

บทที่ 3

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้เวลาการจัดส่งไม่น้อยกว่าเวลาการผลิตสินค้าในแต่ละรอบการผลิต (Production Cycle) การหาค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำที่สุดเป็นผลสืบเนื่องมาจากการลดปริมาณสินค้าในคลังสินค้า และการลดเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าและเก็บสินค้าให้น้อยที่สุด ดังนั้นในแต่ละรอบการผลิต การหาเวลาเริ่มต้นการผลิต และปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าจึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่จะลดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในอุตสาหกรรมนั้น

งานวิจัยนี้ได้เสนอการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) เพื่อหาค่าเหมาะสมดังกล่าว นอกจากนี้ แบบจำลองเชิงการจำลอง (Simulation Models) จะได้รับการออกแบบ เพื่อจำลองสถานการณ์ การผลิตและการเก็บสินค้าคงคลัง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ที่มีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ และนำไปสู่การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสม โดยจะกำหนดให้อุตสาหกรรมการผลิตนี้ทราบปริมาณความต้องการของลูกค้าแน่นอนตลอดทั้งปีและไม่อนุญาตให้เกิดสภาวะสินค้าขาดมือ ผู้ผลิตจะทำการผลิตสินค้าในแต่ละรอบเป็นจำนวนเท่ากับสินค้าคงคลังในคลังสินค้าตอนเริ่มต้น ทั้งนี้ตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

- Q - ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน
- D - อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วยต่อปี)
- P - อัตราการผลิตต่อปี (หน่วยต่อปี)
- p - อัตราการผลิตต่อวัน (หน่วยต่อวัน)
- c_s - อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (บาทต่อรอบการผลิต)
- c_{h_1} - อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า (บาทต่อหน่วยต่อปี)
- c_{h_2} - อัตราค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง (บาทต่อหน่วยต่อปี)
- c_T - อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาทต่อรอบการขนส่ง)
- T_i - เวลาในการขนส่งแต่ละรอบ (วัน)
- t_i - เวลาในการผลิตแต่ละรอบ (วัน)
- T_i - เวลาในแต่ละรอบการดำเนินงาน (วัน)
- $TC(Q)$ - ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนโดยรวม (บาท)
- n - จำนวนรอบการดำเนินงานต่อปี (รอบต่อปี)

โดยกำหนดให้ 1 ปี เท่ากับ 360 วัน

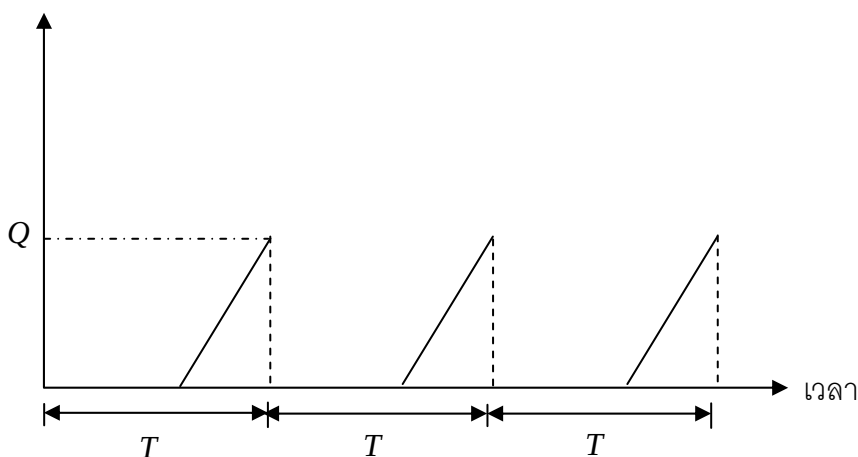
โดยการวิจัยนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

3.1 เวลาในการผลิตเท่ากัน เวลาในการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน

ระยะเวลาในการขนส่งแต่ละครั้งเท่ากัน (ทำการส่งสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวและจัดส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว) โดยทราบความต้องการของลูกค้าแน่นอน และกำหนดให้เวลาในการขนส่ง (T) มากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต (t) ช่วงเวลา t คือ ช่วงเวลาในการผลิตสินค้าด้วยอัตราการผลิต P ต่อหน่วยเวลา หลังจากเสร็จสิ้นหนึ่งรอบการผลิต สินค้าทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้าโดยใช้เวลานำส่ง (Lead Time) เท่ากับ T แล้วคำนวณหาจุดเริ่มต้นในการผลิต เมื่อจัดส่งสินค้าเสร็จแล้วจะมีสินค้าซึ่งเกิดจากการผลิตในรอบต่อไปอยู่ในคลังสินค้า พร้อมทั้งจะจัดส่งให้ลูกค้ารอบต่อไปได้ทันทีโดยไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงาน ทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากเวลาการจัดส่งนานกว่าเวลาในการผลิต ดังนั้นจะมีช่วงเวลารอคอยการผลิตรอบต่อไปเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองก็เพื่อหาช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดส่งเท่ากับเวลาในการผลิตสินค้ารอบใหม่ได้พอดี เพื่อไม่ให้มีสินค้าเหลืออยู่ในคลังสินค้า ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา และความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในระหว่างขนส่งกับเวลา แสดงให้เห็นในรูปกราฟที่ 3.1 และ รูปกราฟที่ 3.2 ตามลำดับ

ระดับสินค้าคงคลัง (Q)

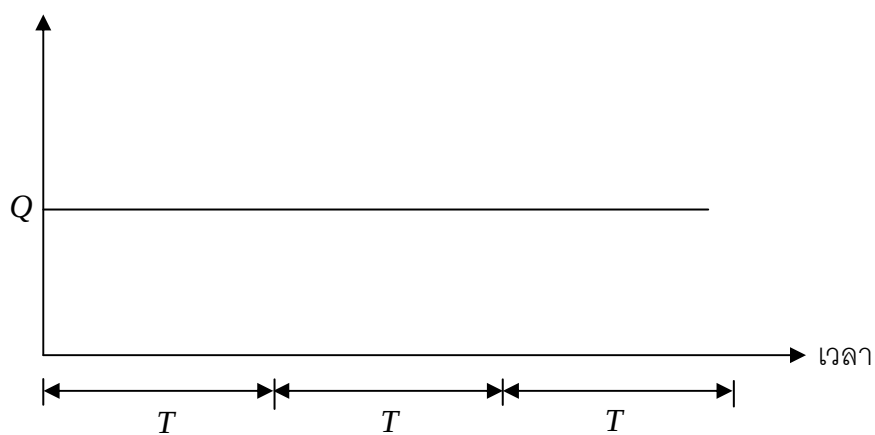
ในคลังสินค้า (หน่วย)



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q)

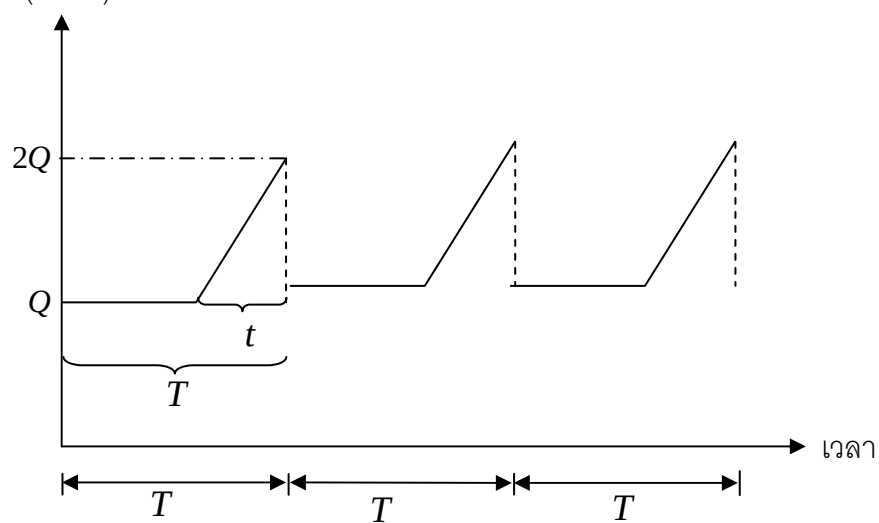
ในขณะขนส่ง (หน่วย)



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q)

(หน่วย)



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในการดำเนินงานกับเวลา

ทฤษฎีบทที่ 3.1 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.1 แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

