงชิ้นเดียวแต่มีหลายชิ้นส่วนประกอบหรือโหนดพ่อแม่สามารถมีลูกได้หลายคนแต่ลูกมีพ่อแม่ได้คนเดียว

รูปที่ 3.2.2 โครงสร้างแบบลำดับ (Serial system) แต่ละชิ้นส่วนมีความสัมพันธ์กันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง นั่นคือโหนดพ่อแม่สามารถมีลูกได้เพียงคนเดียวและโหนดลูกมีพ่อแม่ได้คนเดียวเช่นกัน

รูปที่ 3.2.3 โครงสร้างแบบทั่วไป (General system) โครงสร้างผลิตภัณฑ์แบบนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างโหนดพ่อแม่และโหนดลูกได้มากกว่าหนึ่ง นั่นคือโหนดพ่อแม่สามารถมีลูกได้มากกว่าหนึ่ง และโหนดลูกสามารถมีพ่อแม่ได้มากกว่าหนึ่งเช่นกัน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางแผนการผลิตแบบหลายระดับขั้น (MLLS) มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือการหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลรวมของค่าติดตั้งเครื่องจักร (Setup cost) และค่าใช้จ่ายการถือครองสินค้าคงคลัง (Inventory holding cost) มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง(Parameters)

l_i เวลานำพาของชิ้นส่วน i

i หมายเลขกำกับแต่ละชิ้นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

c_{ji} จำนวนส่วนประกอบที่ชิ้นส่วน i ต้องการส่วนประกอบจากชิ้นส่วน j

E_{it} ความต้องการจากภายนอกที่ต้องการผลิตภัณฑ์ i ในแต่ละช่วงเวลา t

h_i ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเก็บรักษาสินค้าคงเหลือให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ (Inventory holding cost) สำหรับชิ้นส่วนประกอบ i

$I_{i,0}$ สินค้าคงเหลือเริ่มต้นในคลังสินค้าของผลิตภัณฑ์ i

s_i ค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือจัดซื้อ (Setup cost) สำหรับส่วนประกอบ i ใดๆ

P จำนวนชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดในโครงสร้างผลิตภัณฑ์

T ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$d_{i,t}$ ความต้องการส่วนประกอบ i ในช่วงเวลา t ใดๆ

I_{it} ปริมาณสินค้าคงเหลือทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลา t

x_i ความต้องการสำหรับชิ้นส่วน i ใดๆ เมื่อเริ่มต้นช่วงเวลา t

$y_{i,j}$ เลขฐานสองแสดงการผลิต ($y_{i,j}$ =1) หรือไม่ผลิต ($y_{i,j}$ =0) ในชิ้นส่วน i ใด ๆ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} (s_i y_{i,t} + h_i I_{i,t}) \quad \text{(A1)}$$

ภายใต้เงื่อนไข (Constraints)

$$I_{i,t} = I_{i,t-1} + x_{i,t} - I_{i,t} = I_{i,t-1} + x_{i,t} - \sum_{j \in \Gamma(i)} c_{ij} x_{j,t-l_j} - E_{it} \quad \text{(A2)}$$

$$x_{i,t} - G y_{i,t} \leq 0, \quad \text{(A3)}$$

$$I_{i,t} \geq 0,\ x_{i,t} \geq 0,\ y_{i,t} \geq \{0,1\} \quad \text{(A4)}$$

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ A1 (Objective function) ต้องการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด (Minimal solution) อันเกิดจากผลรวมของค่าใช้จ่ายในการผลิต/ติดตั้งเครื่องจักร (Setup cost) และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการถือครองสินค้าคงคลัง (Inventory holding cost) ภายใต้เงื่อนไข

สมการที่ (A2) เป็นสมการในการหาค่าจำนวนสินค้าคงเหลือในแต่ละช่วงเวลา

สมการที่ (A3) ประกันว่า การผลิตจะไม่เกินค่า G และค่าใช้จ่ายในการผลิต (Setup cost) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสั่งให้ผลิตเท่านั้น และสมการที่ (A4) เป็นการประกันว่าไม่มีการขาดแคลนสินค้า และจำนวนที่ผลิตต้องเป็นจำนวนเต็มศูนย์หรือจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

3.4 พัฒนาวิธีเมตาฮิวริสติก

หลังจากทำการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดขนาดการผลิตหลายระดับขั้นแบบไม่จำกัดทรัพยากร (Multi level lot-sizing problem; MLLS) ได้สมการเป้าหมาย (Objective function) รวมไปถึงสมการเงื่อนไข (Constraints) เรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มดำเนินการค้นหาวิธีในการแก้ปัญหา จากการทบทวนงานวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า มี 2 วิธีที่ได้รับความนิยมได้แก่

(1) วิธี Exact Method เป็นวิธีที่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) แต่ใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบนาน ในบางกรณีอาจใช้เวลาเป็นเดือน หรือปี กว่าจะได้คำตอบที่ต้องการจากปัญหาที่ต้องการแก้ไข จนบางครั้งอาจไม่ทันเวลา

(2) วิธีฮิวริสติก (Heuristic) คำตอบที่ได้จากวิธีนี้ไม่สามารถรับประกันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบที่ได้ส่วนใหญ่เป็นคำตอบที่ดี ที่ใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

เนื่องจากปัญหาการจัดขนาดการผลิตที่เหมาะสมแบบหลายระดับ เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนระดับ NP-Complete จากการทบทวนงานวรรณกรรมที่ผ่านมา กล่าวคือ ไม่มีผู้ใดสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในช่วงเวลา Polynomial Time ดังนั้นในการศึกษา วิจัย และพัฒนาอัลกอริทึมในครั้งนี้ จึงมุ่งพัฒนากระบวนการฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ปัญหานี้

การพัฒนาวิธีฮิวริสติก เริ่มตั้งแต่การพัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบเริ่มต้น(Initial solution) จากการทบทวนงานวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า ในการแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตแบบหลายระดับขั้น ได้นำวิธีที่สามารถแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตระดับเดียวมาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาสู่การแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตแบบหลายระดับ วิธีที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีวิธีการแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตระดับเดียวที่ดีได้แก่

1.) วิธีของ Wagner และ Whitin(1958) ที่อาศัยวิธีการวนซ้ำ (Recursion) แบบ Dynamic Programming (DP) เป็นวิธี Exact method และพบว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) จากการนำมาแก้ปัญหาการจัดขนาดการผลิตระดับเดียว (Single level lot-sizing) มีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

ทำการผลิตที่คาบเวลา t เท่ากับศูนย์ (Q_t =0) หรือ ผลิตเท่ากับจำนวนความต้องการในคาบเวลา t ถึง k สำหรับบางค่าของ k เมื่อ $k \geq t$ ($Q_t = D_t + \ldots + D_k$) ถ้าคาบเวลา J_k คือ คาบเวลาสุดท้ายของการผลิตในปัญหาที่ต้องทำการวางแผนผลิต k- คาบเวลา ดังนั้น เราจะทำการผลิตเท่ากับ $D_{jk} + \ldots + D_k$ ในคาบเวลาที่ J_k โดยที่เราสามารถพิจารณาเริ่มต้นการผลิตในช่วงเวลาผลิตนั้นๆ ตามวิธีการของ Wagner and Whitin ได้แสดงในตัวอย่าง

กำหนดให้

t คาบเวลา(อาจเป็นวัน/สัปดาห์/เดือน)เมื่อ T แสดงระยะเวลาทั้งหมดในการวางแผน

D_t ความต้องการสินค้าในคาบเวลา t

c_t ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าต่อชิ้น(บาท/ชิ้น) ในคาบเวลา t

A_t ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต/สั่งซื้อ ในคาบเวลา t (บาท/ครั้ง)

ht ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าในคาบเวลา t (บาท/ครั้ง)

y_i แทนตัวเลขสองค่าคือ 0 แทน ไม่มีการผลิต และ 1 แทน ผลิต

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมด้วยวิธี Wagner และ Whitin

item	คาบ 1	คาบ 2	คาบ 3	คาบ 4	คาบ 5	คาบ 6	คาบ 7	คาบ 8	คาบ 9	คาบ 10
D_t	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30

กำหนดให้

A_t = 100 บาท/การสั่งผลิตหรือสั่งซื้อ 1 ครั้ง

h_t = 1 บาท/ชิ้น ต่อการถือครองสินค้าคงคลังในแต่ละช่วงเวลา t

และต้องผลิตในคาบเวลา t = 1 เสมอ

ขั้นตอนที่ 1

ตั้งค่า Z_1^* = A_1 = 100;

J_1^* = 1;

ขั้นตอนที่ 2 เลือกในการผลิต 1, 2

$$Z_2^* = \min \begin{cases} A_1 + h_1 D_2, & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 1} \\ Z_1^* + A_2 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 2} \end{cases}$$

$$Z_2^* = \min \begin{cases} 100 + 1(50) = 150 \\ 100 + 100 = 200 \end{cases}$$

Z_2^* = 150

J_2^* = 1;

ขั้นตอนที่ 3 เลือกในการผลิต 1, 2, 3

$$Z_3^* = \min \begin{cases} A_1 + h_1 D_2 + (h_1 + h_2) D_3, & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 1} \\ Z_1^* + A_2 + h_2 D_3 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 2} \\ Z_2^* + A_3 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 3} \end{cases}$$

$$Z_3^* = \min \begin{cases} 100 + 1(50) + (1+1)10 = 170 \\ 100 + 100 + (1)10 = 210 \\ 150 + 100 = 250 \end{cases}$$

$$Z_3^* = 170$$

$$J_3^* = 1;$$

ขั้นตอนที่ 4 เลือกผลิต 1, 2, 3 และ 4

$$Z_4^* = \min \begin{cases} A_1 + h_1 D_2 + (h_1 + h_2) D_3 + (h_1 + h_2 + h_3) D_4 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 1} \\ Z_1^* + A_2 + h_2 D_3 + (h_2 + h_3) D_4 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 2} \\ Z_2^* + A_3 + (h_3) D_4 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 3} \\ Z_3^* + A_4 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 4} \end{cases}$$

$$Z_4^* = \min \begin{cases} 100 + 1(150) + (1+1)10 + (1+1+1)50 = 320 \\ 100 + 100 + (1)10 + (1+1)50 = 310 \\ 150 + 100 + (1)50 = 300 \\ 170 + 100 = 270 \end{cases}$$

$$Z_4^* = 270$$

$$J_4^* = 4;$$

ขั้นตอนที่ 5 เลือกผลิต 4, 5

$$Z_5^* = \min \begin{cases} Z_3^* + A_4 + h_4 D_5 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 4} \\ Z_4^* + A_5 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 5} \end{cases}$$

