วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

# การตรวจสอบผลกระทบของระยะเวลานำต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทานแบบการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง สำหรับตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟอันดับที่หนึ่ง

# Investigation of impact of lead times on bullwhip effect in dual-supplier supply chain for first-order autoregressive process

พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม[1] วริษา ต่างใจ[2] พริดา วิภูภิญโญ[3] กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข[4]*

[1] สาขาวิชาบริหารการปฏิบัติการ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200

[2] ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240

[3] สาขาวิชาเอกการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

[4] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Pichawadee Kittipanya-ngam[1] Warisa Thangjai[2] Parida Wipoopinyo[3] Kittiwat Sirikasemsuk[4]*

[1] Department of Operations Management, Thammasat Business School, Thammasat University, Pranakorn, Bangkok

[2] Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok

[3] Major in Logistics and Supply Chain Management, Department of Business Administration, Faculty of Management Science, Prince of Songkla University, Songkhla

[4] Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

* Corresponding author.

E-mail: kittiwat.sirikasemsuk@gmail.com

วันที่รับบทความ 27 ตุลาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 1 มกราคม 2565 ; วันที่ตอบรับบทความ 16 มีนาคม 2565

**บทคัดย่อ**

ปัจจุบันนี้ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งนั้นมีจำนวนไม่มาก รวมถึงไม่ได้กล่าวอย่างชัดเจนว่า ระยะเวลานำมีผลกระทบต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคหรือไม่และอย่างไรภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จะตรวจสอบผลกระทบของระยะเวลานำต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทานแบบการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง โดยที่คำสั่งซื้อของผู้ค้าปลีกจะถูกแบ่งไปยังผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ระยะเวลานำระหว่างช่วงของผู้ผลิตสินค้าทั้งสองและผู้ค้าปลีกทั้งแบบเท่ากันและไม่เท่ากันจะถูกตรวจสอบ งานวิจัยฉบับนี้จะใช้วิธีการจำลองสถานการณ์โดยสร้างความต้องการของลูกค้าตามตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟอันดับที่หนึ่ง (The First Order Autoregressive, AR(1)) ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม (Order-up-to Inventory Policy) และใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลานำไม่จำเป็นที่ค่าบูลวิปเอฟเฟคต้องเพิ่มขึ้นด้วย

**คำสำคัญ**

บูลวิปเอฟเฟค ระบบการจัดซื้อสินค้าจากสองแหล่ง โซ่อุปทาน ระยะเวลานำ การพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่

**Abstract**

At present, research studies on the increasing demand amplification, or the bullwhip effect (BW), under a dual-sourcing supply chain network are limited. In addition, no existing research clearly states whether and how order lead times influence the bullwhip effect under the dual-sourcing supply chain environment. This research thus investigates

the impact of lead times on bullwhip effect in dual-supplier supply chain. The retailer's orders are divided between two suppliers. Both cases of equal and unequal lead times at the suppliers-retailer links are examined. In this research, a simulation approach is used to create the incoming demand process for the retailer according to first order autoregressive (AR(1)) model. Also, all members use the order-up-to inventory policy and the moving average forecasting technique. The findings indicate that an increase in lead times is not necessarily accompanied by an increase in the bullwhip effect.

**Keywords**

bullwhip effect; dual sourcing model; supply chain; replenishment lead time; moving average forecasting technique

## 1. คำนำ

องค์กรหนึ่ง ๆ ต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมภายนอกที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และเป็นการยากที่องค์กรจะสามารถควบคุมได้ เช่น สภาพเศรษฐกิจ วัฒนธรรม เป็นต้น ซึ่งเป็นทั้งโอกาสและอุปสรรคขององค์กร ถ้าเป็นโอกาสถือเป็นเรื่องที่ดีต่อองค์กร แต่เมื่อเป็นอุปสรรคถือเป็นเรื่องที่องค์กรควรให้ความสำคัญและหาวิธีการรับมือกับอุปสรรคนั้น วิธีการรับมือกับอุปสรรคที่ทำให้องค์กรสามารถแข่งขันกับองค์กรอื่นได้ คือ การมุ่งตอบสนองความต้องการของลูกค้า และสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้า แต่เนื่องจากองค์กรหนึ่งๆ ไม่ได้ดำเนินการเพียงลำพัง แต่ดำเนินการร่วมกันในลักษณะห่วงโซ่ ที่ส่งวัตถุดิบหรือสินค้าให้กันเป็นลำดับจากองค์กรหนึ่งสู่องค์กรหนึ่ง เพื่อให้ได้สินค้าสำเร็จรูปส่งถึงลูกค้า และสามารถสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้าได้ เรียกห่วงโซ่ลักษณะนี้ว่า ห่วงโซ่อุปทาน [1, 2]

ข้อมูลที่บิดเบือนหรือข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน ที่เกิดจากค่าพยากรณ์ที่ไม่แม่นยำหรือค่าอุปสงค์ของลูกค้าที่ไม่แน่นอน อาจส่งผลกระทบไปยังต้นน้ำตลอดโซ่อุปทาน ถ้าปริมาณของความแปรปรวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ในแต่ละขั้น จะส่งผลให้เกิดพัสดุคงคลังในปริมาณสูงหรือสินค้าขาดแคลน การบริการลูกค้าที่แย่ การผลิตที่ไม่เป็นไปตามแผนการผลิต การวางแผนกำลังการผลิตที่ผิดพลาด การส่งสินค้าที่ไม่พอเพียงและต้นทุนที่สูง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟค [3, 4]

ข้อมูลความต้องการของลูกค้าถือเป็นสิ่งสำคัญที่สมาชิกในห่วงโซ่อุปทานต้องการทราบ เพราะทำให้สามารถเตรียมสินค้าไว้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ แต่องค์กรไม่สามารถทราบข้อมูลความต้องการของลูกค้า เนื่องจากความต้องการของลูกค้าจะเกิดขึ้นทันทีในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ แต่การเตรียมสินค้าไว้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าต้องเตรียมไว้ล่วงหน้า จึงเป็นที่มาของการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยทุกสมาชิกในห่วงโซ่อุปทานทำการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าของตน แล้วเปลี่ยนข้อมูลความต้องการเป็นปริมาณคำสั่งซื้อ ส่งให้สมาชิกลำดับถัดไปทางต้นน้ำในห่วงโซ่อุปทาน การพยากรณ์เป็นการทำนาย และในการทำนายนั้นจะประกอบด้วยความผิดพลาดอยู่ด้วย จึงส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้า ซึ่งถูกส่งต่อจากปลายน้ำสู่ต้นน้ำ ทำให้ความแปรปรวนของความต้องของลูกค้าที่ต้นน้ำสูงกว่าความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าที่ปลายน้ำ จึงเป็นที่มาของการเกิดปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟค [3, 4]

งานวิจัยของ Forrester [5] ดูเหมือนจะเป็นงานวิจัยในลำดับแรก ๆ ที่แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์พลวัตของระบบ (ปัจจุบันเรียกว่า บูลวิปเอฟเฟค) ด้วยการนำเสนอการบูรณาการธรรมชาติของความสัมพันธ์ในองค์กร นอกจากนี้งานศึกษาของ Sterman [6] ได้นำเสนอเกมเบียร์ที่เป็นที่รู้จักกันดีเพื่อให้ผู้เข้าร่วมเรียนรู้การทดลองบูลวิปเอฟเฟค เกมเบียร์ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นเครื่องมือสำหรับการสอนการควบคุมสินค้าคงคลังและการจัดการโซ่อุปทาน ถัดมาคืองานวิจัยทั้งสองฉบับโดย Lee et al. [3, 4] ระบุถึง สาเหตุการเกิดบูลวิปเอฟเฟค ได้แก่ การพยากรณ์อุปสงค์ การขาดแคลนอุปทาน ระยะเวลา การสั่งซื้อเป็นชุด และความแปรปรวนของราคา การศึกษาวิจัยข้างต้นทำให้เป็นที่ดึงดูดนักวิจัยจำนวนมากมาทำวิจัยและศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคนี้

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัย คือ เพื่อศึกษาและจำลองพฤติกรรมของบูลวิปเอฟเฟคภายใต้โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งเมื่อมีระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งเพื่อส่งสินค้าไปยังผู้ค้าปลีกมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งระยะเวลานำผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ไม่เท่ากับแห่งที่ 2

จากการทบทวนวรรณกรรมทางด้านการวิจัยปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคนี้อาจแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผลกระทบของวิธีการพยากรณ์

กลุ่มที่ 2 ความต้องการของลูกค้าและโครงสร้างของโซ่อุปทานแบบต่าง ๆ

กลุ่มที่ 3 การแบ่งปันข้อมูลอิทธิพลของระยะเวลานำ

### 1.1 การทบทวนวรรณกรรมด้านผลกระทบของวิธีการพยากรณ์ (กลุ่มที่ 1)

Chen et al. [7, 8] ตรวจสอบผลกระทบของวิธีการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Moving Average Forecasting Method (MA)) และวิธีการคาดการณ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Exponentially Weighted Moving Average Forecasting Method (EWMA)) ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้ความต้องการปลายน้ำเป็นแบบออเทอรีเกรสซีฟอันดับที่หนึ่งคือ AR(1) พบว่า ถ้าช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ค่าบูลวิปเอฟเฟคจะลดลง แต่ถ้าค่าพารามิเตอร์ของวิธีการคาดการณ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย เพิ่มขึ้น ค่าบูลวิปเอฟเฟคจะเพิ่มขึ้น

หมายเหตุ ตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟอันดับที่หนึ่ง (The First Order Autoregressive, AR(1)) มาจาก AR(p) เป็นลักษณะของข้อมูลอนุกรมเวลาที่ขึ้นอยู่กับค่าตัวมันเองในอดีต โดย p คือ จำนวนของระยะห่าง (Lag) ของข้อมูลในอดีตจากปัจจุบัน