โดยที่ ปริมาณการผลิตที่ทำให้ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T) D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot c_{h_1}}}$$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (a) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (b)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (d)

$$\text{จะเห็นว่า จำนวนครั้งของการผลิตต่อปี} = \frac{\text{อัตราความต้องการสินค้าต่อปี}}{\text{ปริมาณสินค้าที่ผลิตใน 1 รอบ}} = \frac{D}{Q}$$

$$\text{และ จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี} = \text{จำนวนครั้งของการผลิต} = \frac{D}{Q}$$

$$\text{จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี} = \text{จำนวนรอบการดำเนินงาน} = n$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต} &= \text{จำนวนครั้งของการผลิต} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต} \\ &= \frac{D}{Q} \cdot C_s \end{aligned} \quad (a)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง} &= \text{จำนวนครั้งของการขนส่ง} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง} \\ &= \frac{D}{Q} \cdot C_T \end{aligned} \quad (b)$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิต/ปี x เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี)

$$Q = Pt$$

ดังนั้นจึงได้เวลาในการผลิตแต่ละรอบ

$$t = \frac{Q}{P}$$

ในทำนองเดียวกันเวลาในแต่ละรอบการดำเนินงาน

$$T = \frac{Q}{D}$$

จากกราฟในรูปที่ 3.1 จะได้ว่า

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{\left(\frac{0+Q}{2}\right)t}{T} = \frac{\frac{1}{2}Qt}{T}$$

และเมื่อแทนค่า t และ T จะได้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{1}{2}Q \cdot \frac{Q}{P} \cdot \frac{D}{Q} = \frac{1}{2}Q \frac{D}{P}$$

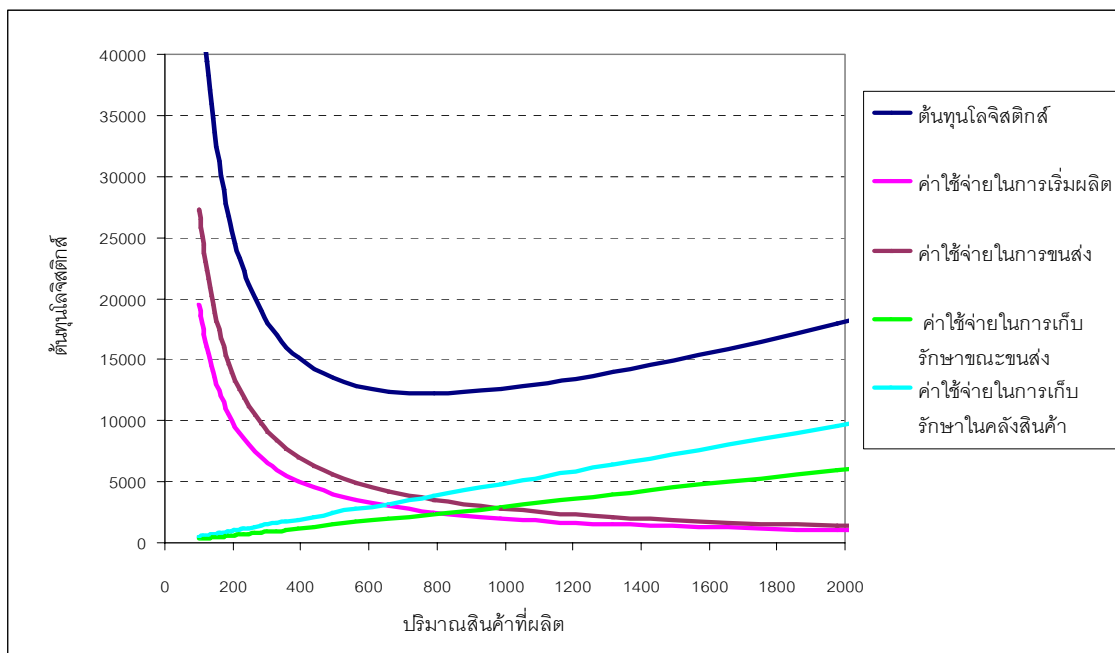
$$\text{ดังนั้น ค่าใช้รวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า} = \frac{1}{2}Q \frac{D}{P} \cdot C_{h_1} \quad (c)$$

จากกราฟในรูปที่ 3.2 จะพบว่า ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง = Q

$$\text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง} = QC_{h_2} \quad (d)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2}Q \frac{D}{P} c_{h_1} + QC_{h_2} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับต้นทุนโลจิสติกส์

ปริมาณสินค้าที่จะผลิตระดับที่เหมาะสม (Q^*) ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำที่สุดจะได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (3.1) เทียบกับ Q และกำหนดให้เท่ากับ 0 จะได้

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = -(c_s + c_T) \frac{D}{Q^{*2}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot c_{h_1} + c_{h_2} = 0$$

$$\therefore c_{h_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} c_{h_1} = (c_s + c_T) \frac{D}{Q^{*2}}$$

ดังนั้น

$$Q^{*2} = \frac{(c_s + c_T) D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \frac{D}{P} c_{h_1}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T) D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \frac{D}{P} c_{h_1}}}$$

□

ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 250 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 5 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 7 บาทต่อหน่วยต่อปี, อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 3,600 หน่วยต่อปี จากทฤษฎีบท 3.1 ปริมาณสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot c_{h_1}}}$$

จะได้

$$Q^* = \sqrt{\frac{(500 + 250) \cdot 3,000}{7 + (\frac{1}{2} \cdot \frac{3,000}{3,600} \cdot 5)}}$$

ดังนั้น $Q^* = 497.70$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน

จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q^*} \approx 6$ รอบต่อปี

เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q^*}{P} \approx 55$ วัน จากสมมติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและ

เวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบคือ $\frac{Q^*}{D} \approx 59$ วัน

ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่เริ่มผลิต วันที่ 4, 63, 122, 181, 240, 299 ตามลำดับ

จากสมการ (a) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 3,013.86 บาท

จากสมการ (b) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,506.9 บาท

จากสมการ (c) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า คือ 1,036.88 บาท

และจากสมการ (d) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 3,483.9 บาท

ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC(Q) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

จะได้

$$TC(497.70) = (500 + 250) \cdot \frac{3,000}{(497.70)} + \frac{1}{2} \cdot (497.70) \cdot \frac{3,000}{3,600} \cdot 5 + (497.70 \cdot 7)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวมรวม $TC(Q^*) = 9,041.57$ บาท

เพื่อทำการวิเคราะห์ความไวของปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมว่ามีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์รวมจึงทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมคือถ้าสมมติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 500$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} = 6$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} = 50$ วัน จากสมมติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบคือ $\frac{Q}{D} = 60$ วัน ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 10, 70, 130, 190, 250, 310 ตามลำดับ

จากสมการ (a) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 3,000 บาท

จากสมการ (b) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,500 บาท

จากสมการ (c) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 1,041.67 บาท

และจากสมการ (d) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 3,500 บาท

จะเห็นว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม คือ

$$TC(Q^*) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

จะได้

$$TC(500) = (500 + 250) \cdot \frac{3,000}{(500)} + \frac{1}{2} \cdot (500) \cdot \frac{3,000}{3,600} \cdot 5 + (500 \cdot 7)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q) = 9,041.67$ บาท

ในทำนองเดียวกัน ถ้าสมมติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 400$ หน่วย ต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} \approx 7$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} = 40$ วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบคือ $\frac{Q}{D} \approx 48$ วัน ดังนั้น จึงได้ว่า จุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 8, 56, 104, 152, 200, 248, 296 ตามลำดับ

จากสมการ (a) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 3,750 บาท

จากสมการ (b) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,875 บาท

จากสมการ (c) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 833.33 บาท

และจากสมการ (d) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 2,800 บาท

จาก ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC(Q^*) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

จะได้

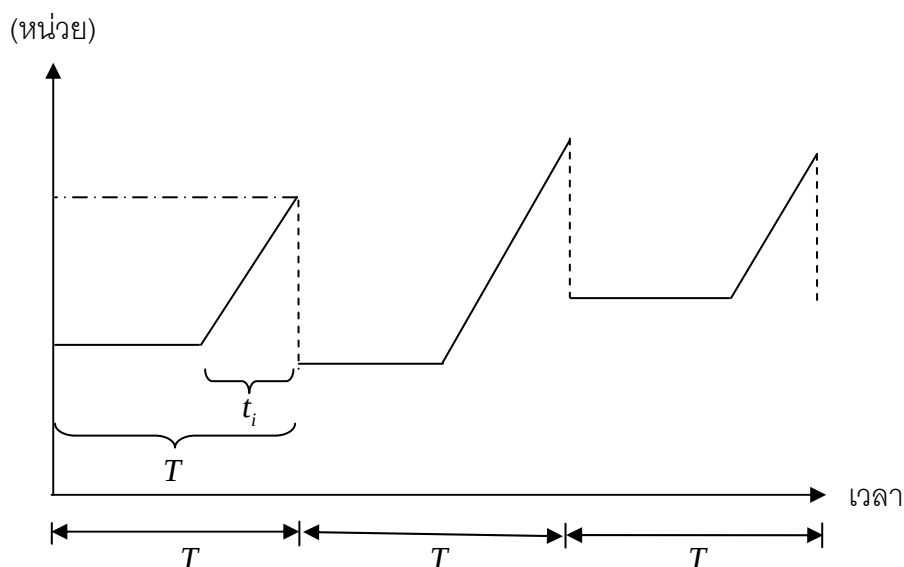
$$TC(400) = (500 + 250) \cdot \frac{3,000}{(400)} + \frac{1}{2} \cdot (400) \cdot \frac{3,000}{3,600} \cdot 5 + (400 \cdot 7)$$