$$Z_5^* = \min \begin{cases} 170+100+1(50) = 320 \\ 270+100 = 370 \end{cases}$$

$$Z_5^* = 320$$

$$J_5^* = 4;$$

ขั้นตอนที่ 6 เลือกทำการผลิตคาบที่ 4, 5 และ 6

$$Z_6^* = \min \begin{cases} Z_3^* + A_4 + h_4 D_5 + (h_4 + h_5) D_6, & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 4} \\ Z_4^* + A_5 + (h_5) D_6 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 5} \\ Z_5^* + A_6 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 6} \end{cases}$$

$$Z_6^* = \min \begin{cases} 170+100+1(50)+(1+1)10 = 340 \\ 270+100+1(10) = 380 \\ 320+100 = 420 \end{cases}$$

$$Z_6^* = 340$$

$$J_6^* = 4;$$

ขั้นตอนที่ 7 เลือกทำการผลิตคาบที่ 4, 5, 6 หรือ 7

$$Z_7^* = \min \begin{cases} Z_3^* + A_4 + h_4 D_5 + (h_4 + h_5) D_6 + (h_4 + h_5 + h_6) D_7 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 4} \\ Z_4^* + A_5 + (h_5) D_6 + (h_5 + h_6) D_7 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 5} \\ Z_5^* + A_6 + (h_6) D_7 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 6} \\ Z_6^* + A_7 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 7} \end{cases}$$

$$Z_7^* = \min \begin{cases} 170+100+(1)50+(1+1)10+(1+1+1)20 = 400 \\ 270+100+(1)10+(1+1)20 = 420 \\ 320+100+(1)20 = 440 \\ 340+100 = 440 \end{cases}$$

$$Z_7^* = 400$$

$$J_7^* = 4$$

ขั้นตอนที่ 8 เลือกทำการผลิตคาบที่ 4, 5, 6, 7 หรือ 8

$$Z_8^* = \min \begin{cases} [Z_3^* + A_4 + h_4 D_5 + (h_4 + h_5)D_6 + (h_4 + h_5 + h_6)D_7 \\ \quad + (h_4 + h_5 + h_6 + h_7)D_8] & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 4} \\ Z_4^* + A_5 + (h_5)D_6 + (h_5 + h_6)D_7 + (h_5 + h_6 + h_7)D_8 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 5} \\ Z_5^* + A_6 + (h_6)D_7 + (h_6 + h_7)D_8 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 6} \\ Z_6^* + A_7 + (h_7)D_8 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 7} \\ Z_7^* + A_8 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 8} \end{cases}$$

$$Z_8^* = \min \begin{cases} 170 + 100 + (1)50 + (1+1)10 + (1+1+1)20 + (1+1+1+1)40 = 560 \\ 270 + 100 + (1)10 + (1+1)20 + (1+1+1+1)40 = 540 \\ 320 + 100 + (1)20 + (1+1)40 = 520 \\ 340 + 100 + (1)40 = 480 \\ 400 + 100 = 500 \end{cases}$$

$$Z_8^* = 480$$

$$J_8^* = 7$$

ขั้นตอนที่ 9 เลือกทำการผลิตคาบที่ 7, 8 หรือ 9

$$Z_9^* = \min \begin{cases} Z_6^* + A_7 + (h_7)D_8 + (h_7 + h_8)D_9 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 7} \\ Z_7^* + A_8 + (h_8)D_9 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 8} \\ Z_8^* + A_9 & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 9} \end{cases}$$

$$Z_9^* = \min \begin{cases} 340 + 100 + (1)40 + (1+1)20 = 520 \\ 400 + 100 + (1)20 = 520 \\ 480 + 100 = 580 \end{cases}$$

$$Z_9^* = 520$$

$$J_9^* = 7$$

ขั้นตอนที่ 10 ผลิตในคาบที่ 7, 8, 9 หรือ 10

$$Z_{10}^* = \min \begin{cases} Z_6^* + A_7 + (h_7)D_8 + (h_7 + h_8)D_9 + (h_7 + h_8 + h_9)D_{10} & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 7} \\ Z_7^* + A_8 + (h_8)D_9 + (h_8 + h_9)D_{10} & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 8} \\ Z_8^* + A_9 + (h_9)D_{10} & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 9} \\ Z_9^* + A_{10} & \text{ถ้าผลิตในคาบที่ 10} \end{cases}$$

$$Z_{10}^{*} = \min \begin{cases} 340+100+(1)40+(1+1)20+(1+1+1)30 = 610 \\ 400+100+(1)20+(1+1)30 = 580 \\ 520+100 = 610 \\ 520+100 = 620 \end{cases}$$

$$Z_{10}^{*} = 580$$

$$J_{10}^{*} = 8$$

จากผลการคำนวนทั้งหมดสามารถสรุปเป็นตารางที่ 3.1

จากตารางที่ 3.1 มีกระบวนการหาขนาดการผลิตดังนี้ เนื่องจากมีวิธีการของ Wagner และ Whitin มีแนวความคิดพื้นฐานมาจาก dynamics programming ดังนั้นเราจะทำการหาขนาดการผลิตจากคาบเวลาสุดท้ายย้อนกลับมาคาบเวลาแรกซึ่งดำเนินการได้ดังนี้

คาบเวลาที่ 10 มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น 610, 580, 610, 620 หากเริ่มต้นผลิตในคาบเวลาที่ 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับดังนั้นจะทำการผลิตสินค้าในคาบที่ 10 ที่คาบเวลาที่ 8 เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดคือ 580 เมื่อเริ่มต้นการผลิตคาบที่ 10 ที่คาบที่ 8 ดังนั้น ความต้องการในคาบที่ 8, 9 และ 10 จะถูกทำการผลิตในคาบที่ 8 ทั้งหมด รวมจำนวนสินค้าที่ต้องผลิตในคาบที่ 8 เป็น 40+20+30 = 90 ชิ้น

จากการพิจารณาความต้องการในคาบที่ 7 ว่าควรจะผลิตจากคาบเวลาใด พบว่าความต้องการของสินค้าในคาบที่ 7 มีค่าใช้จ้าย ดังนี้ 400, 420, 440 และ 440 หากทำการผลิตในคาบที่ 4, 5, 6 และ 7 พบว่าควรเริ่มต้นการผลิตที่คาบที่ 4 ซึ่งมีปริมาณที่ต้องผลิต คือ 50+50+10+20 = 130 ชิ้น จากนั้นทำการพิจารณาความต้องการในคายที่ 3 พบว่าต้องผลิตในคาบที่ 1 มีค่าเป็น 20+50+10 = 80 ชิ้น ดังนั้นจะตารางที่ 3.2

เมื่อ I_t คือ ปริมาณสินค้าคงคลังปลายงวดที่คาบเวลา t เช่น หากทำการผลิตสินค้าที่คาบเวลาที่ 1 จำนวน 80 ชิ้น คาบที่ 1 มีความต้องการ 20 ชิ้นดังนั้นเหลือเป็นสินค้าคงคลังปลายงวด 60 ชิ้น จากนั้นเหลือเก็บมาถึงคาบที่ 2 จำนวน 60 ชิ้น และคาบที่ 2 มีความต้องการอีก 50 ชิ้น สินค้าคงเหลือจึงถูกใช้ไป เพราะไม่มีการผลิตเพิ่มเติม ดังนั้นสินค้าในคาบที่ 2 จึงเหลือในคลังเป็นจำนวน 10 ชิ้น ซึ่งเพียงพอกับความต้องการในคาบที่ 3 พอดีทำให้คาบที่ 3 ไม่เหลือสินค้าคงคลัง ณ ปลายงวดที่ 3

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการคำนวณค่าใช้จ่ายจากการเริ่มต้นผลิตในคาบต่างๆ

การผลิตคาบสุดท้าย	**คาบเวลา**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	100	150	170	320						
2		200	210	310						
3			250	300						
4				270	320	340	400	560		
5					370	380	420	540		
6						420	440	520		
7							440	480	520	610
8								500	520	580
9									580	610
10										620
Z_t^*	100	150	170	270	320	340	400	480	520	580
J_t^*	1	1	1	4	4	4	4	7	7 or 8	8

ตารางที่ 3.2 แสดงตารางการผลิตของสินค้า

t	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
D_t	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30
Q_t	80	0	0	130	0	0	0	90	0	0
I_t	60	10	0	80	30	20	0	50	30	0

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทำได้ดังนี้ มีการผลิตทั้งสิ้น 3 ครั้ง ครั้งละ 100 บาท รวมเป็น 300 บาท มีสินค้าคงคลังในแต่ละคาบเวลา(มีการถือครองข้ามเพียง 1 คาบเวลา) เป็น 60 + 10 + 80 + 30 + 20 + 50 + 30 = 280 ชิ้น ชิ้นละ 1 บาท รวมค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บเป็น 280 บาท รวมสองค่าใช้จ่ายเป็น 300 + 280 = 580 บาท หากรวมค่าใช้จ่ายในการผลิตด้วย (C_t) ซึ่งมีต้นทุนการผลิตชิ้นละ 10 บาท จำนวนทั้งหมด 300 ชิ้น เป็นเงิน 300 * 10 = 3,000 บาท รวมค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 3,580 บาท

2.) วิธี Silver และ Meal(1973) ได้พัฒนาวิธีฮิวริสติกโดยอาศัยวิธีการของค่าเฉลี่ยของผลรวมจากค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด จากค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักร (Setup cost) และค่าใช้จ่ายในการรักษาสินค้าคงคลัง (Inventory holding cost)

วิธีการนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต่ำที่สุดแต่มีความง่ายและสะดวกในการคำนวนมาก มีหลักการง่ายๆคือ จะมีการผลิตในคาบเวลาที่ทำการตัดสินใจเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั้งค่าใช้จ่ายในการคงคลังวัสดุ (ค่าใช้จ่ายในการในการสั่งผลิต รวมกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ) เฉลี่ยต่อจำนวนคาบเวลาที่ความต้องการในแต่ละคาบเวลาถูกรวมผลิตไว้ในคาบเวลานั้นๆเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1 สินค้าชนิดหนึ่งมีปริมาณความต้องการ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิตแสดงในตารางที่ 3.3 ให้หาขนาดการผลิตที่เหมาะสมสำหรับสินค้าชนิดนี้ด้วยวิธี Silver and Meal heuristics

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง 2.1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
I_t	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