จากหลักฐานเชิงประจักษ์สามารถสรุปได้ว่าผลกระทบจากค่าบูลวิปเอฟเฟคเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้จะมีการใช้เทคนิควิธีการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (MA) และวิธีการคาดการณ์ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (EWMA)

ในขณะที่นักวิจัยจำนวนหนึ่ง เช่น Luong [9], Liu and Wang [10], Agrawal et al. [11], Pati et al. [12] และ Cho and Lee [13] ใช้วิธีพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดขั้นต่ำ (Minimum Mean Square Error (MMSE)) เหตุผลหลักคือ วิธีการพยากรณ์นี้จะแม่นยำ เมื่อความต้องการลูกค้ากำหนดให้เป็นแบบ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) ดังนั้นจึงลดผลกระทบของบูลวิปเอฟเฟคลงได้

### 1.2 การทบทวนวรรณกรรมด้านความต้องการของลูกค้าและโครงสร้างของโซ่อุปทานแบบต่าง ๆ (กลุ่มที่ 2)

การกำหนดให้ความต้องการของลูกค้าเป็นแบบ AR(1) ได้ถูกนำไปใช้อย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นพื้นฐานของการวิจัย เช่น Pereira et al. [14] ที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความสามารถในการปรับกำลังการผลิตต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค Pati et al. [12] เป็นผู้พัฒนาสูตรการวัดค่าบูลวิปเอฟเฟคสำหรับโซ่อุปทานแบบวงปิด (Closed Loop Supply Chain) และ Nepal et al. [15] เป็นผู้วิเคราะห์บูลวิปเอฟเฟคภายใต้การพิจารณาวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ผู้เขียนหลายคน เช่น Bayraktar et al. [16], Wright and Yuan [17], Coppini et al. [18] และ Ciancimino et al. [19] ตรวจสอบบูลวิปเอฟเฟคโดยการสร้างความต้องการของลูกค้าด้วยฟังก์ชั่นความต้องการตามเวลาผ่านวิธีการจำลอง นอกจากนี้ Wang et al [20] ได้เปรียบเทียบการตัดสินใจในการเลือกวิธีการพยากรณ์ โดยยึดตามแบบจำลองอุปสงค์สามแบบ ได้แก่ AR(1), MA(1) และ ARMA(1,1)

หมายเหตุ แบบจำลอง ARMA(1,1) มาจาก ARIMA เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาขึ้นอยู่การรวมกันระหว่างค่าของข้อมูลอนุกรมเวลาในอดีต และค่าความคลาดเคลื่อนทั้งในปัจจุบันและในอดีต

Sirikasemsuk and Luong [21] ศึกษาเพื่อวัดค่าบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทาน โดยการคิดวิเคราะห์ โซ่อุปทานที่ศึกษามี 2 ระดับ ประกอบด้วย ผู้ผลิต 1 แห่ง และผู้ค้าปลีก 2 แห่ง เมื่อกำหนดให้แต่ละองค์กรใช้วิธีพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดขั้นต่ำ (MMSE) และกำหนดให้รูปแบบความต้องการของลูกค้าเป็นไปตามตัวแบบ VAR (1) เมื่อ VAR (1) คือ Bivariate Autoregressive Model

นอกจากนี้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งหรือหลายแหล่งเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่หลาย ๆ องค์กรนำมาใช้ เพื่อช่วยจัดการลดความเสี่ยงและเพิ่มความยืดหยุ่นของโซ่อุปทาน เช่น งานวิจัยของ Sirikasemsuk and Luong [22] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเพื่อวัดค่าบูลวิปเอฟเฟคของโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง โดยโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งที่ศึกษามี 3 ระดับ ประกอบด้วย ผู้ผลิต 1 แห่ง ศูนย์กระจายสินค้า 2 แห่ง และผู้ค้าปลีก 1 แห่ง กำหนดให้ความต้องการของลูกค้าเป็นไป

ตามตัวแบบ AR(1) และวิธีพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดขั้นต่ำ (MMSE) เป็นการคิดวิเคราะห์เพื่อให้ได้สูตรหาค่าบูลวิปเอฟเฟคขึ้นมา

จากงานวิจัยของ Lee et al. [3, 4] ได้บ่งชี้ว่า การมีคลังสินค้ารวมศูนย์ นำไปสู่การลดปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟค แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้ Duc et al. [23] ได้โต้แย้งการค้นพบดังกล่าว เมื่อโซ่อุปทานแบบสามขั้นซึ่งประกอบด้วยผู้จัดจำหน่าย คลังสินค้าของบุคคลที่สาม และผู้ค้าปลีกสอง โดยใช้การพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดขั้นต่ำ (MMSE) กำหนดให้คลังสินค้าของบุคคลที่สามตั้งอยู่ใกล้กับร้านค้าปลีกสองแห่ง (นั่นคือระยะเวลานำระหว่างสองขั้นนี้เท่ากับศูนย์ สามารถส่งสินค้าได้ทันทีถ้ามีการสั่งสินค้า) ผลการวิจัยพบว่า การมีอยู่ของคลังสินค้าของบุคคลที่สามไม่ได้ส่งผลกระทบต่อบูลวิปเอฟเฟค แต่เป็นการประหยัดต้นทุนเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง

### 1.3 การทบทวนวรรณกรรมด้านการแบ่งปันข้อมูลและอิทธิพลของระยะเวลานำ (กลุ่มที่ 3)

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ตีพิมพ์เผยแพร่ถึงประโยชน์ของการแบ่งปันข้อมูล (Information Sharing) ซึ่งเกี่ยวกับความต้องการของลูกค้า โดยเริ่มแบ่งปันตั้งแต่ปลายน้ำถึงต้นน้ำของห่วงโซ่อุปทาน การแบ่งปันข้อมูลถือเป็นส่วนสำคัญของการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพ ผลกระทบของการแบ่งปันข้อมูลเกี่ยวกับบูลวิปเอฟเฟคถูกยืนยันถึงประโยชน์โดยนักวิจัยหลายคน เช่น Lee et al. [3, 4], Xu et al. [24], Raghunathan [25], Kim et al. [26], และ Agrawal et al. [11] ผู้เขียนทั้งหมดเหล่านี้ยืนยันว่าการแบ่งปันข้อมูลตามความต้องการสามารถบรรเทาปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคลงได้

จากผลการวิจัยจาก Lee et al. [3, 4] ,Chen et al. [7, 8] และ Luong [9] พบว่า ระยะเวลานำของการเติมเต็มสินค้าเพิ่มขึ้น จะนำไปสู่การเพิ่มปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคที่รุนแรงมากขึ้นด้วย หมายเหตุ งานวิจัยส่วนใหญ่จะกำหนดให้ระยะเวลานำเป็นแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) ยกเว้นงานวิจัยของ Kim et al. [26] และ Duc et al. [27] ซึ่งระยะเวลานำเป็นแบบสุ่ม

Tunacan and Torkul [28] ได้เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของระบบโดยรวมภายใต้การแบ่งปันข้อมูลที่หลากหลายรูปแบบ (เช่น การแชร์ความต้องการของลูกค้าที่ปลายน้ำ การแชร์คำสั่งซื้อที่คลังสินค้า การแชร์ระยะเวลานำ) ระหว่างคู่ค้าในห่วงโซ่อุปทาน และภายใต้ต้นทุนที่แตกต่างกัน พบว่า การคาดการณ์ความต้องการตลอดโซ่อุปทานจะแม่นยำยิ่งขึ้นเมื่อมีการแบ่งปันความต้องการแบบรวมศูนย์เมื่อเทียบกับการแบ่งปันข้อมูลแบบกระจายอำนาจ

Ernawati et al. [29] ได้ศึกษาบริษัทแห่งหนึ่งผลิตผลิตภัณฑ์แป้งข้าวจ้าว โดยมีสำนักงานขาย 9 แห่ง พบปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคหรือการบิดเบือนของข้อมูลด้วยความต้องการที่ไม่แน่นอน ทำให้บริษัทต้องผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก ๆ เก็บไว้ จึงแก้ไขโดยการแบ่งปันข้อมูลแบบการสร้างความร่วมมือ การวางแผน การพยากรณ์ และการเติมเต็มสต๊อก (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR)) โดยให้ผู้จัดจำหน่ายเป็นผู้บริหารสินค้าคงคลังแทนลูกค้า (Vendor Managed Inventory) ทำให้ลดปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคลงได้ ในขณะที่ Hariastuti et al. [30] ได้ประยุกต์ใช้ CPFR และการคำนวณคำสั่งซื้อด้วยวิธีการวางแผนความต้องการจัดจำหน่าย (Distribution Requirement Planning (DRP)) ให้แก่บริษัทที่ผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย เร็ว ๆ นี้ Sjurahudin and Vikaliana [31] ได้ศึกษาการนำวิธีการ CPFR มาใช้ในธุรกิจขายสะเต๊ะในพื้นที่ประเทศอินโดนีเซีย เพื่อแสดงข้อมูลห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่ผู้ผลิตถึงผู้บริโภคและการควบคุมสินค้าคงคลัง เพื่อลดผลกระทบของค่าบูลวิปเอฟเฟคโดยเน้นหาสินค้าคงคลังขั้นต่ำ (Safety Stock) ให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการสะเต๊ะที่เพิ่มขึ้น

กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข และคณะ [32] ได้ขยายผลจากงานวิจัยของ Sirikasemsuk and Luong [22] โดยเปลี่ยนเทคนิคการพยากรณ์ของทุกสมาชิกจากวิธีพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดขั้นต่ำ (MMSE) มาใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) และใช้การศึกษาโดยการจำลองโมเดล (Simulation Approach) แทนการคิดวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Approach) แต่งานวิจัยของกิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข และคณะ [32] ได้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งเพื่อส่งสินค้าไปยังผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากันซึ่งเท่ากับ 1 (เป็นการลดความซับซ้อนของระบบลง) ผลปรากฏว่า อิทธิพลของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีกไม่มีผลต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคภายใต้โซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง

จะเห็นว่า มีงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาผลกระทบของระยะเวลานำต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เช่น งานวิจัยของ Chen et al. [7], Agrawal et al. [11], Kim et al. [26], Duc et al. [27] แต่มักเป็นการศึกษาภายใต้โครงสร้างโซ่อุปทานแบบสั่งซื้อจาก 1 แหล่ง (ไม่ใช่สั่งซื้อจาก 2 แหล่ง) และพบว่า ระยะเวลานำเพิ่มขึ้นค่าบูลวิปเอฟเฟค

มาถึงจุดนี้จะสังเกตว่า งานวิจัยของ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข และคณะ [32] ได้ศึกษาผลกระทบของบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทานแบบการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งภายใต้ระยะเวลานำที่เท่ากันทุกองค์กร แต่ไม่ได้ศึกษาระยะเวลานำที่มีค่าไม่เท่ากัน รวมถึงไม่ได้ศึกษาผลกระทบของระยะเวลานำต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค ดังนั้น ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและจำลองพฤติกรรมของบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งเมื่อระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง เพื่อส่งสินค้าไปยังผู้ค้าปลีกมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งระยะเวลานำผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ไม่เท่ากับแห่งที่ 2 เป็นการต่อยอดเพิ่มเติมจากงานวิจัยของกิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข และคณะ [32]

ในงานวิจัยฉบับนี้จะกำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีกมากกว่าระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2>L_1$) โดยที่ไม่มีความจำเป็นที่ต้องศึกษา $L_2<L_1$

สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ มีดังนี้

$j$ = หมายเลขที่ของผู้ผลิตสินค้า (ได้แก่ 1 และ 2)

$BW$ = บูลวิปเอฟเฟค (Bullwhip Effect)

$D_t$ = ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลา $t$

$F_t$ = ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลา $t$ โดยผู้ค้าปลีก

$P_{j,t}$ = ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลา $t$ โดยผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ $j$

$Q_t$ = ปริมาณคำสั่งซื้อของผู้ค้าปลีกรวมทั้งหมดในช่วงเวลา $t$

$q_{j,t}$ = ปริมาณคำสั่งซื้อของผู้ค้าปลีกที่ส่งให้ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ $j$ ในช่วงเวลา $t$ (ได้แก่ $q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$)

$o_{j,t}$ = ปริมาณคำสั่งซื้อของผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j ที่ส่งให้ผู้ผลิตที่ รับช่วงต่อ ในช่วงเวลา $t$ (ได้แก่ $o_{1,t}$ และ $o_{2,t}$)

$O_t$ = ปริมาณคำสั่งซื้อทั้งหมดที่ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อได้รับในช่วงเวลา $t$

$L_j$ = ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ $j$ ถึงผู้ค้าปลีก (ได้แก่ $L_1$ และ $L_2$)

$l_j$ = ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตที่รับช่วงต่อถึงผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ $j$ (ได้แก่ $l_1$ และ $l_2$)

$S_t$ = ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเริ่มต้นเวลา $t$ ที่ผู้ค้าปลีก ในกรณี $L_2 > L_1$ จะพิจารณา $S_t$ จาก $L_2$ ซึ่งมีค่ามากกว่า)

$s_{1,t}$ = ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการของผู้ค้าปลีก ณ ช่วงเริ่มต้นเวลา $t$ โดยพิจารณาถึง $L_1$ ในกรณี

$Y_{j,t}$ = ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเริ่มต้นเวลา $t$ ที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ $j$

$z$ = ระดับการให้บริการ

$\varepsilon_t$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ช่วงเวลา $t$ ของตัวแบบออ-เทอรีเกรสชั่น โดยมีการแจกแจงแบบปกติด้วยพารามิเตอร์ค่ากลางเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_\varepsilon^2$ ซึ่งแต่ละค่ามีความเป็นอิสระต่อกัน

$\sigma_\varepsilon^2$ = ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

$\hat{\sigma}_t^{L_j}$ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความต้องการของลูกค้าที่พยากรณ์กับความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นจริงระหว่างระยะเวลานำส่งสินค้าที่ผู้ค้าปลีก

$\hat{\sigma}_t^{l_j}$ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความต้องการของลูกค้าที่พยากรณ์กับความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นจริงระหว่างระยะเวลานำส่งสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j

$\delta$ = พารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบออเทอรีเกรสชั่น

$\varnothing$ = พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชั่น

$p$ = ช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่

**<u>หมายเหตุ</u>** ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้กำหนดให้ $t$ มีหน่วยเป็น “วัน” และปริมาณคำสั่งซื้อและปริมาณความต้องการ มีหน่วยเป็น “ชิ้น” ดังนั้นสัญลักษณ์ที่ถูกจะอ้างอิงหน่วยดังกล่าว เช่น

$D_t, F_t, P_{j,t}, Q_t, q_{j,t}, o_{j,t}, O_t$ จะมีหน่วยเป็น “ชิ้นต่อวัน” ในวันที่ t

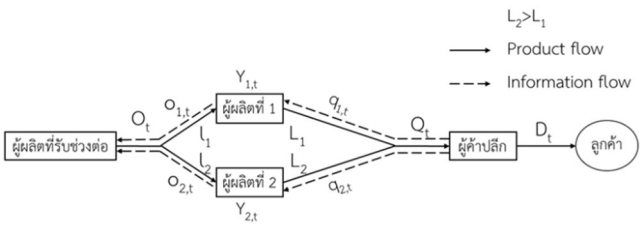
$L_j, l_j$ จะมีหน่วยเป็น “วัน”

$S_t, s_{1,t}, Y_{j,t}$ จะมีหน่วยเป็น “ชิ้น” ณ ช่วงเริ่มต้นเวลา $t$

## 2. คำอธิบายการจำลองโมเดล

### 2.1 โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง

โครงสร้างโซ่อุปทานของการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งในงานวิจัยฉบับนี้ คือ ผู้ค้าปลีก (Retailer) 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้า (Supplier) 2 แห่ง และผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ (Sub-supplier) 1 แห่ง ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง

### 2.2 รูปแบบความต้องการของลูกค้า

ในงานวิจัยฉบับนี้กำหนดให้ความต้องการของลูกค้าที่ผู้ค้าปลีกจะเผชิญถูกสมมติให้เป็นไปตามตัวแบบออเทอรีเกรสชั่นลำดับที่หนึ่ง (AR(1)) โดยมีสมการของตัวแบบ AR(1) ดังสมการที่ 1

$$D_t = \delta + \varnothing D_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

### 2.3 เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่

เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นการประมาณความต้องการของลูกค้าในปัจจุบัน ด้วยการนำข้อมูลความต้องการจริงของลูกค้าในอดีตมาหาค่าเฉลี่ย โดยมีสมการของเทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ดังสมการที่ 2 และ 3

**<u>ที่ผู้ค้าปลีก</u>**

$$F_t = \left(\frac{1}{p}\right)\sum_{i=t-p}^{t-1} D_i = \left(\frac{1}{p}\right)(D_{t-1} + D_{t-2} + \ldots + D_{t-p}) \quad (2)$$

**<u>ที่ผู้ผลิต</u>**

$$P_{j,t} = \left(\frac{1}{p}\right)\sum_{i=t-p}^{t-1} q_{j,i} = \left(\frac{1}{p}\right)(q_{j,t-1} + q_{j,t-2} + \ldots + q_{j,t-p}) \quad (3)$$

### 2.4 นโยบายสินค้าคงคลัง

ในงานวิจัยฉบับนี้ กำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบการสั่งซื้อที่เหมาะสม ซึ่งจากงานวิจัยของ Hosoda and Disney [33] กล่าวว่านโยบายนี้สามารถลดความแปรปรวนของระดับสินค้าคงคลัง ลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังและค่าใช้จ่ายชดเชยในกรณีที่ไม่มีสินค้าคงคลังเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า นอกจากนี้นโยบายนี้ยังสามารถปรับความแปรปรวนของระดับสินค้าคงคลังให้ตรงกับความความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าตลอดระยะเวลานำส่งสินค้าอีกด้วย โดยระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเวลา t ประมาณการจากค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า ดังสมการที่ 4, 5 และ 6

**<u>ที่ผู้ค้าปลีก</u>**

$$S_t = L_2 F_t + z\sigma_t^{L_2} \quad (4)$$

$$s_{1,t} = L_1 F_t + z\sigma_t^{L_1} \quad (5)$$

**<u>ที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j</u>**

$$Y_{j,t} = l_j P_{j,t} + z\sigma_t^{l_j} \quad (6)$$

**2.5 การคำนวณปริมาณคำสั่งซื้อและและค่าบูลวิปเอฟเฟค**

จากรูปที่ 1 ผู้ค้าปลีกจะไม่ทราบว่า ความต้องการของลูกค้าเป็นแบบ AR(1) และผู้ค้าปลีกจะทราบความต้องการของลูกค้าที่แน่นอนภายในช่วงเวลาของ $t$ ( $D_t$ ) จนกว่าจะสิ้นสุดช่วงเวลาของ t ดังนั้นผู้ค้าปลีกจึงต้องมีการพยากรณ์ค่าความต้องการของลูกค้าดังกล่าว โดยอาศัยความต้องการของลูกค้าจริงที่ทราบแล้วจากในอดีตมาพยากรณ์ จากนั้นผู้ค้าปลีกจะคำนวณปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดด้วยนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม (ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลานำส่งสินค้า) และทำการสั่งซื้อไปยังผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และแห่งที่ 2 ( $q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$ ตามลำดับ)

