



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>**ตัวแบบสินค้าคงคลังร่วมกันระหว่างผู้ผลิตรายเดียวและผู้ซื้อรายเดียวโดยพิจารณาการลดช่วงเวลานำและการให้ราคาส่วนลด****Coordinated between single-vendor and single-buyer inventory model with lead time reduction and price discount**

นิภาภรณ์ วาวจะโปะ ปิยะวดี ประสงค์ศิลป์ และ วุฒิชัย ศรีโสดาพล*

Nipaporn Wawjapo, Piyawadee Prasongsin and Wuttichai Srisodaphol*

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002.

Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002

Received January 2013

Accepted May 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างตัวแบบสินค้าคงคลังซึ่งประกอบด้วยผู้ผลิตรายเดียวกับผู้ซื้อรายเดียว ผู้ซื้อใช้นโยบาย (R, Q) ในการควบคุมสินค้าคงคลัง ตัวแบบสินค้าคงคลังวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการลดช่วงเวลานำที่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อลดลงโดยพิจารณาพร้อมกับการให้ส่วนลดในระบบสินค้าคงคลังที่มีการตรวจสอบสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่อง ความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำมีการแจกแจงแบบปกติ ผู้ผลิตทำการตรวจสอบสินค้าให้สมบูรณ์ แล้วได้มีการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำสุดโดยพิจารณาปริมาณการสั่งซื้อ ช่วงเวลานำและราคาส่วนลดที่เหมาะสม นอกจากนี้ได้แสดงตัวอย่างการคำนวณให้เห็นถึงการนำตัวแบบไปใช้ในการพิจารณานโยบายสินค้าคงคลัง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการลดช่วงเวลานำทำให้ร้อยละของค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาลดลง

คำสำคัญ : การให้ส่วนลด สินค้าคงคลัง ช่วงเวลานำ นโยบายสินค้าคงคลัง (R, Q) **Abstract**

This study is to construct an inventory system model in which a single vendor supplies a product to a single buyer. The buyer uses the (R, Q) inventory policy. The inventory model analyzed the problem that the ordering cost reductions depend on lead time in the continuous inspection inventory model with backorders discount. The demand during lead time is distributed as normally distribution. Also, vendor manages the complete items. Then, the minimization of the average total related cost by simultaneously optimizing the order quantity, lead time and backorder price discount is considered. Moreover, a numerical example shows that how the integrated inventory models can be applied to the system. The results indicate that the percentage of average total cost savings depends on the shortened lead time.

Keywords : Backorder price discount, Inventory, Lead time, (R, Q) Inventory policy

*Corresponding author.

Email address: wuttsr@kku.ac.th

1. บทนำ

การจัดการและการควบคุมสินค้าคงคลังให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า นับเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันให้แก่ธุรกิจได้ ปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสมจะเป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่การวางแผนการสั่งซื้อ นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดต้นทุนในการสั่งซื้อ การขนส่ง และการจัดเก็บสินค้า ทั้งยังสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว หากธุรกิจมีปริมาณสินค้าคงคลังมากเกินไปความต้องการจะทำให้เกิดต้นทุนสูงในการจัดเก็บ เกิดความเสี่ยงที่สินค้าคงคลังจะเกิดการเสื่อมสภาพหรือล้าสมัย ซึ่งถือเป็นต้นทุนที่เป็นผลของความไม่มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณสินค้าคงคลังน้อยเกินไปก็จะเกิดความเสียหายต่อธุรกิจเช่นกัน เนื่องจากไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้และยังอาจเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าด้วย

ปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจสูง ในด้านคุณภาพสินค้าและราคา จึงต้องมีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการเพิ่มคุณภาพสินค้าและประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าคงคลังให้ดีขึ้นและเพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อ ช่วงเวลานำ (Lead Time) และราคาส่วนลด (Price discount) ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากช่วงเวลานำที่นานเกินไปซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนต่างๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อระดับความพึงพอใจของผู้บริโภคลดลง รวมทั้งทำให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยเพิ่มขึ้น [5]

