

ผลกระทบของเทคนิคการพยากรณ์แบบเอ็กโปเนนเชียลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟค
ภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งในโซ่อุปทาน

Impact of exponential smoothing forecasting technique on bullwhip effect index
under a dual-supplier supply chain system

กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข^{1*}, วริษา ต่างใจ², ทศพล เกียรติเจริญผล¹, ลักณ์สิริ ตรีนานูรัตน์³, ดารินทร์ ล้วนวิเศษ⁴,
อภิรดี สุขมิลินท์⁵, จารุวรรณ แก้วล้วน¹, จุฑามาศ เกษแก้ว¹ และ กนกกรรณ ลีโรจนaprpa⁶

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

² ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คอหงส์
หาดใหญ่ สงขลา 90110

⁴ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เมือง อุดรธานี 41000

⁵ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร อนุสาวรีย์
บางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

⁶ ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Kittiwat Sirikasemsuk^{1*}, Warisa Thangjai², Tossapol Kiatcharoenpol¹, Laksiri Treeranurat³, Darin Luanwiset⁴,
Apiradee Sukmilin⁵, Jaruan Kaewluan¹, Jutamart Ketkaew¹ and Kanogkan Leerojanaprpa⁶

¹ Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Lat Krabang, Bangkok, 10520, Thailand

² Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Huamark,
Bangkapi, Bangkok, 10240, Thailand

³ Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Kho Hong, Hatyai, Songkhla, 90110, Thailand

⁴ Department of Environment, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University, Muang,
Udon Thani, 41000, Thailand

⁵ Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University,
Anusawari, Bang Khen, Bangkok, 10220, Thailand

⁶ Statistics Department, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Bangkok,
10520, Thailand

*Corresponding Author E-mail: kittiwat.sirikasemsuk@gmail.com

Received: Aug 29, 2021; Revised: Dec 01, 2021; Accepted: Dec 3, 2021

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและจำลองพฤติกรรมของบูลวิปเอฟเฟกของโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ซึ่งบูลวิปเอฟเฟกเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ในห่วงโซ่อุปทาน โดยที่ความแปรปรวนของลูกค้านำมาซึ่งการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง จะสูงกว่าความแปรปรวนของลูกค้านำมาซึ่งการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ประกอบด้วย ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้า 2 แห่ง และผู้ค้าปลีก 1 แห่ง ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล และใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม (Order-up-to Inventory Policy) และความต้องการของลูกค้าที่ผู้ค้าปลีกต้องเผชิญถูกสมมติให้เป็นไปตามตัวแบบออเทอริเกรสชันอันดับที่หนึ่ง [The First Order Autoregressive (AR(1))] ขอบเขตที่สำคัญของบทความวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากัน ผลการวิเคราะห์พบว่า อิทธิพลของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีกไม่มีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟก ดังนั้นค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกในการสั่งซื้อวัตถุดิบจากหนึ่งแหล่งและสองแหล่งจะมีเท่ากัน นอกจากนี้ค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกแปรผันกับค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล และค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอริเกรสชันมีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟก สุดท้ายนี้ผู้จัดการโซ่อุปทานในฝ่ายจัดซื้อจะได้รับและเพิ่มความเข้าใจถึงผลกระทบดังกล่าวในการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งหรือหนึ่งแหล่งในโซ่อุปทานจากงานวิจัยฉบับนี้

คำสำคัญ : โซ่อุปทาน, บูลวิปเอฟเฟก, ระบบการจัดซื้อสินค้าจากสองแหล่ง, นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม, การพยากรณ์แบบปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล

Abstract

This research objective is to study and simulate the bullwhip effect under a dual-supplier system. The bullwhip effect is an adverse phenomenon in the supply chain in which the demand variance at upstream members is higher than the demand variance at downstream members. A dual-supplier system consists of a sub-supplier, two suppliers and a retailer. In this research, all members use the exponential smoothing forecasting technique and the order-up-to inventory policy. Also, it is assumed that the incoming demand process for the retailer is the first order autoregressive (AR(1)) model. In the important scope of this research, the lead times from two suppliers to a retailer are equal. After analysis, it is found that the factor of the proportion of the supplier's order quantity to the total order quantity issued by the retailer does not affect the bullwhip effect index. Hence, the bullwhip effect values between the dual-supplier and single-supplier models are equal. In addition, the bullwhip effects vary according to the smoothing factor of the exponential smoothing forecasting technique; and the first-order autocorrelation coefficient has an effect on the bullwhip effects. Finally, purchasing and supply chain managers will gain and increase a clear understanding of such behavior matters in the dual-supplier or single-supplier systems in the supply chain from this current research.

Key words: Supply Chain; Bullwhip Effect; Dual-supplier System; Order-up-to Inventory; Exponential Smoothing Forecasting Technique

1. บทนำ

ปัจจุบันองค์กรต่าง ๆ ต้องเผชิญกับการแข่งขันที่สูง ทำให้องค์กรต้องปรับตัว และเตรียมพร้อมรับมือกับการแข่งขันที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การปรับตัวเพื่อเพิ่มความสามารถในการ

แข่งขันให้องค์กรนั้น วิธีการที่เป็นที่นิยม คือ การมุ่งตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้า หากองค์กรใดสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าได้

สูงสุด องค์การนั้นย่อมได้ครอบครองส่วนแบ่งทางการตลาดมากที่สุด และองค์การสามารถดำเนินการต่อไปได้

ในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าใด ๆ องค์การหนึ่ง ๆ อาจไม่สามารถดำเนินงานได้ทุกลักษณะงานเพียงองค์การเดียวตลอดการผลิต แต่อาจดำเนินงานร่วมกับองค์การอื่น ๆ ที่ดำเนินงานในลักษณะงานที่ต่างกัน เช่น องค์การหนึ่งดำเนินการจัดเตรียมวัตถุดิบในการผลิตสินค้าสำเร็จรูป (ฝั่งต้นน้ำ) อีกองค์การหนึ่งดำเนินการแปรรูปวัตถุดิบไปเป็นสินค้าสำเร็จรูป (ฝั่งกลางน้ำ) และอีกองค์การหนึ่งดำเนินการกระจายสินค้าสำเร็จรูปไปสู่ลูกค้า (ฝั่งปลายน้ำ) เรียกองค์การต่าง ๆ ที่ดำเนินงานร่วมกันในลักษณะนี้ว่า ห่วงโซ่อุปทาน การดำเนินงานร่วมกันในโซ่อุปทานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ข้อมูลความต้องการของลูกค้าถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับแต่ละองค์การ

ทุก ๆ องค์การปรารถนาที่จะทราบข้อมูลความต้องการที่แน่นอนของลูกค้าในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ แต่ในความเป็นจริงแล้ว องค์การไม่สามารถทราบได้ว่าความต้องการของลูกค้าทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ นั้นเป็นเท่าใด จนกว่าจะสิ้นสุดหรือผ่านช่วงเวลานั้นไปแล้ว ทำให้องค์กรต้องใช้ข้อมูลความต้องการจริงของลูกค้าที่ทราบแล้วในอดีต มาพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาปัจจุบัน และจัดเตรียมสินค้าหรือบริการไว้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่จะเกิดขึ้น

การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าทำให้องค์กรสามารถจัดเตรียมสินค้าและบริการไว้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ แต่ไม่อาจยืนยันได้ว่าจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้หรือไม่ เนื่องจากการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเป็นการทำนายหรือคาดคะเนความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาปัจจุบัน ซึ่งความต้องการนั้นยังไม่เกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อความต้องการจริงของลูกค้าเกิดขึ้นแล้ว อาจจะมากหรือน้อยกว่าค่าที่พยากรณ์ไว้ เมื่อการพยากรณ์มีความไม่แน่นอนแทรกอยู่ และแต่ละองค์การในโซ่อุปทานต้องพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเป็นลำดับเรื่อยไปตลอดโซ่อุปทาน และทำให้ความไม่แน่นอนถูกส่งต่อกันไปเป็นลำดับ จนท้ายที่สุดแล้วความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าที่ฝั่งต้นน้ำสูงกว่าความแปรปรวนของความต้องการ

ของลูกค้าที่ฝั่งปลายน้ำ เกิดเป็นปรากฏการณ์บลูวิปเอฟเฟกต์ขึ้น [1]

บลูวิปเอฟเฟกต์เป็นปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ในโซ่อุปทาน ซึ่งเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ระยะเวลาจัดส่งสินค้าที่ไม่เท่ากับ 0 ความขาดแคลนของการจัดหา (Supply Shortage) และการประมวลผลสัญญาณความต้องการของลูกค้า [2-3] หากไม่ต้องการให้เกิดบลูวิปเอฟเฟกต์ขึ้น จำเป็นต้องกำจัดสาเหตุต่าง ๆ ให้หมดไป แต่เป็นการยากที่จะสามารถกำจัดสาเหตุเหล่านั้นให้หมดไปได้

จากการทบทวนวรรณกรรมผู้วิจัยพบงานวิจัยหลาย ๆ งาน ที่ศึกษาบลูวิปเอฟเฟกต์ในโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง เช่น งานวิจัยของ Chen และ คณะ [4] ศึกษาบลูวิปเอฟเฟกต์ในโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล และกำหนดให้ความต้องการของลูกค้าเป็นไปตามตัวแบบ AR(1) และตัวแบบแนวโน้มเชิงเส้น พบว่า ค่าดัชนีบลูวิปเอฟเฟกต์เพิ่มขึ้น เมื่อค่าคงที่ของการปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลเพิ่มขึ้น และ พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอเรกเรสชันที่น้อยกว่า 0 ทำให้เกิดค่าดัชนีบลูวิปเอฟเฟกต์มากกว่าพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอเรกเรสชันที่มากกว่า 0 นอกจากนั้นในงานวิจัยของ Chen และคณะ [4] ยังได้เปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้กับผลการวิจัยด้วยวิธีการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ พบว่าการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลทำให้เกิดบลูวิปเอฟเฟกต์มากกว่าการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่

จากงานวิจัยของ Zhang [5] ศึกษาผลกระทบของเทคนิคการพยากรณ์ต่อค่าบลูวิปเอฟเฟกต์ โดยกำหนดความต้องการของลูกค้าเป็นไปตามตัวแบบ AR(1) และใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม (Order-up-to Inventory Policy) โดยทำการศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ 3 แบบ คือ แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ และแบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล พบว่า สำหรับการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุดนั้น บลูวิปเอฟเฟกต์ไม่เกิดขึ้น เมื่อพารามิเตอร์ออเทอเรกเรสชันน้อยกว่า 0 และเมื่อระยะเวลานำส่งสินค้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดบลูวิปเอฟเฟกต์มากขึ้น สำหรับการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ บลูวิปเอฟเฟกต์มี

แนวโน้มลดลง เมื่อช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น และสำหรับการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล บูลวิปเอฟเฟกต์มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชัน

จากงานวิจัยของ Alwan และคณะ [1] ศึกษาค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์บนโซ่อุปทานสองระดับ ที่ประกอบด้วย ผู้ค้าปลีก 1 แห่ง และผู้ผลิตสินค้า 1 แห่ง โดยผู้ค้าปลีกใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม และใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด นอกจากนี้กำหนดให้ความต้องการของลูกค้าเป็นไปตามตัวแบบ AR(1) และทำการศึกษาด้วยวิธีการคิดวิเคราะห์ ซึ่งได้เปรียบเทียบผลของเทคนิคการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด, เทคนิคการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ และแบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ พบว่า บูลวิปเอฟเฟกต์ไม่เกิดขึ้น เมื่อใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในกรณีที่พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชันเป็นลบ และบูลวิปเอฟเฟกต์เป็นฟังก์ชันของระยะเวลานำส่งสินค้า เมื่อใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ และแบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล กล่าวคือ บูลวิปเอฟเฟกต์เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลานำส่งสินค้ามากขึ้น แต่หากใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด จะได้ว่าระยะเวลานำส่งสินค้าจะมีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์อย่างจำกัด นอกจากนี้ยังได้กล่าวอีกว่า บูลวิปเอฟเฟกต์สามารถลดลงหรือ ถูกกำจัดให้หมดไปได้ โดยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชัน ในกรณีที่ใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด

จากงานวิจัยของ Wang และคณะ [6] ทำการเปรียบเทียบ บูลวิปเอฟเฟกต์บนโซ่อุปทาน เมื่อใช้เทคนิคการพยากรณ์ 3 แบบ คือ แบบถูกต้อง (วิธีการพยากรณ์ที่ถูกต้องตามรูปแบบความต้องการของลูกค้า) แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ และแบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล โดยกำหนดรูปแบบความต้องการของลูกค้าเป็น 3 แบบ ได้แก่ AR(1), MA(1) และ ARIMA(1,1) ทำการศึกษามบนโซ่อุปทานหนึ่งระดับ ที่ประกอบด้วยผู้ค้าปลีก 1 แห่ง ซึ่งใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม และทำการศึกษาด้วยวิธีการจำลองโมเดลโซ่

อุปทาน พบว่า การใช้พารามิเตอร์ของเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม สามารถลดความแปรปรวนลงได้ แต่ไม่สามารถกำจัดบูลวิปเอฟเฟกต์ทั้งหมดให้หมดไปได้ บูลวิปเอฟเฟกต์เป็นฟังก์ชันของระยะเวลานำส่งสินค้า คือ บูลวิปเอฟเฟกต์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลานำส่งสินค้าเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ความต้องการของลูกค้าเป็นแบบ AR(1) และ ARIMA(1, 1) สำหรับในกรณีที่ความต้องการของลูกค้าเป็นแบบ MA(1) ระยะเวลานำส่งสินค้าจะไม่มีผลต่อบูลวิปเอฟเฟกต์ แต่ตัวพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชันจะส่งผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ บูลวิปเอฟเฟกต์ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการพยากรณ์ และระยะเวลาที่สั้นและรวดเร็วในการรับรู้ข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อสินค้า

จากงานวิจัยของ Hong และ Ping [7] ศึกษาอิทธิพลของเทคนิคการพยากรณ์ต่อบูลวิปเอฟเฟกต์ และหาวิธีการลดค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ เมื่อใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบต่าง ๆ โดยศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ 3 แบบ คือ แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล และแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด ทำการศึกษายาใต้โซ่อุปทานสองระดับ ที่ประกอบด้วย ผู้ค้าปลีก 1 แห่ง และผู้ผลิตสินค้า 1 แห่ง นอกจากนี้ได้กำหนดให้ผู้ค้าปลีกใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม และความต้องการของลูกค้าเป็นไปตามตัวแบบ AR(1) โดยเริ่มทำการศึกษาจากการคิดวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ พบว่า บูลวิปเอฟเฟกต์เกิดขึ้นเมื่อผู้ค้าปลีกใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ หรือแบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล และใช้นโยบายสั่งซื้อที่เหมาะสม แต่ถ้าใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด บูลวิปเอฟเฟกต์เกิดขึ้นเมื่อพารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชันอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และบูลวิปเอฟเฟกต์จะไม่เกิดขึ้นภายใต้พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอรีเกรสชันอยู่ในช่วง -1 ถึง 0 นอกจากนั้นยังได้ทำการจำลองโมเดลโซ่อุปทาน เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์จากแบบจำลอง และค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์จากการคิดวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ พบว่า ค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงเชื่อได้ว่าค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ที่เกิดขึ้นนั้นถูกต้อง

