ตัวแบบโซ่อุปทานแบบวงปิด

จริยา เสกสรรค์[*1]

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี 31 หมู่ 6 ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84000

บทคัดย่อ

แนวคิดเกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับและโซ่อุปทานแบบวงปิดได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบโซ่อุปทานแบบวงปิด 2 ตัวแบบ คือแบบมีและไม่มีสัญญาซื้อคืนระหว่างผู้ผลิตและผู้ขายปลีก โดยที่จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าและจำนวนสินค้าที่ถูกคืนไม่แน่นอน และหาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมที่สุดของทั้งสองตัวแบบ รวมทั้งวิเคราะห์ความไวของปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์คือราคาขายปลีกและราคารับซื้อคืน นอกจากนี้ในตัวอย่างยังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้สัญญาซื้อคืนที่ทำให้กำไรของโซ่อุปทานและสมาชิกในโซ่อุปทานเพิ่มขึ้นด้วย

คำสำคัญ: โลจิสติกส์ย้อนกลับ, โซ่อุปทานแบบวงปิด, สัญญาซื้อคืน

* Corresponding author. E-mail: jariya.se@psu.ac.th

[1] อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

Closed-Loop Supply Chain Models

Jariya Seksan *1

Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, **31 Moo 6, Makham Tia, Muang, Surat Thani 84000**

Abstract

Reverse logistics and closed-loop supply chain concepts are beginning to be of wide interest today. This study proposes two closed-loop supply chain models, with and without a buyback contract, with random demand and returns. We derived the optimal order quantities and conducted a sensitivity analysis on the model parameters referring to the wholesale and buyback prices. The numerical examples also showed the benefits of using the buyback contract, and we concluded that the total expected profit of the closed-loop supply chain and that of all members in the chain were improved under the contract.

Keywords: Reverse logistics, Closed-loop supply chain, Buyback contract

* Corresponding author. E-mail: jariya.se@psu.ac.th

[1] Lecturer in Faculty of Science and Industrial Technology, **Prince of Songkla University, Surat Thani Campus**

1. บทนำ

จากสภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้หลายภาคส่วนหันมาตระหนักถึงบทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบของตนต่อสิ่งแวดล้อมส่วนรวมมากขึ้น หลายประเทศได้ออกกฎหมายเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และประเทศในสหภาพยุโรป เป็นต้น ทำให้ผู้ประกอบการในภาคธุรกิจเริ่มให้ความสำคัญกับปัญหานี้มากขึ้น กระทั่งมีความคิดริเริ่มเกี่ยวกับกระบวนการโลจิสติกส์ที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการหมุนเวียนวัสดุกลับมาแปรรูปใหม่เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม อันเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้แนวคิดเรื่องกรีนโลจิสติกส์ (Green logistics) โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) และโซ่อุปทานแบบวงปิด (Closed-loop supply chain) ได้รับความสนใจมากขึ้น [1-4]

โซ่อุปทานแบบวงปิดจะรวมทั้งกระบวนการโลจิสติกส์แบบไปข้างหน้า (Forward logistics) จากผู้ผลิตไปจนถึงมือผู้บริโภค และกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อนำสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคไม่ต้องการแล้วมาใช้ซ้ำ (Reuse) จำหน่ายใหม่ (Resell) ซ่อมแซม (Repair) ผลิตซ้ำ (Remanufacture) หรือแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ต่อไป ซึ่งไม่เพียงแต่จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มและภาพลักษณ์ที่ดีให้กับภาคธุรกิจที่นำกระบวนการนี้มาใช้ได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น บริษัท Xerox ใช้วัสดุและชิ้นส่วนจากผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าไม่ต้องการแล้วมาผลิตซ้ำ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้ถึง 200 ล้านดอลลาร์สหรัฐภายในเวลาไม่ถึง 5 ปี [1] บริษัท Apple ได้เริ่มโครงการ Apple's Reuse and Recycling program ขึ้นในปี ค.ศ. 2011 เพื่อรับซื้อคืนโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ผ่านตัวแทนจำหน่าย หรือให้ส่งคืนมายังบริษัทโดยตรงโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และนำอุปกรณ์เหล่านี้ไปรีไซเคิลหรือกำจัดอย่างถูกต้องต่อไป โดยในขั้นแรกได้ดำเนินโครงการในประเทศสหรัฐอเมริกา และต่อมาได้ขยายพื้นที่ให้บริการโครงการนี้ไปจนถึง 99% ของประเทศทั้งหมดที่มีสินค้าของ Apple วางจำหน่ายในปัจจุบัน [2]

ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 คณะรัฐมนตรีของประเทศไทยได้อนุมัติหลักการร่างพระราชบัญญัติการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์และซากผลิตภัณฑ์อื่น พ.ศ. ... [3] ซึ่งมีเนื้อหาในมาตราหนึ่งว่า "... ให้ผู้บริโภคหรือผู้ที่ครอบครองซากผลิตภัณฑ์นำส่งหรือขายคืนซากผลิตภัณฑ์ให้กับผู้จัดจำหน่าย ศูนย์รับคืนซากผลิตภัณฑ์ เครือข่ายรับคืนซาก หรือโรงงานที่ให้บริการจัดการซากผลิตภัณฑ์เท่านั้น"

ทั้งผู้ผลิต ผู้ขายปลีก และผู้ซื้อสินค้าต่างก็มีบทบาทสำคัญในกระบวนการจัดการกับสินค้าเมื่อไม่ต้องการใช้งานอีกต่อไป การเลือกกระบวนการที่เหมาะสมย่อมจะเป็นผลดีทั้งกับสิ่งแวดล้อมและอาจจะเพิ่มรายได้ให้กับบริษัทได้ ด้วยเหตุนี้การศึกษาเกี่ยวโลจิสติกส์ย้อนกลับและโซ่อุปทานแบบวงปิด จึงเป็นเรื่องสำคัญที่มิอาจมองข้ามได้

งานวิจัยเกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับและโซ่อุปทานแบบวงปิดมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดยแบ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตซ้ำ สินค้าคงคลัง การออกแบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ และการดำเนินงานของโซ่อุปทานแบบวงปิด เป็นต้น [4] ได้เสนอแนวคิดในการจัดการนำสินค้ากลับคืนสู่ผู้ผลิต [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการสินค้าคงคลังโดยใช้ทั้งวัตถุดิบใหม่และวัตถุดิบที่ได้จากสินค้าส่งคืน (returned product) [6] ศึกษาการจัดการสินค้าส่งคืนเพื่อนำไปผลิตซ้ำโดยเน้นไปที่ประเด็นการทำกำไร [7] ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายโลจิสติกส์เมื่อมีการส่งคืนสินค้าเพื่อนำไปผลิตซ้ำโดยใช้กรณีศึกษาหลายๆกรณี งานวิจัยข้างต้นเป็นตัวอย่างส่วนหนึ่งของงานที่บุกเบิกงานวิจัยในด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ในโซ่อุปทานระหว่างองค์กร การที่ผู้ตัดสินใจของแต่ละองค์กรตัดสินใจอย่างเหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์เฉพาะของตนนั้น จะทำให้ระบบทั้งหมดมีประสิทธิภาพต่ำลง เพราะความเสี่ยงจะตกอยู่กับฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งอย่างไม่สมดุล การใช้สัญญาซึ่งกระจายความเสี่ยงในโซ่อุปทานเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ช่วยจูงใจให้ผู้ที่มีหน้าที่ตัดสินใจแต่ละฝ่าย ตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับส่วนรวมได้ [8] ดังที่ [9] ได้กล่าวไว้ว่า สัญญาเป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อทำให้การทำงานร่วมกันระหว่างสมาชิกในโซ่อุปทานง่ายขึ้นและช่วยกระตุ้นให้ผู้มีส่วนร่วมในโซ่อุปทานปฏิบัติการที่เป็นประโยชน์สูงสุดของเครือข่ายโซ่อุปทานมีงานวิจัยมากมายศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับสัญญาสำหรับโซ่อุปทานแบบไปข้างหน้า ดังที่ได้ถูกรวบรวมไว้ใน [12-14] ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับโซ่อุปทานแบบวงปิดภายใต้สัญญาจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน

[10] ได้นำเสนอตัวแบบโซ่อุปทานแบบวงปิดแบบ centralized และแบบ decentralized 3 ตัวแบบ โดยมีช่องทางการเก็บคืนสินค้าแตกต่างกันไป เพื่อเปรียบเทียบราคาต่างๆ และกำไรของแต่ละองค์กรในโซ่อุปทานของแต่ละตัวแบบ [11] ได้ศึกษาตัวแบบโซ่อุปทานย้อนกลับภายใต้สัญญาแบ่งปันรายได้ (Revenue sharing contract) และสัญญาที่มีการลดราคาตามปริมาณ (Quantity discount

contract) [9] ได้สร้างตัวแบบโซ่อุปทานย้อนกลับ (Reverse supply chain) สำหรับการรีไซเคิลเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและหาพารามิเตอร์ของสัญญาแบ่ง-ปันรายได้ที่ทำให้เกิดการประสานงาน [12] ศึกษาโซ่อุปทานแบบวงปิดภายใต้สัญญาราคาขายปลีก (Wholesale price contract) สัญญาซื้อคืน (Buyback contract) และสัญญาที่มีการลดราคาตามปริมาณ เพื่อหาการตั้งราคาและนโยบายการคืนสินค้าที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแบบโซ่อุปทานแบบวงปิด 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบโซ่อุปทานวงปิดที่ไม่ใช้สัญญาซื้อคืน และแบบที่ใช้สัญญาซื้อคืน เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุดและพิจารณาประโยชน์ของการใช้สัญญาซื้อคืน โดยภายใต้สัญญาซื้อคืนผู้ผลิตจะรับซื้อสินค้าที่ผู้ค้าปลีกซื้อคืนมาจากลูกค้าอีกต่อหนึ่งตามราคาที่ตกลงกันไว้

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมาข้างต้นได้นิยามจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าและจำนวนสินค้าส่งคืนในรูปแบบต่างๆ เช่น [10] กำหนดให้จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น [11] ได้กำหนดให้ปริมาณความต้องการสินค้าเป็นตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่อง [12] ให้จำนวนความต้องการสินค้าเป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับราคาขายปลีกและราคารับซื้อคืนจากลูกค้า และ [9] นิยามให้จำนวนสินค้าที่ลูกค้าต้องการคืนเป็นฟังก์ชันของส่วนลดที่ผู้ค้าปลีกเสนอให้ เป็นต้น งานวิจัยที่นำเสนอตัวแบบโซ่อุปทานมักจะกำหนดให้จำนวนความต้องการสินค้าเป็นตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่องซึ่งมีค่าเป็นลบได้เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ แล้วนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงเมื่อปริมาณความต้องการสินค้ามีการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่ง [13] ได้แสดงให้เห็นว่าการทำเช่นนั้นอาจได้คำตอบที่ไม่ถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ความต้องการสินค้าของลูกค้าและจำนวนสินค้าที่ลูกค้าส่งคืนเป็นตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องที่ไม่เป็นลบ

2. ตัวแบบโซ่อุปทานแบบวงปิด

โซ่อุปทานแบบวงปิดประกอบด้วยผู้ผลิตและผู้ขายปลีก ผู้ผลิตขายสินค้าให้ผู้ขายปลีกตามจำนวนที่สั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าเท่ากับ c_m บาทต่อหน่วย ผู้ขายปลีกขายสินค้าให้กับลูกค้าโดยตรงในราคา p บาทต่อหน่วย โดยจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าไม่แน่นอนและไม่ทราบล่วงหน้า ผู้ผลิต (ในตัวแบบที่ 1) หรือผู้ขายปลีก (ในตัวแบบที่ 2) รับซื้อคืนสินค้าที่ลูกค้าไม่ต้องการแล้วตามราคาที่กำหนด แล้วผู้ผลิตจะนำไปรีไซเคิลต่อไป ค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลเท่ากับ c_r บาทต่อหน่วย ผู้ขายปลีกจะต้องตัดสินใจว่าจะสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตจำนวนเท่าไร