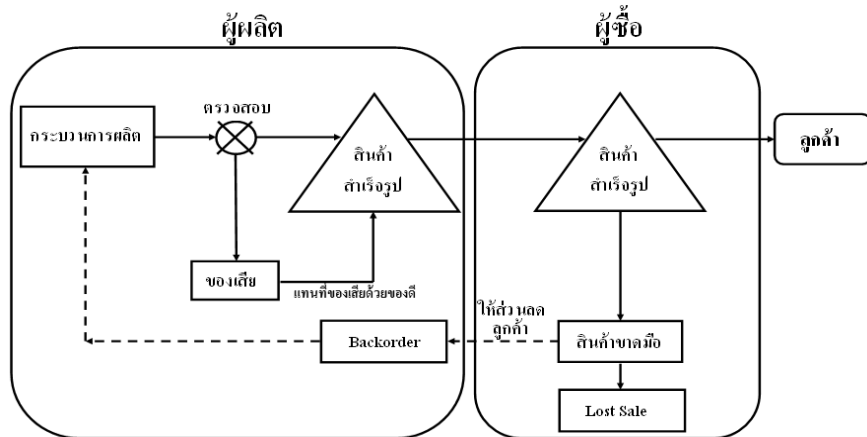
ในการศึกษานี้ จึงได้พัฒนาตัวแบบการจัดการสินค้าคงคลังประเภทรายการเดียวจากคลังเดียว สำหรับสินค้าชนิดเดียว เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตร่วมกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ผลิต นอกจากนี้ยังพิจารณาช่วงเวลานำและการให้ราคาส่วนลด ในกรณีเกิดสินค้าขาดมือ โดยผู้ผลิตเป็นผู้ตรวจสอบสินค้าและแก้ไขสินค้าก่อนส่งมอบให้ผู้ซื้อ ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำสุด

2. วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจัดการสินค้าคงคลังสำหรับผู้ซื้อรายเดียวและผู้ผลิตรายเดียว ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในระบบสินค้าคงคลังทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุด มีดังนี้

2.1 แบบจำลองของปัญหา

ในการควบคุมสินค้าคงคลัง โดยคำนึงถึงความพึงพอใจของลูกค้าซึ่งพิจารณาการเกิดสินค้าขาดมือทั้ง Backorder และ Lost Sales พิจารณาการให้ส่วนลดในกรณีการเกิดสินค้าขาดมือ และผู้ซื้อสามารถลดช่วงเวลานำ เพื่อตอบสนองคำสั่งซื้อของผู้ซื้อให้รวดเร็วขึ้นกว่าเดิม แต่จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายของผู้ผลิตเพิ่มขึ้นมา 3 ส่วน [2] ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการบริหาร ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการเร่งการผลิต ผู้ผลิตได้ทำการตรวจสอบสินค้าทุกชิ้นเนื่องจากผู้ผลิตไม่สามารถผลิตสินค้าที่ตรงตามข้อกำหนดได้ ผู้ผลิตจึงต้องถือสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย (SS_B) ไว้เปลี่ยนสินค้าที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดเท่ากับ $\frac{\partial \pi_2 Q^2}{2P_2}$ [4] โดยการไหลของผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปจนถึงลูกค้า แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การไหลของผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปจนถึงลูกค้า

2.2 ข้อสมมติ (Assumptions)

(1) จุดสั่งซื้อสินค้าใหม่ (R) = ความต้องการสินค้าเฉลี่ยในช่วงเวลานำ (DL) + สินค้าเพื่อความปลอดภัย (SS) และ $SS = z\sigma\sqrt{L}$ โดยที่ z คือค่าจากตารางสถิติและความน่าจะเป็นที่ความต้องการสินค้ามีค่าไม่เกินกว่าระดับสั่งซื้อสินค้าในช่วงเวลานำ $P(D_L \leq R) = m$ หรือระดับการให้บริการ

(2) ช่วงเวลานำแบ่งออกเป็น n ส่วน ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน a_i คือ ช่วงเวลานำน้อยที่สุด b_i คือ ช่วงเวลานำปกติ และ c_i เป็นค่าใช้จ่ายในการลดช่วงเวลานำส่วนที่ $i = 1, 2, \dots, n$ โดยที่ $c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_n$

(3) กำหนด $L_0 = \sum_{j=1}^n b_j$ และ L_i คือระยะเวลาช่วงเวลานำ ส่วนที่ $1, 2, \dots, i$ เพื่อลดช่วงเวลานำให้ต่ำที่สุด

โดย $L_i = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{j=1}^i (b_j - a_j), i = 1, 2, \dots, n$