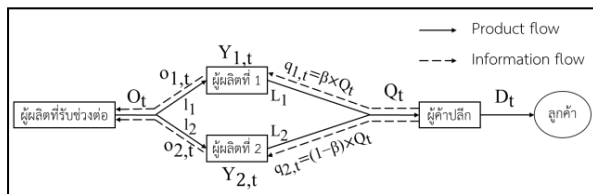
จากงานวิจัยของ Sirikasemsuk และ Luong [8] ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาเพิ่มเติม โดยเปลี่ยนเทคนิคการพยากรณ์จากแบบ

ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำสุด (Minimum Mean Square Error) มาเป็นการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล และใช้การศึกษาโดยการจำลองโมเดลแทนการคิดวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Approach) โดยงานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของบูลวิปเอฟเฟกบนโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีกต่อบูลวิปเอฟเฟก และเปรียบเทียบบูลวิปเอฟเฟกระหว่างโมเดลการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งและการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง ภายใต้ขอบเขตที่สำคัญของงานวิจัยที่กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากัน

2. คำอธิบายแบบโมเดล

2.1. โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง

ในบทความวิจัยฉบับนี้ ได้ศึกษาโครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ซึ่งเป็นโซ่อุปทาน 3 ระดับที่ประกอบด้วย ผู้ค้าปลีก (Retailer) 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้า (Supplier) 2 แห่ง และผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ (Sub-supplier) 1 แห่ง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง

สัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความวิจัยฉบับนี้

- j = หมายเลขที่ของผู้ผลิตสินค้า (ได้แก่ 1 และ 2)
- BW = บูลวิปเอฟเฟก (Bullwhip Effect)
- D_t = ความต้องการของลูกค้าในเวลา t
- F_t = ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในเวลา t โดยผู้ค้าปลีก
- $P_{j,t}$ = ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในเวลา 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 ที่ส่งให้ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ 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)
- I_j = ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตที่รับช่วงต่อถึงผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j (ได้แก่ I_1 และ I_2)
- S_t = ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเวลา t ที่ผู้ค้าปลีก
- $Y_{j,t}$ = ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเวลา t ที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j
- z = ระดับการให้บริการ
- ε_t = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ช่วงเวลา t ของตัวแบบออเทรเกรสชัน โดยมีการแจกแจงแบบปกติด้วยพารามิเตอร์ค่ากลางเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ_ε^2 ซึ่งแต่ละค่ามีความเป็นอิสระต่อกัน
- σ_ε^2 = ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน
- σ_t^L = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความต้องการของลูกค้าที่พยากรณ์กับความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นจริงระหว่างระยะเวลานำส่งสินค้าที่ผู้ค้าปลีก
- σ_t^j = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าความต้องการของลูกค้าที่พยากรณ์กับความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นจริงระหว่างระยะเวลานำส่งสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ j
- δ = พารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบออเทรเกรสชัน
- $\emptyset$ = พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทรเกรสชัน

β = สัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีก
ที่ซึ่ง $0 \leq \beta \leq 1$

α = ค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล

2.2.รูปแบบความต้องการของลูกค้า

ความต้องการของลูกค้าที่ผู้ค้าปลีกต้องเผชิญถูกสมมติให้เป็นไปตามตัวแบบออทอเรียเกรสชันลำดับที่หนึ่ง (AR(1)) โดยมีสมการของตัวแบบ AR(1) ดังสมการที่ (1)

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

อนึ่ง ความต้องการของลูกค้าแบบ AR(1) ถูกใช้อย่างแพร่หลาย สามารถพบได้ในงานวิจัยหลายฉบับ [1],[4-6]

ค่าพารามิเตอร์ออทอเรียเกรสชันที่แตกต่างกัน จะให้เกิดรูปแบบความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงถือว่า ได้พิจารณาความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย ภายใต้ความต้องการของลูกค้าแบบ AR(1)

2.3.เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล

เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลเป็นการประมาณความต้องการของลูกค้าในปัจจุบัน โดยใช้ผลรวมของการถ่วงน้ำหนักข้อมูลความต้องการจริงของลูกค้าในช่วงเวลาก่อนหน้า และข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาก่อนหน้า มาเป็นข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในปัจจุบัน โดยมีสมการการพยากรณ์ความต้องการแบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\text{ที่ผู้ค้าปลีก} \quad F_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1} \quad (2)$$

$$\text{ที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ } j \quad P_{j,t} = \alpha d_{j,t-1} + (1 - \alpha) P_{j,t-1} \quad (3)$$

2.4.นโยบายสินค้าคงคลัง

จากงานวิจัยของ Hosoda และ Disney [9] กล่าวว่า นโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมสามารถลดความแปรปรวนของระดับสินค้าคงคลัง ลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง และสามารถลดค่าใช้จ่ายในกรณีที่ไม่มีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า นอกจากนี้ยังสามารถปรับความ

แปรปรวนของระดับสินค้าคงคลังให้ตรงกับความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ตลอดระยะเวลานำส่งสินค้า ในบทความวิจัยฉบับนี้ จึงกำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยมีสมการระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเวลา t ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$\text{ที่ผู้ค้าปลีก} \quad S_t = L_j F_t + z \sigma_t^L \quad (4)$$

$$\text{ที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ } j \quad Y_{j,t} = L_j P_{j,t} + z \sigma_t^j \quad (5)$$

โดยปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าสามารถหาได้จากสมการที่ (6) และ (7)

$$\text{ที่ผู้ค้าปลีก} \quad Q_t = S_t - S_{t-1} + D_{t-1} \quad (6)$$

$$\text{ที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ } j \quad o_{j,t} = Y_{j,t} - Y_{j,t-1} + q_{j,t-1} \quad (7)$$

2.5.กลไกการทำงานของระบบและการคำนวณหาค่าดัชนีบูลวิเปอฟเฟล

1) ผู้ค้าปลีกจะไม่ทราบความต้องการของลูกค้าเป็นแบบ (AR(1)) และในช่วงต้นเวลา t ใด ๆ ผู้ค้าปลีกจะไม่ทราบความต้องการของลูกค้า (D_t) ที่เกิดขึ้นภายในช่วงเวลา t จนกว่าจะสิ้นสุดช่วงเวลา t นั้น ๆ

2) ผู้ค้าปลีกจึงต้องพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยอาศัยความต้องการจริงของลูกค้าในอดีตที่ทราบแล้วมาพยากรณ์

3) ผู้ค้าปลีกจะคำนวณหาปริมาณคำสั่งซื้อรวมทั้งหมดด้วยนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม (ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลานำส่งสินค้า) และส่งคำสั่งซื้อสินค้าไปยังผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และแห่งที่ 2 ($q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$ ตามลำดับ) เนื่องจากผู้ค้าปลีกสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตสินค้า 2 แห่ง จึงต้องมีการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าให้แก่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง โดยใช้สัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีก สามารถหาปริมาณคำสั่งซื้อที่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ได้รับ ดังสมการที่ (8) และ (9)

$$\text{ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1} \quad q_{1,t} = \beta \times Q_t \quad (8)$$

$$\text{ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 2} \quad q_{2,t} = (1 - \beta) \times Q_t \quad (9)$$

4) เมื่อผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 ได้รับคำสั่งซื้อสินค้าจากผู้ค้าปลีก ซึ่ง $q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$ จะเป็นความต้องการของลูกค้าลำดับถัดมา แต่ในช่วงต้นเวลา t ใด ๆ ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 จะไม่ทราบความต้องการที่แท้จริงของผู้ค้าปลีก ($q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$ ตามลำดับ)

5) ผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งจึงต้องพยากรณ์ความต้องการของผู้ค้าปลีก

6) ผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งจะกำหนดหาปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าของตน นั่นคือ $o_{1,t}$ และ $o_{2,t}$ ส่งให้ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ

7) เมื่อปริมาณคำสั่งซื้อของผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่งถูกส่งมายังผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ ทำให้ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อทราบปริมาณคำสั่งซื้อรวมของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง (O_t) ดังสมการที่ (10)

$$O_t = o_{1,t} + o_{2,t} \quad (10)$$

8) จากการเก็บข้อมูลนี้ไปเรื่อย ๆ ตลอดเวลา จะสามารถหาค่าดัชนีบูลวิปเฟลคของระบบได้จากอัตราส่วนความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อรวมของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ต่อความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าเริ่มต้น ดังสมการที่ (11)

$$BW = \frac{\text{VAR}(O_t)}{\text{VAR}(D_t)} = \frac{\text{VAR}(o_{1,t} + o_{2,t})}{\text{VAR}(D_t)} \quad (11)$$

หมายเหตุ ถ้าค่า BW มากกว่า 1 จะถือว่าเกิดบูลวิปเฟลค

2.6.ขอบเขตของบทความวิจัยและคำอธิบายเพิ่มเติมที่สำคัญ

- 1) ระยะเวลาจัดส่งสินค้า นั่นคือ L_j และ I_j จะเป็นจำนวนเต็มบวกและเป็นแบบดิเทอร์มินิสติก
- 2) ในการศึกษาบูลวิปเฟลคบนโซ่อุปทานจะไม่กำหนดให้ L_j และ I_j เท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่า ถ้าสั่งสินค้าจะได้รับทันที ดังนั้นบูลวิปเฟลคจึงไม่เกิดขึ้น
- 3) บทความวิจัยนี้กำหนดให้ $L_1 = L_2 = 1$ และ $I_1 = I_2 = 1$ เพื่อลดอิทธิพลที่มาจากระยะเวลาดำเนินการระหว่างผู้ผลิตที่รับช่วงต่อถึงผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งต่อค่าดัชนีบูล

วิปเฟลค นอกจากนี้ที่ยังเป็นการลดความซับซ้อนของระบบด้วย

4) สินค้าที่ถูกส่งไปจะมีการมาส่งที่จุดเริ่มต้นของช่วงเวลา $t + L_j$ หรือ $t + I_j$ และแต่ละสมาชิกในโซ่อุปทานจะทบทวนระดับสินค้าคงคลังที่จุดเริ่มต้นของช่วงเวลา t เพื่อนำไปสู่การออกคำสั่งซื้อ

5) กำหนดให้ทุกสมาชิกในโซ่อุปทานใช้ค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล (α) เท่ากันตลอดโซ่อุปทาน

6) ค่า β จะสนใจเฉพาะ $0 \leq \beta \leq 0.5$ เพราะระบบจะสมมาตรกับ $0.5 < \beta \leq 1$

7) พารามิเตอร์ของตัวแบบบอเทอรีเกรสชัน (ϕ) มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ($-1 \leq \phi \leq 1$) เพื่อให้ตัวแบบมีความเสถียร (Stationary Process)

3. การสร้างและการจำลองค่าดัชนีบูลวิปเฟลค

ก่อนการสร้างและการจำลองค่าดัชนีบูลวิปเฟลค มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของระบบ ดังนี้

- จำนวนวันที่ศึกษาในแบบจำลอง (t) คือ 360 วัน ดังรูปที่ 2 คอลัมน์ A
- ระดับการให้บริการ (Service Level, z) คือ 96%
- พารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบบอเทอรีเกรสชัน (δ) ใช้ค่าที่ไม่ติดลบ ในที่นี้กำหนดให้ $\delta = 1120$
- ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ_e^2) คือ 1000 หมายเหตุ

1) จากงานวิจัยของ Luong [10] พบว่า ค่าพารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบบอเทอรีเกรสชัน (δ), ค่าระดับการให้บริการ (z) และค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ_e^2) ไม่มีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเฟลค ดังนั้นในบทความวิจัยนี้จึงไม่มีความจำเป็นที่จะศึกษาตัวแปรดังกล่าว

2) ความต้องการเริ่มต้น (D_0) ปรับตามค่าพารามิเตอร์บอเทอรีเกรสชัน เพื่อให้ความต้องการจริงของลูกค้าที่จำลองขึ้นเข้าสู่สถานะที่เสถียรเร็วขึ้น

3.1.การสร้างและการจำลองโมเดลที่ผู้ค้าปลีก

การสร้างและการจำลองของผู้ค้าปลีก ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) การสร้างรูปแบบความต้องการของลูกค้า ตามตัว
แบบ AR(1) ตามสมการที่ (1) ดังรูปที่ 2 คอลัมน์ B และ C

A	B	C
0	0.4	
0	1120	
Variance error	1000	
Dt (t=0)	1850	
t (time)	Error (normal dist.)	Dt (Real demand by AR(1))
0		1850
1	-17.75240858	1842.247591
2	17.61222168	1874.511258
3	-78.13443128	1791.670072
4	34.49375916	1871.161788
5	9.721013051	1878.185728
6	74.5748117	1945.849103
7	23.40394438	1921.743586
8	54.00176482	1942.699199
9	27.90163061	1924.98131
10	30.6353471	1920.627871
...		
360	354	4.358376373
361	355	10.29653409
362	356	-21.55510769
363	357	-64.85463065
364	358	25.6847145
365	359	-7.397803201
366	360	1.11396749

รูปที่ 2 การสร้างรูปแบบความต้องการของลูกค้าตามตัว
แบบ AR(1)

2) การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยผู้ค้าปลีก
ตามสมการที่ (2) ดังรูปที่ 3 คอลัมน์ D

A	B	C	D
0	0.4	L (Lead time)	1
0	1120	z (Service level)	1.750686071
Variance error	1000	p (Period of moving average forecasting)	2
Dt (t=0)	1850		
t (time)	Error (normal dist.)	Dt (Real demand by AR(1))	Ft (Forecasting demand)
0		1850	
1	-17.75240858	1842.247591	
2	17.61222168	1874.511258	
3	-78.13443128	1791.670072	1858.379425
4	34.49375916	1871.161788	1833.090665
5	9.721013051	1878.185728	1831.41593
6	74.5748117	1945.849103	1874.673758
7	23.40394438	1921.743586	1912.017416
8	54.00176482	1942.699199	1933.796344
9	27.90163061	1924.98131	1932.221392
10	30.6353471	1920.627871	1933.840255
...			
360	354	4.358376373	1868.196564
361	355	10.29653409	1877.57516
362	356	-21.55510769	1849.474956
363	357	-64.85463065	1794.935352
364	358	25.6847145	1863.658855
365	359	-7.397803201	1858.065739
366	360	1.11396749	1864.340263

รูปที่ 3 การคำนวณค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า
แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล

3) การหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ (S_t) และ
การหาปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีก (Q_t) ตามสมการที่ (4)
และ (6) ดังรูปที่ 4 คอลัมน์ F และ G ตามลำดับ

4) การแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าให้กับผู้ผลิตสินค้าทั้ง
2 แห่งโดยผู้ค้าปลีก ($q_{1,t}$ และ $q_{2,t}$) ตามสมการที่ (8) และ (9)
ดังรูปที่ 4 คอลัมน์ H และ I ตามลำดับ

A	B	C	D	E	F	G	H	I
0	0.4	L1 = L2	1	z	1.750686071			
0	1120	I1 = I2	1	Standard deviation of error	31.32114937			
Variance error	1000	α	0.2	β	0.3			
Dt (t=0)	1850	1- α	0.8	1- β	0.7			
t (time)	Error	Dt	Ft	Error of forecasting	St	Qt	q1,t	q2,t
0		1850						
1	-17.75240858	1842.247591	1842.247591	0	1897.081091			
2	17.61222168	1874.511258	1842.247591	-32.26366683	1897.081091	1842.247591	552.6742774	1289.573314
3	-78.13443128	1791.670072	1848.700325	57.03025277	1903.533825	1880.963992	564.2891975	1316.674794
4	34.49375916	1871.161788	1837.294274	-33.86751373	1892.127774	1780.264021	534.0792064	1246.184815
5	9.721013051	1878.185728	1844.067777	-34.11795125	1898.901277	1877.935291	563.3805872	1314.554703
6	74.5748117	1945.849103	1850.891367	-94.95773576	1905.724867	1885.009318	565.5027955	1319.506523
7	23.40394438	1921.743586	1869.882914	-51.8606712	1924.716414	1964.84065	589.452195	1375.388455
8	54.00176482	1942.699199	1880.255049	-62.44415043	1935.088549	1932.11572	579.6347159	1352.481004
9	27.90163061	1924.98131	1892.743879	-32.23743152	1947.577379	1955.188029	586.5564087	1368.63162
10	30.6353471	1920.627871	1899.191365	-21.43650617	1954.024865	1931.428797	579.428639	1352.000158
...								
362	355	10.29653409	1877.57516	-16.2979494	1916.11071	1869.926402	560.9779207	1308.948482
363	356	-21.55510769	1849.474956	15.06184394	1919.3703	1880.834749	564.2504248	1316.584325
364	357	-64.85463065	1794.935352	66.5890795	1916.357931	1846.462587	553.9387762	1292.523811
365	358	25.6847145	1863.658855	-15.45223982	1903.040115	1781.617536	534.4852608	1247.132275
366	359	-7.397803201	1858.065739	-6.768675515	1906.130563	1866.749303	560.024791	1306.724512
367	360	1.11396749	1864.340263	-11.68946457	1907.484298	1859.419474	557.8258422	1301.593632

รูปที่ 4 ข้อมูลจากการจำลองโมเดลที่ผู้ค้าปลีก

3.2.การสร้างและการจำลองโมเดลที่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง
ขั้นตอนการสร้างและการจำลองของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2
แห่ง ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยผู้ผลิต
สินค้าแต่ละแห่ง ตามสมการที่ (3) ดังรูปที่ 5 คอลัมน์ K
และ P

2) การหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ($Y_{j,t}$) และการหาปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ผลิตสินค้าแต่ละแห่ง ($o_{j,t}$) ตามสมการที่ (5) และ (7) ดังรูปที่ 5 คอลัมน์ M, R และ N, S ตามลำดับ

3.3.การสร้างและการจำลองค่าบูลิโอฟเฟคของระบบ

ขั้นตอนการสร้างและการจำลองค่าดัชนีบูลิโอฟเฟคของระบบ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อผู้ผลิตที่รับช่วงต่อได้รับคำสั่งซื้อจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ($o_{1,t}$ และ $o_{2,t}$) ทำให้ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อทราบปริมาณคำสั่งซื้อรวมของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง (O_t) ดังรูปที่ 5 คอลัมน์ T

2) ปริมาณคำสั่งซื้อรวมของผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ในดัง

รูปที่ 5 คอลัมน์ T สามารถคำนวณหาความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อทั้งหมดที่ผู้ผลิตที่รับช่วงต่อได้ ดังรูปที่ 5 เซลล์ที่ U2

3) ที่ปลายสุดของโซ่อุปทาน ความต้องการของลูกค้า (D_t) ถูกจำลองขึ้นเป็นไปตามตัวแบบ AR(1) ดังรูปที่ 2 คอลัมน์ C ซึ่งคอลัมน์ดังกล่าวจะสามารถคำนวณหาความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าได้ ดังรูปที่ 5 เซลล์ที่ U1

4) เมื่อนำความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อ ($VAR(O_t)$) หารด้วยความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้า ($VAR(D_t)$) ดังสมการที่ (11) จะได้ค่าดัชนีบูลิโอฟเฟคของระบบการสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตสองแหล่ง ดังรูปที่ 5 เซลล์ที่ U3

	A	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1												VAR(Ot)	1971.08
2				Standard deviation of error	35.69648094				Standard deviation of error	26.37851977		VAR(Dt)	1002.06
3												BW	1.96703
4													
5													
6	t (time)	d1,t	P1,t	Supplier 1 Error forecast	Y1,t	o1,t	d2,t	P2,t	Supplier 2 Error of forecast	Y2,t	o2,t	Sub-supplier Ot	
7	0												
8	1												
9	2	552.6742774	552.6742774	0	615.1676094		1289.573314	1289.573314	0	1335.753821			
10	3	564.2891975	552.6742774	-9.291936047	615.1676094	552.6742774	1316.674794	1289.573314	-27.10148014	1335.753821	1289.573314	1842.247591	
11	4	534.0792064	554.9972614	16.734444	617.4905934	566.6121815	1246.184815	1294.99361	48.80879499	1341.174117	1322.09509	1888.707272	
12	5	563.3805872	550.8136504	-10.05354942	613.3069824	529.8955954	1314.554703	1285.231851	-29.32285247	1331.412358	1236.423056	1766.318651	
13	6	565.5027955	553.3270378	-9.740606202	615.8203698	565.8939746	1319.506523	1291.096422	-28.41010142	1337.276929	1320.419274	1886.313249	
14	7	589.452195	555.7621893	-26.95200456	618.2555213	567.9379471	1375.388455	1296.778442	-78.6100133	1342.958949	1325.188543	1893.12649	
15	8	579.6347159	562.5001905	-13.70762037	624.9935225	596.1901962	1352.481004	1312.500444	-39.98055941	1358.680952	1391.110458	1987.300654	
16	9	586.5564087	565.9270956	-16.50345053	628.4204276	583.061621	1368.63162	1320.496556	-48.13506405	1366.677063	1360.477116	1943.538737	
17	10	579.428639	570.0529582	-7.5005446	632.5462902	590.6822714	1352.000158	1330.123569	-21.87658842	1376.304076	1378.258633	1968.940905	
-													
-													
-													
362	355	560.9779207	557.4936015	-2.787455299	619.9869335	557.9794094	1308.948482	1300.818404	-8.130077955	1346.998911	1301.951955	1859.931365	
363	356	564.2504288	558.1904654	-4.847967584	620.6837973	561.6747845	1316.584325	1302.444419	-14.13990545	1348.624926	1310.574497	1872.249282	
364	357	553.9387762	559.4024573	4.370944844	621.8957892	565.4624167	1292.523811	1305.2724	12.74858913	1351.452907	1319.412306	1884.874722	
365	358	534.4852608	558.3097211	19.05956822	620.803053	552.84604	1247.132275	1302.722682	55.59040732	1348.90319	1289.974093	1842.820133	
366	359	560.024791	553.544829	-5.183969568	616.038161	529.7203687	1306.724512	1291.604601	-15.11991124	1337.785108	1236.014194	1765.734562	
367	360	557.8258422	554.8408214	-557.8258422	617.3341534	561.3207833	1301.593632	1294.628583	-6.965048552	1340.80909	1309.748494	1871.069278	

รูปที่ 5 ข้อมูลจากการจำลองโมเดลที่ผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง และค่าบูลิโอฟเฟคของระบบ

4. ผลการวิจัย

4.1.ผลกระทบของเทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็ก

โปเนนเชียลต่อค่าดัชนีบูลิโอฟเฟค

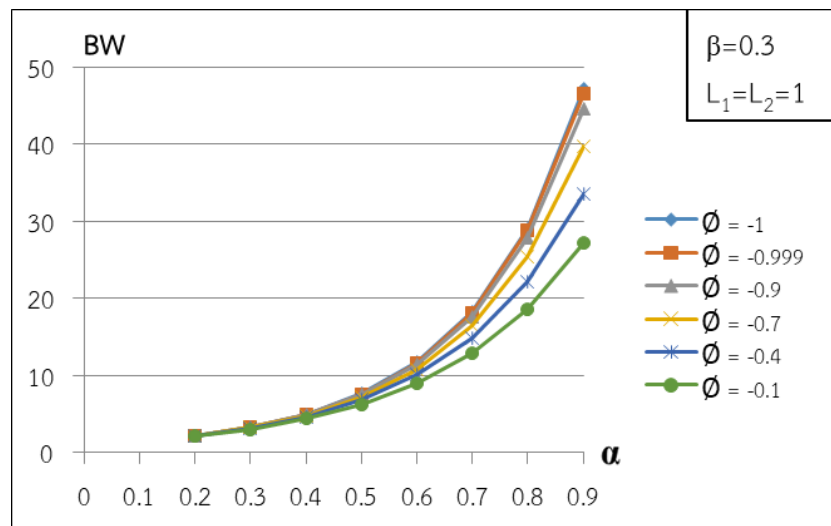
ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าดัชนีบูลิโอฟเฟค คือ ค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล โดยมีผลกระทบต่อค่าดัชนีบูลิโอฟเฟค แสดงดังตารางที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

บูลิโอฟเฟคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลเพิ่มขึ้น โดยแนวโน้มเช่นนี้เกิดขึ้นสำหรับทุกค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชันที่อยู่

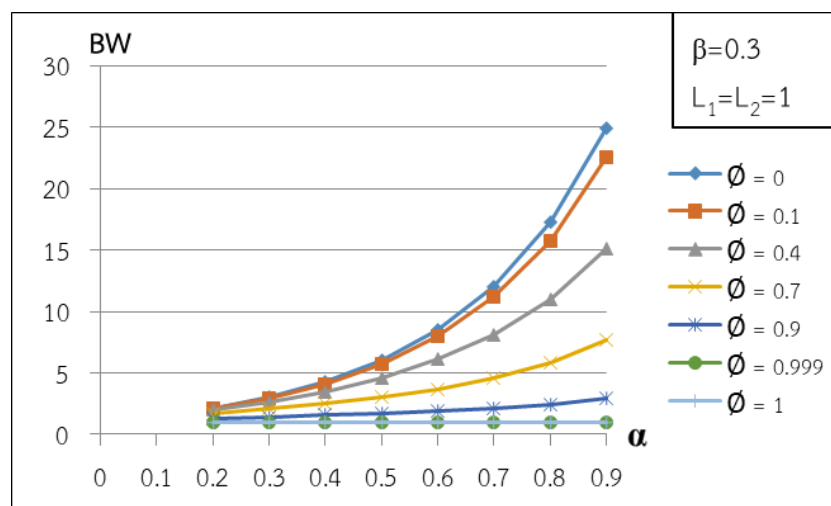
ในช่วง -1 ถึง 1 และสำหรับทุก ๆ ค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล ที่ค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชันเท่ากับ 1 บูลิโอฟเฟคไม่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 6 และ 7

4.2.ผลกระทบของพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชันต่อค่าดัชนีบูลิโอฟเฟค

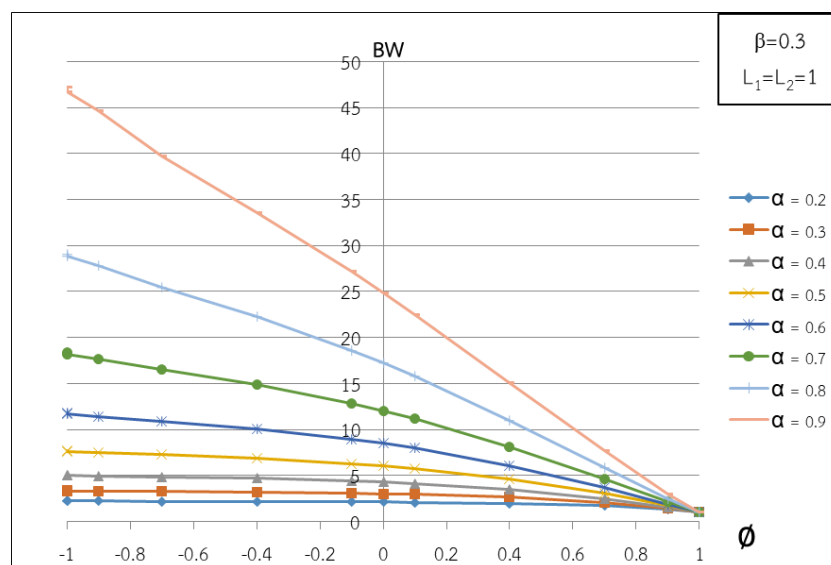
ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชันต่อค่าดัชนีบูลิโอฟเฟค เมื่อสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีกเท่ากัน แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า บูลิโอฟเฟคมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าพารามิเตอร์ออเทอรีเกรสชันเพิ่มขึ้นจาก -1 ถึง 1 ดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 ผลกระทบของค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟลค เมื่อ $\phi < 0$



รูปที่ 7 ผลกระทบของค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟลค เมื่อ $\phi \geq 0$

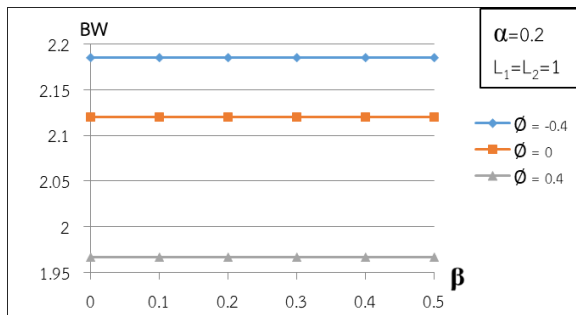


รูปที่ 8 ผลกระทบของพารามิเตอร์อเทอริเกรสชันต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟลค เมื่อ $0 < \alpha < 1$

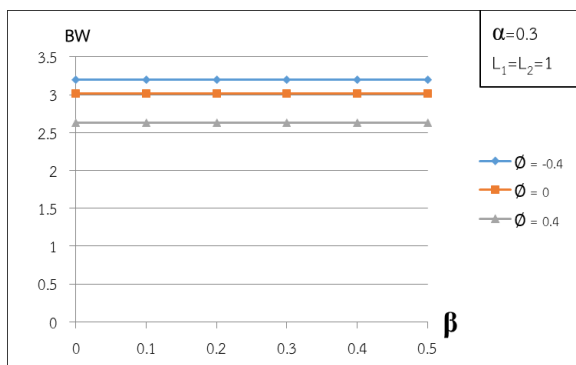
4.3.ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อต่อค่า

ดัชนีมูลวิเปเฟล

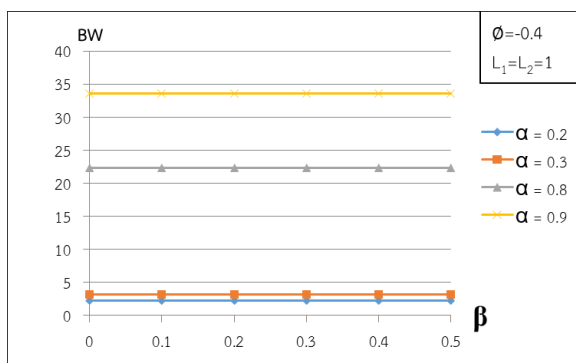
ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีกต่อค่าดัชนีมูลวิเปเฟล แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อเปลี่ยนแปลง ค่าดัชนีมูลวิเปเฟลของที่ ดังรูปที่ 9-13



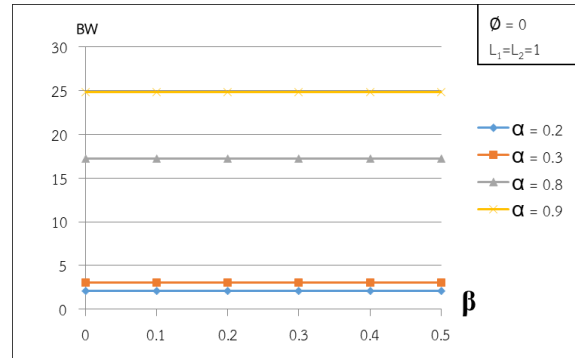
รูปที่ 9 ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า เมื่อ $\delta = -0.4, 0, 0.4$ และ $\alpha = 0.2$



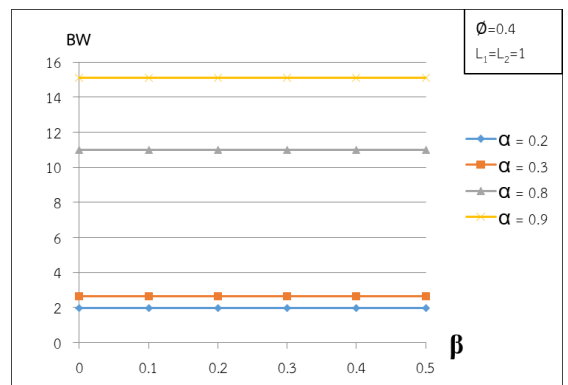
รูปที่ 10 ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า เมื่อ $\delta = -0.4, 0, 0.4$ และ $\alpha = 0.3$



รูปที่ 11 ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า เมื่อ $\delta = -0.4$ และ $\alpha = 0.2, 0.3, 0.8, 0.9$



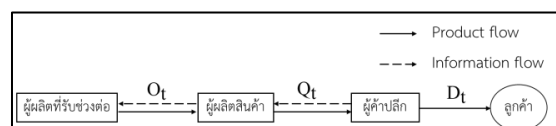
รูปที่ 12 ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า เมื่อ $\delta = 0$ และ $\alpha = 0.2, 0.3, 0.8, 0.9$



รูปที่ 13 ผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้า เมื่อ $\delta = 0.4$ และ $\alpha = 0.2, 0.3, 0.8, 0.9$

4.4 การขึ้นเป็นนัยระหว่างการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง และการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง

หากพิจารณาสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีก (β) ที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 พบว่าจะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าของผู้ผลิตสินค้าแห่งใดแห่งหนึ่งเท่ากับ 0 หรือเป็นการสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าเพียงแห่งเดียว จึงทำให้โซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ดังรูปที่ 1 เทียบเท่าโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง ดังรูปที่ 14 ซึ่งโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง ประกอบด้วยผู้ค้าปลีก (Retailer) 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้า (Supplier) 1 แห่ง และผู้ผลิตที่รับช่วงต่อ (Sub-supplier) 1 แห่ง



รูปที่ 14 โครงสร้างโซ่อุปทานการสั่งซื้อจากหนึ่งแหล่ง

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีมูลวิเปเฟลของค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลค่าต่าง ๆ

α	BW												
	$\varnothing = -1$	$\varnothing = -0.999$	$\varnothing = -0.9$	$\varnothing = -0.7$	$\varnothing = -0.4$	$\varnothing = -0.1$	$\varnothing = 0$	$\varnothing = 0.1$	$\varnothing = 0.4$	$\varnothing = 0.7$	$\varnothing = 0.9$	$\varnothing = 0.999$	$\varnothing = 1$
0.2	2.2225	2.2055	2.1997	2.1927	2.1851	2.1433	2.1205	2.0928	1.9670	1.7129	1.3263	1.0000	1.0000
0.3	3.3329	3.3067	3.2892	3.2532	3.1985	3.0734	3.0121	2.9391	2.6273	2.0816	1.4337	1.0000	1.0000
0.4	5.0276	4.9867	4.9425	4.8388	4.6784	4.3889	4.2553	4.1002	3.4741	2.5056	1.5494	1.0000	1.0000
0.5	7.6469	7.5816	7.4808	7.2314	6.8549	6.2633	6.0041	5.7103	4.5878	3.0288	1.6907	1.0000	1.0000
0.6	11.7581	11.6520	11.4334	10.8822	10.0828	8.9563	8.4867	7.9669	6.0845	3.7061	1.8746	1.0000	1.0000
0.7	18.3337	18.1572	17.6984	16.5304	14.9193	12.8639	12.0485	11.1676	8.1366	4.6140	2.1231	1.0000	1.0000
0.8	29.0931	28.7918	27.8390	25.4183	22.2604	18.6046	17.2256	15.7715	11.0080	5.8665	2.4682	1.0000	1.0000
0.9	47.1921	46.6622	44.6845	39.6989	33.5836	27.1690	24.8722	22.5075	15.1148	7.6414	2.9598	1.0000	1.0000

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีมูลวิปลาทวิคูณของพารามิเตอร์ของตัวแบบอเทอริเกรสชันค่าต่าง ๆ

[illegible]

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีบูลิปีเอฟเฟคของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าโดยผู้ค้าปลีกค่าต่าง ๆ

