ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับที่มีเวลานำ และการคืนสินค้าขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้า

Two-Echelon Inventory Model with Lead Time and Return Depending upon Demand

จารุมาศ แสงสว่าง และ วุฒิชัย ศรีโสดาพล*

Jarumas Sangsavang and Wuttichai Srisodaphol*

ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University

Received : 30 January 2017

Accepted : 1 June 2017

Published online : 16 June 2017

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการจัดการระบบสินค้าคงคลังที่มีการคืนสินค้าได้เป็นระบบที่น่าสนใจ เนื่องจากการฟื้นฟูสินค้าที่คืนกลับมาเพื่อให้ใช้การได้เป็นปกติถือเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและช่วยลดต้นทุนการผลิตสินค้า งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับสำหรับสินค้าชนิดเดียวที่มีเวลานำ เพื่อนำเสนอตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับโดยวิเคราะห์จากปริมาณการคืนสินค้าที่ขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการสินค้า พร้อมทั้งหาจุดสั่งซื้อสินค้า ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า และจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบต่ำสุด นอกจากนี้ยังได้แสดงตัวอย่างเชิงตัวเลขและได้นำเสนอการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์บางตัว

คำสำคัญ: เวลานำ การคืนสินค้า สินค้าคงคลังแบบสองระดับ

Abstract

Inventory management with returned items has recently drawn the attention because the recovery of returned items for renewal usage supports natural resource conservation as well as reduces cost of production. In this study, a two-echelon inventory model for a single item with lead time is discussed to propose the two-echelon inventory model in which the quantity of return depended on the demand has been analyzed. The optimal of re-order point, order quantity, and a number of cycles of order quantity are also considered to minimize the total cost of the system. Moreover, a numerical example is illustrated and sensitivity analyses of some parameters are also elucidated.

Keywords: lead time, return, two-echelon inventory

***Corresponding author. E-mail:** wuttsr@kku.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันการจัดการระบบสินค้าคงคลังที่มีการคืนสินค้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสินค้าที่ผ่านการใช้งานแล้ว เกิดการชำรุดจนกลายเป็นสินค้าขยะที่มีจำนวนมาก การกำจัดขยะโดยวิธีการเผาหรือฝั่งกลบขยะที่มีจำนวนมหาศาลนั้นทำให้เกิดเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นปัญหาของคนในหลายประเทศ ทำให้ในปัจจุบันผู้คนเริ่มหันมาให้ความสนใจในการจัดการกับปัญหาเหล่านี้ ส่งผลให้องค์กรที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการผลิตสินค้าออกมาจะต้องรับผิดชอบในการจัดการกับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ของพวกเขาหลังจากผ่านการใช้งานหรือถูกทิ้งโดยลูกค้า ซึ่งทำให้นักวิจัยหลายท่านสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับระบบสินค้าคงคลังที่มีการคืนสินค้า เพื่อนำสินค้าที่ใช้แล้วและเกิดการชำรุดนำกลับมาฟื้นฟู ให้กลายเป็นสินค้าใหม่ที่สามารถนำกลับมาขายได้ โดยมีทั้งคุณภาพและราคาเสมือนสินค้าที่ผลิตออกใหม่จากโรงงาน เช่น สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งในความเป็นจริงนั้นการคืนสินค้ามีความไม่แน่นอนมากกว่าความต้องการสินค้าของลูกค้า ทำให้การควบคุมสินค้าคงคลังมีความยากและซับซ้อนมากกว่าระบบสินค้าคงคลังที่ไม่มีการคืนสินค้า โดยที่ระบบสินค้าคงคลังที่มีการคืนสินค้าจะประกอบด้วย หน่วยการคืนสินค้า หน่วยการฟื้นฟูสินค้า และหน่วยการจัดหาสินค้า สำหรับลักษณะของคลังสินค้าโดยปกติจะมีการเก็บสินค้าคงคลังในส่วนเดียวกันกับส่วนของผู้จำหน่ายสินค้า แต่ก็จะมีลักษณะของคลังสินค้าที่แยกออกจากส่วนของผู้จำหน่ายสินค้าซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ในที่นี้เรียกว่า ระบบสินค้าคงคลังสองระดับ โดยส่วนของผู้จัดจำหน่ายจะได้รับสินค้าจากคลังสินค้าเท่านั้น