ขั้นที่ 1 ในคาบเวลาที่ 1 จะเริ่มทำการผลิตจำนวน 30 ชิ้น โดยจะเสียค่าใช้จ่าย 10 บาทเป็นค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิตเนื่องจากไม่มีการผลิตไว้ล่วงหน้าจึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บเกิดขึ้น ดังนั้น คาบที่ 1 มีรายการต่างๆ ที่ต้องตรวจสอบและคำนวน ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	1	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10/1=10	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	-	
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	30	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 1 รอบที่ 1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	30									
I_t	0									

ขั้นที่ 2 รวมความต้องการในคาบที่ 2 มาผลิตในคาบที่ 1 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 80 ชิ้นโดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 0.5 บาทเนื่องจาก มีการจัดเก็บจำนวน 50 ชิ้นในปลายคาบที่ 1 และนำไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0.5	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10.5	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	2	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10.5/2=5.25	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	10	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	80	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 2 รอบที่ 1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	80	0								
I_t	50	0								

ขั้นที่ 3 รวมความต้องการในคาบที่ 1, 2 มาผลิตในคาบที่ 1 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 90 ชิ้นโดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 0.7 บาทเนื่องจาก มีการจัดเก็บจำนวน 60 ชิ้นในปลายคาบที่ 1 และ 10 ชิ้นในปลายงวดที่ 2 นำไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0.7	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10.7	บาท

จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	3	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10.7/3=3.567	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	5.25	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	90	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 3 รอบที่ 1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	90	0	0							
I_t	60	10	0							

ขั้นที่ 4 รวมความต้องการในคาบที่ 1, 2, 3 และ 4 มาผลิตในคาบที่ 1 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 110 ชิ้นโดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 1.3 บาทเนื่องจาก มีการจัดเก็บจำนวน 80 ชิ้นในปลายคาบที่ 1 และ 30 ชิ้นในปลายคาบที่ที่ 2 และ 20 ชิ้นในปลายคาบที่ 3 นำไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	1.3	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	11.3	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	4	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	11.3/4=2.825	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	3.567	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	110	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 4 รอบที่ 1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	110	0	0	0						
I_t	80	30	20	0						

ขั้นที่ 5 รวมความต้องการในคาบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มาผลิตในคาบที่ 1 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 180 ชิ้นโดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 4.1 บาทเนื่องจาก มีการจัดเก็บจำนวน 150 ชิ้นในปลายคาบที่ 1 และ 100 ชิ้นในปลายคาบที่ 2 และ 90 ชิ้นในปลายคาบที่ 3 และ 70 ในปลายงวดที่ 4 นำไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	4.1	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	14.1	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	5	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	14.1/5=2.82	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	2.852	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	180	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 5 รอบที่ 1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0					
I_t	150	100	90	70	0					

ขั้นที่ 6 รวมความต้องการในคาบที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มาผลิตในคาบที่ 1 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 260 ชิ้นโดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 8.1 บาทเนื่องจาก มีการจัดเก็บจำนวน 230 ชิ้นในปลายคาบที่ 1 และ 180 ชิ้นในปลายคาบที่ที่ 2 และ 170 ชิ้นในปลายคาบที่ 3 และ 150 ในปลายงวดที่ 4 และ 80 ชิ้นในปลายงวดที่ 5 นำไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	8.1	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	18.1	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	6	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	18.1/6=3.0167	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	2.82	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	180	ชิ้น (ไม่สามารถเพิ่มเป็น 260 ได้)

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 6 รอบที่ 1

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	260	0	0	0	0	0				
I_t	230	180	170	150	80	0				

ดังนั้นจะทำการเริ่มต้นขั้นที่ 1 ใหม่ ณ คาบเวลาที่ไม่สามารถเพิ่มขนาดการผลิตได้นั้นคือในคาบที่ 6 ดังนี้

ขั้นที่ 1 รอบที่ 2 ทำการผลิตจำนวน 80 ชิ้น ซึ่งเกิดจากการรวมความต้องการในคาบที่ 6 มาผลิตในคาบที่ 6 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 80 ชิ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 0 บาท จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10.0	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	1	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10.0/1=10.0	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	-	
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	80	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 1 รอบที่ 2

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0	80				
I_t	150	100	90	70	0	0				

ขั้นที่ 2 รอบที่ 2 ทำการผลิตจำนวน 100 ชิ้น ซึ่งเกิดจากการรวมความต้องการในคาบที่ 6 และ 7 มาผลิตในคาบที่ 6 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 100 ชิ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 0.2 บาท เนื่องจากมีปริมาณสินค้าคงคลังปลายคาบที่ 6 จำนวน 20 ชิ้น จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0.2	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10.2	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	2	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10.2/2=5.1	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	10	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	100	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 2 รอบที่ 2

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0	100	0			
I_t	150	100	90	70	0	20	0			

ขั้นที่ 3 รอบที่ 2 ทำการผลิตจำนวน 160 ชิ้น ซึ่งเกิดจากการรวมความต้องการในคาบที่ 6,7 และ 8 มาผลิตในคาบที่ 6 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 160 ชิ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 1.4 บาท เนื่องจากมีปริมาณสินค้าคงคลังปลายคาบที่ 6 จำนวน 20 ชิ้นและปลายคาบที่ 7 จำนวน 60 ชิ้น จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	1.4	บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	11.4	บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	3	คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	11.4/3=3.8	บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	5.1	(ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	160	ชิ้น

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 3 รอบที่ 2

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0	160	0	0		
I_t	150	100	90	70	0	80	60	0		

ขั้นที่ 4 รอบที่ 2 ทำการผลิตจำนวน 360 ชิ้น ซึ่งเกิดจาการวมความต้องการในคาบที่ 6, 7, 8 และ 9 มาผลิตในคาบที่ 6 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 360 ชิ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 7.4 บาท เนื่องจากมีปริมาณสินค้าคงคลังปลายคาบที่ 6 จำนวน 280 ชิ้นและปลายคาบที่ 7 จำนวน 260 ชิ้น และคาบที่ 8 จำนวน 200 ชิ้น จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต 10 บาท
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 7.4 บาท
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ 17.4 บาท
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่ 4 คาบเวลา
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต 17.4/4=3.35 บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว 3.8 (ลดลงจากคาบที่แล้ว)
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน 160 ชิ้น (ไม่สารถเพิ่มขนาดการผลิตเป็น 360 ได้เนื่องจากคาเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้วน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในคาบปัจจุบัน)

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 4 รอบที่ 2

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0	360	0	0	0	
I_t	150	100	90	70	0	280	260	200	0	

ดังนั้นจะต้องกลับไปใช้ตารางการผลิตในขั้นที่ 3 รอบที่ 2 และทำการเริ่มต้นหาขนาดการผลิตในขั้นที่ 1 รอบที่ 3 ใหม่ ในคาบที่ 9 ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 รอบที่ 3 ทำการผลิตจำนวน 200 ชิ้น ซึ่งเกิดจากการรวมความต้องการในคาบที่ 9 มาผลิตในคาบที่ 9 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 200 ชิ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 0 บาท จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท	
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0	บาท	
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10	บาท	
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	1	คาบเวลา	
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10/1=10		บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	-		
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	200	ชิ้น	

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 1 รอบที่ 3

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0	160	0	0	200	
I_t	150	100	90	70	0	80	60	0	0	

ขั้นที่ 2 รอบที่ 3 ทำการผลิตจำนวน 250 ชิ้น ซึ่งเกิดจากการรวมความต้องการในคาบที่ 9 และ 10 มาผลิตในคาบที่ 9 ดังนั้นจะทำการผลิตจำนวน 250 ชิ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ 0.5 บาท เนื่องจากมีสินค้าคงคลังปลายงวดที่ 9 จำนวน 50 ชิ้น จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวนรายการต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต	10	บาท	
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ	0.5	บาท	
รวมค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ	10.5	บาท	
จำนวนคาบเวลาที่ผลิตรวมในคาบที่	2	คาบเวลา	
เฉลี่ยค่าใช้จ่ายคงคลังวัสดุ/จำนวนคาบที่ผลิต	10.5/2=5.25		บาท/คาบ
ค่าเฉลี่ยเมื่อคาบที่แล้ว	10		
ขนาดการผลิต ณ คาบเวลาปัจจุบัน	250	ชิ้น	

รายละเอียดของแผนการผลิตปัจจุบันแสดงได้ดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 แสดงตารางการผลิตปัจจุบัน ของขั้นที่ 2 รอบที่ 3

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_t	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50
Q_t	180	0	0	0	0	160	0	0	250	0
I_t	150	100	90	70	0	80	60	0	50	0

เมื่อทุกคาบเวลาถูกจัดลงไปในตารางการผลิตได้ข้อสรุปว่าจะดำเนินการผลิตเท่ากับจำนวนที่แสดงไว้ในขั้นที่ 2 รอบที่ 3 คือมีการผลิตเป็นจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่การดำเนินการผลิตในคาบที่ 1,6 และ 9 จำนวน 180,160 และ 250 ชิ้นตามลำดับ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิตครั้งละ 10 บาท ดังนั้นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต 30 บาท และมีสินค้าคงคลังทั้งสิ้น 600 ชิ้น ชิ้นละ 0.01 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บจำนวน 6 บาท รวมค่าใช้จ่ายในการคงคลังวัสดุเป็น 36 บาท

3.) วิธีเกาะกลุ่มประชากรแบบ PSO

PSO เป็นวิธีหนึ่งที่มีนวัตกรรมมาจากพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตเช่น การใช้ชีวิตอยู่ร่วมกันของฝูงนกหรือกลุ่มปลา โดย Kennedy and Eberhart (1995) เป็นผู้นำเสนอวิธีนี้ขึ้นเป็นครั้งแรก สำหรับระบบการเกาะกลุ่มแบบ PSO นั้น สมาชิกแต่ละตัวในกลุ่มถูกเรียกว่า Particle ในขณะที่กลุ่มถูกเรียกว่า Swarm สมาชิกในกลุ่มจะมีการกระจายการเคลื่อนที่ออกไปในพื้นที่ต่างๆ Rui Mendes (2005) ได้อธิบายเกี่ยวกับวิธีการเกาะกลุ่มแบบ PSO ไว้ว่า สมาชิกแต่ละตัว เปรียบเสมือนตัวแทนในการค้นหาคำตอบเพื่อให้พบคำตอบที่ดีที่สุด ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของแต่ละ Particle มีแนวโน้มดึงดูดในการค้นหาตำแหน่ง (Best position) ที่ดีที่สุดทั้งจากตัวของมันเองและสมาชิกที่อยู่ใกล้เคียงกัน (Neighborhood) หลังจากที่สมาชิกทุกตัวในกลุ่มได้ตำแหน่งครบแล้ว สมาชิกที่ได้ตำแหน่งหรือคำตอบที่ดีที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม เรียกว่า Global best หรือ Gbest ส่วนตำแหน่งที่ดีที่สุดที่สมาชิกแต่ละตัวสามารถค้นหาได้ ถูกเรียกว่า Particle best หรือ Pbest สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากแต่ละ Particle กับฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ขึ้นกับแต่ละลักษณะปัญหา โดยรหัสเทียมของวิธีเกาะกลุ่มประชากรแบบพาติเคิลสวอร์มแสดงดังภาพที่ 5.1

```
Initialize parameters
Initialize population
Evaluate
Do
        {
        Find Particle_Best
        Find Global_Best
        Update velocity
        Update position
        Evaluate
        }
While (Termination).
```