β	BW											
	$\alpha = 0.2$			$\alpha = 0.3$			$\alpha = 0.8$			$\alpha = 0.9$		
	$\phi = -0.4$	$\phi = 0$	$\phi = 0.4$	$\phi = -0.4$	$\phi = 0$	$\phi = 0.4$	$\phi = -0.4$	$\phi = 0$	$\phi = 0.4$	$\phi = -0.4$	$\phi = 0$	$\phi = 0.4$
0	2.1851	2.1205	1.9670	3.1985	3.0121	2.6273	22.2604	17.2256	11.0080	33.5836	24.8722	15.1148
0.1	2.1851	2.1205	1.9670	3.1985	3.0121	2.6273	22.2604	17.2256	11.0080	33.5836	24.8722	15.1148
0.2	2.1851	2.1205	1.9670	3.1985	3.0121	2.6273	22.2604	17.2256	11.0080	33.5836	24.8722	15.1148
0.3	2.1851	2.1205	1.9670	3.1985	3.0121	2.6273	22.2604	17.2256	11.0080	33.5836	24.8722	15.1148
0.4	2.1851	2.1205	1.9670	3.1985	3.0121	2.6273	22.2604	17.2256	11.0080	33.5836	24.8722	15.1148
0.5	2.1851	2.1205	1.9670	3.1985	3.0121	2.6273	22.2604	17.2256	11.0080	33.5836	24.8722	15.1148

และจากข้อสรุปที่ว่า สัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อโดยผู้ค้าปลีกไม่มีผลต่อค่าดัชนีบูลิปีเอฟเฟคของระบบการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง ที่ระยะเวลานำส่งสินค้า

ระหว่างผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากัน ดังนั้นโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งจึงเทียบเท่ากับโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีบูลิปีเอฟเฟคภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง และหนึ่งแหล่ง

α	BW of Dual Sourcing			BW of Single Sourcing		
	$\phi = -0.4$	$\phi = 0$	$\phi = 0.4$	$\phi = -0.4$	$\phi = 0$	$\phi = 0.4$
0.2	2.1851	2.1205	1.9670	2.1851	2.1205	1.9670
0.3	3.1985	3.0121	2.6273	3.1985	3.0121	2.6273
0.4	4.6784	4.2553	3.4741	4.6784	4.2553	3.4741
0.5	6.8550	6.0041	4.5878	6.8550	6.0041	4.5878
0.6	10.0828	8.4867	6.0845	10.0828	8.4867	6.0845
0.7	14.9193	12.0486	8.1366	14.9193	12.0486	8.1366
0.8	22.2604	17.2257	11.0080	22.2604	17.2257	11.0080
0.9	33.5836	24.8722	15.1148	33.5836	24.8722	15.1148

5. สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมของบูลิปีเอฟเฟคภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งในโซ่อุปทาน โดยทุกสมาชิกใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล และใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังแบบสั่งซื้อที่

เหมาะสม และความต้องการของลูกค้าที่ผู้ค้าปลีกต้องเผชิญ ถูกสมมติให้เป็นไปตามตัวแบบออเทอริเกรสชันอันดับที่หนึ่ง (AR(1)) โดยขอบเขตที่สำคัญของบทความวิจัยนี้กำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากัน และเท่ากับ 1 ($L_1 = L_2 = 1$) สามารถ

สรุปในเบื้องต้นได้ว่า โซ่อุปทานดังกล่าวไม่สามารถหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟกต์ได้ ยกเว้นในกรณีที่ $\theta = 1$ นอกจากนี้ยังมีผลที่น่าสนใจดังนี้

1) ค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล เป็นปัจจัยของเทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียลที่มีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ ยิ่งค่าคงที่การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียลมากขึ้น การเกิดบูลวิปเอฟเฟกต์ยิ่งมากขึ้น

2) ค่าพารามิเตอร์ออเทอริเทรชันมีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ โดยยิ่งค่าพารามิเตอร์ออเทอริเทรชันเข้าใกล้ 1 การเกิดบูลวิปเอฟเฟกต์ยิ่งน้อยลง

3) สัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อ (β) ไม่มีผลต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ในโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง โดยมีระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่ง ถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากัน

4) โมเดลโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่ง (โดยที่ผู้ผลิตสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 มีการพยากรณ์ความต้องการสินค้ารวม 2 แห่งซึ่งมีการจัดเก็บสินค้าทั้ง 2 แห่ง) ให้ค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์เท่ากับโมเดลโซ่อุปทานการสั่งซื้อสินค้าจากหนึ่งแหล่ง (โดยมีผู้ผลิตสินค้ารายเดียว ทำการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและจัดเก็บสินค้าที่เดียว)

ในบทความวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ เมื่อกำหนดให้ระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 แห่งถึงผู้ค้าปลีกมีค่าเท่ากัน และเท่ากับ 1 และใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กโปเนนเชียล แต่ไม่ได้ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการแบ่งปริมาณคำสั่งซื้อต่อค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ เมื่อระยะเวลานำส่งสินค้าจากผู้ผลิตสินค้าทั้ง 2 ถึงผู้ค้าปลีกที่มีค่าไม่เท่ากันและใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบอื่น ๆ ซึ่งอาจจะได้ข้อสรุปที่แตกต่างจากบทความวิจัยนี้

แม้ว่าความต้องการของลูกค้าในงานวิจัยฉบับนี้จะไม่ใช่ข้อมูลที่แท้จริง แต่ก็จัดว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการทำวิจัยในการศึกษาค่าดัชนีบูลวิปเอฟเฟกต์ภายใต้การสั่งซื้อสินค้าจากสองแหล่งในโซ่อุปทาน ซึ่งในอนาคตสามารถต่อยอดไปใช้ความต้องการลูกค้าที่แท้จริงได้โดยไม่ยาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. C. Alwan, J. J. Liu and D. Q. Yao, "Stochastic characterization of upstream demand process in a supply chain," *IIE Transaction*, vol. 35, pp. 207–219, 2003.
- [2] H. Lee, V. Padmanabhan and S. Whang, "Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect," *Management Science*, vol. 43, no. 4, pp. 546–558, 1997, doi: 10.1287/mnsc.43.4.546.
- [3] H. Lee, V. Padmanabhan and S. Whang, "The bullwhip effect in supply chains", *Sloan Management Review*, vol. 38, no. 3, pp. 93–102, 1997.
- [4] F. Chen, J. K. Ryan and D. Simchi-Levi, "The impact of exponential smoothing forecasts on the bullwhip effect," *Naval Research Logistics*, vol. 47, no. 4, pp.269–286, 2000, doi: 10.1002/(SICI)1520-6750(200006)47:4<269::AID-NAV1>3.0.CO;2-Q.
- [5] X. Zhang, "The impact of forecasting methods on the bullwhip effect," *International Journal of Production Economics*, vol. 88, no. 1, pp.15–27, 2004, doi: 10.1016/S0925-5273(03)00128-2.
- [6] J. L. Wang, J. H. Kuo, S. Chou and S. Z. Wang, "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*, vol. 37, pp.4726–4736, 2010, doi: 10.1016/j.eswa.2009.09.071.
- [7] L. Hong, and W. Ping, "Bullwhip effect analysis in supply chain for demand forecasting technology," *Systems Engineering – Theory & Practice*, vol.27, no. 7, pp.26–33, 2007, doi: 10.1016/S1874-8651(08)60044-7.
- [8] K. Sirikasemsuk and H.T. Luong, "Measure of bullwhip effect – a dual sourcing model", *International Journal of Operational Research*, vol. 20, no. 4, pp. 396–426, 2014, doi: . 10.1504/IJOR. 2014.063149

-
- [9] T. Hosoda and S.M. Disney, "The role of an ordering policy as an inventory and cost controller," in *Logistics Research Network Annual Conference*, Dublin, Ireland, September 8–10, 2004.
- [10] H.T. Luong, "Measure of bullwhip effect in supply chain with autoregressive demand process", *European Journal of Operational Research*, vol. 180, no. 3, pp. 1086–1097, 2007, 10.1016/j.ejor.2006.02.050.