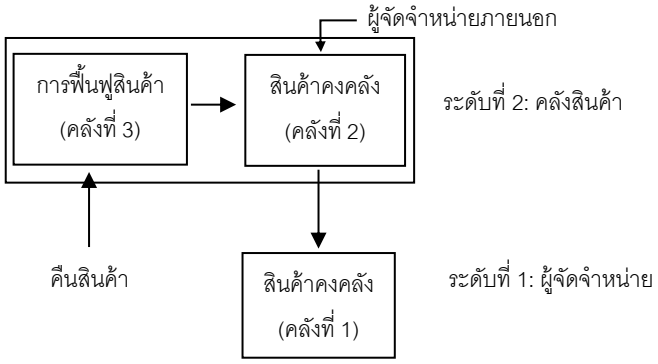
สำหรับการศึกษาระบบสินค้าคงคลังสองระดับ Korugan และ Gupta (1998) ได้พัฒนาตัวแบบสำหรับระบบสินค้าคงคลังสองระดับที่มีการคืนสินค้า โดยที่ความต้องการสินค้า (Demand) และการคืนสินค้า (Return) เป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงปัวซง (Poisson distribution) ที่มีอัตราความต้องการสินค้าเป็น λ และอัตราการคืนสินค้าเป็น γ_{c_i} โดยที่ c_i เป็นร้านค้าปลีกที่ i จากร้านค้าปลีกทั้งหมด N ร้าน ($i = 1,...,N$) ซึ่งอธิบายปัญหาโดยใช้ระบบเครือข่ายแถวคอยแบบเปิด (Open queuing network) ที่มีขนาดของสินค้าคงคลังหรือสินค้ากันชน (Safety or buffer stock) คงตัว เพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังต่ำที่สุด โดยไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมสินค้า Andersson และMelchiors (2001) ศึกษาตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับ โดยมี 1 คลังสินค้า และมีหลายผู้จัดจำหน่ายสินค้า ซึ่งมีความต้องการสินค้าเป็นกระบวนการปัวซง (Poisson process) ในส่วนของผู้จัดจำหน่ายสามารถเกิดการเสียโอกาสในการขายสินค้า (Lost sales) ได้ ภายใต้นโยบายที่มีการเพิ่มสินค้าอย่างต่อเนื่อง (Continuous review) โดยไม่มีเวลานำ (Lead time) Seifbarghy และ Jokar (2006) ได้นำตัวแบบสินค้าคงคลังสองแบบระดับที่นำเสนอโดย Andersson และMelchiors (2001) มาขยายต่อ ซึ่งมีการพิจารณาปริมาณความต้องการสินค้าในส่วนของคลังสินค้ามีการแจกแจงปัวซง แต่ในส่วนของผู้จัดจำหน่ายมีเวลานำเป็นค่าคงตัว Mitra (2009) ได้นำเสนอตัวแบบเชิงกำหนด (Deterministic model) และตัวแบบเชิงความน่าจะเป็น (Stochastic model) สำหรับระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับที่มีการคืนสินค้า ซึ่งความต้องการสินค้าและการคืนสินค้าเป็นอิสระกัน สำหรับตัวแบบเชิงความน่าจะเป็นนั้น ความต้องการสินค้าและการคืนสินค้ามีการแจกแจงปรกติ (Normal distribution) ภายใต้นโยบายที่มีการเพิ่มสินค้าอย่างต่อเนื่อง Teng *et al*. (2011) ได้นำเสนอตัวแบบเชิงกำหนด สำหรับระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับที่มีการคืนสินค้า โดยได้พัฒนาจากตัวแบบของ Mitra (2009) เพิ่มเติม 2 กรณี คือ 1) การตัดสินใจสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมเมื่อมีสินค้าค้างส่ง (Backorder) ของลูกค้า และ 2) การเพิ่มสินค้าคงคลังในระบบสินค้าคงคลังเพื่อกระตุ้นให้เกิดการบริโภค และเป็นการกำหนดตัวแปรการตัดสินใจและหาค่าใช้จ่ายรวม/กำไรรวม เหมาะที่สุดของระบบ Mitra (2012) ได้แก้ปัญหาการจัดการ