สำหรับกรณีที่ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งถึงผู้ค้าปลีกมีค่าไม่เท่ากันนั้น โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) มีค่ามากกว่าระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ผู้ค้าปลีกจะคำนวณปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมด ( $Q_t$ ) ด้วยนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดขึ้นอยู่กับระยะเวลานำส่งสินค้าที่มากกว่าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ $j$ ถึงผู้ค้าปลีก เนื่องจากระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าถึงผู้ค้าปลีกที่มากกว่าสามารถครอบคลุมความต้องการทั้งหมดของผู้ค้าปลีกได้ [22] จะได้

$$Q_t = S_t - S_{t-1} + D_{t-1} \tag{7}$$

โดยที่ $S_t = L_2 F_t + z\sigma_t^{L_2}$

จากนั้นทำการหาปริมาณคำสั่งซื้อ เพื่อส่งไปยังผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ( $q_{1,t}$ ) ด้วยนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 จะได้รับขึ้นอยู่กับระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ดังนี้

$$q_{1,t} = s_{1,t} - s_{1,t-1} + D_{t-1} \tag{8}$$

โดยที่ $s_{1,t} = L_1 F_t + z\sigma_t^{L_1}$

และสามารถหาปริมาณคำสั่งซื้อ เพื่อส่งไปยังผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ( $q_{2,t}$ ) จากผลต่างระหว่างปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดและปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าที่ส่งให้ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ดังนี้

$$q_{2,t} = Q_t - q_{1,t} \tag{9}$$

เมื่อผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 ได้รับคำสั่งซื้อมาจากผู้ค้าปลีก ซึ่ง $q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$ จะเป็นความต้องการของลูกค้าลำดับถัดมา แต่อย่างไรก็ตามผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 ที่ต้นช่วงเวลา $t$ ใดๆ จะยังไม่ทราบค่าความต้องการที่แท้จริงของผู้ค้าปลีก ( $q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$ ตามลำดับ) ผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งจึงต้องพยากรณ์ความต้องการของผู้ค้าปลีกนั้น และหาปริมาณคำสั่งซื้อของตน นั่นคือ $o_{1,t}$ และ $o_{2,t}$ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 10

$$o_{j,t} = Y_{j,t} - Y_{j,t-1} + q_{j,t-1} \tag{10}$$

เมื่อปริมาณคำสั่งซื้อของผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งถูกส่งมายังผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ ทำให้ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อทราบปริมาณคำสั่งซื้อรวมของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ( $O_t$ ) ดังสมการที่ 11

$$O_t = o_{1,t} + o_{2,t} \tag{11}$$

จากการเก็บข้อมูลนี้ไปเรื่อย ๆ ตลอดเวลา จะสามารถหาค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบดังกล่าวได้จากอัตราส่วนความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อรวมของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งต่อความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าเริ่มต้น ดังสมการที่ 12 [3, 4, 7-10, 21-23]

$$BW = \frac{VAR(O_t)}{VAR(D_t)} = \frac{VAR(o_{1,t} + o_{2,t})}{VAR(D_t)} \tag{12}$$

**<u>หมายเหตุ</u>** ถ้าค่า BW มากกว่า 1 จะถือว่าเกิดบูลวิปเอฟเฟค

**2.6 ขอบเขตของงานวิจัยและคำอธิบายเพิ่มเติมที่สำคัญ**

1) งานวิจัยนี้กำหนดให้ $L_2 > L_1$ โดยที่ $L_j$ คือ ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j ถึงผู้ค้าปลีก เนื่องจาก

โครงสร้างโซ่อุปทานมีลักษณะสมมาตร (ดังรูปที่ 1) จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องศึกษากรณีของ $L_1 > L_2$

2) กำหนดให้ $l_1 = l_2 = 1$ เพื่อลดความซับซ้อนของระบบลง และเสมือนว่าผู้ผลิตรับช่วงต่อมีความสามารถส่งสินค้าให้แก่ผู้ผลิตที่ 1 และผู้ผลิตที่ 2 ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน

3) $L_j$ และ $l_j$ จะเป็นจำนวนเต็มบวกและเป็นแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic)

ในการศึกษาเรื่องบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทานจะไม่ได้กำหนดให้ $L_j$ และ $l_j$ เท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่า ถ้าสั่งสินค้าจะได้ทันที ดังนั้นค่าบูลวิปเอฟเฟคจะไม่เกิดขึ้น (นั่นคือความสำคัญของปัญหาในงานวิจัยนี้จะเกิดขึ้น)

4) ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กัน แม้ว่าจะกำหนดรูปแบบความต้องการของลูกค้าเริ่มต้นเป็น AR (1) แต่ผู้วิจัยไม่ได้ใช้การพยากรณ์เป็นแบบ AR (1) เพราะถ้าเป็นเช่นนั้น ค่าบูลวิปเอฟเฟคก็อาจจะไม่เกิดขึ้น

5) กำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานได้ใช้ ช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ($p$) เท่ากันตลอดโซ่อุปทาน

6) สินค้าที่ถูกสั่งไปจะมีการมาส่งที่เริ่มต้นของช่วงเวลา $t + L_j$ หรือ $t + l_j$ และแต่ละสมาชิกในโซ่อุปทานจะทำการทบทวนระดับสินค้าคงคลังที่เริ่มต้นของช่วงเวลา $t$ เพื่อไปสู่การออกคำสั่งซื้อ

7) $\varnothing$ เป็นพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชั่น มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ($1 \le \varnothing \le 1$) เพื่อให้ตัวแบบมีความเสถียร (Stationary Process)

## 3. การสร้างและการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟค

การจำลองบูลวิปเอฟเฟคภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ประกอบด้วย 3ขั้นตอนใหญ่ ตามตำแหน่งของแต่ละสมาชิกในโซ่อุปทาน

1) การสร้างและการจำลองโมเดลที่ผู้ค้าปลีก เพื่อสร้างความต้องการของลูกค้าที่แท้จริง และคำนวณหาปริมาณคำสั่งซื้อเพื่อส่งให้ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2

2) การสร้างและการจำลองโมเดลที่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง เพื่อคำนวณหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าโดยผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่ง

3) การสร้างและการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบ เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อและความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้า

กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของระบบก่อนการสร้างและการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟค ดังนี้

- จำนวนวันที่ทำการศึกษาในแบบจำลองคือ 360 วัน
- ระดับการให้บริการ (Service Level, z) คือ 96%
- พารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบออเทอรีเกรสชั่น ($\delta$) ใช้ค่าที่ไม่ติดลบในที่นี้กำหนดให้ $\delta$ = 1120
- ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ($\sigma_\varepsilon^2$) คือ 1000

**<u>หมายเหตุ</u>**

1) จากงานวิจัยของ Luong [9] และ Sirikasemsuk and Luong [21] จะพบว่าค่าระดับการให้บริการ ($z$), พารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบออเทอรีเกรสชั่น ($\delta$) และค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ($\sigma_\varepsilon^2$) ไม่มีผลต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่มีความจำเป็นในการศึกษาตัวแปรดังกล่าว

2) ความต้องการเริ่มต้น ($D_0$) ปรับตามค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชั่นแต่ละค่า เพื่อให้ความต้องการจริงของลูกค้าที่จำลองขึ้นเข้าสู่สภาวะที่เสถียรเร็วขึ้น

### 3.1 การสร้างและการจำลองโมเดลที่ผู้ค้าปลีก

การสร้างและการจำลองของผู้ค้าปลีก ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) การสร้างรูปแบบความต้องการของลูกค้า ตามตัวแบบออเทอรีเกรสชั่นลำดับที่หนึ่ง (AR(1)) ตามสมการที่ 1 ดังรูปที่ 2 คอลัมน์ B และ C เช่น $t$ = 9, $\varnothing$ = 0.4 จะได้

$$D_9 = 1120 + 0.4\,(1784.772) - 11.369 = 1822.539$$

2) การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยผู้ค้าปลีก ด้วยเทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตามสมการที่ 2 ดังรูปที่ 2 คอลัมน์ D เช่น $t$ = 9, $p$ = 2 จะได้

$$F_9 = (1843.125 + 1784.772) / 2 = 1813.949$$

3) การหาปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดโดยผู้ค้าปลีก ($Q_t$) จากงานวิจัยของ Sirikasemsuk and Luong [22] ศึกษาปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคบนโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง โดยทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม ใช้การพยากรณ์แบบความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำสุด และใช้วิธีคิดวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในการศึกษา นอกจากนั้นยังได้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีกมีค่ามากกว่าระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก และได้ระบุสมการการหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้ารวมทั้งหมดโดยผู้ค้าปลีกไว้ดังสมการที่ 7 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคำสั่งซื้อสินค้ารวมทั้งหมดปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตแห่งที่ 1 และ 2 ได้รับไว้ดังสมการที่ 8 และ 9 เช่น t = 9, $\varnothing$ = 0.4 ,$p$ = 2, $L_2$ = 2 จะได้

$$Q_9 = 3878.415 - 4040.315 + 1784.772 = 1622.871$$

โดยปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดของผู้ค้าปลีกจะถูกเติมเต็มภายในระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ดังนั้นระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ($S_t$) จะครอบคลุมความต้องการทั้งหมดของผู้ค้าปลีกในระหว่างระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแหล่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก และสามารถหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการได้จากสมการที่ 4

ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดของผู้ค้าปลีกได้ โดยหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการตามสมการที่ 4 และหาปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดตามสมการที่ 7 สามารถดูปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดของผู้ค้าปลีกได้จากรูปที่ 2 คอลัมน์ G

4) การหาปริมาณคำสั่งซื้อ เพื่อส่งให้ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 โดยผู้ค้าปลีก ($q_{1,t}$) ด้วยนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 จะได้รับขึ้นอยู่กับระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก สามารถหาปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ได้รับดังสมการที่ 8 โดยใช้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ในการคำนวณ และสามารถหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการดังสมการที่ 5 และสามารถดูปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ได้รับได้จากรูปที่ 2 คอลัมน์ $J$ เช่น $t$ = 9, $\varnothing$ = 0.4 ,$p$ = 2, $L_1$ = 1 จะได้ $q_{1,9}$ = 811.435

5) การหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า เพื่อส่งให้ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 โดยผู้ค้าปลีก ($q_{2,t}$) ซึ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 จะได้รับ คือ ผลต่างระหว่างปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดและปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ได้รับดังสมการที่ 9 สามารถดูปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตแห่งที่ 2 ได้รับได้จากรูปที่ 2 คอลัมน์ K เช่น $t$ = 9, $\varnothing$ = 0.4 ,$p$ = 2, $L_1$ = 1, $L_2$ = 2 จะได้

$$q_{2,9} = 1622.871 - 811.435 = 811.43$$

### 3.2 การสร้างและการจำลองโมเดลผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง

การสร้างและการจำลองโมเดลที่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1) การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าของผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่ง ($P_{j,t}$) โดยผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งสามารถพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าได้ตามสมการที่ 3 และสามารถดูค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าของผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 ได้จากรูปที่ 3 คอลัมน์ M และ R ตามลำดับ

2) การหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ($Y_{j,t}$) โดยผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่ง สามารถหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดได้ตามสมการที่ 6 และสามารถดูระดับสินค้าคลังสูงสุดที่ต้องการของผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 ได้จากรูปที่ 3 คอลัมน์ O และ T

3) การหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า ($o_{j,t}$) โดยผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่ง สามารถหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าได้ตามสมการที่ 10 และสามารถดูปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าของผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 ได้จากรูปที่ 3 คอลัมน์ P และ U

### 3.3 การสร้างและการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟค

การสร้างและการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1) เมื่อผู้ผลิตสินค้าที่รับช่วงต่อได้รับปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ทำให้ผู้ผลิตสินค้าที่รับช่วงต่อสามารถหาปริมาณคำสั่งซื้อรวม ($O_t$) ได้ตามสมการที่ 11 และสามารถดูปริมาณคำสั่งซื้อรวมที่ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อได้รับ ได้จากรูปที่ 3 คอลัมน์ V

2) จากปริมาณคำสั่งซื้อรวมในคอลัมน์ V ทำให้สามารถหาความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อได้ ($VAR(O_t)$) ดังรูปที่ 3 เซลล์ X1 เช่น $\varnothing$ = 0.4 ,$p$ = 2, $L_1$ = 1, $L_2$ = 2 จะได้ $VAR(O_t)$ = 16951.671

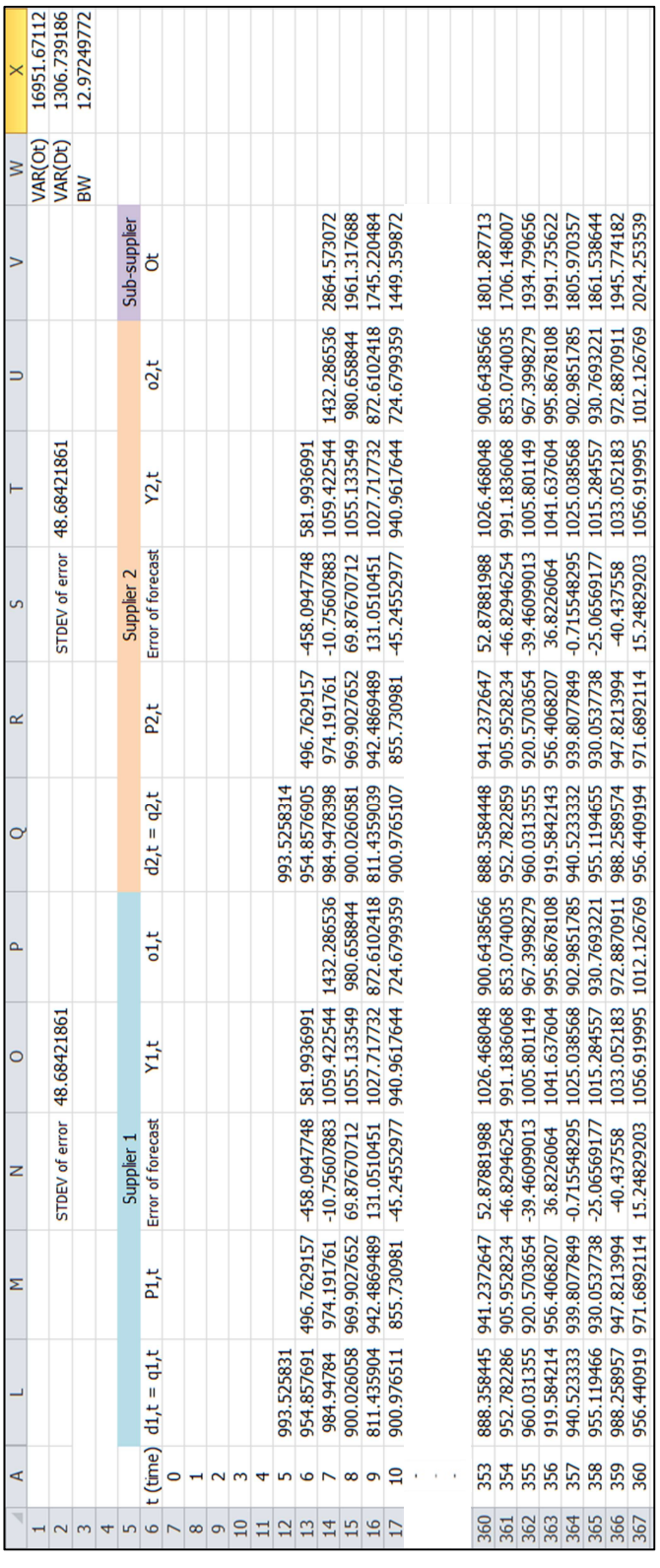
3) ที่ปลายสุดของโซ่อุปทาน ความต้องการของลูกค้า ($D_t$) ถูกจำลองขึ้นให้เป็นไปตามตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟอันดับที่หนึ่ง (AR(1)) ดังรูปที่ 2 คอลัมน์ C ซึ่งคอลัมน์ดังกล่าวจะสามารถคำนวณหาความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าได้ ($VAR(D_t)$) ดังรูปที่ 3 เซลล์ X2 เช่น $\varnothing$ = 0.4 จะได้ $VAR(D_t)$ = 1306.739

4) จากข้อมูลความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อ และความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้า ทำให้สามารถหาค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบได้ ตามสมการที่ 12 และสามารถดูค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบได้จากรูปที่ 3 เซลล์ X3 เช่น $\varnothing$ = 0.4 ,$p$= 2, $L_1$ = 1, $L_2$ = 2 จะได้

$$BW = 16951.671 / 1306.739 = 12.972$$

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ø | 0.4 | L1 | 1 | z (service level) | 1.750686071 | | | | | |
| 2 | δ | 1120 | L2 | 2 | STDEV of L2 | 143.0965034 | | STDEV of L1 | 38.54773424 | | |
| 3 | variance error | 1000 | l1 = l2 | 1 | | | | | | | |
| 4 | Dt (t=0) | 1866.666667 | p | 2 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | Retailer | | | | |
| 6 | t (time) | Error | Dt | Ft | Error of forecasting (L2) | St | Qt | Error of forecasting (L1) | s1,t | q1,t | q2,t |
| 7 | 0 | | 1866.666667 | | | | | | | | |
| 8 | 1 | -47.33663898 | 1819.330028 | | | | | | | | |
| 9 | 2 | 12.11505844 | 1859.84707 | | | | | | | | |
| 10 | 3 | -1.254899692 | 1862.683928 | 1839.588549 | -106.9561971 | 3929.694153 | | | | | |
| 11 | 4 | 58.37579494 | 1923.449366 | 1861.265499 | -87.11802316 | 3973.048053 | 1906.037829 | -62.18386737 | 1928.75048 | | |
| 12 | 5 | -3.180091871 | 1886.199655 | 1893.066647 | -46.73888321 | 4036.65035 | 1987.051663 | 6.866992546 | 1960.551629 | 993.5258314 | 993.5258314 |
| 13 | 6 | 72.19266107 | 1946.672523 | 1904.82451 | 19.85061252 | 4060.166076 | 1909.715381 | -41.84801252 | 1972.309492 | 954.8576905 | 954.8576905 |
| 14 | 7 | -55.5431238 | 1843.125885 | 1916.436089 | 204.9741268 | 4083.389233 | 1969.89568 | 73.31020339 | 1983.92107 | 984.9478398 | 984.9478398 |
| 15 | 8 | -72.47818882 | 1784.772165 | 1894.899204 | 182.4867895 | 4040.315464 | 1800.052116 | 110.1270388 | 1962.384186 | 900.0260581 | 900.0260581 |
| 16 | 9 | -11.36941271 | 1822.539453 | 1813.949025 | -64.92896762 | 3878.415106 | 1622.871808 | -8.590428075 | 1881.434007 | 811.4359039 | 811.4359039 |
| 17 | 10 | 21.27178352 | 1870.287565 | 1803.655809 | -190.6223946 | 3857.828674 | 1801.953021 | -66.63175552 | 1871.140791 | 900.9765107 | 900.9765107 |
| | - | | | | | | | | | | |
| | - | | | | | | | | | | |
| | - | | | | | | | | | | |
| 360 | 353 | 30.41372945 | 1885.49763 | 1851.570219 | -61.2434257 | 3953.657493 | 1776.71689 | -33.92741074 | 1919.0552 | 888.3584448 | 888.3584448 |
| 361 | 354 | 4.687178852 | 1878.886231 | 1861.60369 | -18.0118798 | 3973.724435 | 1905.564572 | -17.28254069 | 1929.088671 | 952.7822859 | 952.7822859 |
| 362 | 355 | -9.221463152 | 1862.333029 | 1882.19193 | 22.08438263 | 4014.900916 | 1920.062711 | 19.85890103 | 1949.676912 | 960.0313555 | 960.0313555 |
| 363 | 356 | 15.0332369 | 1879.966449 | 1870.60963 | -25.03316882 | 3991.736315 | 1839.168429 | -9.356818638 | 1938.094611 | 919.5842143 | 919.5842143 |
| 364 | 357 | 14.29940067 | 1886.28598 | 1871.149739 | -72.22868406 | 3992.816533 | 1881.046666 | -15.13624125 | 1938.63472 | 940.5233332 | 940.5233332 |
| 365 | 358 | 53.7277896 | 1928.242182 | 1883.126214 | -61.57366246 | 4016.769484 | 1910.238931 | -45.11596732 | 1950.611196 | 955.1194655 | 955.1194655 |
| 366 | 359 | 8.287036811 | 1899.583909 | 1907.264081 | 76.26097665 | 4065.045217 | 1976.517915 | 7.6801714 | 1974.749062 | 988.2589574 | 988.2589574 |
| 367 | 360 | -41.15028817 | 1838.683276 | 1913.913046 | 1989.142815 | 4078.343147 | 1912.881839 | 75.22976994 | 1981.398027 | 956.4409194 | 956.4409194 |