ภาพที่ 3.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) ลำดับการทำงานวิธีเกาะกลุ่มแบบ PSO

วิธีการเกาะกลุ่มคำตอบแบบ Particle Swarm Optimization (PSO) สรุปขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

1.) กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

x_i คือ ตำแหน่งปัจจุบันของสมาชิกแต่ละตัว (Particle)

$pop[x_1, x_2, x_{3.....}, x_n]$ คือ กลุ่มของสมาชิก (Swarm)

v_{it} คือ ค่าความเร็วของสมาชิกแต่ละตัว (Particle Velocity) ในช่วงเวลา t ใดๆ

PB_i คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของสมาชิกแต่ละตัว (Particle Best) ในกลุ่มที่สามารถเคลื่อนที่ออกไปได้

GB_i คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของสมาชิกทุกตัวที่สามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ (Global Best)

Terminate criteria เป็นเงื่อนไขของการหยุดการวนรอบของโปรแกรม

2.) แสดงตัวอย่างตัวแทนของปัญหา

กำหนดให้ Particle i เมื่อ T คือจำนวนช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการวางแผนการผลิต

R_t ปริมาณความต้องการสินค้าจากลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา

y_{it} บอกสถานะการวางแผนคือ เมื่อ $y_{it} = 1$ หมายถึง มีการผลิตในช่วงเวลานั้นๆและ $y_{it} = 0$ หมายถึง ไม่มีการผลิตในช่วงเวลานั้นๆ

D_t คือปริมาณความต้องการการสั่งซื้อสินค้าจากภายนอก

v_{it} คือค่าความเร็วของสมาชิกแต่ละตัว (Particle Velocity) ในช่วงเวลา t ใดๆ

Q_{it} คือขนาดของปริมาณการผลิตตามแผนการผลิต x_{it}

$C[x_{it}]$ ผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดจากการติดตั้งและรักษาสินค้าคงคลัง

i คือลำดับตัวเลขของสมาชิกแต่ละตัว

ตารางที่ 3.16 ตัวอย่างการแทนค่าพารามิเตอร์วิธี PSO ในปัญหาการวางแผนการผลิต

T	1	2	3	4	5	6	$F(x_i)$
R_t	100	60	40	50	80	70	
y_{it}	1	0	1	0	1	0	
v_{it}	3.8	2.9	3.0	-0.7	-1.2	3.1	
Q_{it}	160		90		150		
I_{it}	60	0	50	0	70	0	
cI_{it}	60	0	50	0	70	0	
Ax_{it}	100	0	100	0	100	0	
$C[x_{it}]$	160		150		170		480

ตารางที่ 3.16 เป็นการแสดงตัวอย่างการวางแผนการผลิตเมื่อสินค้ามีส่วนประกอบเพียงชิ้นเดียว เมื่อ R_t คือค่าความต้องการสินค้าจากภายนอก แผนการผลิตแสดงเป็นเลข 2 ค่าคือ y_{it} เป็น 1 เมื่อมีการผลิตและเป็น 0 เมื่อไม่มีการผลิต กำหนดให้ ต้นทุนในการติดตั้งเครื่องจักร/ผลิต (Setup cost) A มีค่าเท่ากับ 100 บาทต่อครั้งของการผลิต และต้นทุนในการถือครองสินค้าคงคลัง (Inventory holding cost) c มีค่าเท่ากับ 1 บาทต่อชิ้นผลิตภัณฑ์ พบว่าเมื่อวางแผนการผลิตตามตัวอย่างในตารางที่ 3.1 คือ ผลิตช่วงเวลาเว้นช่วงเวลา มีการผลิตทั้งสิ้น 3 ครั้งจากช่วงเวลาทั้งหมด 6 ช่วงเวลา เกิดสินค้าคงคลังหรือ I_{it} ทั้งสิ้น 180 ชิ้น ดังนั้น คำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายจากการสั่งผลิต (Setup cost) จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 100 บาท คิดเป็นเงิน 300 บาท

ค่าใช้จ่ายในการรักษาสินค้าคงคลัง (Inventory holding cost) ทั้งสิ้น 180 ชิ้น ต้นทุนชิ้นละ 1 บาท คิดเป็นเงิน 180 บาท

รวมค่าใช้จ่ายจากการติดตั้ง/ผลิตและค่าใช้จ่ายในการรักษาสินค้าคงคลังเป็นเงิน 300 + 180 = 480 บาท

จากตารางที่ 3.1 พบว่า วิธี PSO มีวิธีคิดค่าคำตอบเริ่มต้น กำหนดให้มีค่าตัวเลข 2 ค่าคือ 0 และ 1 ในช่วงความน่าจะเป็น 0.5 ดังเงื่อนไขต่อไปนี้

$$If \quad U(0,1) > 0.5 \ then \quad x^{0}_{id} = 1$$

$$else \quad x^{0}_{id} = 0$$

นอกจากนี้การคำนวณค่าอัตราเร็วหรือ Velocity (v_{it}) เริ่มต้นจาก

$$v^{0}_{id} = v_{min} + (v_{max} - v_{min}) * rand()$$

เมื่อ v_{max} และ v_{min} เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตทิศทางการเคลื่อนที่ของสมาชิกในกลุ่มไม่ให้เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่ที่จำกัด โดย $v_{max} = -v_{min}$ (Kennedy and Eberhart, 1995)

หลักของวิธีการ PSO มี 2 ฟังก์ชั่นที่ใช้ในการสร้างกลุ่มประชากรใหม่ในการค้นหาคำตอบ ได้แก่ Sigmoid function เป็นฟังก์ชั่นในการตัดสินใจระหว่างค่า 1 หรือ 0 และ Piece-wise linear function เป็นฟังก์ชั่นควบคุมค่าความเร็วของสมาชิก (Velocity of Particle) ให้อยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าความเร็วที่กำหนด นั่นคือ

$$h\{v^{k}_{id}\} = \begin{cases} v_{max}, \text{ if } v^{k}_{id} > v_{max} \\ v^{k}_{id}, \text{ if } |v^{k}_{id}| \le v_{max} \\ v_{min}, \text{ if } v^{k}_{id} < v_{max} \end{cases}$$

หลังจากได้ค่าความเร็วจากสมการ Piece-wise linear function แล้ว Sigmoid function นำค่าความเร็วที่ได้มาคำนวณค่าระหว่าง 0 และ 1 ตามสมการ

$$Sigmoid\{v^{k}_{id}\} = \frac{1}{1 + e^{-vk}_{id}}$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าความเร็วที่เปลี่ยนไปในแต่ละรอบดังนี้

$$\Delta v^{k-1}_{id} = c_1 r_1 \{pb^{k-1}_{id} - x^{k-1}_{id}\} + c_2 r_2 \{gb^{k-1}_{id} - x^{k-1}_{id}\}$$

แล้วทำการปรับปรุงค่าความเร็วด้วย Piece-wise linear function คือ

$$v^{k}_{id} = h\{v^{k-1}_{id} + \Delta v^{k-1}_{id}\}$$

เมื่อเราได้ค่าความเร็วใหม่จาก Piece-wise linear function ในที่สุดเราสามารถนำไปคำนวณค่าระหว่าง 0 และ 1 ตามสมการ

$$x^{k}_{id} = \begin{cases} 1, \text{ if } U[0,1] < Sigmoid\{v^{k}_{id}\} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

3.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานวิธีการเกาะกลุ่มแบบ PSO

ขั้นตอนที่ 1: เริ่มต้น k = 0

(1) กำหนดจำนวนประชากร (n) และรอบ (*k*) = 0

(2) สร้างสมาชิกเริ่มต้นตามจำนวนประชากรที่กำหนดคือ *n*

$$x_{id}^{k} = \begin{cases} 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1 \\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases} \Rightarrow \textit{Particle}$$

เมื่อ x_i^0 , $i = 1, 2, 3,\ldots\ldots$

(3) สร้างความเร็วของสมาชิกตามจำนวนประชากรคือ

$$v_{id}^{k} = \begin{cases} v_{11}^0\ v_{12}^0\ v_{13}^0\ldots\ldots\ldots \\ v_{21}^0\ v_{22}^0\ v_{23}^0\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases} \Rightarrow \textit{Velocity} \quad \ldots\ldots$$

เมื่อ v_i^0 , $i = 1, 2, 3,\ldots\ldots$และ $v_{id}^0 = v_{min} + (v_{max} - v_{min}) * rand()$

(4) ประเมินค่าคำตอบจากสมาชิกแต่ละตัวในกลุ่มจากสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function), $f(x_i^0)$

(5) กำหนดให้ค่าคำตอบสมาชิกที่ดีที่สุดในกลุ่ม (Particle best; PB) $PB_i^0 = x_i^0$ เมื่อ

$$PB_i^0 = \begin{cases} Pb_{11}^0 = x_{11}^0,\ Pb_{12}^0 = x_{12}^0\ldots\ldots\ldots \\ Pb_{21}^0 = x_{21}^0,\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases} \Rightarrow \textit{Particle best}$$

(6) กำหนดให้ค่าคำตอบสมาชิกที่ดีที่สุดจากประชากรทั้งหมด (Global best; GB)

$f^{gbest}(GB^0) = \min\{f^{gbest}(Pb_i^0, i = 1, 2, 3,\ldots,n)\}$ โดยที่ $GB^0 = [gb_1, gb_2, gb_3\ldots, gb_d]$

ขั้นตอนที่ 2: เริ่มนับจำนวนรอบ $k = k + 1$

ขั้นตอนที่ 3: ปรับค่าความเร็วจากสมการ Piece-wise linear function

$$\Delta v^{k-1}_{id} = c_1 r_1 \{pb^{k-1}_{id} - x^{k-1}_{id}\} + c_2 r_2 \{gb^{k-1}_{id} - x^{k-1}_{id}\}$$