สินค้าคงคลังในห่วงโซ่อุปทานแบบปิด (Closed-loop supply chains) และได้นำเสนอตัวแบบเชิงกำหนด และตัวแบบเชิงความน่าจะเป็น สำหรับระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับ ที่ความต้องการสินค้าและการคืนสินค้ามีความสัมพันธ์กันภายใต้โครงสร้างค่าใช้จ่ายทั่วไป โดยที่ในตัวแบบเชิงความน่าจะเป็น ความต้องการสินค้าและการคืนสินค้ามีความสัมพันธ์กัน

ผู้วิจัยจึงสนใจนำเสนอตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับสำหรับสินค้าชนิดเดียวที่มีเวลานำที่มีการแจกแจงปรกติภายใต้นโยบายการเพิ่มสินค้าอย่างต่อเนื่อง ในการศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนามาจากตัวแบบของ Mitra (2009) โดยจะศึกษาปริมาณความต้องการสินค้าและปริมาณการคืนสินค้ามีค่าคงตัว ในกรณีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณความต้องการสินค้าและปริมาณการคืนสินค้า พร้อมทั้งหาจุดสั่งซื้อสินค้า ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า จำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังต่ำสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

จาก Mitra (2009) ระบบสินค้าคงคลังนี้มีการดำเนินงานทั้งหมด 3 คลังคือ คลังที่ 1 เป็นคลังของสินค้าคงคลังที่มีไว้จัดจำหน่าย ในคลังที่ 2 เป็นคลังของสินค้าคงคลังที่มีไว้เพื่อเพิ่มสินค้าให้แก่คลังที่ 1 และในคลังที่ 3 เป็นคลังของการคืนสินค้าที่ชำรุดเพื่อ ฟื้นฟูสินค้าให้กลับมาเป็นสินค้าที่มีคุณภาพเหมือนสินค้าใหม่ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับ ผู้จัดจำหน่ายรายเดียว ที่มีการส่งคืนสินค้า

จากภาพที่ 1 เป็นระบบสินค้าคงคลังที่มีแบบสองระดับ ระดับที่ 1 คือระดับของผู้จัดจำหน่ายซึ่งมีเพียงรายเดียว และระดับที่ 2 คือระดับของคลังสินค้า ซึ่งประกอบด้วยสินค้าคงคลังในคลังที่ 2 และการฟื้นฟูสินค้าในคลังที่ 3 โดยที่ลูกค้าสามารถคืนสินค้าโดยตรงไปยังคลังที่ 3 สินค้าที่รับคืนจะ ฟื้นฟูสินค้าให้มีคุณภาพเสมือนสินค้าใหม่ เนื่องจากระบบสินค้าคงคลังเป็นระบบที่มีการคืนสินค้า ดังนั้นสินค้าคงคลังในคลังที่ 2 จึงประกอบไปด้วยสินค้าใหม่ที่สั่งซื้อจากผู้จัดจำหน่ายภายนอก และสินค้าที่ผ่านกระบวนการฟื้นฟูในคลังที่ 3

1. **ข้อสมมุติของตัวแบบ**

1) อัตราความต้องการสินค้าและอัตราการคืนสินค้าเป็นอัตราคงตัวและมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นกัน

2) อัตราการคืนสินค้าน้อยกว่าอัตราความต้องการสินค้า

3) ระยะเวลาในการซ่อมแซมสินค้าที่ชำรุดน้อยกว่าเวลานำ

4) เวลานำระหว่างคลังที่ 1 และคลังที่ 2 มีความไม่แน่นอน และมีการแจกแจงปรกติ

5) เป็นระบบสินค้าคงคลังที่ไม่เกิดการขาดแคลนสินค้า

6) ระยะเวลาคืนสินค้าของลูกค้ามีค่าเป็นศูนย์และไม่มีค่าใช้จ่ายในการคืนสินค้า

7) สินค้าที่ชำรุดจะต้องส่งจากลูกค้ากลับไปยังคลังสินค้าทันทีและสินค้าที่ผ่านการฟื้นฟูจะเป็นสินค้าที่มีคุณภาพและมีราคาเท่ากับราคาของสินค้าใหม่