**รูปที่ 2** การจำลองโมเดลที่ผู้ค้าปลีก กรณี $L_2 > L_1$



| t (time) | d1,t = q1,t | P1,t | Error of forecast | Y1,t | o1,t | d2,t = q2,t | P2,t | Error of forecast | Y2,t | o2,t | Ot |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Supplier 1 | | | | Supplier 2 | | | | Sub-supplier |
| 0 | | | STDEV of error | 48.68421861 | | | | STDEV of error | 48.68421861 | | |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 993.525831 | | | | | 993.5258314 | | | | | |
| 6 | 954.857691 | 496.7629157 | -458.0947748 | 581.9936991 | | 954.8576905 | 496.7629157 | -458.0947748 | 581.9936991 | | |
| 7 | 984.94784 | 974.191761 | -10.75607883 | 1059.422544 | 1432.286536 | 984.9478398 | 974.191761 | -10.75607883 | 1059.422544 | 1432.286536 | 2864.573072 |
| 8 | 900.026058 | 969.9027652 | 69.87670712 | 1055.133549 | 980.658844 | 900.0260581 | 969.9027652 | 69.87670712 | 1055.133549 | 980.658844 | 1961.317688 |
| 9 | 811.435904 | 942.4869489 | 131.0510451 | 1027.717732 | 872.6102418 | 811.4359039 | 942.4869489 | 131.0510451 | 1027.717732 | 872.6102418 | 1745.220484 |
| 10 | 900.976511 | 855.730981 | -45.24552977 | 940.9617644 | 724.6799359 | 900.9765107 | 855.730981 | -45.24552977 | 940.9617644 | 724.6799359 | 1449.359872 |
| - | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | |
| 353 | 888.358445 | 941.2372647 | 52.87881988 | 1026.468048 | 900.6438566 | 888.3584448 | 941.2372647 | 52.87881988 | 1026.468048 | 900.6438566 | 1801.287713 |
| 354 | 952.782286 | 905.9528234 | -46.82946254 | 991.1836068 | 853.0740035 | 952.7822859 | 905.9528234 | -46.82946254 | 991.1836068 | 853.0740035 | 1706.148007 |
| 355 | 960.031355 | 920.5703654 | -39.46099013 | 1005.801149 | 967.3998279 | 960.0313555 | 920.5703654 | -39.46099013 | 1005.801149 | 967.3998279 | 1934.799656 |
| 356 | 919.584214 | 956.4068207 | 36.8226064 | 1041.637604 | 995.8678108 | 919.5842143 | 956.4068207 | 36.8226064 | 1041.637604 | 995.8678108 | 1991.735622 |
| 357 | 940.523333 | 939.8077849 | -0.715548295 | 1025.038568 | 902.9851785 | 940.5233332 | 939.8077849 | -0.715548295 | 1025.038568 | 902.9851785 | 1805.970357 |
| 358 | 955.119466 | 930.0537738 | -25.06569177 | 1015.284557 | 930.7693221 | 955.1194655 | 930.0537738 | -25.06569177 | 1015.284557 | 930.7693221 | 1861.538644 |
| 359 | 988.258957 | 947.8213994 | -40.437558 | 1033.052183 | 972.8870911 | 988.2589574 | 947.8213994 | -40.437558 | 1033.052183 | 972.8870911 | 1945.774182 |
| 360 | 956.440919 | 971.6892114 | 15.24829203 | 1056.919995 | 1012.126769 | 956.4409194 | 971.6892114 | 15.24829203 | 1056.919995 | 1012.126769 | 2024.253539 |

| | X |
|---|---|
| VAR(Ot) | 16951.67112 |
| VAR(Dt) | 1306.739186 |
| BW | 12.97249772 |

**รูปที่ 3** การจำลองโมเดลที่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง และค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบ กรณี $L_2 > L_1$

## 4. ผลการวิจัย

เมื่อใช้การพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่มีพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค ดังนี้

- ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$)
- ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$)
- จำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ($p$)
- พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟ ( $\varnothing$ )

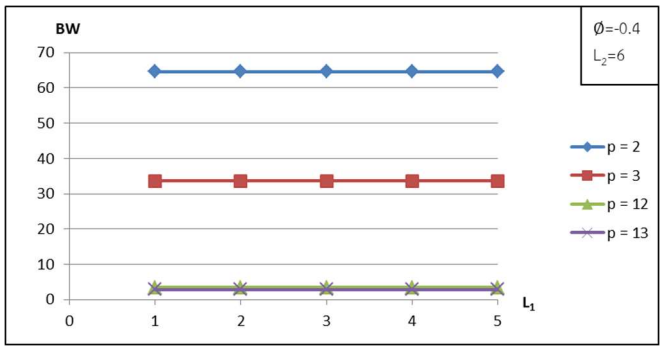
เนื่องจากระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ถึงผู้ค้าปลีกมีค่าไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาผลกระทบของระยะเวลานำส่งสินค้าของผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งถึงผู้ค้าปลีก เพื่อสรุปว่าระยะเวลานำส่งสินค้าของผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งมีผลต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคอย่างไร โดยรายละเอียดผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค มีดังนี้

### 4.1 ผลกระทบของระยะเวลานำ L1

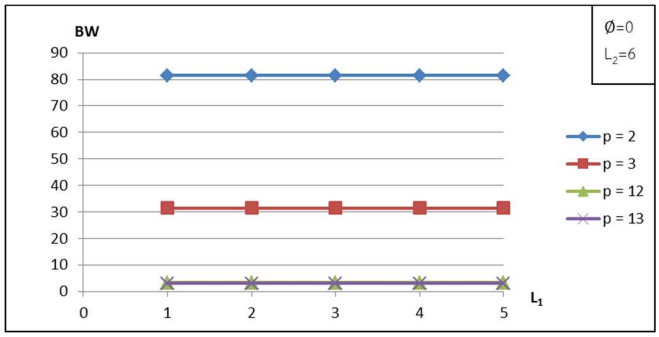
ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) สั้นกว่าระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) ซึ่งระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 จะได้รับ

ในการทดลองนี้กำหนดให้ $L_2$ = 6 และ $L_1$ = 1, 2, 3, 4, 5 โดยที่ $p$ = 2, 3, 12, 13 และ $\varnothing$ = -0.4, 0, 0.4 แล้วทำการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟคตามหัวข้อที่ 3 ผลจะได้ค่าบูลวิปเอฟเฟคแสดงดังตารางที่ 1

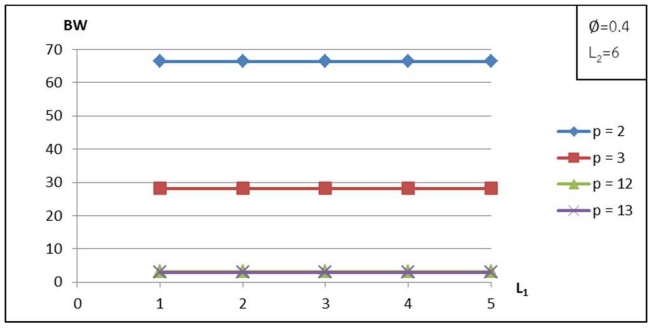
จากการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค พบว่า เมื่อระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเพิ่มขึ้น ($L_1$) ค่าบูลวิปเอฟเฟคมีคงที่ หรือกล่าวได้ว่า ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีกไม่มีผลต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค ดังรูปที่ 4 ถึง 6




**รูปที่ 4** ผลกระทบของระยะเวลา L1 ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $\varnothing$ = -0.4 และ L2 = 6




**รูปที่ 5** ผลกระทบของระยะเวลา $L_1$ ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $\varnothing$ = 0 และ $L_2$ = 6



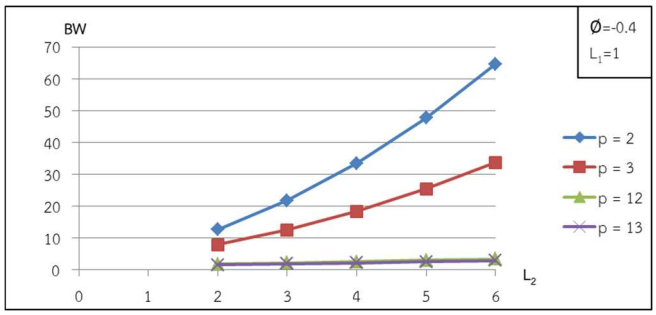

**รูปที่ 6** ผลกระทบของระยะเวลา $L_1$ ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $\varnothing$ = 0.4 และ $L_2$ = 6

## 4.2 ผลกระทบของระยะเวลานำ $L_2$

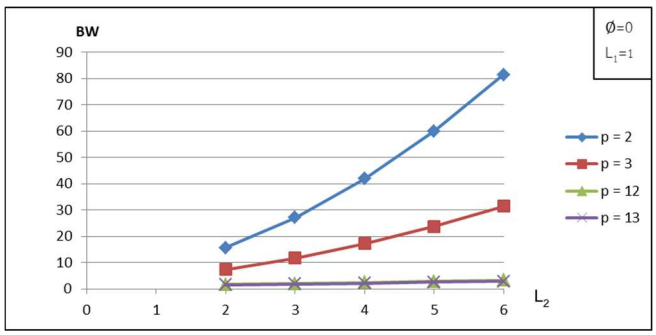
ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) ยาวกว่าระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแหล่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ดังนั้นระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) จึงเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมปริมาณคำสั่งซื้อสินค้ารวมทั้งหมดของผู้ค้าปลีกตามนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้กำหนดให้ $L_1$ = 1 และ $L_2$ = 2, 3, 4, 5, 6 โดยที่ $p$ = 2, 3, 12, 13 และ $\varnothing$ = -0.4, 0, 0.4 แล้วทำการจำลองค่าบูลวิปเอฟเฟคตามหัวข้อที่ 3 ผลจะได้ค่าบูลวิปเอฟเฟคแสดงดังตารางที่ 2

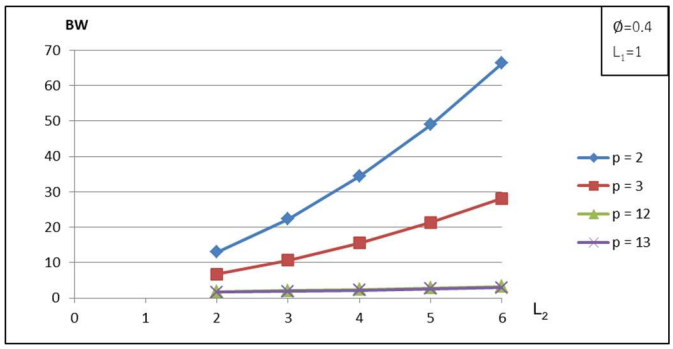
จากการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค พบว่า ค่าบูลวิปเอฟเฟคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) เพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟ ($\varnothing$) จะมีค่าเป็นลบหรือมีค่าเป็นบวกและศูนย์ ดังรูปที่ 7 ถึง 9




**รูปที่ 7** ผลกระทบของระยะเวลา $L_2$ ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $\varnothing$ = -0.4 และ $L_1$ = 1




**รูปที่ 8** ผลกระทบของระยะเวลา $L_2$ ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $\varnothing$ = 0 และ $L_1$ = 1




**รูปที่ 9** ผลกระทบของระยะเวลา $L_2$ ต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $\varnothing$ = 0.4 และ $L_1$ = 1

จากตารางที่ 1 เมื่อทำการทดสอบด้วยการกำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) มีค่ามากกว่าระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดของผู้ค้าปลีกจึงถูกคำนวณจากระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) ซึ่งมีระยะเวลาที่สั้นกว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค

**ตารางที่ 1** ค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $L_2$=6 และ $L_1$ = 1, 2, 3, 4, 5

| $L_1$ | $L_2$ | BW | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p$ = 2 | | | $p$ = 3 | | | $p$ = 12 | | | $p$ = 13 | | |
| | | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 |
| 1 | 6 | 64.58213 | 81.43889 | 66.38986 | 33.65962 | 31.43196 | 28.12781 | 3.455096 | 3.37320 | 3.223674 | 2.894010 | 2.973725 | 2.924783 |
| 2 | 6 | 64.58213 | 81.43889 | 66.38986 | 33.65962 | 31.43196 | 28.12781 | 3.455096 | 3.37320 | 3.223674 | 2.894010 | 2.973725 | 2.924783 |
| 3 | 6 | 64.58213 | 81.43889 | 66.38986 | 33.65962 | 31.43196 | 28.12781 | 3.455096 | 3.37320 | 3.223674 | 2.894010 | 2.973725 | 2.924783 |
| 4 | 6 | 64.58213 | 81.43889 | 66.38986 | 33.65962 | 31.43196 | 28.12781 | 3.455096 | 3.37320 | 3.223674 | 2.894010 | 2.973725 | 2.924783 |
| 5 | 6 | 64.58213 | 81.43889 | 66.38986 | 33.65962 | 31.43196 | 28.12781 | 3.455096 | 3.37320 | 3.223674 | 2.894010 | 2.973725 | 2.924783 |

**ตารางที่ 2** ค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $L_1$=1 และ $L_2$ = 2, 3, 4, 5, 6

| $L_1$ | $L_2$ | BW | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $p$ = 2 | | | $p$ = 3 | | | $p$ = 12 | | | $p$ = 13 | | |
| | | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 | □ = -0.4 | □ = 0 | □ = 0.4 |
| 1 | 2 | 12.65493 | 15.68051 | 12.97249 | 7.88244 | 7.41804 | 6.73047 | 1.80262 | 1.77410 | 1.72518 | 1.63233 | 1.65594 | 1.63941 |
| 1 | 3 | 21.74427 | 27.19127 | 22.32413 | 12.57054 | 11.78606 | 10.62282 | 2.15398 | 2.11398 | 2.04359 | 1.90248 | 1.93809 | 1.91474 |
| 1 | 4 | 33.42855 | 41.98793 | 34.34424 | 18.42943 | 17.24438 | 15.48650 | 2.54652 | 2.49378 | 2.39947 | 2.20281 | 2.25177 | 2.22074 |
| 1 | 5 | 47.70787 | 60.07047 | 49.03282 | 25.45913 | 23.79302 | 21.32150 | 2.98022 | 2.91353 | 2.79283 | 2.53332 | 2.59698 | 2.55742 |
| 1 | 6 | 64.58213 | 81.43889 | 66.38986 | 33.65962 | 31.43196 | 28.12781 | 3.45509 | 3.37320 | 3.22367 | 2.89401 | 2.97372 | 2.92478 |

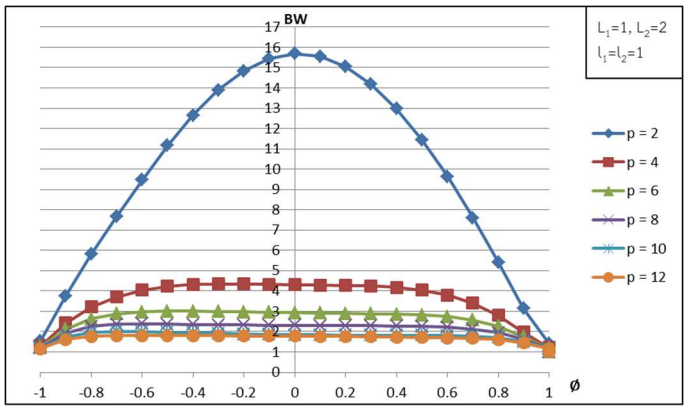
### 4.3 พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟ ($\varnothing$) และผลกระทบของจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ($p$)

พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟ ($\varnothing$) เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้า ส่วนจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ($p$) เป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดพฤติกรรมของค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยตรง โดยจะนำค่าพยากรณ์ที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าต่อไป

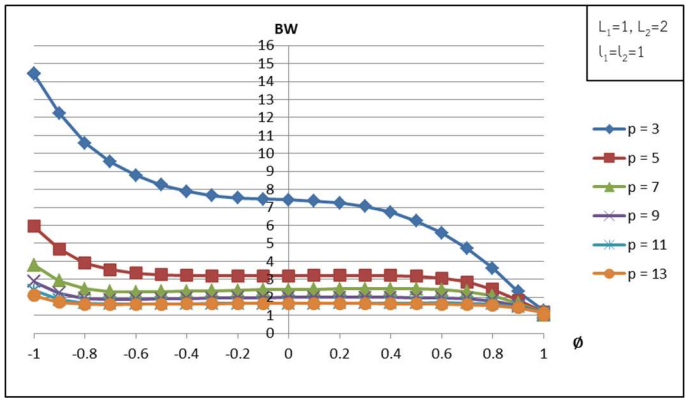
ในหัวข้อนี้ได้กำหนดให้ $L_1$ = 1 และ $L_2$ = 2 สามารถจำลองปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟค เมื่อจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ยและพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 10 และ 11

หลังจากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟและจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ยต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค จะเห็นว่า

- บูลวิปเอฟเฟคมีแนวโน้มเป็นระฆังคว่ำ ตามการเพิ่มขึ้นของพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟจาก -1 ถึง 1 ในกรณีที่จำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ยเป็นเลขคู่ ดังรูปที่ 10




**รูปที่ 10** ค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $p$ เป็นเลขคู่ กรณี $L_2 = 2$ และ $L_1 = 1$




**รูปที่ 11** ค่าบูลวิปเอฟเฟค เมื่อ $p$ เป็นเลขคี่ กรณี $L_2 = 2$ และ $L_1 = 1$

- บูลวิปเอฟเฟคมีแนวโน้มลดลงในลักษณะเส้นโค้งเอส (S curve) ตามการเพิ่มขึ้นของพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟจาก -1 ถึง 1 ในกรณีที่จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ยเป็นเลขคี่ ดังรูปที่ 11

- บูลวิปเอฟเฟคไม่เกิดขึ้น เมื่อพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟเท่ากับ 1 ทั้งในกรณีที่จำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ยเป็นเลขคู่และเลขคี่ ดังรูปที่ 10 และ 11

- ค่าบูลวิปเอฟเฟคมีแนวโน้มลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ในกรณีที่พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และเมื่อพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟเท่ากับ 1 ค่าบูลวิปเอฟเฟคไม่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 10 และ 11