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับค่าความตำแหน่งโดยใช้ Sigmoid function

$$x^{k}_{id} = \begin{cases} 1, \textit{ if } U[0, 1] < \textit{Sigmoid}\{v^{k}_{id}\} \\ 0, \textit{ otherwise} \end{cases}$$

ขั้นตอนที่ 5 : ปรับค่าคำตอบจากสมาชิกที่ดีที่สุดในกลุ่ม (Particle best; PB)

$$\textit{If} \quad f^{k}_{i}(x^{k}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n) < f^{pbest}_{i}(Pb^{k-1}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n)$$

$$\textit{then}$$

$$f^{pbest}_{i}(Pb^{k-1}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n) = f^{k}_{i}(x^{k}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n)$$

$$\textit{else}$$

$$f^{pbest}_{i}(Pb^{k}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n) = f^{pbest}_{i}(Pb^{k-1}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n)$$

ขั้นตอนที่ 6 : ปรับค่าคำตอบจากสมาชิกที่ดีที่สุดจากสมาชิกทั้งหมด (Global best; GB)

$$f^{gbest}(GB^{k}) = \min\{f^{lbest}_{i}(Pb^{k}_{i}, i = 1, 2, 3,....,n)\}$$

$$\textit{If} \quad f^{gbest}(GB^{k}) < f^{gbest}(GB^{k-1})$$

$$\textit{then} \quad f^{gbest}(GB^{k}) = f^{gbest}(GB^{k})$$

$$\textit{elsef}^{gbest}(GB^{k}) = f^{gbest}(GB^{k-1})$$

3.2 ตัวอย่างเชิงตัวเลขการทำงานวิธีการเกาะกลุ่มแบบ PSO

กำหนดให้

T = 5 ช่วงเวลา

Setup cost = 100

Holding cost = 1

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าคำตอบเริ่มต้น

k = 0 และ n = 3

กลุ่มประชากรเริ่มต้น คือ y^0_1 y^0_2 y^0_3

กลุ่มอัตราความเร็วเริ่มต้นคือ v^0_1 v^0_2 v^0_3

T	1	2	3	4	5
y^0_1	1	1	0	0	0
v^0_1	2.90	1.60	-1.80	3.5	1.60
Y^0_2	1	0	1	0	0
v^0_2	3.80	2.90	3.00	-0.70	-1.20
y^0_3	1	0	0	1	1
v^0_3	-3.0	1.50	-2.70	2.00	1.40

คำนวณค่า Fitness Function ตามสมการเป้าหมาย (A1) จากสมาชิก (particles) ทั้ง 3 คือ

$$f^0_1(x^0_1) = 580,\ f^0_2(x^0_2) = 470,\ f^0_3(x^0_3) = 440$$

ในแต่ละกลุ่มสมาชิกปรับปรุงค่า สมาชิกที่ดีที่สุดในกลุ่ม (Particles best) คือ

$$PB^0_1 = [Pb^0_{11} = y^0_{11},\ Pb^0_{12} = y^0_{12},\ Pb^0_{1d} = y^0_{1d}]$$

$$f^{pbest}_1(PB^0_1 = y^0_1) = 580$$

$$f^{pbest}_2(PB^0_2 = y^0_2) = 470$$

$$f^{pbest}_3(PB^0_3 = y^0_3) = 440$$

ดังนั้น

	T	1	2	3	4	5	f^{pbest}_i
PB^0_1	Pb^0_{1T}	1	1	0	0	0	580
PB^0_2	Pb^0_{1T}	1	0	1	0	0	470
PB^0_3	Pb^0_{1C}	1	0	0	1	1	440

กำหนดสมาชิกที่ดีที่สุดในกลุ่มสมาชิก (Global best)

$$f^{gbest}(GB^0) = \min\left\{ f^{pbest}{}_i (PB^0{}_i) \right\} = f^{pbest}{}_3 (PB^0{}_3) = 440$$

ดังนั้น

	T	1	2	3	4	5	$f^{gbest}(GB^0)$
GB^0	gb_T	1	0	0	1	1	440

ขั้นตอนที่ 2 : เริ่มการทำงานรอบถัดไป

$k = 0 + 1 = 1$

ขั้นตอนที่ 3 : ปรับค่าความเร็วโดยใช้สมการ Piece-wise linear function

สมมุติให้ $c_1 = c_2 = r_1 = r_2 = 0.5$ ยกตัวอย่างสมาชิกตัวที่ 1 สามารถคำนวณค่าความเร็วใหม่

$\Delta v^0_{12} = 0.5*0.5\{pb^0_{12} - x^0_{12}\} + 0.5*0.5\{gb^0_{12} - x^0_{12}\}$ แทนค่า

$\Delta v^0_{12} = 0.5*0.5\{1-1\} + 0.5*0.5\{0-1\} = -0.25$

$v^1_{12} = h\{ v^0_{12} + \Delta v^0_{12} \} = h\{ 1.6 + (0 - 0.25) \} = 1.35$

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับค่าตำแหน่งโดยใช้ Sigmoid function

$U[0, 1] = 0.99 < Sigmoid\{ v^0_{12} = 1.35\} = 0.79$

$x^1_{12} = 0$

ขั้นตอนที่ 5 : ปรับค่า Particle Best

สมาชิกแต่ละตัวมีการเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่ง ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้เปลี่ยนไป

$f^1_1 (y^1_1) = 420,\ f^1_2 (y^1_2) = 440,\ f^1_3 (y^1_3) = 440$

ทำการปรับปรุงค่าคำตอบที่ดีที่สุดของสมาชิกแต่ละตัว เช่น

$f^1_1 (y^1_1) = 420 < f^{pbest}_1 (PB^0_1 = y^0_1) = 580,$

$f^{pbest}_1 (PB^1_1 = y^1_1) = 420$ โดยที่ $Pb^1_1 = y^1_1$

ดังนั้น

	T	1	2	3	4	5	$f^{pbest}{}_{i}$
$PB^{1}{}_{1}$	$Pb^{1}{}_{1T}$	1	0	0	1	0	420
$PB^{1}{}_{2}$	$Pb^{1}{}_{1T}$	1	0	1	1	0	440
$PB^{1}{}_{3}$	$Pb^{1}{}_{1C}$	1	0	0	1	1	440

ขั้นตอนที่ 6 : ปรับค่า Global Best

$f^{gbest}(GB^{1})$ = min { 420, 440, 440} = 420

ดังนั้น

$f^{gbest}(GB^{1}) = 420 \ < \ f^{gbest}(GB^{0}) = 440,$

	T	1	2	3	4	5	$f^{best}(GB)$
GB^{1}	gb_{T}	1	0	0	1	0	420

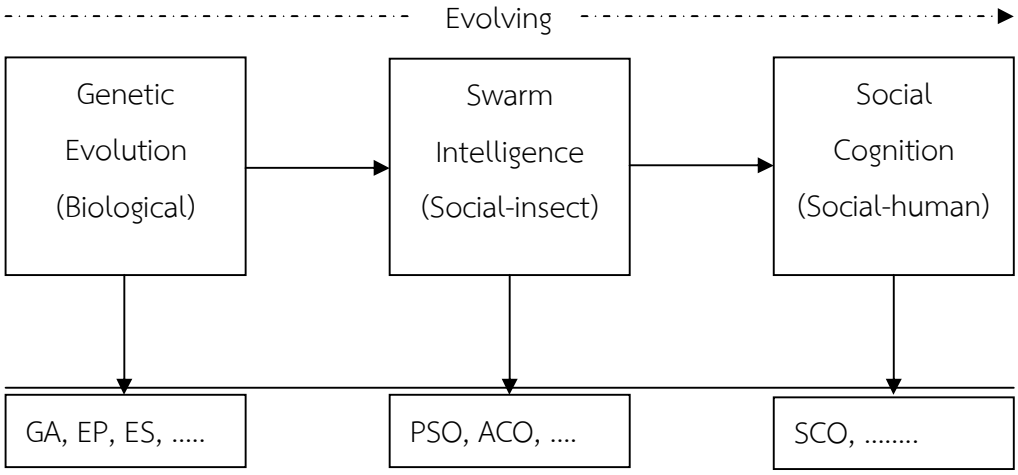
ขั้นตอนที่ 7 : เงื่อนไขการหยุด

if k < max iteration, go to step 2
else stop.

3.3 ค่าพารามิเตอร์ในวิธี PSO

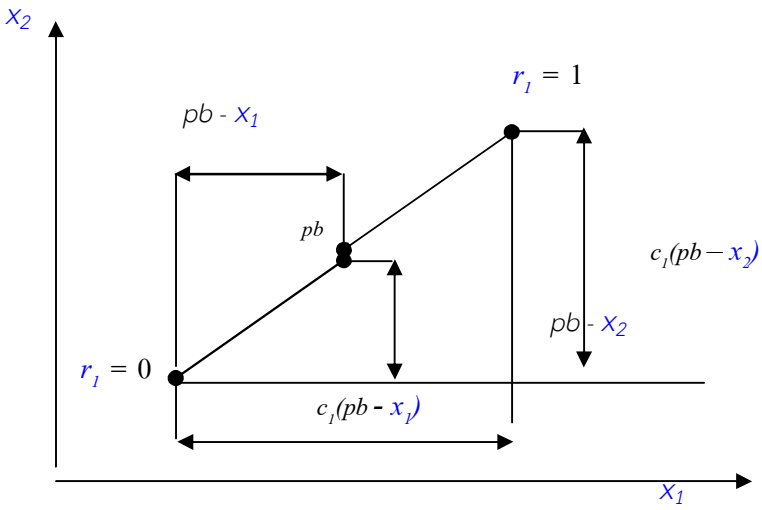
c_1 และ c_2 เป็น Social cognitive parameter เท่ากับ 2 (ตามงานวรรณกรรมของ M.Fatih , 2005) เมื่อพิจารณาค่า c_1 และ c_2 พบว่า เป็นค่าคงที่ในการให้น้ำหนักระหว่าง *particle best* (*pb*) และ *global best* (*gb*) ดังนั้นการตัดสินใจในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์นี้ขึ้นอยู่กับแรงดึงในแต่ละปัญหา จากการทบทวนวรรณกรรม (M.Fatih, 2005 และ Yihun, 2008) ปัญหาการวางแผนการผลิตและจากธรรมชาติของวิธีเกาะกลุ่มแบบ PSO ที่ผ่านมา กำหนดให้ c_1 และ c_2 มีค่าเท่ากัน