2. สัญลักษณ์ที่ใช้ในตัวแบบ

A_i แทนค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมสินค้า (Set-up cost) ในคลังที่ i ($i = 1, 2, 3$)

h_i แทนค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้า (Holding cost) ต่อหน่วยต่อหน่วยเวลาในคลังที่ i ($i = 1, 2, 3$)

c แทนต้นทุนต่อหน่วยสินค้า (Unit cost)

l_i แทนเวลานำ (Lead time) ในคลังที่ i ($i = 1, 2$)

SS_i แทนปริมาณสินค้าคงคลังหรือสินค้ากันชน (Safety of buffer stock) ในคลังที่ i ($i = 1, 2$)

Z_{φ_i} แทนค่าระดับความปลอดภัย (Safety factor) ที่จะมีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการในคลังที่ i ($i = 1, 2$)

φ_i แทนค่าระดับความเสี่ยงที่จะได้รับสินค้าล่าช้าที่ยอมให้เกิดขึ้น (Error of lead time) ในคลังที่ i ($i = 1, 2$)

D แทนปริมาณความต้องการสินค้า (Quantity demand items) เฉลี่ยต่อหน่วยเวลา

R แทนปริมาณการคืนสินค้า (Quantity return items) เฉลี่ยต่อหน่วยเวลา

σ_{l_i} แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลานำ (Standard deviation of lead time) ในคลังที่ i ($i = 1, 2$)

α แทนสัดส่วนของความต้องการคืนสินค้า (Fraction of demand returned) ต่อหน่วยเวลา $0 < \alpha < 1$

s_i^* แทนจุดสั่งซื้อสินค้า (Reorder point) ที่เหมาะสมที่สุดในคลังที่ i ($i = 1, 2$)

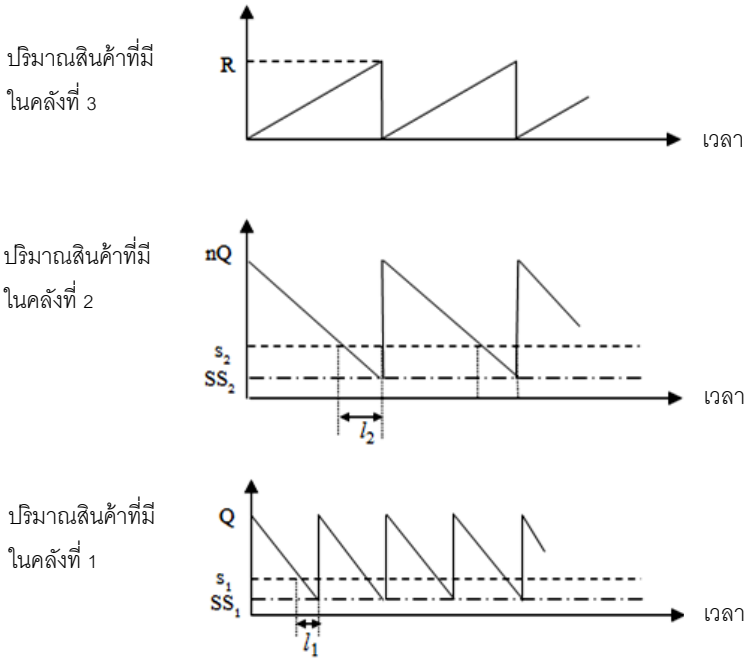
Q^* แทนปริมาณการสั่งซื้อสินค้า (Order quantity) ที่เหมาะสมที่สุด

n^* แทนจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า (Number of cycle) เหมาะที่สุด