จากรูปที่ 10 และ 11 ผลกระทบของจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ($p$) ในกรณีที่เป็นเลขคู่กับเลขคี่ดูเหมือนมีลักษณะที่ไม่เหมือนกันนั้น สามารถอ้างอิงจากงานวิจัยของ Chen et al. [7] ซึ่งได้ทำการวิจัยภายใต้โครงสร้างโซ่อุปทานแบบสั่งซื้อจาก 1 แหล่งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ สุดท้ายได้สมการคณิตศาสตร์วัดค่าบูลวิปเอฟเฟคออกมา ในงานวิจัยของ Chen et al. [7] สูตรการค่าบูลวิปเอฟเฟค พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชั่นจะมียกกำลังด้วยค่าจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ($p$) จึงอาจเป็นเหตุผลที่ส่งผลให้ภายใต้โครงสร้างโซ่อุปทานแบบสั่งซื้อจาก 2 แหล่งด้วยค่าจำนวนข้อมูลในอดีตที่ใช้ในการคำนวณค่าถัวเฉลี่ย ($p$) ในกรณีที่เป็นเลขคู่กับเลขคี่ มีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน

## 5. สรุปผลการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาภายใต้โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ที่ประกอบด้วย ผู้ค้าปลีก 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้า 2 แห่ง และผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ 1 แห่ง โดยความต้องการของลูกค้าที่ผู้ค้าปลีกต้องเผชิญถูกสมมติให้เป็นไปตามตัวแบบออเทอรีเกรสซีฟอันดับที่หนึ่ง (AR(1)) นอกจากนี้กำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้ระบบการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม และใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่

การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ในกรณีที่ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ถึงผู้ค้าปลีกไม่เท่ากันนั้น ระยะเวลานำส่งสินค้าที่ยาวกว่าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_2$) จะครอบคลุมความต้องการทั้งหมดของผู้ค้าปลีก สำหรับระยะเวลานำส่งสินค้าที่สั้นกว่าระหว่างผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 ถึงผู้ค้าปลีก ($L_1$) จะเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ดังนี้

- ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าถึงผู้ค้าปลีกที่มีค่าสั้นกว่าอีกแห่งจะไม่มีผลกระทบต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค โดยที่ค่าบูลวิปเอฟเฟคจะถูกคำนวณจากระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าถึงผู้ค้าปลีกที่มีค่ายาวนานกว่า

- โซ่อุปทานดังกล่าวไม่สามารถหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคได้ ยกเว้นในกรณีที่ $\varnothing = -1,1$

- การใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่มีผลต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค โดยช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการ

แบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่จะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของค่าบูลวิปเอเฟค ยิ่งช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่มากขึ้น การเกิดค่าบูลวิปเอฟเฟคยิ่งลดลง

- ค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชั่นมีผลต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค

ผู้จัดการโซ่อุปทานในภาคอุตสาหกรรมซึ่งมีการสั่งซื้อสินค้าจาก 2 แหล่ง ควรที่จะมุ่งเน้นไปที่การลดระยะเวลานำที่ใช้เวลาที่ยาวนานมากกว่าการไปลดระยะเวลานำที่ใช้เวลาสั้น อนึ่ง งานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดให้คำนวณหาปริมาณคำสั่งซื้อด้วยวิธี แบบการสั่งซื้อที่เหมาะสม (Order-up-to Inventory Policy) จึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณคำสั่งซื้อของผู้ค้าปลีกรวมนั้นไปขึ้นอยู่กับระยะเวลานำที่ใช้เวลาที่ยาวนานมากกว่า

ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลกระทบของเทคนิคการพยากรณ์อย่างง่ายต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคภายใต้ระบบการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งในโซ่อุปทาน ซึ่งมีขอบเขตของงานวิจัยที่จำเพาะเจาะจง หรือเป็นการศึกษาภายใต้ขอบเขตที่กำหนดเท่านั้น ดังนั้นผู้ที่สนใจงานวิจัยนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมในขอบเขตต่าง ๆ เช่น เทคนิคการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าอาจจะเป็นเทคนิคอื่น ๆ เปลี่ยนความต้องการของลูกค้าที่ผู้ค้าปลีกต้องเผชิญอาจสมมติให้เป็นไปตามตัวแบบอื่น ๆ ในกลุ่มของ ARIMA เช่น AR(2) หรือ MA(1) รวมถึงการใช้ข้อมูลจากอุตสาหกรรมจริง ๆ ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตสินค้าที่รับช่วงต่อถึงผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แหล่งไม่ควรเท่ากัน ($l_1 \neq l_2$) และไม่เท่ากับ 1 ($l_1 = l_2 \neq 1$) ต่อไป

**เอกสารอ้างอิง**


[1] Chopra S, Meindl P. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. New York: Prentice Hall; 2001.

[2] Simchi-Levi D, Kaminsky P, Simchi-Levi E. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*. Boston: McGraw-Hill Irwin; 2008.

[3] Lee H, Padmanabhan V, Whang S. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. *Management Science*. 1997;43(4): 546-558

[4] Lee H, Padmanabhan V, Whang, S. The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review.* 1997;38(3): 93-102.

[5] Forrester JW. Industrial dynamics, A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*. 1958;36(4): 67–96.

[6] Sterman JD. Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*. 1989;35(3): 321-339.

[7] Chen F, Drezner Z, Ryan JK, Simchi-Levi D. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead time, and information. *Management Science*. 2000;46(3): 436-443.

[8] Chen F, Ryan JK, Simchi-Levi D. The impact of exponential smoothing forecasts on the bullwhip effect. *Naval Research Logistics*. 2000;47(4): 269-286.

[9] Luong HT. Measure of bullwhip effect in supply chain with autoregressive demand process. *European Journal of Operational Research*. 2007;180(3): 1086-1097.

[10] Liu H, Wang P. Bullwhip effect analysis in supply chain for demand forecasting technology. *Systems Engineering - Theory&Practice*. 2007;27(7): 26-33.

[11] Agrawal S, Sengupta RN, Shanker K. Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory. *European Journal of Operational Research*. 2009;192(2): 576–593.

[12] Pati RK, Vrat P, Kumar P. Quantifying bullwhip effect in a closed loop supply chain. *OPSEARCH*. 2010;47(4): 231–253.

[13] Cho DW, Lee YH. Bullwhip effect measure in a seasonal supply chain. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2012;23(6): 2295-2305.

[14] Pereira J, Takahashi K, Ahumada L, Paredes F. Flexibility dimensions to control the bullwhip effect in a supply chain. *International Journal of Production Research.* 2009;47(22): 6357–6374.

[15] Nepal B, Murat A, Chinnam RB. The bullwhip effect in capacitated supply chains with

consideration for product life-cycle aspects. *International Journal of Production Economics*. 2012;136(2): 318–331.

[16] Bayraktar E, Koh SCL, Gunasekaranc A, Sari K, Tatoglue E. The role of forecasting on bullwhip effect for E-SCM applications. *International Journal of Production Economics*. 2008;113(1): 193-204.

[17] Wright D, Yuan X. Mitigating the bullwhip effect by ordering policies and forecasting methods. *International Journal of Production Economics.* 2008;113(2): 587-597.

[18] Coppini M, Rossignoli C, Rossi T, Strozzi F. Bullwhip effect and inventory oscillations analysis using the beer game model. *International Journal of Production Research*. 2010;48(13): 3943-3956.

[19] Ciancimino E, Cannella S, Bruccoleri M, Framinan JM. On the bullwhip avoidance phase: The synchronised supply chain. *European Journal of Operational Research*. 2012;221(1): 49–63.

[20] Wang J, Kuo J, Chou S, Wang S. A comparison of bullwhip effect in a single-stage supply chain for autocorrelated demands when using correct, MA, and EWMA methods. *Expert Systems with Applications*. 2010;37(7): 4726-4736.

[21] Sirikasemsuk K, Luong HT. Measure of bullwhip effect in supply chains with first-order bivariate vector autoregression time-series demand model. *Computers & Operations Research*. 2017;78: 59-79.

[22] Sirikasemsuk K, Luong HT. Measure of bullwhip effect – a dual sourcing model. *International Journal of Operational Research*. 2014;20(4): 396–426.

[23] Duc TTH, Luong HT, Kim Y. Effect of the third-party warehouse on bullwhip effect and inventory cost in supply chains. *International Journal of Production Economics*. 2010;124(2): 395-407.

[24] Xu K, Dong Y, Evers PT. Towards better coordination of the supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2001;37(1): 35–54.

[25] Raghunathan S. Impact of demand correlation on the value of and incentives for information sharing in a supply chain. *European Journal of Operational Research*. 2003;146(3): 634–649.

[26] Kim JG, Chatfield D, Harrison TP, Hayya JC. Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*. 2006;173(2): 617–636.

[27] Duc TTH, Luong HT, Kim Y. A measure of the bullwhip effect in supply chains with stochastic lead time. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008;38(11-12): 1201-1212.

[28] Tunacan T, Torkul O. The impact of information sharing on different performance indicators in a multi-level supply chain. *Tehnički vjesnik*. 2021;28(6): 1960-1974.

[29] Ernawati D, Pudji E, Rahmawati N, Alfin M. Bullwhip effect reduction using vendor managed inventory (VMI) method in supply chain of manufacturing company. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1899(1).

[30] Hariastuti NLP, Fardiya E, Dwicahyani AR. Supply chain analysis using distribution requirement planning (DRP) based on bullwhip effect parameter (case study: Ud. Narwastu, Surabaya). *Jurnal IPTEK*. 2020;24(2): 95-104.

[31] Sjurahudin H, Vikaliana R. Implementation of collaborative, planning, forecasting and replenishment (CPFR) to reduce the bullwhip effect in MSME Sate Madura Cak Kholil. *Ilomata International Journal of Management*. 2022;3(1): 446-456.

[32] Sirikasemsuk K, Ketkaew J, Kaewluan K. A study of the bullwhip effect phenomenon under a dual–supplier system by using the moving

average forecasting technique. *In proceedings of Operations Research Network of Thailand (OR-NET2017),* 2-3 March 2017, Nakhon Ratchasima, Thailand. p. 36-44.

[33] Hosoda T, Disney SM. The role of an ordering policy as an inventory and cost controller. *In proceedings of Logistics Research Network Annual Conference*, 8-10 September 2004, Dublin, Ireland, p. 268-275.