จากงานวิจัยของ XIAO-FENG XIE (2002) ที่กล่าวไว้ใน Social Cognitive Optimization for nonlinear programming problems พบว่า มีการสรุปวิวัฒนาการหลักการพัฒนาตามธรรมชาติไปสู่เรื่องของหลักการปัญญาประดิษฐ์ที่เรียกกันว่า Evolutionary Algorithm หรือ EAs อย่างเช่น Evolutionary Programming หรือ EP, Evolution Strategies หรือ ES, Genetic Algorithm หรือ GA เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3.2



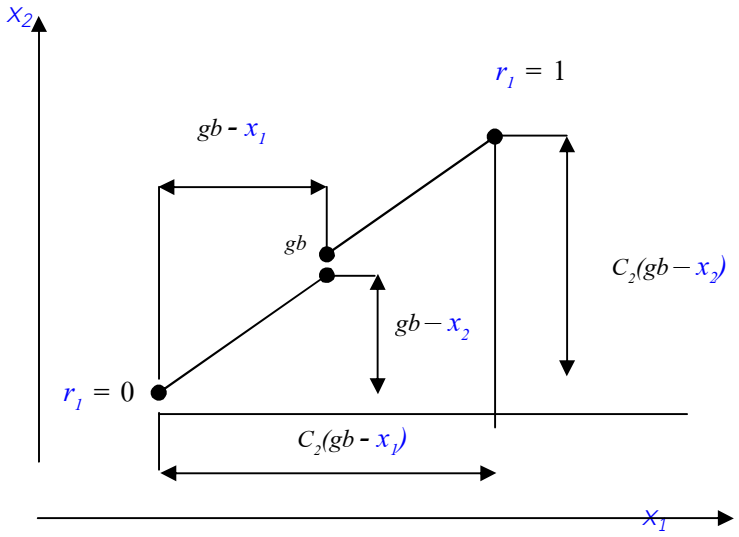
ภาพที่ 3.2 วิวัฒนาการของระบบธรรมชาติรวมถึงการพัฒนาเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ (ที่มา : XIAO-FENG XIE, Social Cognitive Optimization for nonlinear programming problems)

นอกจากนี้ ค่า Velocity ยังมีการจำกัดค่าต่ำสุดเป็น v_{min} และค่าสูงสุดเป็น v_{max} เพื่อจำกัดพื้นที่ในการกำหนดขอบเขตทิศทางการเคลื่อนที่ของสมาชิกในกลุ่มไม่ให้เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่ที่จำกัด ซึ่งความเร็วของสมาชิกในแต่ละทิศทางมีขอบเขตจำกัดไม่เกิน ค่า maximum Velocity หรือ v_{max} (Velocity parameter restriction) โดย $v_{max} = -v_{min}$ ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ r_1 และ r_2 เป็น Uniform random number (0, 1) ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ (Y.Dong and J.F Tang, 2005)



ภาพที่ 3.4 Cognitive component search space contribution for 2-D dimension Of particle best (*Pb*)

(ที่มา : Jaco F.Schutte, The PSO algorithm)

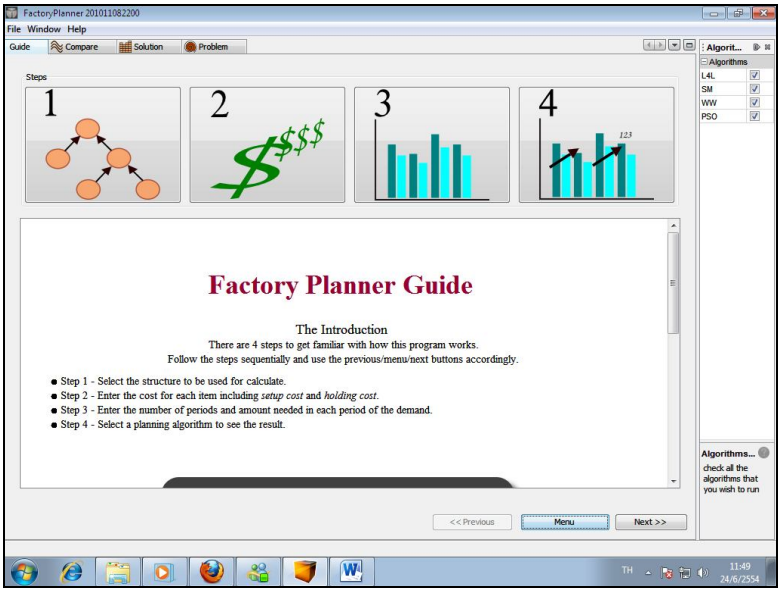


ภาพที่ 3.5 Cognitive component search space contribution for 2-D dimension Of global best (*Gb*)

(ที่มา : Jaco F.Schutte, The PSO algorithm)

3.5 พัฒนาระบบวางแผนการผลิตอัตโนมัติ

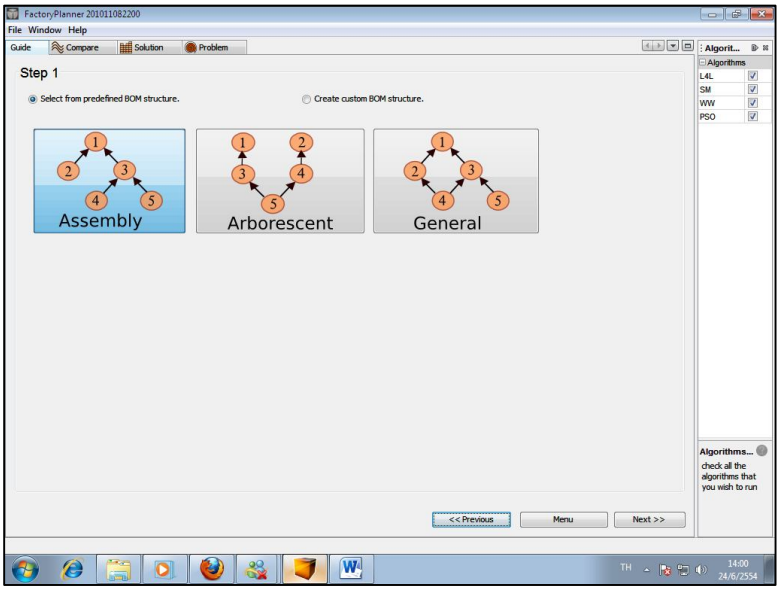
การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการวางแผนการผลิต พัฒนาจากภาษาจาวา(JAVA Script) โดยโปรแกรมที่พัฒนามีขนาด 6 MB เป็นไฟล์นามสกุล .exe สามารถ install ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีระบบปฏิบัติการ Window ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เริ่มจากการพัฒนาหน้าโปรแกรมให้มี GUI (Graphic User Interface) เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานกับผู้ใช้(User)



ภาพที่ 3.6 หน้าแรกโปรแกรมการวางแผนการผลิต

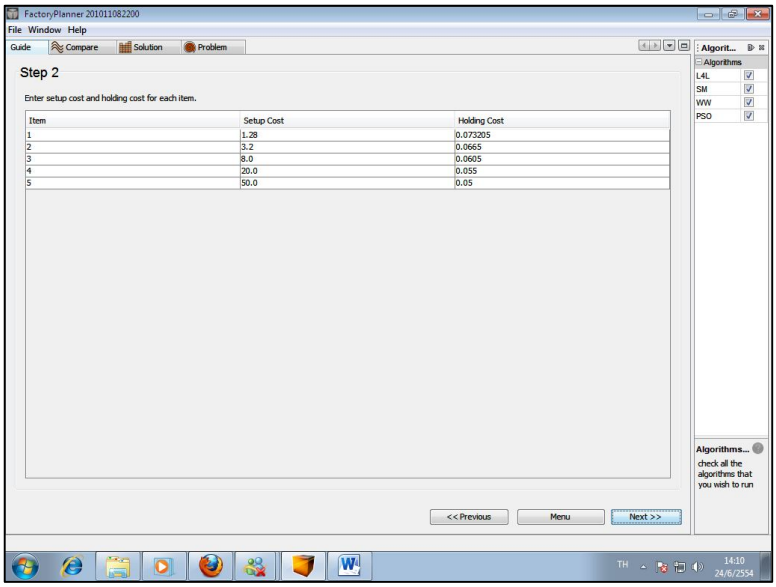
จากภาพที่ 3.5 แสดงหน้าแรกของการเข้าใช้งานโปรแกรมการวางแผนการผลิตแบบหลายระดับขั้น มีคำอธิบายการเข้าใช้งานโปรแกรม 4 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผู้ใช้เลือกโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการวางแผนการผลิตแบบหลายระดับตามประเภทของรายการส่วนประกอบชิ้นส่วน(Bill of material) ผู้ใช้สามารถเลือกประเภทโครงผลิตภัณฑ์ได้ตามต้องการจากโครงสร้างผลิตภัณฑ์พื้นฐานทั้ง 3 แบบ ได้แก่ Assembly structure, Arborescent structure และ General structure หรือผู้ใช้สามารถเลือกที่กำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการด้วยตนเองที่ create custom BOM structure หากผู้ใช้เลือกโครงสร้างผลิตภัณฑ์พื้นฐาน(Basic product structure) โปรแกรมจะนำเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 ดังภาพที่ 3.6



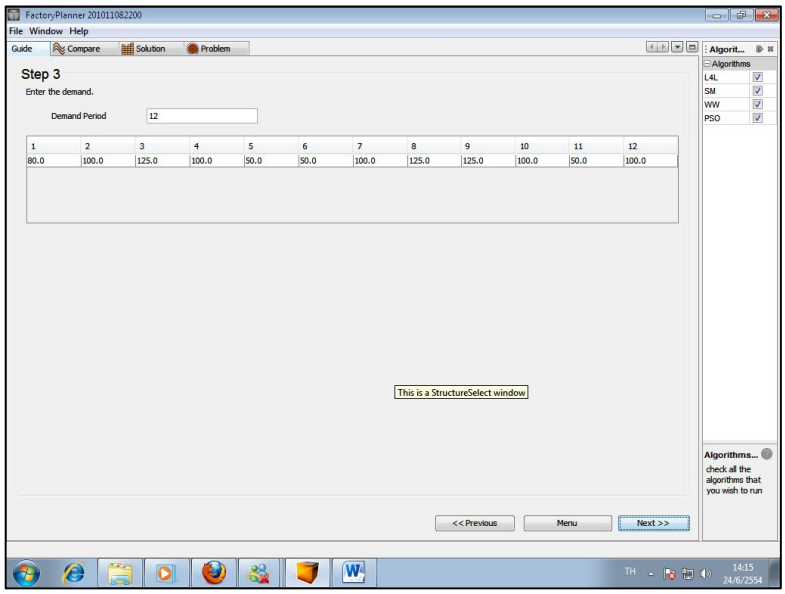
ภาพที่ 3.7 เลือกโครงสร้างผลิตภัณฑ์(Product Structure)