TC แทนค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ในระบบสินค้าคงคลัง

3. ตัวแบบสินค้าคงคลังที่นำเสนอ

ในคลังที่ 1 จะทำตามนโยบายการสั่งซื้อสินค้าคงตัว เมื่อปริมาณสินค้าคงคลังลดลงมาจนถึงระดับ s_1 จึงสั่งซื้อสินค้าในปริมาณ Q หน่วยจากคลังที่ 2 ซึ่งปริมาณสินค้าในคลังที่ 2 จะต้องมีสินค้าเพียงพอต่อการเพิ่มสินค้าจำนวน n รอบ และเมื่อปริมาณสินค้าในคลังที่ 2 ลดลงมาจนถึงระดับ s_2 จะทำการสั่งซื้อสินค้าในปริมาณ nQ หน่วย ซึ่งจะสั่งซื้อสินค้าจาก 2 แหล่งนั่นคือ จากผู้จัดจำหน่ายภายนอกในปริมาณ $nQ - R$ หน่วย และจากการคืนสินค้าของลูกค้าในปริมาณ R หน่วย (คลังที่ 3) โดยเวลาของการดำเนินงานในหนึ่งคาบเท่ากับ nQ/D ในการสั่งซื้อสินค้าเพื่อเพิ่มสินค้าในแต่ละรอบของคลังที่ 1 และคลังที่ 2 จะมีเวลานำซึ่งมีการแจกแจงปรกติ โดยสถานะสินค้าคงคลังในแต่ละคลังแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของสินค้าคงคลังในคลังที่ 1, 2 และ 3 ณ ช่วงเวลาใดๆ

จากภาพที่ 2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระบบสินค้าคงคลังนี้มีทั้งหมด 3 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้า ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมสินค้า และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้า สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนได้ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้า (TC_1) เกิดจากต้นทุนต่อหน่วยสินค้า (c) และปริมาณความต้องการสินค้าเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา (D) คือ

$$TC_1 = cD \tag{1}$$

2) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมสินค้าต่อหน่วยเวลา (TC_2) สำหรับทั้ง 3 คลังเกิดจากค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมสินค้าในแต่ละคลัง (A_i) โดยที่ $i = 1, 2, 3$ คือ

$$TC_2 = \frac{A_1 D}{Q} + \frac{A_2 D}{nQ} + \frac{A_3 D}{nQ} \tag{2}$$

3) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าสินค้า (TC_3) ในคลังที่ 1 และคลังที่ 2 เกิดจากปริมาณสินค้า (Q) และปริมาณสินค้ากันชน (SS_i) โดยที่ $i = 1, 2$ และในคลังที่ 3 เกิดจากปริมาณการคืนสินค้า (R) คือ

$$TC_3 = \left(\frac{Q}{2} + SS_1\right) h_1 + \left(\frac{(n-1)Q}{2} + SS_2\right) h_2 + \left(\frac{RnQ}{2D}\right) h_3 \tag{3}$$

โดยที่ $SS_1 = E(s_1 - D_{l_1}) = s_1 - D\bar{l}_1$ และ $SS_2 = E(s_2 - D_{l_2}) = s_2 - D(\bar{l}_1 + \bar{l}_2)$

ซึ่งสามารถคำนวณหาจุดสั่งซื้อสินค้าเหมาะที่สุดสำหรับคลังที่ 1 (s_1) และคลังที่ 2 (s_2) ได้จาก

$$s_1^* = D\bar{l}_1 + Z_{\varphi_1} D\sigma_{l_1} \text{ และ } s_2^* = D(\bar{l}_1 + \bar{l}_2) + Z_{\varphi_1} D\sigma_{l_2} \quad (4)$$

นั่นคือ ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลัง ($TC(Q,n)$) มีค่าเท่ากับ

$$TC(Q,n) = cD + \left(\frac{A_1 D}{Q} + \frac{A_2 D}{nQ} + \frac{A_3 D}{nQ}\right) + \left(\frac{Q}{2} + SS_1\right)h_1 + \left(\frac{(n-1)Q}{2} + SS_2\right)h_2 + \left(\frac{RnQ}{2D}\right)h_3$$