ให้ x แทนจำนวนสินค้าที่ผู้ขายปลีกสั่งซื้อจากผู้ผลิต $D>0$ เป็นตัวแปรสุ่มไม่ต่อเนื่องแทนจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้า จำนวนสินค้าที่ผู้ขายปลีกขายได้จะเท่ากับ $\min(x,D)$

ให้ $Y(n)$ แทนจำนวนสินค้าที่ถูกคืนเมื่อจำนวนสินค้าที่ผู้ขายปลีกขายได้เท่ากับ n ชิ้น กำหนดให้การคืนสินค้าแต่ละชิ้นเป็นอิสระกัน และความน่าจะเป็นที่สินค้าแต่ละชิ้นจะถูกคืนมีค่าเท่ากันเท่ากับ θ แล้ว $Y(n)$ จะมีการแจกแจงแบบทวินามที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ n และ θ เมื่อ n เป็นจำนวนนับ และ $\theta\in(0,1)$ ซึ่งสะท้อนความเป็นจริงที่ว่าลูกค้าที่ซื้อสินค้าไปอาจนำสินค้ามาคืนกับผู้ผลิต (หรือผู้ขายปลีก) หรือไม่ก็ได้

ดังนั้น จำนวนสินค้าที่ถูกคืนเมื่อผู้ขายปลีกขายสินค้าได้จำนวน $\min(x,D)$ ชิ้น จะเท่ากับ $Y(\min(x,D))$ ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบทวินามที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ $\min(x,D)$ และ θ

ให้ w แทนราคาขายปลีก และ b แทนราคาที่ผู้ผลิตรับซื้อสินค้าคืนจากลูกค้า (ตัวแบบที่ 1) หรือผู้ขายปลีก (ตัวแบบที่ 2)

กำหนดให้ $0<c_r<c_m<w<p$ และ $w>b$ ทั้งสองตัวแบบ

2.1 ตัวแบบที่ 1: โซ่อุปทานวงปิดที่ไม่มีสัญญาซื้อคืน

ในตัวแบบนี้ ผู้ผลิตขายสินค้าให้ผู้ขายปลีกตามคำสั่งซื้อในราคา w บาทต่อหน่วย โดยผู้ผลิตจะรับซื้อคืนสินค้าที่ลูกค้าไม่ต้องการแล้วจากลูกค้าโดยตรงในราคา b บาทต่อหน่วยและนำไปรีไซเคิลต่อไป

ฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ขายปลีก คือ

$$\pi_{r1}(x)=E[p\min(x,D)-wx] \qquad (1)$$

โดยค่าขวามือของ (1) คือค่าคาดหมายรายได้จากการขายปลีกลบด้วยค่าใช้จ่ายจากการซื้อสินค้าจากผู้ผลิต

ฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ผลิต คือ

$$\begin{aligned}\pi_{m1}(x)&=E[wx-c_mx-bY(\min(x,D))\\&\qquad -c_rY(\min(x,D))]\\&=(w-c_m)x-(b+c_r)E[Y(\min(x,D))]\end{aligned} \qquad (2)$$

ซึ่งพจน์แรกของ (2) คือรายได้จากสินค้าที่ผลิต และพจน์ที่

สองคือค่าใช้จ่ายจากการรับซื้อคืนสินค้าจากลูกค้าแล้วนำมารีไซเคิล

2.2 ตัวแบบที่ 2: โซ่อุปทานวงปิดที่มีสัญญาซื้อคืน

ในตัวแบบนี้ ผู้ผลิตและผู้ขายปลีกได้ตกลงซื้อขายสินค้ากันโดยใช้สัญญาซื้อคืนที่มีพารามิเตอร์เป็นราคาขายส่ง w บาทต่อหน่วย และราคาซื้อคืน b บาทต่อหน่วย ผู้ขายปลีกจะรับซื้อสินค้าที่ลูกค้าไม่ต้องการแล้วจากลูกค้าในราคา a บาทต่อหน่วย แล้วขายให้ผู้ผลิตอีกต่อหนึ่ง โดยที่ $0 < a < p$ และ $b > a$

ฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ขายปลีก คือ

$$\pi_{r2}(x) = E[p\min(x,D) - wx - aY(\min(x,D)) + bY(\min(x,D))] \quad (3)$$

$$= pE[\min(x,D)] - wx + (b-a)E[Y(\min(x,D))] \quad (4)$$

โดยค่าในวงเล็บทางขวามือของ (3) คือ รายได้จากการขายปลีก ลบด้วยค่าใช้จ่ายจากการซื้อสินค้าจากผู้ผลิตและค่าใช้จ่ายจากการรับซื้อคืนสินค้าจากลูกค้า บวกรายได้จากการขายสินค้าที่รับซื้อคืนให้ผู้ผลิตอีกต่อหนึ่ง

สังเกตว่า ฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ขายปลีกในตัวแบบที่ 2 นี้ จะมีรายได้จากการขายคืน คือ พจน์สุดท้ายใน (4) เพิ่มขึ้นมาจากฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ขายปลีกในตัวแบบที่ 1 ซึ่งไม่มีสัญญาซื้อคืน

ฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ผลิต คือ

$$\pi_{m2}(x) = E[wx - c_m x - bY(\min(x,D)) - c_r Y(\min(x,D))]$$

$$= (w - c_m)x - (b + c_r)E[Y(\min(x,D))] \quad (5)$$

โดยพจน์แรกทางขวามือของ (5) แทนรายได้จากการขายสินค้าตามคำสั่งซื้อให้ผู้ขายปลีก และพจน์ที่สองแทนค่าใช้จ่ายจากการรับซื้อคืนสินค้ามารีไซเคิล

3. วิเคราะห์ตัวแบบ

ทฤษฎีบทที่ 1 ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมที่สุดของผู้ขายปลีกในกรณีที่ไม่มีสัญญาซื้อคืน (ตัวแบบที่ 1) เท่ากับ

$$x_1^* = \arg\max_x \left\{ P(D > x-1) \geq \frac{w}{p} \right\} \quad (6)$$

พิสูจน์ พิจารณา (1) เนื่องจาก $E[\min(x,D)]$ เป็นฟังก์ชันเว้า (Concave function) บน x และ $p > 0$ ดังนั้น $\pi_{r1}(x)$ เป็นฟังก์ชันเว้าบน x ด้วย

กำหนดให้

$$\delta(x) = \pi_{r1}(x) - \pi_{r1}(x-1) \quad (7)$$

แทนผลต่างของฟังก์ชันค่าคาดหมายของกำไรของผู้ขายปลีกในตัวแบบที่ 1 เมื่อ $x-1$ และ x คือจำนวนเต็มที่มีค่าติดกัน จะได้ว่าฟังก์ชันค่าคาดหมายกำไรของผู้ขายปลีกจะมีค่าสูงสุดที่

$$\arg\max_x \{\delta(x) \geq 0\} \quad (8)$$

เนื่องจาก

$$E[\min(x,D)] = \sum_{t=0}^{\infty} P(\min(x,D) > t) = \sum_{t=0}^{x-1} P(D > t) \quad (9)$$

แทนใน (1) และ (7) จะได้ว่า

$$\delta(x) = (p - (c_r + a)\theta)P(D > x-1) - c_m \quad (10)$$

แทนค่า (10) ใน (8) แล้วจัดรูปสมการ จะสามารถหาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าคาดหมายกำไรของผู้ขายปลีกในตัวแบบที่ 1 มีค่าสูงสุดได้ดัง (6) □

ทฤษฎีบทที่ 2 ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมที่สุดของผู้ขายปลีกเมื่อใช้สัญญาซื้อคืน (ตัวแบบที่ 2) เท่ากับ

$$x_2^* = \arg\max_x \left\{ P(D > x-1) \geq \frac{w}{p + (b-a)\theta} \right\} \quad (11)$$

พิสูจน์ พิจารณา (4)

เพื่อความสะดวก ให้ $Y = Y(\min(x,D))$

เนื่องจาก Y เป็นตัวแปรสุ่มทวินามที่มีพารามิเตอร์เท่ากับ $\min(x,D)$ และ θ

ให้ $\min(x,D) = n$ จะได้

$$E[Y \mid \min(x,D) = n] = n\theta$$

ดังนั้น

$$E[Y \mid \min(x,D)] = \min(x,D)\theta$$

จึงได้ว่า

$$E[Y] = E[E[Y \mid \min(x,D)]] = E[\min(x,D)\theta] = \theta E[\min(x,D)] \quad (12)$$

แทนใน (4) จะได้

$$\pi_{r2}(x) = pE[\min(x,D)] - wx + (b-a)\theta E[\min(x,D)] = (p+(b-a)\theta)E[\min(x,D)] - wx \quad (13)$$

เนื่องจาก $E[\min(x,D)]$ เป็นฟังก์ชันเว้าบน x และ $p+(b-a)\theta > 0$ เสมอ ดังนั้น $\pi_{r2}(x)$ จึงเป็นฟังก์ชันเว้าบน x ด้วย

ขั้นตอนต่อไปพิสูจน์ในทำนองเดียวกับทฤษฎีบทที่ 1 □

ทฤษฎีบทที่ 3 เมื่อใช้สัญญาซื้อคืน ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าของผู้ขายปลีกจะมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเมื่อไม่ใช้สัญญาเสมอ

พิสูจน์ พิจารณา (6) และ (11) เนื่องจาก $\frac{w}{p+(b-a)\theta} \le \frac{w}{p}$ และ $P(D > x-1)$ เป็นฟังก์ชันไม่เป็นลบและไม่เพิ่มบน x ดังนั้น $x_2^* \ge x_1^*$ □

ทฤษฎีบทที่ 3 มีความสมเหตุสมผล เนื่องจากเมื่อมีการใช้สัญญาซื้อคืนแล้ว ผู้ขายปลีกจะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากสินค้าที่รับซื้อคืนจากลูกค้าแล้วผู้ผลิตมารับซื้อคืนอีกต่อหนึ่ง จึงสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตเพิ่มขึ้น

ทฤษฎีบทที่ 4 ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ คงที่

1. ถ้า w เพิ่มขึ้น แล้ว x_1^* และ x_2^* จะลดลง
2. ถ้า b เพิ่มขึ้น แล้ว x_2^* จะเพิ่มขึ้น

พิสูจน์

1. พิจารณา (6) และ (11) กำหนดให้

$$f(w) = \frac{w}{p} \text{ และ } g(w,b) = \frac{w}{p+(b-a)\theta}$$

และให้ $\hat{w} > w$

จะได้ว่า $f(\hat{w}) > f(w)$ และ $g(\hat{w},b) > g(w,b)$

ให้ x^* และ $\hat{x}^*$ แทนปริมาณการสั่งซื้อเหมาะสมที่สุดที่สอดคล้องกับ w และ $\hat{w}$ ตามลำดับ

เราทราบว่า $P(D > x-1)$ เป็นฟังก์ชันไม่เป็นลบและไม่เพิ่มบน x ดังนั้น $\hat{x}^* < x^*$ □

2. กำหนดให้ $\hat{b} > b$ จะได้ว่า $g(w,\hat{b}) < g(w,b)$

ขั้นตอนต่อจากนี้พิสูจน์ในทำนองเดียวกับข้อ 1 □

จากทฤษฎีบทที่ 4 หากพิจารณาในมุมมองของผู้ขายปลีก (ในทั้งสองตัวแบบ) จะเห็นว่า เมื่อราคาขายส่ง w เพิ่มขึ้น ย่อมหมายถึงค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย ผู้ขายปลีกจึงสั่งสินค้าน้อยลง ในขณะที่หากราคาที่ผู้ผลิตรับซื้อสินค้าคืนเพิ่มขึ้น ผู้ขายปลีก (ในตัวแบบที่ 2) ก็จะสามารถมีรายได้เพิ่มขึ้นได้จากสินค้าที่รับซื้อคืน จึงทำให้มีการสั่งสินค้าจากผู้ผลิตมากขึ้น

4. ตัวอย่าง

ให้จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้า $D = 1 + D'$ โดยที่ D' มีการแจกแจงแบบปัวซงที่มีค่าเฉลี่ย λ

กำหนดให้ $p = 200$, $c_m = 40$, $c_r = 30$, $a = 40$ และ $\theta = 0.7$

เมื่อหาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเหมาะสมที่สุดของทั้งสองตัวแบบ พบว่าปริมาณการสั่งซื้อเหมาะสมที่สุดของตัวแบบที่ 2 มากกว่าหรือเท่ากับปริมาณการสั่งซื้อเหมาะสมที่สุดของตัวแบบที่ 1 เสมอ ดังแสดงในตารางที่ 1 ถึง 3

ตารางที่ 1 ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเหมาะสมที่สุดเมื่อ $w = 100$ และ $b = 55$

λ	50	100	150	200	250
ตัวแบบ 1	51	101	151	201	251
ตัวแบบ 2	51	101	152	202	252

ตารางที่ 2 ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเหมาะสมที่สุดเมื่อ $w = 150$ และ $b = 55$

λ	50	100	150	200	250
ตัวแบบ 1	46	94	143	191	240
ตัวแบบ 2	47	95	144	193	242

ตารางที่ 3 ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเหมาะสมที่สุดเมื่อ $w = 150$ และ $b = 45$

λ	50	100	150	200	250
ตัวแบบ 1	46	94	143	191	240
ตัวแบบ 2	46	95	143	192	241

จากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่า เมื่อราคาขายปลีกเพิ่มขึ้น ปริมาณการสั่งซื้อเหมาะสมที่สุดของทั้งสองตัวแบบลดลง และจากตารางที่ 2 และ 3 พบว่า เมื่อราคาที่ผู้ผลิตรับซื้อคืนมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อเหมาะสมที่สุดของตัวแบบที่ 2 เพิ่มขึ้น ส่วนตัวแบบที่ 1 คงเดิม ทั้งนี้เนื่องจากใน

ตัวแบบที่ 1 ผู้ขายปลีกไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการซื้อคืนสินค้าจากลูกค้าเลย ส่วนในตัวแบบที่ 2 ผู้ขายปลีกจะมีรายได้เพิ่มขึ้นจากส่วนต่างของราคาที่รับซื้อสินค้าคืนจากลูกค้าแล้วขายให้ผู้ผลิตอีกต่อหนึ่ง จึงเป็นแรงจูงใจให้ผู้ขายปลีกสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตเพิ่มขึ้น

ให้ $\Pi_i = \pi_{ri} + \pi_{mi}$ แทนค่าคาดหมายกำไรของโซ่อุปทานวงปิดในตัวแบบที่ i, $i = 1, 2$
เปรียบเทียบค่าคาดหมายกำไรของตัวแบบที่ 1 และ 2 โดยพิจารณาอัตราส่วนค่าคาดหมายกำไรของตัวแบบที่ 2 และตัวแบบที่ 1 ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราส่วนค่าคาดหมายกำไรของตัวแบบที่ 2 และตัวแบบที่ 1 เมื่อ $w = 100$ และ $b = 55$

λ	50	100	150	200	250
π_{r2}/π_{r1}	1.1142	1.1108	1.1095	1.1088	1.1083
π_{m2}/π_{m1}	1.0000	1.0000	1.0741	1.0633	1.0558
Π_2/Π_1	1.1080	1.1067	1.1084	1.1076	1.1071

จากตารางที่ 4 พบว่า อัตราส่วนของค่าคาดหมายกำไรในตัวแบบที่ 2 ต่อตัวแบบที่ 1 มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้สัญญาซื้อคืนจะทำให้ค่าคาดหมายกำไรรวมของโซ่อุปทานและค่าคาดหมายกำไรของสมาชิกในโซ่อุปทานเพิ่มขึ้น จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าเมื่อใช้สัญญาซื้อคืน (ตัวแบบที่ 2) ค่าคาดหมายกำไรรวมของโซ่อุปทานแบบวงปิดจะมากกว่าเมื่อไม่ใช้สัญญาซื้อคืน (ตัวแบบที่ 1) ถึงร้อยละ 10 โดยประมาณ

5. สรุป

บทความนี้ได้เสนอตัวแบบโซ่อุปทานแบบวงปิด 2 ตัวแบบ คือ แบบที่ไม่มีสัญญาซื้อคืนและแบบที่มีสัญญาซื้อคืนระหว่างผู้ผลิตและผู้ขายปลีก จากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้สัญญาซื้อคืนจะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อเหมาะสมที่สุดเพิ่มขึ้น และยังทำให้ค่าคาดหมายกำไรของโซ่อุปทานและสมาชิกในโซ่อุปทานเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในตัวแบบ โดยเมื่อราคาขายปลีกเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมที่สุดของทั้งสองตัวแบบลดลง และเมื่อราคารับซื้อคืนเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเหมาะสมที่สุดในตัวแบบที่ 2 เพิ่มขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Fleischmann, P. Beullens, J. M. Bloemhof-Ruwaard and L. N. Van Wassenhove, "The impact of product recovery on logistics network design," *Production and Operations Management.,* Vol. 10(2), pp. 156-173, 2001.

[2] V. D. R. J. Guide and L. N. Van Wassenhove, "Managing product returns for remanufacturing," *Production and Operations Management.,* Vol. 10(2), pp. 142-155, 2001.

[3] C. J. Corbett and R. C. Savaskan, "Contracting and coordinationin closed-loop supply chains," in *Business Aspects of Closed-Loop Supply Chain*, V. D. R. J. Guide and L. N. Van Wassenhove, Eds. Pittsburgh: Carnegie Bosch Institute, 2003, pp. 93-113.

[4] R. Kulwiec, "Reverse logistics provides green benefits," *Target.,* Vol. 22(3), pp. 11-20, 2006.

[5] E. Ozceylan and T. Paksoy, "Reverse supply chain optimisation with disassembly line balancing," *International Journal of Production Research.,* Vol. 51(20), pp. 5985-6001, 2013.

[6] Apple Inc. (26 August 2015). *Environmental responsibility*. [Online] Available: http://www.apple.com/environment/finite-resources

[7] สำนักงานเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. (13 กรกฎาคม 2558). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.cabinet.soc.go.th/soc/Program2-3.jsp?top_serl=99313739

[8] M. Thierry, M. Salomon, J. Van Nunen and L. Van Wassenhove, "Strategic issues in Product recovery management," *California Management Review.,* Vol. 37(2), pp. 144-135, 1995.

[9] L. B. Toktay, L. M. Wein and S. A. Zenios, "Inventory management of remanufacturable products," *Management Science.,* Vol. 46(11), pp. 1412-1426, 2000.

[10] W. Hopp, *ศาสตร์แห่งโซ่อุปทาน: Supply Chain Science*, กรุงเทพฯ: อี.ไอ.สแควร์ สำนักพิมพ์, 2553.

[11] K. Govindan and M. N. Popiuc, "Reverse supply chain coordination by revenue sharing contract: A case for the personal computers industry," *European Journal of Operational Research.,* Vol. 233, pp. 326-336, 2014.

[12] G. P. Cachon, "Supply chain coordination with contracts," in *Handbook in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, S. Graves and T. de Kok, Eds. North-Holland, 2003, pp. 227-339.

[13] K. Arshinder, A. Kanda and S. Deshmukh, "A review on supply chain coordination: coordination mechanism, managing uncertainty and research directions," in *Supply Chain Coordination under Uncertainty*, T. Choi and T. E. Cheng, Eds. Berlin: Springer Berlin - Heidelberg, 2011, pp. 39-82.

[14] K. Govindan, M. N. Popiuc and A. Diabat, "Overview of coordination contracts within forward and reverse supply chains," *Journal of Cleaner Production.,* Vol. 47, pp. 319-334, 2013.

[15] R. C. Savaskan, S. Bhattacharya and L. N. Van Wassenhove, "Closed-loop supply chain models with product remanufacturin," *Management Science.,* Vol. 50(2), pp. 239-252, 2004.

[16] C. Shi and D. Bian, "Closed-loop supply chain coordination by contracts under government subsidy". in *Proceedings of the IEEE International Conference on Control and Decision*. May 23-25. Mianyang: pp. 2747-2750, 2011.

[17] S. H. Yoo, D. Kim and M.-S. Park, "Pricing and return policy under various supply contracts in a closed-loop supply chain," *International Journal of Production Research.,* Vol. 53(1), pp. 106-126, 2015.

[18] J. M. Swaminathan and J. G. Shanthikumar, "Supplier diversification: effect of discrete demand," *Operations Research Letters.,* Vol. 24, pp. 213-221, 1999.