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักร(Setup cost)และค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้า(Inventory holding cost) ตามที่ผู้ใช้ต้องการ



ภาพที่ 3.8 กำหนดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักรและค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้า

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดช่วงเวลาที่ต้องการวางแผนการผลิตและความต้องการสินค้าจากลูกค้า ผู้ใช้สามารถกำหนดระยะเวลาที่ต้องการวางแผนการผลิตได้ด้วยตนเอง อาจเป็นสัปดาห์ เดือน หรือปี พร้อมทั้งกำหนดความต้องการสั่งสินค้าจากลูกค้าได้ตามช่วงเวลาที่กำหนด



ภาพที่ 3.9 กำหนดช่วงเวลาและความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลา

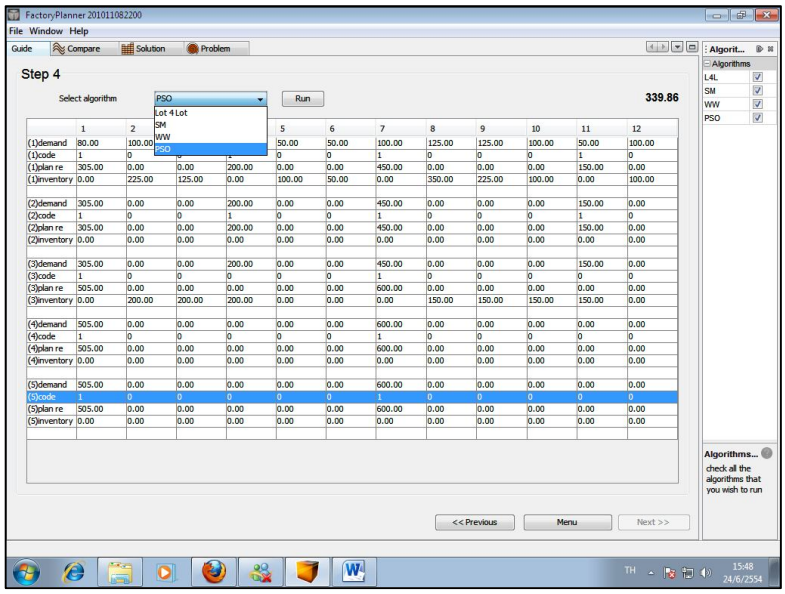
ขั้นตอนที่ 4 เลือกกระบวนวิธีในการวางแผนการผลิตได้แก่

4.1) วิธี lot-for-lot (L4L)

4.2) วิธี Wagner-Whitin (WW)

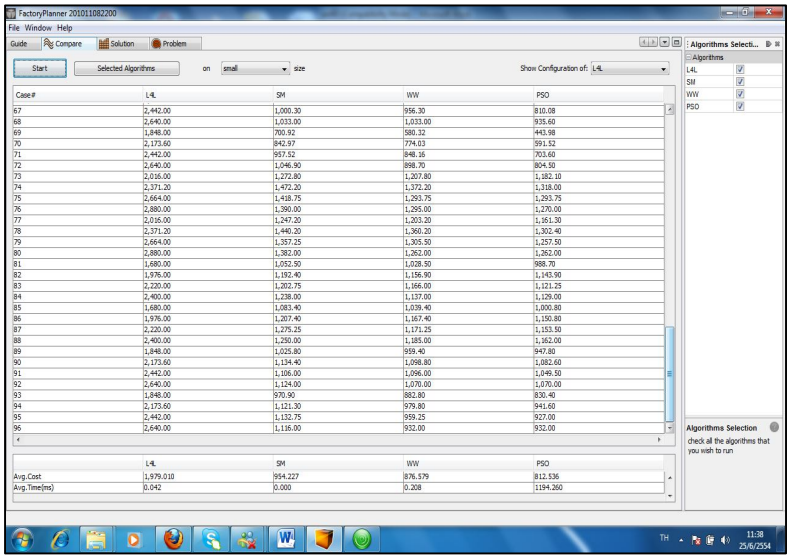
4.3) วิธี Silver-Meal (SM)

4.4) วิธี PSO



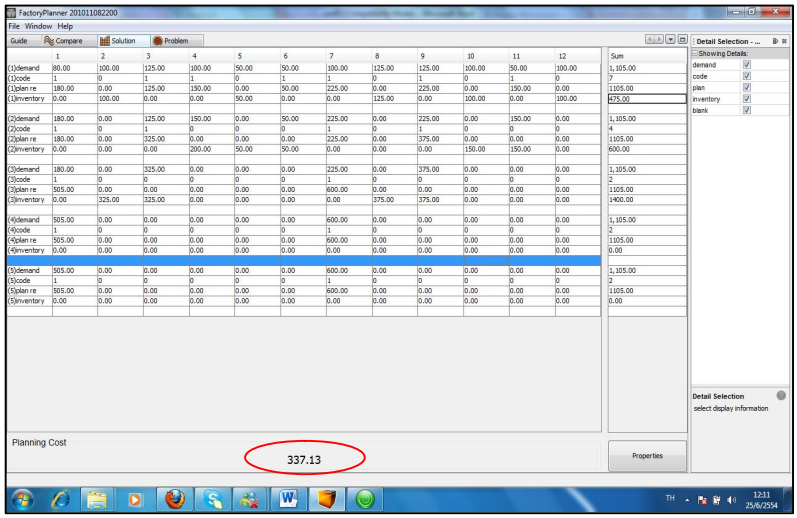
ภาพที่ 3.10 เลือกกระบวนวิธีในการวางแผนการผลิต

ในขั้นตอนที่ 4 ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการวางแผนการผลิตทั้ง 4 วิธี จากวิธีที่มีชื่อเสียงในการทบทวนวรรณกรรมในอดีตที่ผ่านมาตามแต่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งแต่ละกระบวนวิธีในการค้นหาคำตอบให้มาซึ่งคำตอบสุดท้ายของปัญหาหรือต้นทุนการผลิตที่แตกต่างกัน



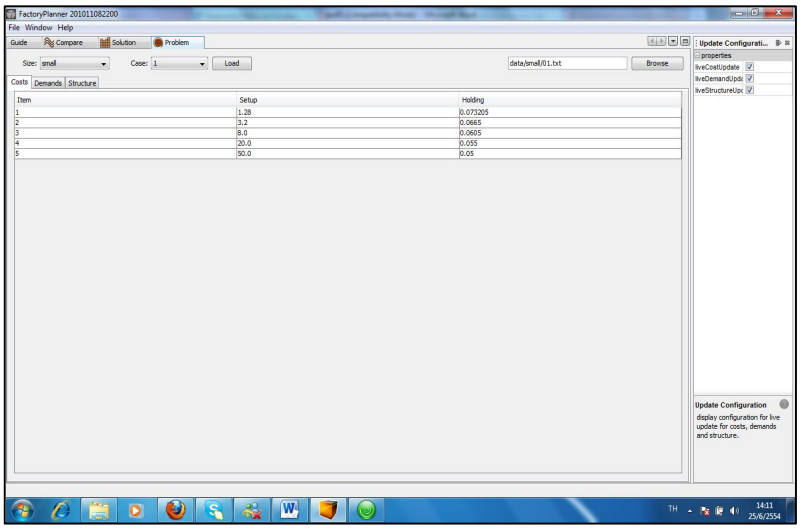
ภาพที่ 3.11 เปรียบเทียบคำตอบของแต่ละวิธีในปัญหามาตรฐาน

ภาพที่ 3.11 แสดงการค้นหาคำตอบในปัญหามาตรฐานทั้ง 3 ขนาด ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โปรแกรมสามารถคำนวณคำตอบในแต่ละปัญหาย่อยพร้อมทั้งเปรียบเทียบคำตอบในแต่ละวิธีทั้ง 4 วิธี พร้อมทั้งแสดงคำตอบเฉลี่ยและเวลาในการประมวลผลของแต่ละปัญหา นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงแผนการผลิต(Production planning)ของแต่ละคำตอบย่อยในแต่ละปัญหาได้ด้วย ดังภาพที่ 3.12



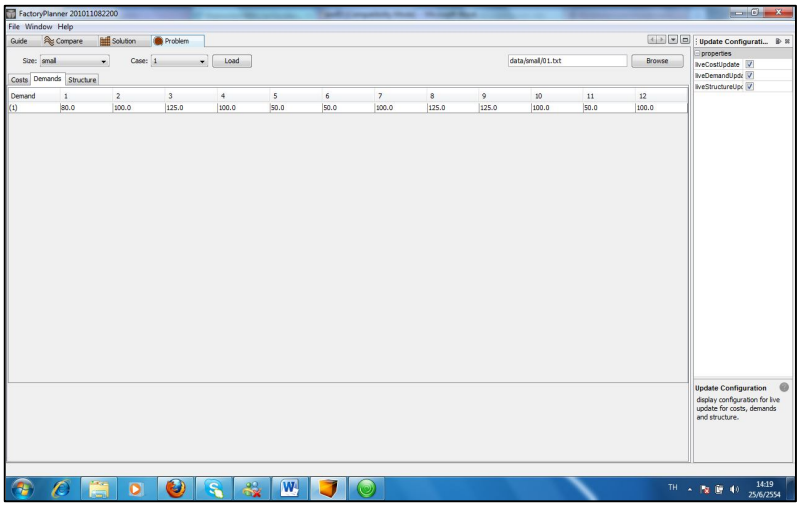
ภาพที่ 3.12 แสดงแผนการผลิตจากคำตอบของปัญหาย่อย

คำตอบที่ได้จากการคำนวณในปัญหาย่อย ผู้ใช้สามารถกลับไปดูการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของปัญหา ว่าในแต่ละชิ้นส่วนควรมีแผนการผลิตในแต่ละช่วงเวลาอย่างไรในช่อง Solution ตามภาพที่ 3.12