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นระหว่างปริมาณความต้องการสินค้าและปริมาณการคืนสินค้า ซึ่งกำหนด $R = \alpha D$ เมื่อ α เป็นค่าคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมในระบบ สามารถเขียนได้เป็น

$$TC(Q,n) = cD + \left(\frac{A_1 D}{Q} + \frac{A_2 D}{nQ} + \frac{A_3 D}{nQ}\right) + \left(\frac{Q}{2} + SS_1\right)h_1 + \left(\frac{(n-1)Q}{2} + SS_2\right)h_2 + \left(\frac{\alpha nQ}{2}\right)h_3 \quad (5)$$

ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมในระบบจะมีค่าต่ำสุดเมื่อจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า (n^*) และปริมาณการสั่งซื้อ (Q^*) สอดคล้องกับอสมการ (6) ดังนี้

$$TC(Q-1,n-1) > TC(Q^*,n^*) \text{ แต่ } TC(Q^*,n^*) < TC(Q+1,n+1) \quad (6)$$

4. ขั้นตอนการหาจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้าที่เหมาะสมและปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสม

ขั้นตอนในการหาจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า n^* และปริมาณ Q^* สามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

1) ให้ D และ R เป็นค่าคงตัว โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน กำหนดค่าของตัวแปร ดังต่อไปนี้

$$D, \alpha, c, \varphi_1, \varphi_2, A_1, A_2, A_3, \sigma_{l_1}, \sigma_{l_2}, h_1, h_2, h_3, \bar{l}_1 \text{ และ } \bar{l}_2$$

2) คำนวณหา s_1^* และ s_2^* จากสมการ (4) นั่นคือ

$$s_1^* = D\bar{l}_1 + Z_{\varphi_1} D\sigma_{l_1} \text{ และ } s_2^* = D(\bar{l}_1 + \bar{l}_2) + Z_{\varphi_2} D\sigma_{l_2}$$

3) หา n^* และ Q^* ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังต่ำที่สุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (5) โดยเริ่มจาก $n = 1$ และ $Q = 1$ ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าใช้จ่ายในระบบสินค้าคงคลังสอดคล้องกับอสมการ (6) ตามต้องการ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผู้วิจัยได้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Mitra (2009) โดยคำนวณหา Q^*, n^*, s_1^*, s_2^* และ TC ที่สัดส่วนความต้องการคืนสินค้า $\alpha = 0.2$ และกำหนดให้ $D = 100$, $\sigma_{l_1} = 0.05, \sigma_{l_2} = 0.05$, $c = 100$, $A_1 = 25$, $A_2 = 100$, $A_3 = 50$, $\varphi_1 = \varphi_2 = 0.05$, $h_1 = 2$, $h_2 = 1$, $h_3 = 0.3$, $Z_{\varphi_1} = Z_{\varphi_2} = 1.645$, $\overline{l_1} = 0.25$ และ $\overline{l_2} = 0.5$ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- คำนวณหาจุดสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะที่สุดของคลังที่ 1 จาก

$$s_1^* = D\overline{l_1} + Z_{\varphi_1} D\sigma_{l_1} = (100)(0.25) + (1.645)(100)(0.05) = 33.23$$

- คำนวณหาจุดสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะที่สุดของคลังที่ 2 จาก

$$s_2^* = D(\overline{l_1} + \overline{l_2}) + Z_{\varphi_2} D\sigma_{l_2} = (100)(0.25 + 0.5) + (1.645)(100)(0.05) = 83.23$$

- คำนวณหาปริมาณสินค้าคงคลังหรือสินค้ากันชนในคลังที่ 1 จาก

$$SS_1 = E(s_1^* - D_{l_1}) = s_1^* - D\overline{l_1} = 33.23 - (100)(0.25) = 8.23$$

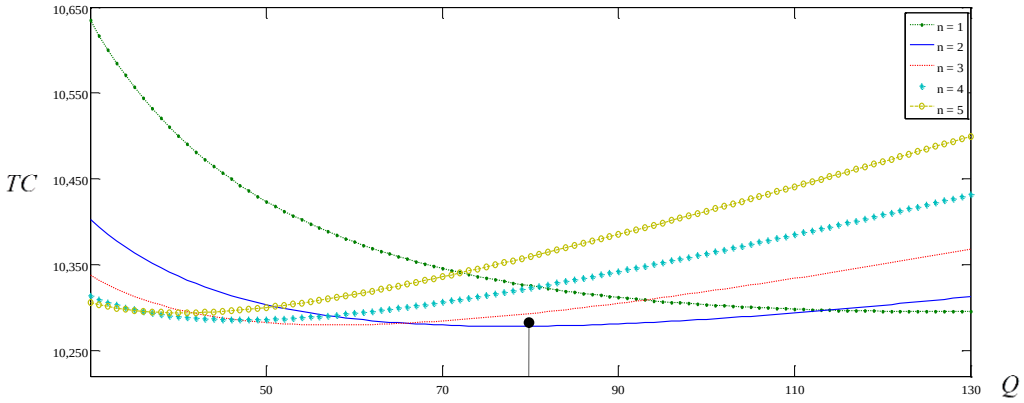
- คำนวณหาปริมาณสินค้าคงคลังหรือสินค้ากันชนในคลังที่ 2 จาก

$$SS_2 = E(s_2^* - D_{l_2}) = s_2^* - D(\overline{l_1} + \overline{l_2}) = 83.23 - (100)(0.25 + 0.5) = 8.23$$

และนำค่าต่าง ๆ ไปคำนวณหา จำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบต่ำสุด ได้ค่าดังตารางที่ 1 และภาพที่ 3

ตารางที่ 1 จำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า และค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลัง

n	Q	TC
1	130	10,293
2	80	10,274
3	60	10,275
4	49	10,281
5	42	10,288

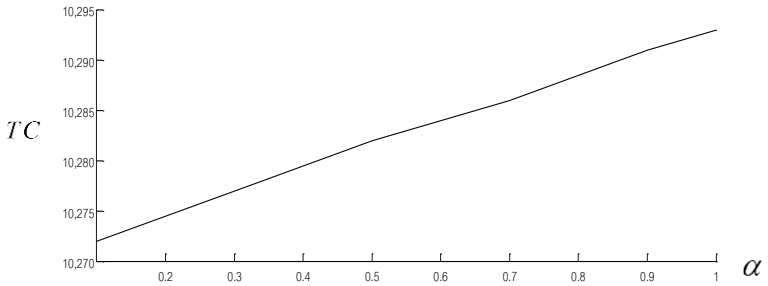


ภาพที่ 3 ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังสำหรับจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า เมื่อ $n = 1, 2, \ldots, 5$

จากตารางที่ 1 และภาพที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการสั่งซื้อสินค้าและปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ตั้งแต่ 1 ไปเรื่อย ๆ จะเห็นว่าเมื่อ $n = 1$ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเท่ากับ 130 หน่วย ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังมีค่าเท่ากับ 10,293 เมื่อ $n = 2$ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้ามีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังมีค่าลดต่ำลงจนถึงจุด ๆ หนึ่ง (จุดต่ำสุด) ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อ $n = 3$, $n = 4$ และ $n = 5$ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้ามีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า $n^* = 2$ รอบ และปริมาณการสั่งซื้อ $Q^* = 80$ หน่วย ส่งผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในระบบต่ำสุด โดยสอดคล้องกับอสมการ (6) นั่นคือ ในคลังที่ 1 เมื่อสถานะของสินค้าคงคลังลดลงไปถึงหรือต่ำกว่า $s_1^* = 33.23$ หน่วย จะสั่งซื้อสินค้าจากคลังที่ 2 จำนวน $Q^* = 80$ หน่วย และในคลังที่ 2 ถ้าสถานะของสินค้าคงคลังลดลงไปถึงหรือต่ำกว่า $s_2^* = 83.23$ หน่วย จะสั่งซื้อสินค้าจำนวน $n^*Q^* = (2)(80) = 160$ หน่วยโดยแบ่งการสั่งซื้อสินค้าออกเป็น 2 ส่วน นั่นคือจากผู้จัดจำหน่ายภายนอกจำนวน $n^*Q^* - \alpha D = (2)(80) - (0.2)(100) = 140$ หน่วย และจากการคืนสินค้าของลูกค้าในคลังที่ 3 จำนวน $\alpha D = (0.2)(100) = 20$ หน่วย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการวิเคราะห์ความไวของสัดส่วนของความต้องการคืนสินค้าต่อหน่วยเวลา (α) เวลานำในคลังที่ 1 ($\overline{l_1}$) และเวลานำในคลังที่ 2 ($\overline{l_2}$) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 2-4 และภาพที่ 4

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังเมื่อสัดส่วนของความต้องการคืนสินค้ามีค่าเพิ่มขึ้น

α	n	Q	TC
0.1	2	81	10,272
0.3	2	79	10,277
0.5	2	78	10,282
0.7	2	76	10,286
0.9	2	75	10,291
1	2	75	10,293



ภาพที่ 4 แนวโน้มค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังเมื่อสัดส่วนของความต้องการคืนสินค้ามีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังเมื่อเวลานำในคลังที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น

$\overline{l_1}$	n	Q	TC
0.1	2	80	10,274
0.25	2	80	10,274
0.5	2	80	10,274
0.75	2	80	10,274
0.9	2	80	10,274
1	2	80	10,274

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังเมื่อเวลานำในคลังที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น

$\overline{l_2}$	n	Q	TC
0.1	2	80	10,274
0.25	2	80	10,274
0.5	2	80	10,274
0.75	2	80	10,274
0.9	2	80	10,274
1	2	80	10,274

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 4 พบว่าเมื่อสัดส่วนของความต้องการคืนสินค้ามีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนรอบในการเพิ่มสินค้าเท่ากับ 2 รอบ ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณการสั่งซื้อสินค้ามีจำนวนลดลง และทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 พบว่าเมื่อเวลานำในคลังที่ 1 และ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า และค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลัง

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับ สำหรับสินค้าชนิดเดียวที่มีการนำที่มีการแจกแจงปรกติภายใต้นโยบายการเพิ่มสินค้าอย่างต่อเนื่อง โดยศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาณความต้องการสินค้าและปริมาณการคืนสินค้า งานวิจัยนี้สามารถหาจุดสั่งซื้อสินค้า ปริมาณในการสั่งซื้อสินค้า และจำนวนรอบในการเพิ่มสินค้า ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลังต่ำสุด พร้อมทั้งแสดงจากการคำนวณเชิงตัวเลข และจากการวิเคราะห์ความไวยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อสัดส่วนของความต้องการคืนสินค้าต่อหน่วยเวลามีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมในระบบ สินค้าคงคลังมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเวลานำในคลังที่ 1 ($\overline{l_1}$) และเวลานำในคลังที่ 2 ($\overline{l_2}$) มีค่าเพิ่มขึ้นกับไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมในระบบสินค้าคงคลัง ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณากรณีที่อัตราความต้องการสินค้าไม่แน่นอน ซึ่งจะสอดคล้องกับสถานการณ์จริงของระบบสินค้าคงคลัง

เอกสารอ้างอิง

Andersson, J. & Melchiors, P. (2001) A two-echelon inventory model with lost sales. *International Journal of Production Economics*, *69*, 307-315.

Korugan, A. & Gupta, S.M. (1998). A multi-echelon inventory system with returns. *Computers and Industrial Engineering, 35*, 145-148.

Mitra, S. (2009). Analysis of two-echelon inventory system with returns. *Omega, 37*, 106–115.

Mitra, S. (2012). Inventory management in a two-echelon closed-loop supply chain with correlated demands and returns. *Computers and Industrial Engineering*, *62*, 870-879.

Seifbarghy, M., & Jokar, M.R.A. (2006) Cost evaluation of a two-echelon inventory system with lost sales and approximately Poisson demand. *International Journal of Production Economics*, *102*, 244-254.

Teng, H.M., Hsu, P.H., Chiu, Y. & Wee, H.M. (2011). Optimal ordering decisions with returns and excess inventory. *Applied Mathematics and Computation*, *217*, 9009-9018.