จะทำให้ได้ ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q) = 9,258.33$ บาท ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณการผลิตสินค้าที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดเป็นไปตามทฤษฎีบทที่ 3.1

3.2 เวลาในการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน เวลาการดำเนินงานในแต่ละรอบเท่ากัน

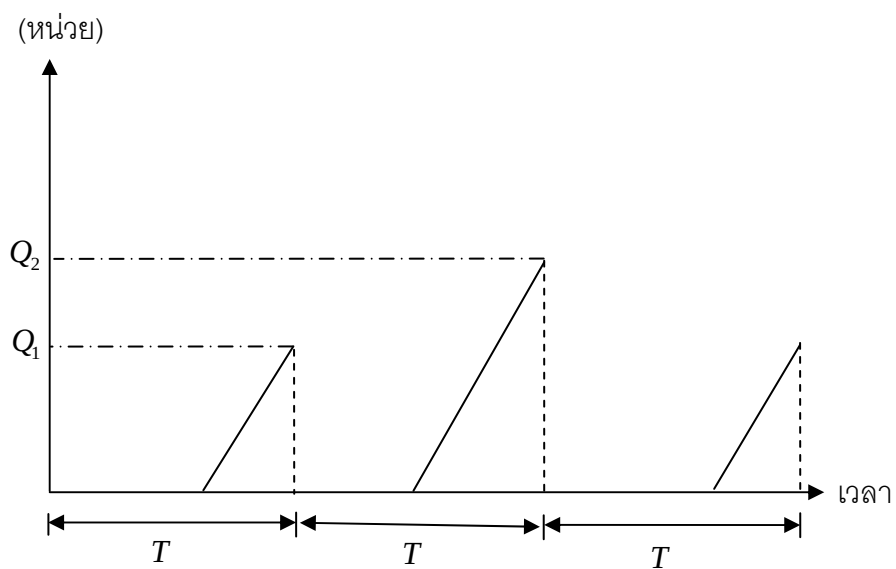
มีการผลิตสินค้าตามความต้องการ โดยทราบความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งปี (D) และเวลาในการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าในแต่ละรอบเท่ากัน (T) (ทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวและจัดส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว) แต่ปริมาณสินค้าในแต่ละรอบไม่เท่ากัน (Q_i) เนื่องจากเวลาในการผลิตแต่ละรอบไม่เท่ากัน (t_i) โดยที่ อัตราการผลิต (P) คงที่ โดยกำหนดให้เวลาในการขนส่งมากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต ($T \geq t_i$) หลังจากผลิตสินค้าเสร็จทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้าทันที โดยระยะเวลานำส่ง (Lead Time) ในแต่ละรอบเท่ากัน (T) จำนวน n รอบ ในขณะที่ขนส่งจะต้องการหาจุดเริ่มต้นในการผลิต ทำให้เมื่อส่งสินค้าเสร็จแล้วยังมีสินค้าในคลังสินค้า เพื่อที่จะส่งของให้ลูกค้ารอบต่อไปได้เลย โดยที่ไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงานและทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากเวลาการจัดส่งนานกว่าเวลาในการผลิต ดังนั้นจะมีช่วงเวลารอคอยการผลิตรอบต่อไปเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองก็เพื่อหาช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดส่งและทำให้เวลาในการผลิตสินค้ารอบใหม่เสร็จพอดี เพื่อไม่ให้มีสินค้าเหลืออยู่ในคลังสินค้า ดังรูป 3.5

ระดับสินค้าคงคลัง (Q_i)



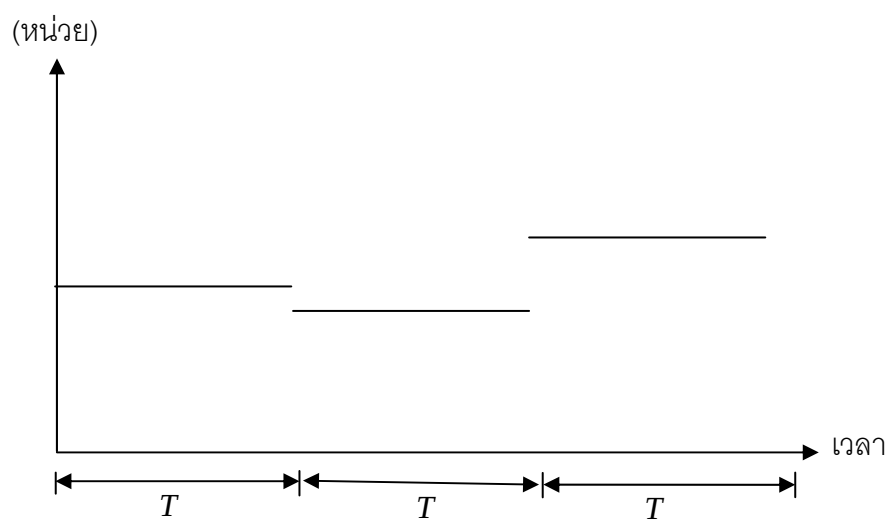
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q_i)



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q_i)



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

ทฤษฎีบท 3.2 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.2 แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดจะสามารถหาได้จากแบบจำลองการหาเหมาะสมที่สุด (Optimization Model) ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize } \left(TC(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = n(c_s + c_T) + \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^n Q_i^2 c_{h_1} + T \sum_{i=1}^n Q_i c_{h_2} \right)$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับคือ } Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = D$$

$$\text{และ } 0 < Q_i \leq PT \text{ สำหรับ } i=1, \dots, n$$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (e) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (f)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า(g)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าขณะที่มีสินค้าในขณะขนส่ง(h)

จำนวนรอบการดำเนินงาน = จำนวนครั้งการผลิต = จำนวนครั้งการขนส่ง = n , เวลาในการดำเนินงานต่อ 1 ปี เท่ากับ nT

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต} &= \text{จำนวนครั้งของการผลิต} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต} \\ &= n \cdot C_s \end{aligned} \quad (e)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง} &= \text{จำนวนครั้งของการขนส่ง} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง} \\ &= n \cdot C_T \end{aligned} \quad (f)$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิตปี $\times$ เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี)
 จะเห็นดังนี้

$$Q_i = P t_i \quad (3.2)$$

ดังนั้น จะเห็นว่าเวลาในการผลิตในแต่ละรอบ

$$t_i = \frac{Q_i}{P} \quad (3.3)$$

$$\text{ดังนั้น ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{\frac{1}{2}Q_1t_1 + \frac{1}{2}Q_2t_2 + \dots + \frac{1}{2}Q_nt_n}{nT} \quad (3.4)$$

แทนสมการที่ 3.3 ในสมการที่ 3.4 จะได้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^n Q_i^2$$

ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าเท่ากับจำนวนสินค้าคงคลังในคลังสินค้าเฉลี่ยคูณด้วยค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อหน่วยต่อปี

$$\text{ดังนั้น ค่าใช้รวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า} = \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^n Q_i^2 \cdot C_{h_1} \quad (g)$$

จากรูป 3.7 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา จะพบว่าค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งสามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี} &= \frac{Q_1T + Q_2T + \dots + Q_nT}{n} \\ &= \frac{nT \sum_{i=1}^n Q_i}{n} \\ &= \sum_{i=1}^n Q_iT \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งเท่ากับจำนวนสินค้าคงคลังในขณะขนส่งเฉลี่ยคูณด้วยค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อหน่วยต่อปี

$$\text{ดังนั้น จะได้ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง} = \left(\sum_{i=1}^n Q_i T \right) \cdot C_{h_2} \quad (h)$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (e) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (f)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้า (g)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง (h)

$$TC(Q_i) = n(c_s + c_T) + \frac{1}{2P} \sum_{i=1}^n Q_i^2 c_{h_1} + T \sum_{i=1}^n Q_i c_{h_2} \quad (3.5)$$

เงื่อนไขบังคับ : $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = D$ และ $0 < Q_i \leq PT$ สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$

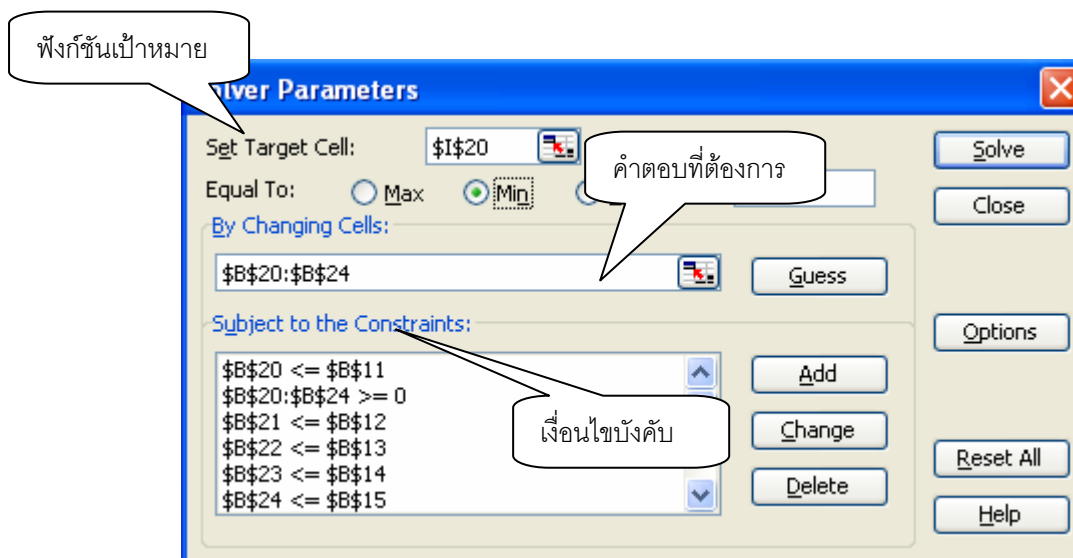
เนื่องจากจำนวนรอบการดำเนินงาน n และเวลาการขนส่งในแต่ละรอบ T จึงจะสามารถหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละรอบ Q_i ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดได้ โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Problem) ทั้งในแบบเชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) □

ตัวอย่างเชิงตัวเลข

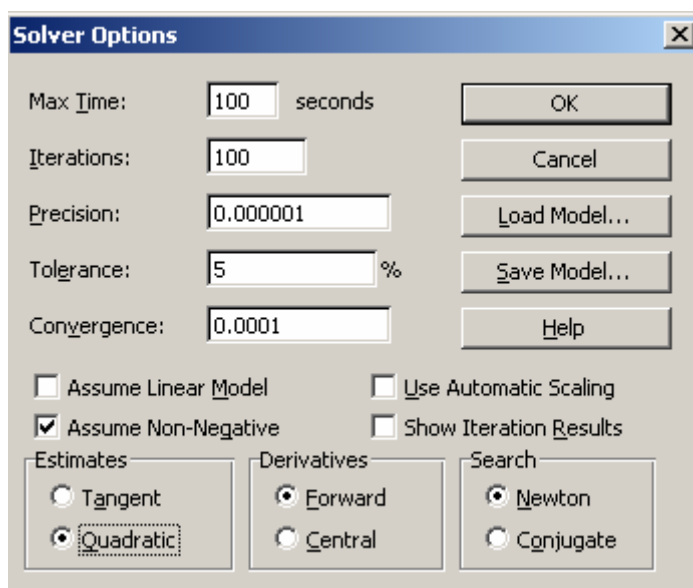
ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 250 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 3 บาทต่อหน่วยต่อปี, อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 3,600 หน่วยต่อปี, จำนวนรอบการดำเนินงาน $n = 5$

	A	B	C	D	E
1			Input Data		
2			The Number of cycles	5	
3			Production rate	10	
4			Demand rate	3,000.00	
5			Setup Cost	500	
6			Holding Cost in warehouse	4	
7			Holding Cost in transit	3	
8			Transportation Cost	250	
9					
10	Max Quantity			The cycle time	
11	Q1	720		T1	72
12	Q2	720		T2	72
13	Q3	720		T3	72
14	Q4	720		T4	72
15	Q5	720		T5	72
16				SumTi	360
17					
18					
19	Production quantity			Qi*2	QiTi
20	Q1 =	600.00		360,000.00	
21	Q2 =	600.00		360,000.00	
22	Q3 =	600.00		360,000.00	
23	Q4 =	600.00		360,000.00	
24	Q5 =	600.00		360,000.00	
25	sumQi	3,000.00		250.00	
26					
27			Objective =		6,550.00

รูปที่ 3.8 ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel ในการหาคำตอบ



รูปที่ 3.9 การป้อนแบบจำลองตามทฤษฎีบทที่ 3.2 ลงใน Excel Solver



รูปที่ 3.10 แสดงการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear)

จากรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel จากตัวอย่างดังรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่สุด คือ 600 หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน โดยที่จำนวนรอบการดำเนินงาน คือ 5 รอบ, อัตราความต้องการ คือ 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิต คือ 3,600 หน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต 500 บาทต่อรอบการดำเนินงาน, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในคลังสินค้า 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในขณะขนส่ง 5 บาทต่อหน่วยต่อปีและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 250 บาทต่อรอบการดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด 6,550 บาท โดยที่เวลาในแต่ละรอบเท่ากัน คือ 72 วัน ดังนั้นสำหรับกรณีที่เวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบเท่ากัน ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณการผลิตที่จะทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดคือปริมาณการผลิตที่เท่ากัน แต่บางกรณีที่ไม่สามารถผลิตสินค้าในปริมาณที่เท่ากันได้ ก็จะทำให้การผลิตสินค้าที่ละเท่า ๆ กัน จนกระทั่งรอบสุดท้ายจะผลิตในปริมาณที่เหลือดังตัวอย่างดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในรอบที่ 1 คือ 700 หน่วย, รอบที่ 2 และรอบที่ 3 คือ 700 หน่วย และปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในรอบที่ 4 คือ 900 หน่วย

	A	B	C	D	E
1					
2			Input Data		
3			The Number of cycles		4
4			Production rate		10
5			Demand rate		3,000.00
6			Setup Cost		500
7			Holding Cost in warehouse		4
8			Holding Cost in transit		3
9			Transportation Cost		250
10					
11		Max Quantity		The cycle time	
12		Q1 = 900		T1	90
13		Q2 = 900		T2	90
14		Q3 = 900		T3	90
15		Q4 = 900		T4	90
16				SumTi	360
17					
18		Production quantity		Cost	
19		Q1 = 700.00		490,000.00	
20		Q2 = 700.00		490,000.00	
21		Q3 = 700.00		490,000.00	
22		Q4 = 900.00		810,000.00	
23		sum Qi 3,000.00			
24				204.17	
25					
26			Objective =		5,391.67
27					

รูปที่ 3.11 ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel ในการหาคำตอบ

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$D=2,000$				$D=3,000$				$D=5,000$	
$p=10$		$p=15$		$p=10$		$p=15$		$p=15$	
n	TC	n	TC	n	TC	n	TC	n	TC
10	8,346.15	10	8,264.10	10	8,953.85	10	8,769.23	10	10,233.33
9	7,663.58	9	7,581.28	9	8,305.56	9	8,120.37	9	9,033.33
5	5,394.44	5	5,246.30	5	6,550.00	5	6,216.67	5	8,601.85
4	4,049.07	4	3,539.66	4	5,391.67	4	4,573.61	4	7,382.25
3	4,990.74	3	4,743.83	3	6,916.67	3	6,361.11	3	10,336.42
2	5,611.11	2	5,240.74	2	8,500.00	2	7,666.67	2	13,659.26

จากตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม ซึ่งจะเห็นว่า จำนวนรอบการดำเนินงานที่น้อยลงทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงจนถึงจุดหนึ่ง ต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะกลับเพิ่มขึ้นอีก จากตัวอย่าง จะเห็นว่า อัตราความต้องการ D คือ 2,000 หน่วยต่อปี และอัตราการผลิต p คือ 10 หน่วยต่อวัน และเวลาในการดำเนินงานใน 1 ปี 360 วัน ซึ่งทำให้เมื่อจำนวนรอบการดำเนินงานเพิ่มขึ้นต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3.1 เมื่อ $n=10$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,346.15 บาท และเมื่อ $n=9$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 7,663.58 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงมาจนกระทั่ง $n=4$ ที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 4,049.07 บาท แต่เมื่อ $n=3$ ต้นทุนโลจิสติกส์จะผันกลับสูงขึ้นเป็น 4,990.74 บาทและมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มอัตราการผลิต p คือ จาก 10 เป็น 15 หน่วยต่อวัน จะเห็นว่า $n=10$

ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,264.10 บาท และเมื่อ $n=9$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 7,581.28 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลงมาจนกระทั่ง $n=4$ จะทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 3,539.31 บาท แต่เมื่อ $n=3$ ต้นทุนโลจิสติกส์จะกลับสูงขึ้นเป็น 4,743.83 บาท และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากเมื่อรอบการดำเนินงานมาก ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตสินค้าและค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากขึ้น ซึ่งจะเห็นความสัมพันธ์ดังตารางที่ 3.2

ในกรณีที่อัตราความต้องการ D เปลี่ยนไป เช่น $D = 3,000$ หน่วยต่อปี หรือ $D = 5,000$ หน่วยต่อปี ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม จะยังคงเป็นไปในแนวทางเดียวกับกรณีที่ $D = 2,000$ หน่วยต่อปี แต่ต้นทุนโลจิสติกส์เพิ่มขึ้น สังเกตว่าในกรณีที่ $D = 5,000$ หน่วยต่อปี ตารางที่ 3.1 ไม่ได้แสดงค่าของต้นทุนโลจิสติกส์รวม เมื่อ $p = 10$ หน่วยต่อวัน ไว้เนื่องจาก อัตราการผลิตต่อปี คือ $P = 3,600$ หน่วยต่อปี ซึ่งน้อยกว่า อัตราความต้องการ $D=5,000$ หน่วยต่อปี ซึ่งไม่ตรงกับสมมุติฐานของแบบจำลองที่ต้องได้ว่า $P \geq D$

ณ ระดับความต้องการที่คงที่เช่น $D = 3,000$ หน่วยต่อปี และ $n = 10$ เมื่อเพิ่มอัตราการผลิตเช่นจาก $p = 10$ หน่วยต่อวัน เป็น $p = 15$ หน่วยต่อวัน ต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลงจาก 8,953.85 บาท เป็น 8,769.23 บาท ดังนั้น ณ อัตราความต้องการที่คงที่ ถ้าอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น ต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลง ในทางตรงกันข้าม ณ อัตราการผลิตคงที่ เช่น $p = 15$ และ $n=10$ เมื่ออัตราความต้องการเพิ่มขึ้นจาก $D=2,000$ หน่วยต่อปี ไปเป็น 3,000 และ 5,000 หน่วยต่อปี จะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มจาก 8,346.15 บาท ไปเป็น 8,953.85 บาท และ 10,233.33 บาท ตามลำดับ ดังนั้นอัตราความต้องการที่มากขึ้นจะส่งผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ที่สูงขึ้น

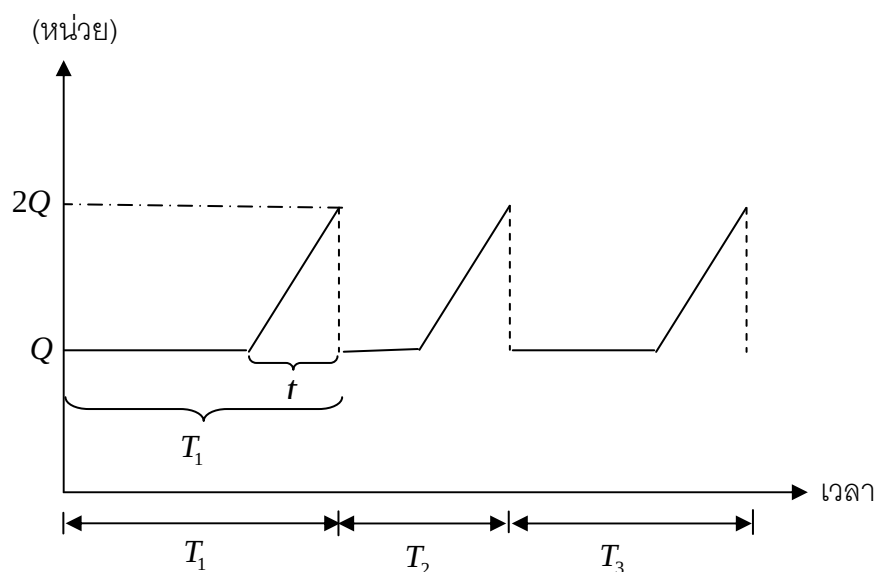
ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์

n	ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต	ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า	ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะที่ขนส่ง	ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง	ต้นทุนโลจิสติกส์รวม
10	5,000.00	246.15	600.00	2,500.00	8,346.15
9	4,500.00	246.91	666.66	2,250.00	7,663.57
5	2,500.00	444.44	1,200.00	1,250.00	5,394.44
4	2,000.00	674.08	1,500.00	1,000.00	5,174.08
3	1,500.00	740.76	2,000.01	750.00	4,990.77
2	1,000.00	1,111.12	3,000.00	500.00	5,611.12

3.3 เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากัน เวลาในแต่ละรอบการดำเนินงานไม่เท่ากัน

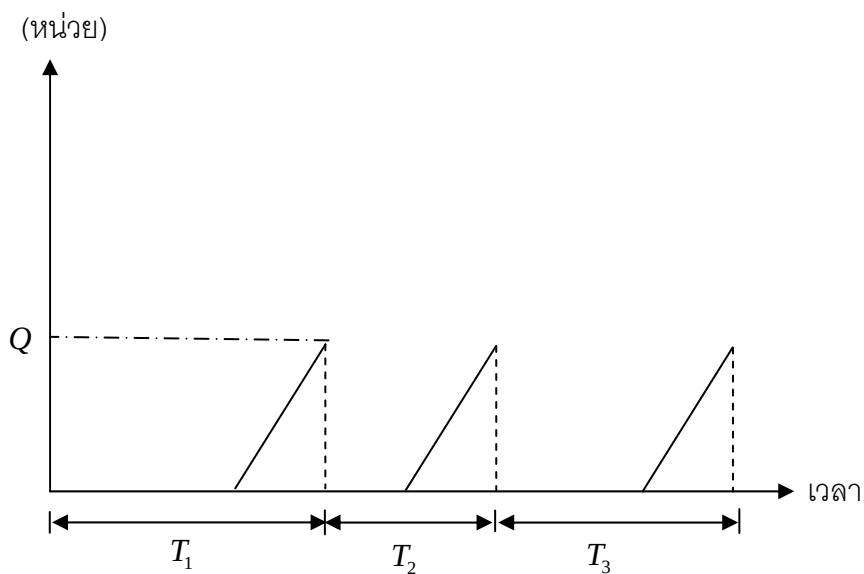
ระยะเวลาในการขนส่งแต่ละครั้งไม่เท่ากัน (ทำการส่งสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวและจัดส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง) โดยทราบความต้องการของลูกค้าแน่นอน และกำหนดให้เวลาในการขนส่ง (T_i) มากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต (t) ช่วงเวลา t คือ ช่วงเวลาในการผลิตสินค้าด้วยอัตราการผลิต P ต่อหน่วยเวลา หลังจากเสร็จสิ้นหนึ่งรอบการผลิต สินค้าทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้าโดยใช้เวลานำส่ง (Lead Time) เท่ากับ T_i แล้วคำนวณหาจุดเริ่มต้นในการผลิต เมื่อจัดส่งสินค้าเสร็จแล้วจะมีสินค้าซึ่งเกิดจากการผลิตในรอบต่อไปอยู่ในคลังสินค้า พร้อมทั้งจะจัดส่งให้ลูกค้ารอบต่อไปได้ทันทีโดยไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงาน ทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากเวลาการจัดส่งนานกว่าเวลาในการผลิต ดังนั้นจะมีช่วงเวลารอคอยการจัดส่งรอบต่อไปเกิดขึ้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองก็เพื่อหาช่วงเวลาที่ใช้ในการจัดส่งเท่ากับเวลาในการผลิตสินค้ารอบใหม่ได้พอดี เพื่อไม่ให้มีสินค้าเหลืออยู่ในคลังสินค้า ความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลาและความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าคงคลังในระหว่างขนส่งกับเวลาดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

ระดับสินค้าคงคลัง(Q)



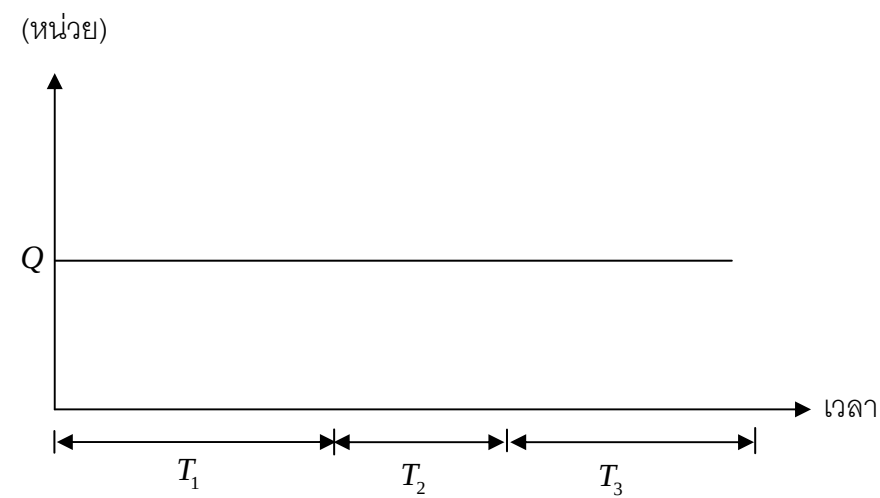
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังกับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง(Q)



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง(Q)



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

ทฤษฎีบทที่ 3.3 เมื่อสมมุติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.3 แล้วจะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

โดยที่ ปริมาณการผลิตที่ให้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุด

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot c_{h_1}}}$$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q)$ = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (j) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (k)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า(l)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (m)

$$\text{และ จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี} = \text{จำนวนครั้งของการผลิต} = \frac{D}{Q}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนครั้งของการขนส่งต่อปี} &= \text{จำนวนรอบการดำเนินงาน} = n \\ \text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต} &= \text{จำนวนครั้งของการผลิต} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต} \\ &= \frac{D}{Q} \cdot C_s \end{aligned} \quad (j)$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง} &= \text{จำนวนครั้งของการขนส่ง} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง} \\ &= \frac{D}{Q} \cdot C_T \end{aligned} \quad (k)$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิตปี $\times$ เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี)

$$Q = Pt$$

ดังนั้นจึงได้เวลาในการผลิตแต่ละรอบ

$$t = \frac{Q}{P} \quad (3.6)$$

จากรูปที่ 3.13 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้า จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{\left(\frac{0+Q}{2}\right)t + \left(\frac{0+Q}{2}\right)t + \dots + \left(\frac{0+Q}{2}\right)t}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{\frac{n}{2}Qt}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (3.7)$$

แทนสมการที่ 3.6 ในสมการที่ 3.7 จะได้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{D \cdot Q}{P \cdot 2}$$

$$\text{ดังนั้น ค่าใช้รวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า} = \frac{1}{2}Q \frac{D}{P} \cdot C_{h1} \quad (m)$$

จากรูปที่ 3.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลาได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี} = \frac{QT_1 + QT_2 + \dots + QT_n}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี} = \frac{Q \sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i} = Q$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง = QC_{h_2} (d)

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม = ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าขณะที่มีสินค้าในขณะขนส่ง

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$$TC(Q) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2} \quad (3.8)$$

ปริมาณสินค้าที่จะผลิตระดับที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำที่สุดจะได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (3.8) เทียบกับ Q และกำหนดให้เท่ากับ 0 จะได้

$$\frac{dTC(Q)}{dQ} = -(c_s + c_T) \frac{D}{Q^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot c_{h_1} + c_{h_2} = 0$$

$$\therefore c_{h_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} c_{h_1} = (c_s + c_T) \frac{D}{Q^{*2}}$$

ดังนั้น

$$Q^{*2} = \frac{(c_s + c_T) D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \frac{D}{P} c_{h_1}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T) D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \frac{D}{P} c_{h_1}}}$$

□

ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 300 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 3 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 5,000 หน่วยต่อปี จากทฤษฎีบท 3.3 ปริมาณสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ

$$Q^* = \sqrt{\frac{(c_s + c_T)D}{c_{h_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{P} \cdot c_{h_1}}}$$

จะได้

$$Q^* = \sqrt{\frac{(500 + 300) \cdot 3,000}{4 + (\frac{1}{2} \cdot \frac{3,000}{5,000} \cdot 3)}}$$

ดังนั้น $Q^* = 699.85$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน

จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q^*} \approx 4$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q^*}{P} \approx 50$ วัน

จากสมมุติฐานเวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน

ดังนี้ 85, 80, 95, 105 ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่เริ่มผลิต วันที่ 35, 115, 210, 265 ตามลำดับ

จากสมการ (j) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 2,143.32 บาท

จากสมการ (k) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,285.98 บาท

จากสมการ (l) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 629.87 บาท

และจากสมการ (m) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 2,799.4 บาท

ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC(Q^*) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

จะได้

$$TC(699.85) = (500 + 300) \cdot \frac{3,000}{(699.85)} + \frac{1}{2} \cdot (699.85) \cdot \frac{3,000}{5,000} \cdot 3 + (699.85 \cdot 4)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวมรวม $TC(Q^*) = 6,858.57$ บาท

เพื่อทำการวิเคราะห์ความไวของปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมว่ามีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์รวม จึงทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตสินค้าที่ผลิตคือ ถ้าสมมุติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 600$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} = 5$ รอบต่อปี เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} \approx 43.2$ วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน ดังนี้ 72, 80, 68, 75, 65 ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต วันที่ 31, 109, 177, 252, 317 ตามลำดับ

จากสมการ (j) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 2,500 บาท

จากสมการ (k) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,500 บาท

จากสมการ (l) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 540 บาท

และจากสมการ (m) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 2,400 บาท

จะเห็นว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวม คือ

$$TC(Q^*) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

จะได้

$$TC(500) = (500 + 300) \cdot \frac{3,000}{(600)} + \frac{1}{2} \cdot (600) \cdot \frac{3,000}{5,000} \cdot 3 + (600 \cdot 4)$$

ดังนั้น ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q) = 6,940$ บาท

ในทำนองเดียวกัน ถ้าสมมุติให้ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสม $Q = 800$ หน่วยต่อรอบการดำเนินงาน จะได้ จำนวนรอบที่ทำการผลิตและจัดส่งคือ $\frac{D}{Q} \approx 3$ รอบต่อปี

เวลาในการผลิตคือ $t = \frac{Q}{P} \approx 57$ วัน จากสมมุติฐาน เวลาในการผลิตแต่ละรอบเท่ากันและเวลาในการดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน ดังนี้ 140, 100, 120 ดังนั้น จึงได้ว่าจุดเวลาที่จะเริ่มผลิต คือ วันที่ 83, 183, 303 ตามลำดับ

จากสมการ (i) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต คือ 1,875 บาท

จากสมการ (j) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง คือ 1,125 บาท

จากสมการ (k) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในคลังสินค้า คือ 720 บาท

และจากสมการ (l) จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง คือ 3,200 บาท

จาก ต้นทุนโลจิสติกส์รวมคือ

$$TC(Q^*) = (c_s + c_T) \frac{D}{Q} + \frac{1}{2} Q \frac{D}{P} c_{h_1} + Q c_{h_2}$$

จะได้

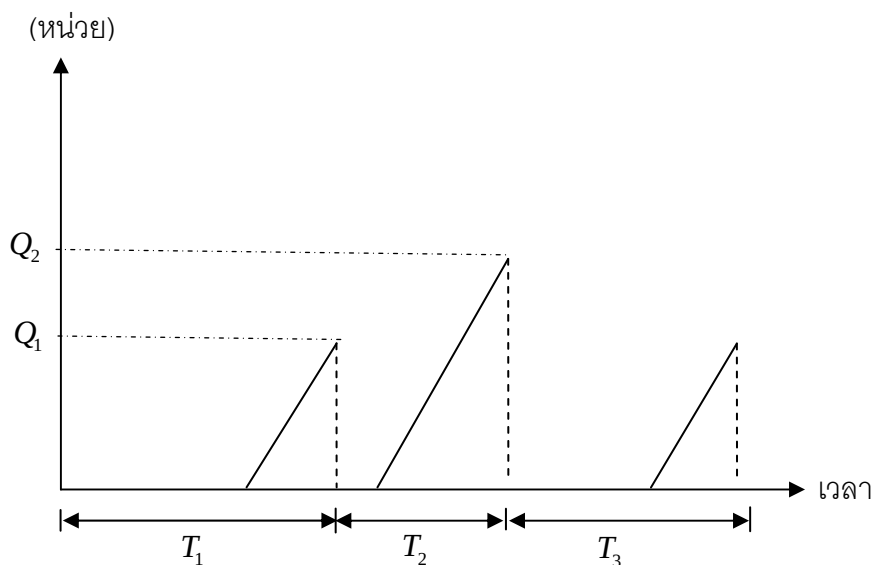
$$TC(800) = (500 + 300) \cdot \frac{3,000}{(800)} + \frac{1}{2} \cdot (800) \cdot \frac{3,000}{5,000} \cdot 3 + (800 \cdot 4)$$

จะทำให้ได้ ต้นทุนโลจิสติกส์รวม $TC(Q) = 6,920$ บาท ซึ่งจะเห็นว่า ปริมาณการผลิตสินค้าที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดเป็นไปตามทฤษฎีบทที่ 3.3

3.4 เวลาการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากันเวลา การดำเนินงานแต่ละรอบไม่เท่ากัน

ผลิตสินค้าตามความต้องการของลูกค้า โดยทราบความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งปีและทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าในแต่ละที่ไม่เท่ากัน เวลาในการผลิต (t_i) และเวลาในการขนส่ง (T_i) ในแต่ละรอบไม่เท่ากัน ปริมาณการผลิตในแต่ละรอบไม่เท่ากัน ซึ่งปริมาณการผลิตขึ้นกับเวลาการผลิต (t_i) โดยที่ อัตราการผลิต (P) คงที่ โดยกำหนดให้เวลาในการขนส่งมากกว่าหรือเท่ากับเวลาในการผลิต ($T_i \geq t_i$) หลังจากผลิตสินค้าเสร็จทั้งหมดจะพร้อมนำส่งลูกค้า โดยระยะเวลาขนส่ง (Lead Time) ในแต่ละรอบไม่เท่ากัน (T_i) ในกรณีที่ขนส่งจะต้องการหาจุดเริ่มต้นในการผลิตเพื่อทำให้เมื่อส่งสินค้าเสร็จแล้วยังมีสินค้าในคลังสินค้า เพื่อที่จะส่งของให้ลูกค้ารอบต่อไปได้เลย โดยที่ไม่ทำให้เสียเวลาในการดำเนินงานและทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าได้ทันตามกำหนด จากรูปที่ 3.15 จะเห็นระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา ซึ่งจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้า สามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

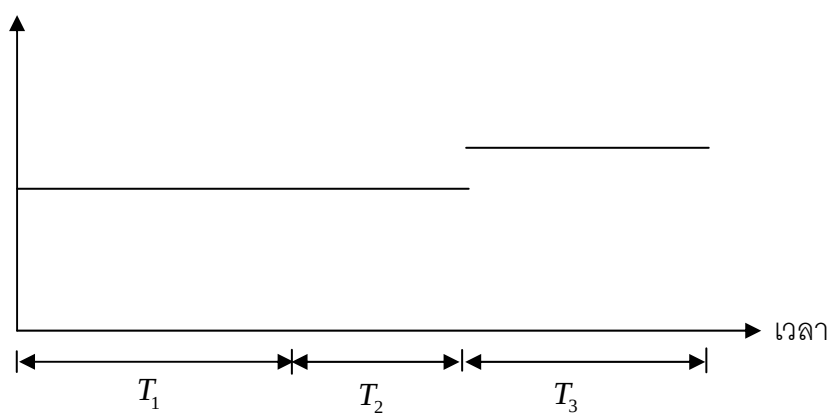
ระดับสินค้าคงคลัง(Q_i)



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในคลังสินค้ากับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q_i)

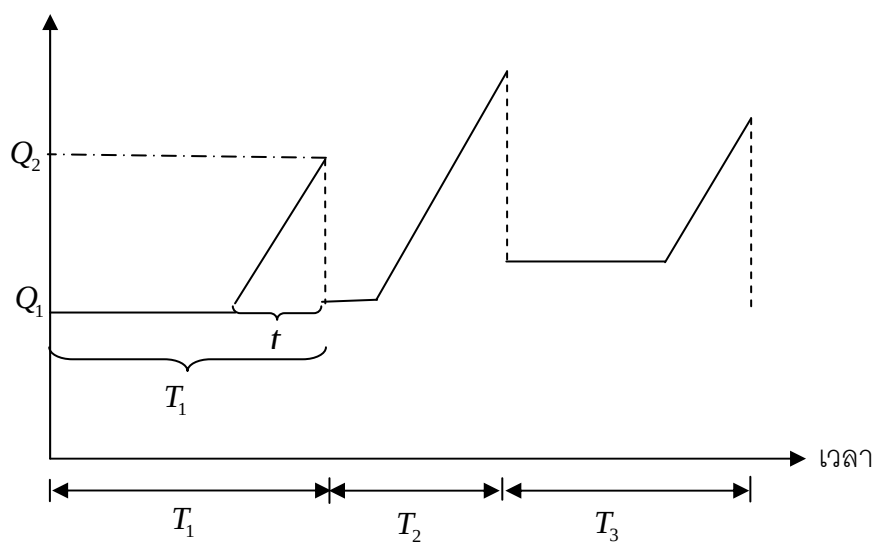
(หน่วย)



รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา

ระดับสินค้าคงคลัง (Q)

(หน่วย)



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในการดำเนินงานกับเวลา

ทฤษฎีบท 3.4 เมื่อสมมติให้ข้อกำหนดของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นไปตามกรณีที่ 3.4 แล้วจะได้ว่า ได้ต้นทุนโลจิสติกส์รวมต่ำที่สุดจะสามารถหาได้จากแบบจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Model) ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize } TC(Q_i) = n \cdot (C_s + C_T) + \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{2P} \cdot C_{h_1} + \sum_{i=1}^n Q_i T_i \cdot C_{h_2}$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับ } Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = D$$

$$\text{และ } 0 < Q_i \leq PT \text{ สำหรับ } i = 1, 2, \dots, n$$

พิสูจน์

ต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวม $TC(Q) =$ ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต (r) + ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (s)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า(t)
 + ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (z)

จำนวนรอบการดำเนินงาน = จำนวนครั้งการผลิต = จำนวนครั้งการขนส่ง = n เวลาในการดำเนินงาน

ต่อ 1 ปี เท่ากับ $\sum_{i=1}^n T_i$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมในการเริ่มผลิต = จำนวนครั้งของการผลิต x อัตราค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต

$$= n \cdot c_s \quad (r)$$

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง = จำนวนครั้งของการขนส่ง x อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

$$= n \cdot c_T \quad (s)$$

เนื่องจาก ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ผลิต = อัตราการผลิตปี x เวลาในการผลิตในแต่ละรอบการดำเนินงาน (ปี)
 จะเห็นดังนี้

$$Q_i = P t_i \quad (3.9)$$

ดังนั้น จะเห็นว่าเวลาในการผลิตในแต่ละรอบ

$$t_i = \frac{Q_i}{P} \quad (3.10)$$

และ อัตราความต้องการต่อปี $D = \sum_{i=1}^n Q_i$

$$\text{จากรูป 3.15 ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้า} = \frac{\frac{1}{2}Q_1t_1 + \frac{1}{2}Q_2t_2 + \dots + \frac{1}{2}Q_nt_n}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (3.11)$$

แทนสมการ 3.10 ในสมการ 3.11 จะได้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i t_i)}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{1}{2P} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (3.12)$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในคลังสินค้าต่อปี

$$\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{2P}$$

และจะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในคลังสินค้า คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี คูณกับจำนวนสินค้าในคลังสินค้าโดยเฉลี่ยต่อปี ดังนี้

$$\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{2P} \cdot C_{h1}$$

จากรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับสินค้าคงคลังในขณะขนส่งกับเวลา ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลัง ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยสินค้าคงคลังในขณะขนส่งต่อปี} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i T_i}{\sum_{i=1}^n T_i} = \sum_{i=1}^n Q_i T_i \quad (3.13)$$

จะได้ ค่าใช้จ่ายรวมในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังในขณะขนส่ง คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปีคูณกับจำนวนสินค้าในขณะขนส่งโดยเฉลี่ยต่อปี ดังนั้นจะได้แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\sum_{i=1}^n Q_i T_i \cdot c_{h_2}$$

จากรูปจะแสดงให้เห็นการดำเนินงานในการผลิตและการขนส่งตามสมมุติฐาน เพื่อที่จะหาปริมาณสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ดังนั้นจะได้

$$\text{Minimization } TC(Q_i) = n \cdot (C_s + C_T) + \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2}{2P} \cdot C_{h_1} + \sum_{i=1}^n Q_i T_i \cdot C_{h_2}$$

โดยมีเงื่อนไขบังคับคือ $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = D$

และ $Q_i = P T_i$ สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$

□

ตัวอย่างเชิงตัวเลข

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต (c_s) = 500 บาทต่อรอบการผลิต, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (c_T) = 250 บาทต่อรอบการขนส่ง, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า (c_{h_1}) = 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในขณะขนส่ง (c_{h_2}) = 3 บาทต่อหน่วยต่อปี, อัตราความต้องการสินค้าต่อปี (D) = 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิตต่อปี (P) = 5,400 หน่วยต่อปี, จำนวนรอบการดำเนินงาน $n = 4$

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					

ข้อมูล

Input Data

The number 4

Production rate 15

Demand rate 3,000.00

Setup Cost 500

Holding Cost in warehouse 4

Holding Cost in transit 3

Transportation Cost 250

Max Quantity

Q1 1,275.00

Q2 1,425.00

Q3 1,470.00

Q4 1,230.00

ปริมาณการผลิตที่เหมาะสม

The cycle time

T1 85

T2 95

T3 98

T4 82

Sum Ti 360

Production quantity

Q1 = 676.25

Q2 = 563.75

Q3 = 530.00

Q4 = 1,230.00

sum Qi 3,000.00

Q1^2 457,314.06

Q2^2 317,814.08

Q3^2 280,899.99

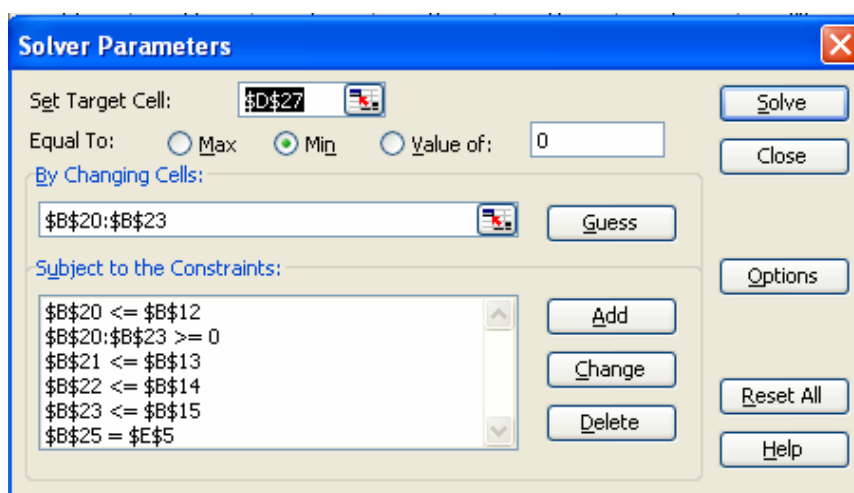
Q4^2 1,512,900.00

97.78038202

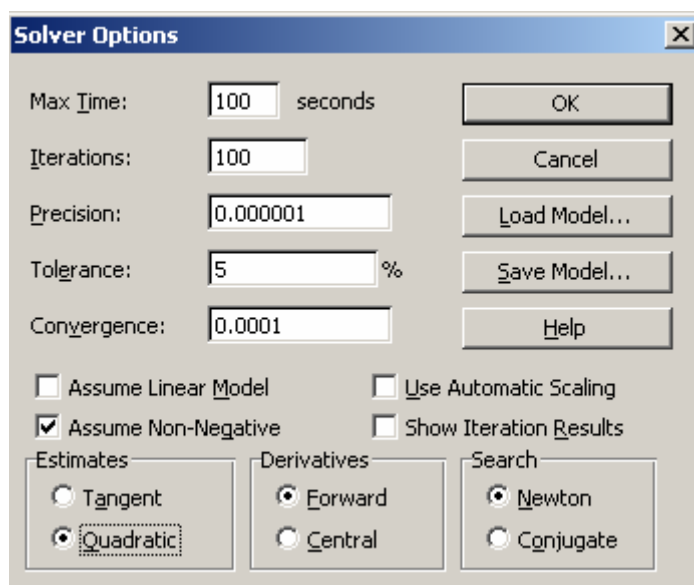
Objective 4,749.27

ต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด

รูปที่ 3.18 ผลการใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ในการหาคำตอบ



รูปที่ 3.19 ป้อนแบบจำลองตามทฤษฎีบทที่ 3.2 ลงใน Excel Solver



รูปที่ 3.20 แสดงการใช้โปรแกรม Solver ใน MS. Excel สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear)

จากรูปที่ 3.18, 3.19 และ 3.20 แสดงให้เห็นถึงการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) โดยจะใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรม Optimization ที่สามารถใช้ได้กับปัญหาเชิงเส้น (Linear) และปัญหาไม่เชิงเส้น (Nonlinear) จากตัวอย่างดังรูปที่ 3.18 โดยที่จำนวนรอบการดำเนินงาน คือ 4 รอบ, อัตราความต้องการ คือ 3,000 หน่วยต่อปี, อัตราการผลิต คือ 5,400 หน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต 500 บาทต่อรอบการดำเนินงาน, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในคลังสินค้า 4 บาทต่อหน่วยต่อปี, ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาในขณะขนส่ง 3 บาทต่อหน่วยต่อปี และค่าใช้จ่ายในการในการขนส่ง 250 บาทต่อรอบการดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด 6,150.10 บาท โดยที่เวลาในแต่ละรอบไม่เท่ากัน คือ 85,95,98,82 วัน ดังนั้น จะเห็นว่าปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 1 คือ 676.25 บาท, ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 2 คือ 563.75 บาท, ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 3 คือ 530.00 บาท, ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมรอบที่ 4 คือ 1,230 บาท ซึ่งจะผลิตเต็มความสามารถของเครื่องจักรในรอบที่เวลาในการผลิตน้อย ส่วนรอบที่เวลาการผลิตมาก จะผลิตสินค้าน้อยกว่ารอบอื่น ๆ

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม

$D=2,000$				$D=3,000$				$D=5,000$	
$P=10$		$P=15$		$P=10$		$P=15$		$P=15$	
n	TC	n	TC	n	TC	n	TC	n	TC
10	8,356.74	10	8,269.70	10	8,908.82	10	8,785.12	10	10,129.89
8	6,983.95	8	6,868.75	8	7,770.35	8	7,475.92	8	9,181.68
5	5,390.76	5	5,240.77	5	6,546.31	5	6,211.14	5	8,598.24
4	4,166.18	4	3,663.46	4	5,560.62	4	4,749.27	4	7,664.18
3	4,984.49	3	4,734.45	3	6,910.42	3	6,351.74	3	10,336.31
2	5,604.86	2	5,231.37	2	8,493.75	2	7,657.29	2	13,659.26

จากตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์จำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม ซึ่งจะเห็นว่า จำนวนรอบการดำเนินงานที่น้อยลง ทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์ลดลง จนถึงจุดหนึ่ง ต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะกลับเพิ่มขึ้นอีก เช่น จากตัวอย่าง จะเห็นว่า อัตราความต้องการ D คือ 2000 หน่วยต่อปี และอัตราการผลิต p คือ 10 หน่วยต่อวัน และเวลาในการดำเนินงานใน 1 ปี คือ 360 วัน ซึ่งทำให้เมื่อจำนวนรอบการดำเนินงานเพิ่มขึ้นต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3.3 เมื่อ $n=10$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,356.74 บาท และเมื่อ $n=8$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 6,983.95 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงมาจนกระทั่ง $n=4$ ที่ทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 4,166.18 บาท เนื่องจากจำนวนรอบการดำเนินงานลดลงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิตสินค้า และค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลง ดังตารางที่ 3.4 แต่เมื่อ $n=3$ ต้นทุนโลจิสติกส์จะย้อนกลับสูงขึ้นเป็น 4,984.49 บาท และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกัน เนื่องจากเมื่อรอบการดำเนินงานลดลง ปริมาณสินค้าที่ต้องผลิตแต่ละรอบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 3.4 เมื่อเพิ่มอัตราการผลิต p จาก 10 เป็น 15 หน่วยต่อวัน ผลที่ได้คือที่ $n=10$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 8,269.70 บาท และเมื่อ $n=8$ ต้นทุนโลจิสติกส์คือ 7,581.28 บาท และต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลงมาจนกระทั่ง $n=4$ จะทำให้ต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำที่สุดคือ 3,663.46 บาท แต่เมื่อ $n=3$ ต้นทุนโลจิสติกส์จะกลับสูงขึ้นเป็น 4,734.45 บาท และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ

ในกรณีที่อัตราความต้องการ D เปลี่ยนไปเช่น $D=3,000$ หน่วยต่อปีหรือ $D=5,000$ หน่วยต่อปี ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการดำเนินงานและต้นทุนโลจิสติกส์รวม จะยังคงเป็นไปในแนวเดียวกันกับกรณีที่ $D=2,000$ หน่วยต่อปี สังเกตว่าในกรณีที่ $D=5,000$ หน่วยต่อปี ตารางที่ 3.3 ไม่ได้แสดงค่าของต้นทุนโลจิสติกส์รวมเมื่อ p คือ 10 หน่วยต่อวัน ไว้เนื่องจาก อัตราการผลิต P

คือ 3,600 บาทต่อปี ซึ่งน้อยกว่า $D = 5,000$ หน่วยต่อปี ซึ่งไม่ตรงกับสมมุติฐานของแบบจำลองที่ต้องได้ว่า $P \geq D$

ณ ระดับอัตราความต้องการที่คงที่เช่น $D = 3,000$ หน่วยต่อปี และ $n=10$ เมื่อเพิ่มอัตราการผลิต เช่นจาก $p=10$ หน่วยต่อวันเป็น $p=15$ หน่วยต่อวัน ต้นทุนโลจิสติกส์ลดลงจาก 8,908.82 บาท เป็น 8,785.12 บาท ดังนั้น ณ อัตราที่คงที่ ถ้าอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ต้นทุนโลจิสติกส์จะลดลง ในทางตรงกันข้าม ณ อัตราผลิตคงที่ เช่น ที่ระดับ $p=15$ และ $n=10$ เมื่ออัตราความต้องการเพิ่มขึ้นจาก $D=2,000$ หน่วยต่อปี ไปเป็น 3,000 หน่วยต่อปี และ 5,000 หน่วยต่อปี จะได้ว่า ต้นทุนโลจิสติกส์รวมจะเพิ่มจาก 8,269.70 บาท ไปเป็น 8,785.12 บาท และ 10,129.89 บาท ตามลำดับ ดังนั้นอัตราความต้องการที่มากขึ้นจะส่งผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ที่สูงขึ้น

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับส่วนประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์

n	ค่าใช้จ่ายในการเริ่มผลิต C_s	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในคลังสินค้า C_{h_1}	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาในขณะขนส่ง C_{h_2}	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง C_T	ต้นทุนโลจิสติกส์รวม TC
10	5,000.00	246.15	600.00	2,500.00	8,346.15
9	4,500.00	246.91	666.66	2,250.00	7,663.57
5	2,500.00	444.44	1,200.00	1,250.00	5,394.44
4	2,000.00	674.08	1,500.00	1,000.00	5,174.08
3	1,500.00	740.76	2,000.01	750.00	4,990.77
2	1,000.00	1,111.12	3,000.00	500.00	5,611.12