เมื่อ $L_{\min} = \sum_{i=1}^n a_i \leq L \leq \sum_{i=1}^n b_i = L_{\max}$ และ ค่าใช้จ่ายในการลดช่วงเวลานำ

$$C(L) = c_i (L_{i-1} - L) + \sum_{j=1}^{i-1} c_j (b_j - a_j)$$

(4) ลดเวลานำได้ทีละส่วนโดยเริ่มจาก ส่วนที่ 1 (ค่าใช้จ่ายในการลดช่วงเวลานำต่ำที่สุด) ถัดไปเป็นส่วนที่ 2 ไปเรื่อยๆ จนถึง ส่วนที่ n

(5) การลดช่วงเวลานำ (L) ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อลดลง (A) และ A เป็นฟังก์ชันเว้า (Concave function) ของ L โดยที่ $A'(L) > 0$ และ $A''(L) \leq 0$ เมื่อ

$$A(L) = \left(1 - \frac{1}{\lambda_1}\right) A_0 + \left(\frac{A_0}{\lambda_1 L_0}\right) L \quad [1]$$

(6) สัดส่วนของสินค้าขาดมือที่ถูกค้ารอได้ (β) เป็นสัดส่วนในการลดราคา (π_x) โดยอัตราส่วนของสินค้าขาดมือที่ถูกค้ารอได้หาได้จาก $\beta = \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0}$ โดยที่

$$0 \leq \beta_0 < 1 \text{ และ } 0 \leq \pi_x \leq \pi_0 \quad [6]$$

(7) ผู้ผลิตทำการตรวจสอบสินค้าให้แบบถูกต้องก่อนส่งมอบให้กับผู้ซื้อ

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วย

2.3.1 ค่าใช้จ่ายของผู้ผลิต (Vendor) ต่อรอบการผลิต มีดังนี้

(1) ค่าใช้จ่ายในการ Setup คือ K_v

(2) ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า คือ

$$h_v T \left(\frac{Q}{2} + \frac{\delta \lambda_2 Q^2}{2P} \right)$$

(3) ค่าใช้จ่ายในการลดช่วงเวลานำ คือ $C(L)$

(4) ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสินค้า คือ TvQ

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยของผู้ผลิต

ต่อหน่วยเวลา (AC_V) คือ

$$AC_V = \frac{D}{Q} K_V + \left(h_V \left(\frac{Q}{2} + \frac{\delta \lambda_2 Q^2}{2P} \right) \right) + \frac{D}{Q} C(L) + vQ \quad (1)$$

2.3.2 ค่าใช้จ่ายของผู้ซื้อ (Buyer) ต่อรอบการสั่งซื้อ
มีดังนี้

(1) ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้า คือ $A(L)$

(2) ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า คือ

$$h_B T \left(\frac{Q}{2} + R - DL + (1 - \beta) E(D_L - R)^+ \right)$$

(3) ค่าใช้จ่ายของ Backorder และ Lost Sales

$$\text{คือ } [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] E(D_L - R)^+$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยของผู้ซื้อต่อหน่วย

เวลา (AC_B) คือ

$$AC_B = \frac{D}{Q} A(L) + h_B \left(\frac{Q}{2} + R - DL + (1 - \beta) E(D_L - R)^+ \right) + \frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] E(D_L - R)^+ \quad (2)$$

ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยสำหรับผู้ขายรายเดียว

และผู้ผลิตรายเดียวต่อหน่วยเวลา (AC_{V+B}) คือ

$$AC_{V+B} = \frac{D}{Q} (K_V + A(L)) + \left(h_V \left(\frac{Q}{2} + \frac{\delta \lambda_2 Q^2}{2P} \right) \right) + \frac{D}{Q} C(L) + vQ + h_B \left(\frac{Q}{2} + R - DL + (1 - \beta) E(D_L - R)^+ \right) + \frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] E(D_L - R)^+ \quad (3)$$

$E(D_L - R)^+$ คือค่าคาดหวังโดยเฉลี่ยความต้องการสินค้าในช่วงที่สินค้าขาดมือ โดยข้อสมมติข้อที่ 6 ในระหว่างสินค้าขาดมือ สัดส่วนของสินค้าขาดมือที่ถูกค้า

$$\beta = \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0}$$

จะนั้น การลดราคา π_x ต่อหน่วยที่กำหนดโดยผู้ซื้อสามารถกำหนดเป็นตัวแปรตัดสินใจแทนสัดส่วนของสินค้าขาดมือที่ถูกค้าได้ β ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา คือ

$$AC_{V+B} = \frac{D}{Q} (K_V + A(L)) + \left(h_V \left(\frac{Q}{2} + \frac{\delta \lambda_2 Q^2}{2P} \right) \right) + \frac{D}{Q} C(L) + vQ + h_B \left(\frac{Q}{2} + R - DL + \left(1 - \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0} \right) E(D_L - R)^+ \right) + \frac{D}{Q} \left[\frac{\beta_0 \pi_x^2}{\pi_0} + \pi_0 - \beta_0 \pi_x \right] E(D_L - R)^+ \quad (4)$$

นอกจากนั้น เมื่อความต้องการสินค้าในช่วงเวลา

นำ D_L มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ย DL และความแปรปรวน $\sigma\sqrt{L}$ ได้ $R = DL + z\sigma\sqrt{L}$ และค่าเฉลี่ยความต้องการสินค้าในช่วงที่สินค้าขาดมือ

$$E(D_L - R)^+ = \int_R^\infty (D_L - R) f_{D_L}(D_L) dD_L = \sigma\sqrt{L} \psi(z)$$

เมื่อ $\psi(z) \equiv \phi(z) - z[1 - \Phi(z)] > 0$, $\phi(z)$ และ $\Phi(z)$

แสดงถึง ฟังก์ชันการแจกแจงความหนาแน่นของความ

น่าจะเป็น และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ตามลำดับ ดังนั้น

ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา คือ

$$AC_{V+B} = \frac{D}{Q} (K_V + A(L)) + \left(h_V \left(\frac{Q}{2} + \frac{\delta \lambda_2 Q^2}{2P} \right) \right) + \frac{D}{Q} C(L) + vQ + h_B \left(\frac{Q}{2} + z\sigma\sqrt{L} \right) + \left[h_B \left(1 - \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0} \right) + \frac{D}{Q} G(\pi_x) \right] \sigma\sqrt{L} \psi(z) \quad (5)$$

$$\text{โดย } G(\pi_x) = \pi_0 - \beta_0 \pi_x + \frac{\beta_0 \pi_x^2}{\pi_0} > 0$$

$$(\text{เพราะว่า } \frac{\pi_0}{\pi_x} > \beta_0 \left(1 - \frac{\pi_x}{\pi_0} \right) > 0)$$

หาค่าของ Q^* , π_x^* และ L^* ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยต่ำสุด พิจารณาจากการหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการที่ (5) เทียบกับ Q , π_x และ L ตามลำดับ ได้ดังนี้

$$\frac{\partial AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)}{\partial Q} = \frac{-D(K_V + A(L))}{Q^2} + h_V \left(\frac{1}{2} + \frac{\delta \lambda_2 Q}{P} \right) - \frac{D}{Q^2} C(L) + v + \frac{h_B}{2} - \frac{DG(\pi_x) \sigma\sqrt{L} \psi(z)}{Q^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)}{\partial \pi_x} = \left[\frac{D}{Q} \left(\frac{2\beta_0 \pi_x}{\pi_0} - \beta_0 \right) - \frac{h_B \beta_0}{\pi_0} \right] \sigma\sqrt{L} \psi(z) \quad (7)$$

$$\frac{\partial AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)}{\partial L} = \frac{A'(L)D}{Q} + \frac{h_B z \sigma}{2\sqrt{L}} + \frac{1}{2\sqrt{L}} \left[h_B \left(1 - \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0} \right) + \frac{D}{Q} G(\pi_x) \right] \sigma \psi(z) - \frac{Dc_i}{Q} \quad (8)$$

โดยการตรวจสอบเงื่อนไขเพียงพอของ AC_{V+B} โดยหาอนุพันธ์อันดับที่สองของ AC_{V+B} เทียบกับ L ซึ่งพบได้ว่า AC_{V+B} ไม่ใช่ค่าต่ำสุด เมื่อกำหนด Q และ π_x เป็นค่าคงที่เพราะว่า

$$\frac{\partial^2 AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)}{\partial L^2} = \frac{A''(L)D}{Q} - \frac{1}{4} h_B z \sigma L^{-\frac{3}{2}} - \frac{1}{4} \left[h_B \left(1 - \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0} \right) + \frac{D}{Q} G(\pi_x) \right] \sigma L^{-\frac{3}{2}} \psi(z) < 0$$

ฉะนั้น เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด จะให้ค่า $L \in [L_i, L_{i-1}]$ และ $AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)$ มีค่าต่ำสุดเกิดขึ้นที่จุด (Q^*, π_x^*) ดังนั้นกำหนดให้ $L \in [L_i, L_{i-1}]$ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำสุดเกิดขึ้นที่จุด (Q^*, π_x^*) โดยกำหนดให้ $\frac{\partial AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)}{\partial Q} = 0$ และ $\frac{\partial AC_{V+B}(Q, \pi_x, L)}{\partial \pi_x} = 0$ ได้ปริมาณสินค้าที่จะสั่งซื้อ (Q^*)

จากการแก้สมการหาค่า Q ในสมการ (9)

$$\left(\frac{h_v \delta \lambda_2}{P} \right) Q^3 + \left(\frac{h_v}{2} + \frac{h_B}{2} + v \right) Q^2 - D(K_v + A(L) + C(L) + G(\pi_x) \sigma \sqrt{L} \psi(z)) = 0 \quad (9)$$

ราคาส่งลด (π_x^*) หาได้จากสมการ (10)

$$\pi_x^* = \frac{h_B Q^*}{2D} + \frac{\pi_0}{2} \quad (10)$$

แทนสมการ (10) ในสมการ (9) ได้ตั้งสมการ (11)

$$\left(\frac{h_v \delta \lambda_2}{P} \right) Q^3 + \left(\frac{h_v}{2} + \frac{h_B}{2} + v - \frac{\beta_0 h_B^2 \sigma \sqrt{L} \psi(z)}{4D\pi_0} \right) Q^2 - D \left(K_v + A(L) + C(L) + \frac{\pi_0 (4 - \beta_0)}{4} \sigma \sqrt{L} \psi(z) \right) = 0 \quad (11)$$

2.4 ขั้นตอนในการแก้ปัญหา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกทดสอบโดยใช้ข้อมูลป้อนเข้า ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 [3] เพื่อหาจำนวนการสั่งซื้อต่อครั้งที่เหมาะสมที่สุด รวมทั้งจุดสั่งซื้อและเวลานำที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อปีต่ำที่สุด โดยมีขั้นตอนในการหาคำตอบดังนี้

ขั้นที่ 1 แต่ละ $L_i, i = 1, 2, \dots, n$ และให้ระดับการให้บริการ m คำนวณ Q_i, π_{x_i} และเปรียบเทียบค่า π_{x_i} กับ π_0

ถ้า $\pi_{x_i} \leq \pi_0$ จะได้ π_{x_i} เหมาะสม ไปทำขั้นที่ 2

ถ้า $\pi_{x_i} > \pi_0$ จะได้ π_{x_i} ไม่เหมาะสม กำหนด $\pi_{x_i} = \pi_0$ และคำนวณ Q_i ไปทำขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 แต่ละ (Q_i, π_{x_i}, L_i) คำนวณหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อปี เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, n$

ขั้นที่ 3 ได้ $\text{Min}_{i=0,1,\dots,n} AC_{V+B}(Q_i, \pi_{x_i}, L_i)$ ถ้า $AC_{V+B}(Q_i^*, \pi_{x_i}^*, L_i^*) = \text{Min}_{i=0,1,\dots,n} AC_{V+B}(Q_i, \pi_{x_i}, L_i)$ เมื่อได้ $(Q_i^*, \pi_{x_i}^*, L_i^*)$ แล้วจะนำไปหาจุดสั่งซื้อ $R^* = DL^* + z\sigma\sqrt{L^*}$ และสัดส่วนสินค้า Backorder $\beta^* = \frac{\beta_0 \pi_x^*}{\pi_0}$ ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อปีต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 ข้อมูลป้อนเข้าของเวลานำ

เวลานำ ส่วนที่	ช่วงเวลานำ ปกติ	ช่วงเวลานำ น้อยที่สุด	ค่าใช้จ่ายการลด ช่วงเวลานำต่อ หน่วย (c_i , \$/วัน)
(i)	(b_i , วัน)	(a_i , วัน)	
1	12	8	2.8
2	12	8	8.4
3	9	5	35

ตารางที่ 2 ข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลอง

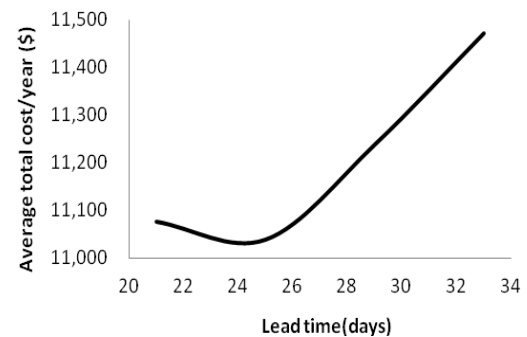
พารามิเตอร์	ผู้ผลิต	ผู้ซื้อ
D	-	7000
σ_d	-	100
K	700	350
h	0.5	0.8
P	9000	-
π_0	-	25
δ	0.03	-
λ_2	1	-
z	-	0.85
v	1.2	-
β_0	-	0.7
m	-	80%

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

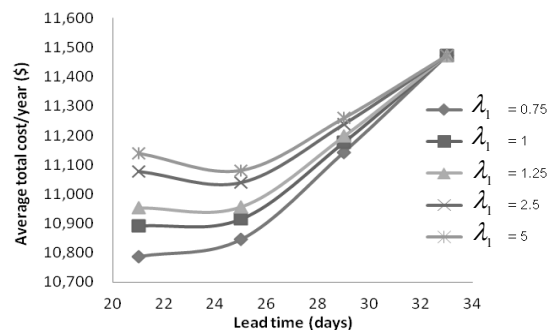
ผลลัพธ์โดยใช้ข้อมูลป้อนเข้า(ตารางที่ 1 และ 2) ได้ดังนี้ เมื่อ $\lambda_1 = 0.75$ โดยไม่มีการลดช่วงเวลานำ ($i=0$) ช่วงเวลานำ (L) เท่ากับ 33 วัน ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ย (AC_{V+B}) เท่ากับ 11,471.90 ดอลลาร์ ปริมาณการสั่งซื้อ (Q) เท่ากับ 3,000 ชิ้น และราคาส่วนลด (π_x) เท่ากับ 12.67 ดอลลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่เมื่อลดช่วงเวลานำจาก 33 วัน ลดลงเหลือ 21 วัน ($i=3$) จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยต่ำสุด (AC_{V+B}^*) เท่ากับ 10,786.21 ดอลลาร์ ปริมาณการสั่งซื้อ (Q^*) เท่ากับ 2,800 ชิ้น และราคาส่วนลด (π_x^*) เท่ากับ 12.66 ดอลลาร์ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 685.69 ดอลลาร์ หรือ 5.98% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีลดช่วงเวลานำ และเมื่อกำหนด $\lambda_1 = 2.5$ การลดช่วงเวลานำลงจนกระทั่งเวลานำเท่ากับ 25 วัน ($i=2$) ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยค่อยๆลดลง แต่เมื่อเวลานำลดอีกเป็น 21 วัน ทำให้

ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยกลับเพิ่มขึ้นดังแสดงดังรูปที่ 2 นอกจากนี้การลดช่วงเวลานำจะเห็นได้ว่าเมื่อลดช่วงเวลานำจะทำให้จุดสั่งซื้อต่ำลงส่งผลให้การถือครองสินค้าเพื่อความปลอดภัยลดลง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อลดลง แต่การลดช่วงเวลานำมากเกินไปจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นซึ่งต้องเลือกเวลานำที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาแต่ละ λ_1 โดยเปลี่ยน λ_1 ตั้งแต่ 0.75 ถึง 5 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยจะมากที่สุดเมื่อ $\lambda_1 = 5$ และน้อยที่สุดเมื่อ $\lambda_1 = 0.75$ ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยกับเวลานำ เมื่อ $\lambda_1 = 2.5$



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ย กับเวลานำเมื่อ λ_1 มีค่าตั้งแต่ 0.75 ถึง 5

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

λ_1	i	L_i	$C(L_i)$	$A(L_i)$	Q_i	π_{x_i}	R_i	$AC_{V+B,i}$
0.75	0	33	350	0	3,000	12.67	1,121.16	11,471.90
	1	29	293.43	11.2	2,900	12.67	1,013.90	11,142.95
	2	25	236.87	44.8	2,800	12.66	904.45	10,845.14
	3	21	180.30	184.8	2,800	12.66	792.26	10,786.21*
1	0	33	350	0	3,000	12.67	1,121.16	11,471.90
	1	29	307.58	11.2	2,900	12.67	1,013.90	11,177.08
	2	25	265.15	44.8	2,800	12.66	904.45	10,915.85
	3	21	222.73	184.8	2,800	12.66	792.26	10,892.27*
1.25	0	33	350	0	3,000	12.67	1,121.16	11,471.90
	1	29	316.06	11.2	2,900	12.67	1,013.90	11,197.56
	2	25	282.12	44.8	2,900	12.67	904.45	10,957.43
	3	21	248.18	184.8	2,900	12.67	792.26	10,954.08*
2.5	0	33	350	0	3,000	12.67	1,121.16	11,471.90
	1	29	333.03	11.2	2,900	12.67	1,013.90	11,238.52
	2	25	316.06	44.8	2,900	12.67	904.45	11,039.35*
	3	21	299.09	184.8	2,900	12.67	792.26	11,076.96
5	0	33	350	0	3,000	12.67	1,121.16	11,471.90
	1	29	341.52	11.2	2,900	12.67	1,013.90	11,259.00
	2	25	333.03	44.8	2,900	12.67	904.45	11,080.31*
	3	21	324.55	184.8	2,900	12.67	792.26	11,138.40

*ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด

นอกจากนี้ ทำการตรวจสอบผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ h , D , A และ π_0 ในระบบ เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุด Q^* ราคาส่วนลดที่เหมาะสม π_x^* และค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อปีต่ำที่สุด $AC(Q^*, \pi_x^*, L^*)$ โดยกำหนดให้ขีดจำกัดบนของสัดส่วน

Backorder $\beta_0 = 0.7$ และพารามิเตอร์ปรับ $\lambda_1 = 1$ การวิเคราะห์ความไวจะดำเนินการโดยการเปลี่ยนของแต่ละพารามิเตอร์โดย $+50\%$, $+25\%$, -25% และ -50% ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในตัวแทนคณิตศาสตร์

พารามิเตอร์	%เปลี่ยนแปลง	Q^*	$\%Q^*$	π_x^*	$\%\pi_x^*$	AC^*	$\%AC^*$
h	+ 50	2,620	6.43	12.72	-0.51	11,950.42	-9.71
	+ 25	2,730	2.50	12.70	-0.28	11,429.67	-4.93
	- 25	3,000	-7.14	12.63	0.25	10,331.57	5.15
	- 50	3,100	-10.71	12.59	0.56	9,748.91	10.50
D	+ 50	3,500	-25.00	12.63	0.21	13,264.56	-21.78
	+ 25	3,200	-14.29	12.65	0.11	12,137.53	-11.43
	- 25	2,500	10.71	12.69	-0.24	9,477.05	12.99
	- 50	2,000	28.57	12.73	-0.54	7,798.63	28.40
A	+ 50	3,100	-10.71	12.68	-0.14	11,971.04	-9.90
	+ 25	3,000	-7.14	12.67	-0.09	11,443.62	-5.06
	- 25	2,700	3.57	12.65	0.05	10,303.38	5.41
	- 50	2,500	10.71	12.64	0.14	9,651.62	11.39
π_0	+ 50	3,200	-14.29	18.93	-49.55	12,100.43	-11.09
	+ 25	3,000	-7.14	15.80	-24.77	11,511.86	-5.69
	- 25	2,700	3.57	9.53	24.73	10,193.67	6.41
	- 50	2,400	14.29	6.39	49.55	9,413.22	13.58

จากผลลัพธ์ในตารางที่ 4 พบว่า

1. π_x^* และ $AC(Q^*, \pi_x^*, L^*)$ ลดลง ในขณะที่ Q^* เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ h
2. Q^* และ $AC(Q^*, \pi_x^*, L^*)$ ลดลง ในขณะที่ π_x^* เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ D
3. Q^*, π_x^* และ $AC(Q^*, \pi_x^*, L^*)$ ลดลง เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ A
4. Q^*, π_x^* และ $AC(Q^*, \pi_x^*, L^*)$ ลดลง เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ π_0
เมื่อได้ $(Q_i^*, \pi_{x_i}^*, L_i^*)$ นำไปหาสัดส่วน Backorder $\beta^* = \frac{\beta_0 \pi_x^*}{\pi_0}$ จะได้ว่า เมื่อ $\beta = 0.4$ ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อปีต่ำที่สุด

4. สรุป

นโยบายสินค้าคงคลังร่วมกันระหว่างผู้ผลิตรายเดียวและผู้ซื้อรายเดียวโดยพิจารณาการลดช่วงเวลานำ และการให้ราคาส่วนลด เพื่อหาจำนวนการสั่งผลิตร่วมกันของทั้งสองฝ่าย นอกจากนี้ยังพิจารณาการลดช่วงเวลานำ จะเห็นได้ว่า เมื่อลดช่วงเวลานำจะทำให้จุดสั่งซื้อต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีกรลดช่วงเวลานำ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 5.98% ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อลดลง แต่การลดช่วงเวลานำมากเกินไปจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งต้องเลือกเวลานำที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ h , D , A และ π_0 ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยลดลงตามไปด้วย

Notations ที่ใช้ในงานวิจัย

D แทน ความต้องการสินค้าเฉลี่ยของผู้บริโภค
(ชิ้น/หน่วยเวลา)

Q แทน ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (ชิ้น)

K_r แทน ค่าใช้จ่ายของการ Setup ของผู้ผลิต
(หน่วยจำนวนเงิน/รอบการผลิต)

A_0 แทน ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าเริ่มต้น
(หน่วยจำนวนเงิน/รอบการผลิต)

A แทน ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าที่ลดลง;
 $0 \leq A \leq A_0$

h_v แทน ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าของผู้ผลิต
(หน่วยจำนวนเงิน/หน่วยเวลา)

h_b แทน ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าของผู้ซื้อ
(หน่วยจำนวนเงิน/หน่วยเวลา)

R แทน จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)

$C(L)$ แทน ค่าใช้จ่ายในการลดช่วงเวลานำ
(หน่วยจำนวนเงิน/รอบการสั่งซื้อ)

z แทน ค่าจากตารางสถิติ ที่ทำให้มั่นใจว่าโอกาสที่
จะไม่มีสินค้าขาดแคลนในช่วงเวลานำ

σ_d แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความถี่ของการ
ของลูกค้า

δ แทน เปอร์เซนต์ของสินค้าที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด
ของผู้ผลิต

β แทน สัดส่วนของ Backorder เมื่อ $0 \leq \beta < 1$

β_0 แทน ขีดจำกัดบนของสัดส่วน Backorder

π_x แทน ราคาส่วนลดต่อหน่วย

π_0 แทน กำไรต่อหน่วย

L แทน ความยาวของช่วงเวลานำ

λ_1 แทน ค่าคงที่ที่อธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นของ
เปอร์เซ็นต์การลดลงระหว่างช่วงเวลานำและ
ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ เมื่อ $\lambda_1 > 0$

λ_2 แทน ส่วนกลับของค่าคาดหวังการแจกแจงแบบชี้
กำลังซึ่งอธิบายถึงเวลาเมื่อกระบวนการผลิต
เปลี่ยนจากควบคุมได้เป็นควบคุมไม่ได้

$f_X(x)$ แทน ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น
ของ X มีค่าเฉลี่ย DL และความแปรปรวน

$\sigma\sqrt{L}$ เมื่อ σ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ
ความต้องการของลูกค้าต่อหน่วยเวลา

$E(.)$ แทน ค่าคาดหวัง

x^+ แทน ค่าสูงสุดของ x และ 0

v แทน ค่าใช้จ่ายของการตรวจสอบของผู้ผลิต
(หน่วยจำนวนเงิน/ชิ้น)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
คณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับการ
สนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen CK, Chang HC, Ouyang LY. A Continuous review Inventory model with ordering cost dependent on lead time. International Journal of Information and Management Sciences. 2001; 12(3):1-13.
- [2] Liao CJ, hyu CH. An analytical determination of lead time with normal demand. International Journal of Operations and Production Management. 1991; 11: 72-78.

- [3] Matpongtaavond N, Ridtawirut A. Coordinated single-vendor, single-buyer inventory policy with lead time and quality considerations. The Journal of KMUTNB. 2010; 20(1): 89-96. (In Thai).
- [4] Rosenblatt MJ, H.L. Lee. Economic production cycles with imperfect production process. IIE Transactions. 1986; 81: 312-323.
- [5] Ouyang LY, Chen CK, Chang HC. Lead time and ordering cost reductions in continuous review inventory systems with partial backorders. Journal of the Operational Research Society. 1999; 50: 1272-1279.
- [6] Lin YJ. Lead time and ordering cost reductions are interdependent in inventory model with backorder price discount. Holistic Education Center, St. John's University. 2007; 4(1): 23-37.