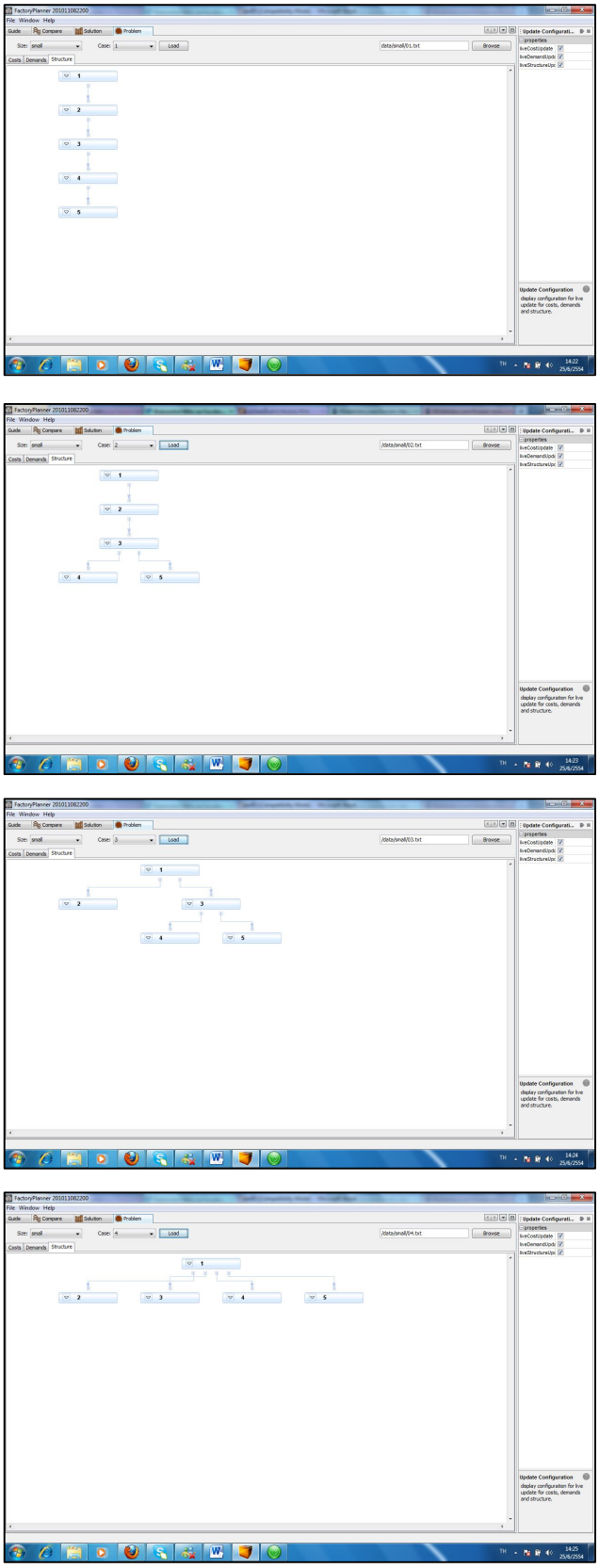


ภาพที่ 3.13 แสดงคุณลักษณะในแต่ละปัญหาย่อย

ในช่อง Problem ตามภาพที่ 3.13 โปรแกรมแสดงคุณลักษณะ ส่วนประกอบ ในแต่ละปัญหาย่อย ได้แก่ กลุ่มขนาดของปัญหา(Size) ลำดับที่ของปัญหาย่อย(Case) ต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งค่าติดตั้งเครื่องจักร(Setup Cost) ค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าคงคลัง(Inventory holding cost) คำสั่งซื้อ/สั่งผลิตสินค้า(External demand) และโครงสร้างผลิตภัณฑ์(Product structure) ตามภาพที่ 3.14 และ ภาพที่ 3.15 ตามลำดับ

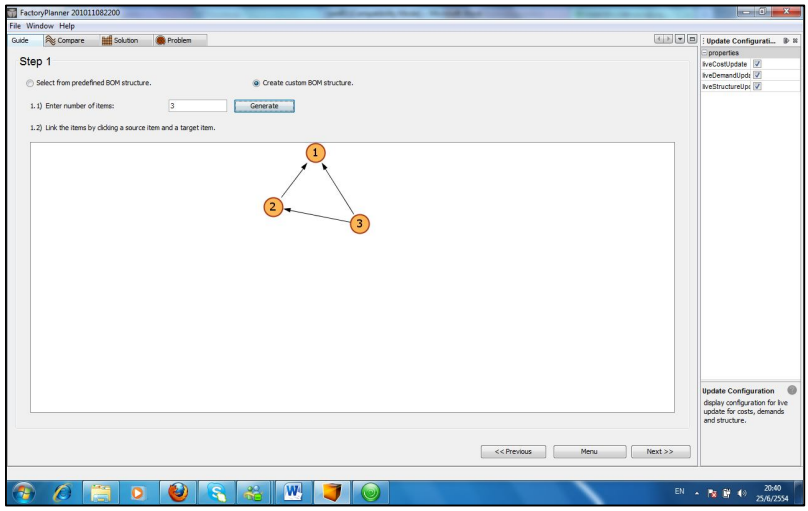


ภาพที่ 3.14 แสดงเงื่อนไขการสั่งซื้อ/สั่งผลิตจากลูกค้า



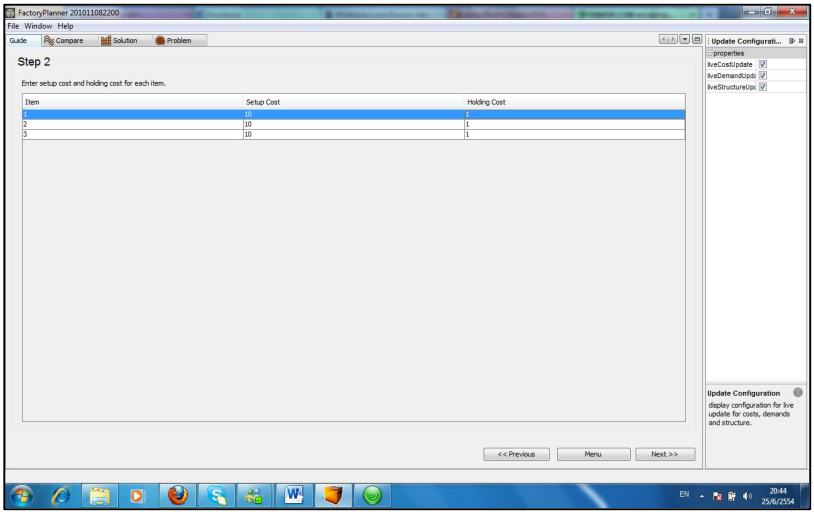
ภาพที่ 3.15 แสดงโครงสร้างผลิตภัณฑ์ในปัญหาขนาดเล็กทั้ง 4 แบบ

หากผู้ใช้เลือกออกแบบโครงสร้างผลิตภัณฑ์เองในฟังก์ชั่น Create custom BOM structure โดยในฟังก์ชั่นนี้ พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถกำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ได้ด้วยตนเองดังภาพที่ 3.16

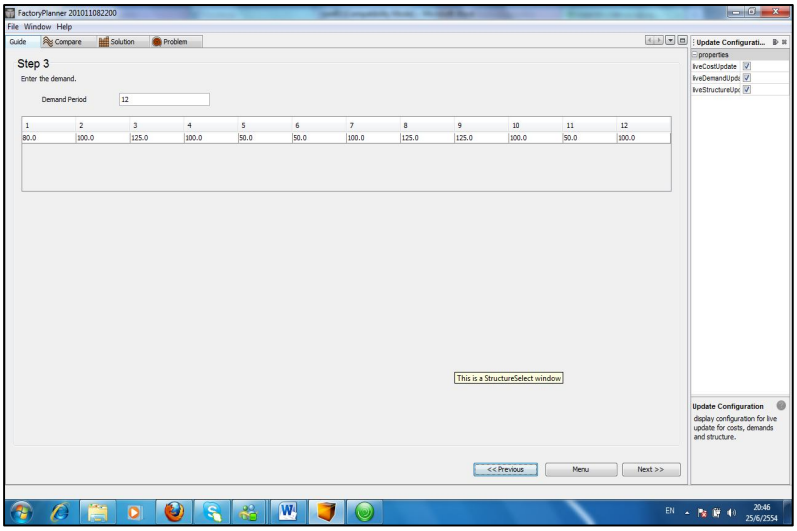


ภาพที่ 3.16 การกำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ได้โดยผู้ใช้เอง

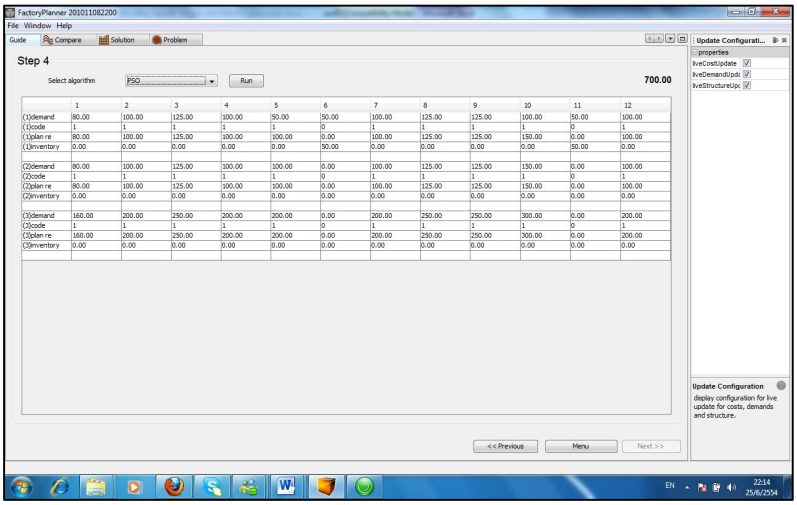
ผู้ใช้สามารถกำหนดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้เอง ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.15 ผู้ใช้กำหนดให้มี 3 ชิ้นส่วน คือชิ้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ หลังจากนั้นผู้ใช้เริ่มดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังภาพที่ 3.16, 3.17 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.17 ผู้ใช้กำหนดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าคงคลัง



ภาพที่ 3.18 ผู้ใช้กำหนดระยะเวลาในการวางแผนและคำสั่งซื้อ/สั่งผลิตจากลูกค้า



ภาพที่ 3.19 ผู้ใช้เลือกกระบวนวิธีในการวางแผนการผลิต

จากภาพที่ 3.17 และ 3.18 เป็นการที่ผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการวางแผนการผลิต รวมไปถึงคำสั่งซื้อสินค้า/คำสั่งผลิตจากลูกค้า และผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการในการใช้วางแผนการผลิตได้ด้วยตนเอง และผู้ใช้จะได้คำตอบที่ดีสำหรับการวางแผนการผลิต กล่าวคือ ได้แผนการผลิตที่มีต้นทุนต่ำจากต้นทุนรวมของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักร(Setup cost) และค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าคงคลัง(Inventory holding cost) โดยระบบวางแผนการผลิตให้โดยอัตโนมัติ รวมไปถึงการใช้เวลาในการคำนวณ ประมวลผล ในระยะเวลาที่เหมาะสม ทันต่อเวลา และตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตในยุคปัจจุบัน