

การวิเคราะห์ค่าบูลวิปเอฟเฟค สำหรับระบบคลังสินค้าแบบกระจายในโซ่อุปทาน

Analysis of Bullwhip Effect for

Decentralized-Warehouse System in Supply Chain

สุพรรณษา ฟองเฒ่า กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาค่าบูลวิปเอฟเฟคของระบบคลังสินค้าแบบกระจายในโซ่อุปทาน และศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค โครงสร้างโซ่อุปทานประกอบด้วยหนึ่งผู้ผลิต สองคลังสินค้า และสองกลุ่มลูกค้า โดยที่ความต้องการที่เข้ามาในคลังสินค้าโดยรวมให้เป็นที่ไปตามตัวแบบออเทอริเกรสชันอันดับที่หนึ่ง [The First Order Autoregressive, AR(1)] แต่ละคลังสินค้าในโซ่อุปทานจะทำการคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อ ส่งให้กับผู้ผลิต โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่และใช้ นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบสั่งซื้อที่เหมาะสม (Order-up-to Inventory Level) ผู้วิจัยได้จำลองโมเดลของระบบขึ้นมา พบว่า ส่วนแบ่งทางการตลาดไม่มีผลกระทบต่อค่าบูลวิปเอฟเฟค นอกจากนี้ จากการกำหนดเงื่อนไขและวิธีการวิจัยดังกล่าว จะเกิดพฤติกรรมบูลวิปเอฟเฟคขึ้นในระบบตลอด เนื่องจากค่าบูลวิปเอฟเฟคมากกว่าหนึ่งเสมอ ยกเว้นกรณีที่พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอริเกรสชัน (ϕ) เท่ากับ 1 หรือ -1

คำสำคัญ: โซ่อุปทาน บูลวิปเอฟเฟค ระบบคลังสินค้าแบบกระจาย ส่วนแบ่งทางการตลาด

Abstract

This paper aimed to study the bullwhip effects of the decentralized-warehouse system in the supply chain, and its concerned factors were examined. The supply chain structure consisted of one manufacturer, two warehouses and two customer groups. The total incoming demand process was assumed to be the first order autoregressive [AR(1)] model. Each of the warehouses would calculate the order quantities received by the manufacturer with the moving average forecasting technique and the order-up-to inventory policy. The researchers simulated the model and found that the parameter of market share did not affect the bullwhip effect. In addition, the bullwhip effects in the system always existed, because the values of bullwhip effects were always greater than one, except when the parameter (ϕ) of AR(1) was equal to one or negative one.

Keywords : Supply Chain, Bullwhip Effect, Decentralized-Warehouse System, Market Share

1. บทนำ

บูลวิปเอฟเฟค (Bullwhip Effect) หรือ ปรากฏการณ์แส้ม้า หมายถึง ปรากฏการณ์ที่มีความผันผวนในการบริหารงานโซ่อุปทาน Lee et al. [1] กล่าวว่าบูลวิปเอฟเฟคจะก่อให้เกิดสินค้าขาดหรือสินค้าเกินจากความต้องการของตลาด โดยสาเหตุหลักของปัญหานี้เกิดจากการขาดประสิทธิภาพของกระบวนการ ขาดความสอดคล้องของสารสนเทศ และขาดการประสานงานของคู่ค้าในโซ่อุปทาน ทำให้สมาชิกในโซ่อุปทานไม่ทราบข้อมูลความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า จึงทำให้มีการสั่งซื้อสินค้าหรือวัตถุดิบเกินความจำเป็น ซึ่งเมื่อข้อมูลนี้ถูกส่งต่อกันไป ก็จะทำให้มีการเผื่อสินค้าเอาไว้ในแต่ละชั้นมากขึ้นเรื่อยๆ

ในงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาอิทธิพลของวิธีการพยากรณ์ความต้องการสินค้าแบบต่างๆต่อบูลวิปเอฟเฟค ตัวอย่างเช่น วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลในงานวิจัยของ Chen et al. [2] วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ในงานวิจัยของ Chen et al. [3] และพยากรณ์ด้วยวิธีค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด (The Minimum Mean Square Error, MMSE) ในงานวิจัยของ Luong [4] และพบการใช้ MMSE ในงานวิจัยของ Sirikasemsuk [5,6] เป็นต้น

ปกติในช่วงเริ่มต้นของการศึกษาบูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทาน โครงสร้างมักจะเป็นแบบอย่างง่าย โดยที่ระบบนี้ประกอบด้วยหนึ่งผู้ผลิตและหนึ่งผู้ค้าปลีก เช่น ในงานวิจัยของ Chen et al. [2,3] และ Luong [4] นอกจากนี้ยังพบว่ามีงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคในโซ่อุปทานโครงสร้างอื่นๆ ด้วย อาทิ โซ่อุปทานที่มีโครงสร้างแบบสั่งซื้อจากสองแหล่ง (Dual Sourcing Model) ซึ่งประกอบด้วยหนึ่งผู้จัดส่งวัตถุดิบ สองแหล่งกระจายสินค้า และหนึ่งผู้ค้าปลีก ในงานวิจัยของ Sirikasemsuk [6] เป็นต้น

แต่การศึกษาบูลวิปเอฟเฟคในส่วนของคลังสินค้าแบบกระจาย ซึ่งประกอบด้วยคลังสินค้า 2 แห่ง แต่ละแห่งตอบสนองความต้องการของกลุ่มลูกค้าแยกออกจากกันตามรูปที่ 1 ยังมีการให้ความสำคัญที่น้อยอยู่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟคที่เกิดขึ้นในระบบคลังสินค้าแบบกระจาย นอกจากนี้ยังได้

ศึกษาอิทธิพลของส่วนแบ่งทางการตลาด (α) ช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (p_{d_i}) และพารามิเตอร์ของตัวแบบบอเทอริเกรสชัน (ϕ) ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อค่าบูลวิปเอฟเฟคด้วย

2. สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

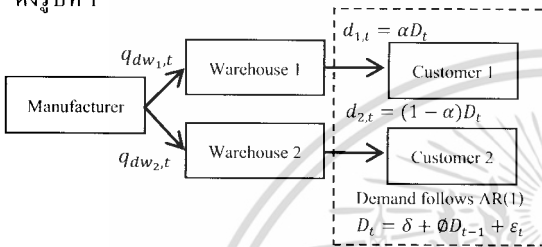
สัญลักษณ์และความหมายต่างๆ ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่

- BW_{dw} บูลวิปเอฟเฟคของระบบคลังสินค้าแบบกระจาย
- i ดัชนีของคลังสินค้าและกลุ่มของลูกค้า โดยที่ $i-1$ หรือ 2
- D_t ความต้องการของลูกค้าทั้งหมดในช่วงเวลา t
- $d_{i,t}$ ความต้องการของลูกค้ากลุ่มที่ i ในช่วงเวลา t
- $q_{dw,t}$ ปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้าโดยรวมทั้งสองแห่งที่เริ่มต้นของช่วงเวลา t
- $q_{dw,i,t}$ ปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้าแห่งที่ i ที่เริ่มต้นของช่วงเวลา t
- AR(1) ออเทอริเกรสชันอันดับที่หนึ่ง
- δ พารามิเตอร์คงที่ของตัวแบบบอเทอริเกรสชัน
- ϕ พารามิเตอร์ของตัวแบบบอเทอริเกรสชัน
- ϵ_t ค่าความคลาดเคลื่อนที่ช่วงเวลา t ของตัวแบบบอเทอริเกรสชัน โดยที่มีการแจกแจงแบบปกติด้วยพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ_{ϵ}^2 ซึ่งแต่ละค่าจะมีความเป็นอิสระต่อกัน
- σ_{ϵ}^2 ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน
- α ส่วนแบ่งทางการตลาด มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
- L ระยะเวลาจัดส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตถึงแต่ละคลังสินค้า
- p_{d_i} ช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ของคลังสินค้าแห่งที่ i
- z ระดับการให้บริการ
- $s_{i,t}$ ระดับสินค้าคงคลังแห่งที่ i สูงสุดที่ต้องการ ณ ช่วงเวลา t
- \hat{d}_t ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลา t
- $\hat{d}_{i,t}$ ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าระหว่างระยะเวลานำของคลังสินค้าแห่งที่ i

$\sigma_{i,t}$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าพยากรณ์ความต้องการลูกค้ากับความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงระยะเวลาหนึ่งของคลังสินค้าแห่งที่ i

3. รูปแบบของระบบคลังสินค้าแบบกระจาย

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟกต์ที่เกิดขึ้นในระบบคลังสินค้าแบบกระจาย ซึ่งจะประกอบไปด้วย ผู้ผลิต 1 แห่ง คลังสินค้า 2 แห่ง และกลุ่มลูกค้า 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบคลังสินค้าแบบกระจาย

กำหนดให้รูปแบบของความ demand ที่เข้ามาให้เป็นแบบออเทอริเกรสชันอันดับที่หนึ่ง [AR(1)] ปกติคลังสินค้าจะไม่ว่างรูปแบบความต้องการของสินค้าเป็นแบบใด ดังนั้นจึงมีการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าโดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบถ่วงเคลื่อนที่เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และกำหนดให้ใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังเป็นแบบสั่งซื้อที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาค่าบูลวิปเอฟเฟกต์ของระบบ

โดยที่ลูกค้ากลุ่มที่ 1 จะทำการซื้อกับคลังสินค้าที่ 1 และลูกค้ากลุ่มที่ 2 จะทำการซื้อกับคลังสินค้าที่ 2 ซึ่งแสดงว่าในระบบคลังสินค้าแบบกระจายจะมีสถานที่เก็บสินค้าอยู่ 2 แห่ง คือ คลังสินค้าที่ 1 และ 2 โดยความต้องการของลูกค้ากลุ่มที่ 1 มีค่า $d_{1,t}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ αD_t และความต้องการของลูกค้ากลุ่มที่ 2 มีค่า $d_{2,t}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(1 - \alpha) D_t$

ในลำดับถัดมาคลังสินค้าของแต่ละแห่งก็จะทำการคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อเพื่อส่งไปให้ผู้ผลิตแห่งเดียวกัน โดยแต่ละคลังสินค้า จะคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้ออย่างอิสระต่อกัน หลังจากที่มีความต้องการของลูกค้าเข้ามาที่ช่วงเริ่มต้นเวลา t แต่ละคลังสินค้าที่ 1 และที่ 2 จะทำการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าของตัวเอง และมีการคำนวณระดับสินค้าคงคลังสูงสุดที่ต้องการ ($s_{i,t}$) เพื่อไปสู่

การคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อ $q_{dw1,t}$ และ $q_{dw2,t}$ ตามลำดับ

ผู้ผลิตจะรับความต้องการของคลังสินค้าที่ 1 และที่ 2 คือ $q_{dw1,t}$ และ $q_{dw2,t}$ ที่เริ่มต้นช่วงเวลา t พร้อมกัน และกำหนดให้ผู้ผลิตจะทำการส่งมอบสินค้าไปยังคลังสินค้าทั้ง 2 แห่งที่เวลาเท่ากันด้วยเวลานำส่ง 1 หน่วยเวลา ($L-1$) นั่นคือคลังสินค้าทั้ง 2 แห่ง จะได้รับสินค้าจากผู้ผลิตที่เริ่มต้นของช่วงเวลา $t+1$

ค่าบูลวิปเอฟเฟกต์ของระบบคลังสินค้าแบบกระจาย (BW_{dw}) หากจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

$$BW_{dw} = \frac{\text{VARIANCE}(q_{dw1,t} + q_{dw2,t})}{\text{VARIANCE}(d_{1,t} + d_{2,t})} = \frac{\text{VARIANCE}(q_{dw,t})}{\text{VARIANCE}(D_t)} \quad (1)$$

นั่นคือ บูลวิปเอฟเฟกต์เท่ากับค่าความแปรปรวนของปริมาณการสั่งซื้อโดยรวมหารด้วยความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าจริง

หมายเหตุ ในงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณากรณีที่คลังสินค้าใช้เทคนิคการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเป็นแบบ AR(1) หรือในกรณีที่ระยะเวลานำส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตถึงคลังสินค้าเท่ากับ 0 เนื่องจากทั้งสองเงื่อนไขไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟกต์ขึ้น ทำให้ความสำคัญของปัญหาจะไม่เกิดขึ้น

4. รูปแบบความต้องการเริ่มต้นและนโยบายการจัดการสินค้าคงคลัง

ความต้องการของลูกค้าโดยรวมเป็นแบบออเทอริเกรสชันอันดับที่หนึ่ง [AR(1)] ซึ่งหาได้จาก

$$D_t = \delta + \phi D_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

ความต้องการของลูกค้าที่เข้ามาที่คลังสินค้าแห่งที่ 1 และ 2 จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$d_{1,t} = \alpha D_t \quad (3)$$

$$d_{2,t} = (1 - \alpha) D_t \quad (4)$$

โดยที่ ϕ มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 เพื่อให้ AR(1) เป็นรูปแบบคงที่ (Stable Process) และ α คือ ส่วนแบ่งทางการตลาดสำหรับลูกค้ากลุ่มที่ 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จะถูกนำมาใช้คำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อของคลังสินค้าแต่ละแห่ง

การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาถัดไป

จะใช้ข้อมูลความต้องการของลูกค้าแต่ละแห่งก่อนหน้าในการคำนวณ ซึ่งคลังสินค้าแต่ละแห่งจะมีช่วงเวลาในการพยากรณ์ของแหล่งที่ 1 และ 2 คือ p_{d_1} และ p_{d_2} เป็นตัวกำหนดว่าจะใช้ข้อมูลย้อนกลับไปที่หมวกกี่ตัว โดยคลังสินค้าทั้ง 2 แห่งสามารถหาค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าได้จาก

$$\hat{d}_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^{p_{d_i}} d_{i,t-j}}{p_{d_i}} \quad (5)$$

คลังสินค้าของแต่ละแห่งจะทำหน้าที่ในการคำนวณหาค่าปริมาณการสั่งซื้อเพื่อส่งให้กับผู้ผลิต จากสูตรนี้

$$Q_{dw,t} = s_{i,t} - (s_{i,t-1} - d_{i,t-1}) \quad (6)$$

ซึ่งสามารถหาระดับสินค้าคงคลังสูงสุดของคลังสินค้าที่ 1 และคลังสินค้าที่ 2 ได้จาก

$$s_{i,t} = \hat{d}_{i,t}^L + z\sigma_{i,t}^L \quad (7)$$

โดยที่ค่าความต้องการของลูกค้าระหว่างระยะเวลานำจากการพยากรณ์ของคลังสินค้าที่ 1 และคลังสินค้าที่ 2 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\hat{d}_{i,t}^L = L\hat{d}_{i,t} \quad (8)$$

เนื่องจากการกำหนดให้ $L-1$ จึงทำให้ $\hat{d}_{i,t}^L = \hat{d}_{i,t}$

และในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ค่า $z=0$ เพื่อลดความซับซ้อนของระบบลง ดังนั้นจะได้ $s_{i,t} = \hat{d}_{i,t}$

5. การจำลองระบบคลังสินค้าแบบกระจาย

จากรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างการจำลองระบบคลังสินค้าแบบกระจาย โดยในแถวที่ 1 ถึงแถวที่ 6 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (อ้างอิงกับคอลัมน์) คือ ส่วนที่ 1 เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด (Input) ให้แก่ระบบ คือ คอลัมน์ A ถึง E และ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่แสดงผลของระบบ (Output) คือ คอลัมน์ I และ J โดยค่าบูลิวิเอฟเฟลจะแสดงอยู่ในเซลล์ที่ J4 ถึง J6 ซึ่งคำนวณมาจากสมการที่ (1)

INPUT					OUTPUT				
phi (φ)	0.80	Lead Time (L)	1	variance of order quantity (σ _o ²)	9.73				
delta (δ)	1050	z (Service level: 90%)	3.0	variance of demand (D _i)	7.25				
Dr (r=0)	960	period of moving average forecasting (1)	5						
variance error	2.60	period of moving average forecasting (2)	5	Bullwhip Effect (BW_{dw})	1.34				
market share (α)	0.20								
time (t)	error (normal dist.)	real demand by AR(1) (D _{1,t})	demand customer 1 (d _{1,t})	moving average forecasting (1)	order quantity 1 (Q _{1,t})	demand customer 2 (d _{2,t})	moving average forecasting (2)	order quantity 2 (Q _{2,t})	Q _{out}
11	1.11	4881.18	976.24	898.94	895.86	3904.95	3595.77	3983.44	4979.30
12	0.23	4954.71	990.94	929.14	1006.44	3716.57	3716.57	4025.75	5032.19
13	0.59	5014.36	1002.87	953.24	1015.04	4011.49	3812.96	4060.16	5075.19
359	-0.86	5249.16	1049.83	1050.28	1049.89	4199.33	4201.11	4199.56	5249.45
360	-3.38	5245.95	1049.19	1050.17	1049.73	4196.76	4200.69	4198.92	5248.65

รูปที่ 2 ตัวอย่างการจำลองระบบคลังสินค้าแบบกระจายที่ช่วงเวลา Δ และ $p = 5$

ผู้วิจัยได้จำลองความต้องการของลูกค้าจากสมการที่(2) ตามคอลัมน์ C (แถวที่ 6 ลงไป) สามารถคำนวณหาค่าความแปรปรวนของความต้องการของลูกค้าตามเซลล์ที่ J3 ในรูปที่ 2 หลังจากนั้น จำลองให้คลังสินค้าแต่ละแห่งคำนวณค่าปริมาณการสั่งซื้อ โดยใช้สูตรสมการที่ (5) ถึง (8) จะได้ $Q_{dw,t}$ ตามคอลัมน์ที่ P ผลลัพธ์ที่จำลองได้ในแต่ละส่วนของช่วงเวลาจะแสดงในแถวถัดลงมา และสามารถคำนวณหาค่าความแปรปรวนของปริมาณคำสั่งซื้อได้ตามเซลล์ที่ J2 ในรูปที่ 2 โดยได้ทำการจำลองทั้งหมด 360 ช่วงเวลาในหนึ่งครั้งการจำลอง

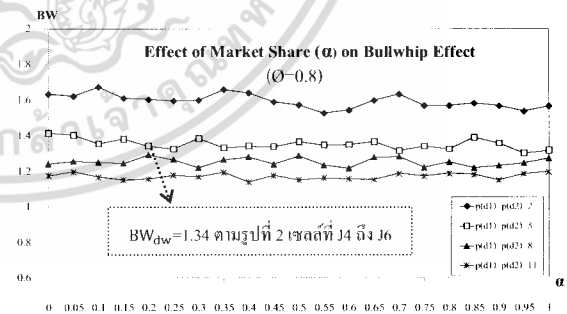
6. ผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนบทความของ Chen et al. [3] ทำให้ทราบว่าปัจจัย δ , σ_e^2 ไม่มีผลต่อค่าบูลิวิเอฟเฟล อีกทั้งปัจจัยที่กำหนดให้มีความถี่ที่ในงานวิจัยนี้ คือ $L-1$ และ $z=0$ เพื่อลดความซับซ้อนของระบบการจำลอง ดังนั้นจะเหลือปัจจัยที่ทำการพิจารณาต่อไปคือ ϕ , p_{d_1} , p_{d_2} และ α

ในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจที่กรณี $p_{d_1} = p_{d_2}$ ซึ่งเท่ากับ p ถัดมาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งได้เป็น 3.หัวข้อดังนี้

1) ผลกระทบของปัจจัย α ต่อ BW_{dw}

การศึกษามูลกระทบของปัจจัย α ต่อ BW_{dw} ดังแสดงในรูปที่ 3 จากวิธีการจำลองพฤติกรรมของบูลิวิเอฟเฟล



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัย α ต่อ BW_{dw}

ซึ่งอธิบายได้ว่า เมื่อค่า α เปลี่ยนแปลงไปตามแกน x ค่าบูลวิปเอฟเฟกต์มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไม่มากนักหรือค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธีแผนแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Completely Randomized Design in Block, CRDB) พบว่า ค่า P-value = 0.233 ซึ่งเป็นการยืนยันว่า α ไม่มีผลกระทบต่อค่า BW_{dw}

2) ผลกระทบของปัจจัย ϕ ต่อ BW_{dw}

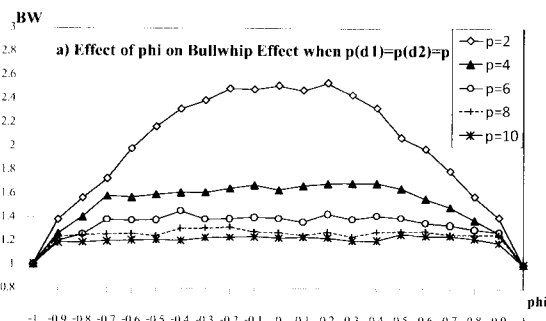
จากการจำลองระบบห่วงโซ่อุปทานดังกล่าวปรากฏการณ์บูลวิปเอฟเฟกต์จะเกิดขึ้นเสมอเมื่อ $|\phi| < 1$ ไม่ว่าค่า p และ α จะเป็นค่าใดก็ตาม เพราะจะทำให้ค่าบูลวิปเอฟเฟกต์มากกว่า 1 เสมอ

ในกรณีที่ค่า p เป็นจำนวนคู่ จากผลลัพธ์ที่ได้ในรูปที่ 4(a) ค่า BW_{dw} จะมีลักษณะเป็นรูปพาราโบลาต่ำกว่าค่านี้นี้ BW_{dw} จะเพิ่มขึ้นค่อนข้างจะเร็ว เมื่อ ϕ เพิ่มขึ้นจาก -1 ไปจนถึง ϕ ค่าคงที่ค่าหนึ่ง หลังจากนั้นค่า BW_{dw} จะค่อยๆ ลดลง เมื่อ ϕ เข้าสู่อีกรูปที่ 1 จะได้ค่า BW_{dw} เข้าสู่อีกรูปที่ 1

ในกรณีที่ค่า p เป็นจำนวนคี่ จากรูปที่ 4(b) ค่า BW_{dw} จะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ เมื่อ ϕ เพิ่มขึ้นจาก -1 ไปจนถึง 1

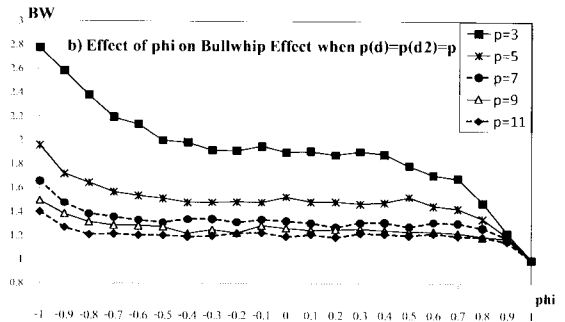
ดังนั้น ที่ p มีค่าน้อย เมื่อค่า ϕ เปลี่ยนไป ค่า BW_{dw} จะอ่อนไหวและเปลี่ยนแปลงง่ายกว่าที่ p มีค่ามาก ผู้วิจัยให้ข้อสังเกตว่า ที่ p มีค่าน้อย ค่า ϕ จะส่งผลต่อค่า BW_{dw} เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ เมื่อค่า p มากๆ ทั้งที่เป็นจำนวนคี่และจำนวนคู่ ตั้งแต่ p=6 หรือ 7 ขึ้นไป จะได้ค่า BW_{dw} ค่อนข้างคงที่ หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อ ϕ เปลี่ยนแปลงไปตามช่วง -1 ถึง 1 และที่ p มากๆ ค่า BW_{dw} จะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า ϕ



รูปที่ 4(a) กราฟความสัมพันธ์ของปัจจัย ϕ ต่อ BW_{dw} เมื่อ

$$p_{d_1} = p_{d_2} = p \text{ เป็นจำนวนคู่}$$



รูปที่ 4(b) กราฟความสัมพันธ์ของปัจจัย ϕ ต่อ BW_{dw} เมื่อ

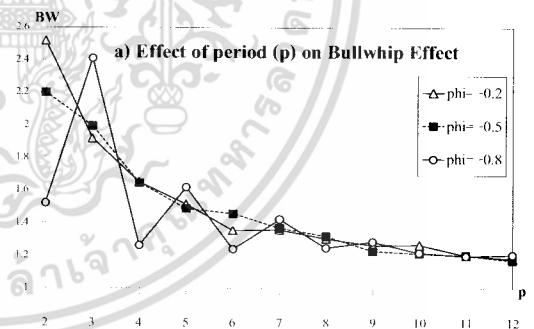
$$p_{d_1} = p_{d_2} = p \text{ เป็นจำนวนคี่}$$

3) ผลกระทบของปัจจัย p ต่อ BW_{dw}

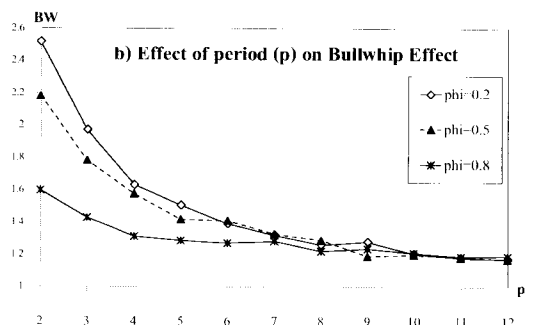
จากรูปที่ 5(a) และ 5(b) จะพบว่า เมื่อ p เพิ่มขึ้นจากน้อยไปมาก จะทำให้ค่า BW_{dw} มีลักษณะลดลงเป็นลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียล และสุดท้ายที่ p มากๆ จะทำให้ค่าบูลวิปเอฟเฟกต์ลดลงและดูเข้าหากำหนดที่ค่าหนึ่ง

จากรูปที่ 5(a) แสดงค่า BW_{dw} เมื่อพิจารณาค่า ϕ เป็นลบ ถ้าค่า p น้อยๆ ค่า BW_{dw} จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือกวัดแกว่งมาก

จากรูปที่ 5(b) แสดงค่า BW_{dw} เมื่อพิจารณาค่า ϕ เป็นบวก ค่า BW_{dw} จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือกวัดแกว่งไม่มาก



รูปที่ 5(a) กราฟความสัมพันธ์ของปัจจัย p ต่อ BW_{dw} เมื่อ ϕ เป็นค่าลบ



รูปที่ 5(b) กราฟความสัมพันธ์ของปัจจัย p ต่อ BW_{dw} เมื่อ ϕ เป็นค่าบวก

$$\text{เมื่อ } \phi \text{ เป็นค่าบวก}$$

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจะเห็นว่า นูลวิปเอฟเฟลคของระบบคลังสินค้าแบบกระจายมีค่าเท่ากับระบบโซ่อุปทานอย่างง่าย (ประกอบด้วยหนึ่งผู้จัดส่งวัตถุดิบและหนึ่งผู้ค้าปลีก) ผลการเปรียบเทียบอ้างอิงจากสูตรทางคณิตศาสตร์งานวิจัยของ Chen et al. [3] ดังแสดงในตารางที่ 1 และจากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-test พบว่า ได้ค่า P-value = 0.625 ซึ่งเป็นการยืนยันว่าค่านูลวิปเอฟเฟลคของระบบโซ่อุปทานทั้งสองแบบไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่านูลวิปเอฟเฟลคระหว่างระบบคลังสินค้าแบบกระจายกับระบบโซ่อุปทานอย่างง่าย โดยใช้ p เท่ากันทั้งสองระบบ

	ระบบคลังสินค้าแบบกระจาย (จากการจำลองระบบ)	ระบบโซ่อุปทานอย่างง่าย (Chen et al. [3])
$\emptyset = 1, p = 2$	1.000	1.000
$\emptyset = 0.9, p = 4$	1.256	1.269
$\emptyset = 0.5, p = 6$	1.359	1.360
$\emptyset = 0.3, p = 8$	1.300	1.299
$\emptyset = -1, p = 2$	1.000	1.000
$\emptyset = -0.9, p = 4$	1.253	1.247
$\emptyset = -0.5, p = 6$	1.401	1.396
$\emptyset = -0.3, p = 8$	1.276	1.283

7. สรุปผลการวิจัย

จากนำเสนอในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่านูลวิปเอฟเฟลค ได้แก่ พารามิเตอร์ของตัวแบบออเทอริเกรสชั่น (\emptyset) และช่วงเวลาในการพยากรณ์ความต้องการแบบถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ p_{d1} (หรือ p)

ค่า α ไม่มีผลต่อค่านูลวิปเอฟเฟลค เมื่อกำหนดให้ $p_{d1} = p_{d2}$ ซึ่งสามารถดูพฤติกรรมของค่านูลวิปเอฟเฟลคได้จากรูปที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าที่ค่า p น้อยค่านูลวิปเอฟเฟลคจะมีแนวโน้มที่สูงกว่าที่ค่า p มาก

จากการเปรียบเทียบค่านูลวิปเอฟเฟลคระหว่างระบบคลังสินค้าแบบกระจายและระบบแบบง่าย (หนึ่งผู้จัดส่งวัตถุดิบ หนึ่งผู้ค้าปลีก และหนึ่งกลุ่มลูกค้า) ด้วยเงื่อนไขระบบคลังสินค้านี้ดังกล่าว ส่งผลให้ค่านูลวิปเอฟเฟลคมีค่าไม่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้เน้นให้เห็นว่า ระบบคลังสินค้าแบบกระจาย ซึ่งมีคลังสินค้าอยู่ 2 แห่ง นั้นหมายถึงมีการ

จัดเก็บสินค้าอยู่ 2 แห่ง และมีการพยากรณ์ความต้องการ 2 ครั้งต่อช่วงเวลา ให้ผลค่านูลวิปเอฟเฟลคไม่แตกต่างกับค่านูลวิปเอฟเฟลคระบบแบบง่าย ซึ่งมีคลังสินค้าอยู่ 1 แห่ง และมีการพยากรณ์ความต้องการ 1 ครั้งต่อช่วงเวลา

8. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Lec, P. Padmanabhan and S. Whang, "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect," Management Science, Vol.43, No.4, pp.546-558, April, 1997.

[2] 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, June, 2000.

[3] F. Chen, Z. Drezner, J.K. Ryan, and D. Simchi-Levi, "Quantify The Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information," Management Science, Vol.46, No.3, pp.436-443, March, 2000.

[4] H.T. Luong, "Measure of Bullwhip in Supply Chains with Autoregressive Demand Process," European Journal of Operation Research, Vol.180, No.3, pp. 1086-1097, August, 2007.

[5] K. Sirikasemsuk, "Impact of Correlation Coefficient between Two Market Demands on Bullwhip Effect with AR(1) Models in Supply Chain," Proceedings of The 7th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, (ICII 2014), Vol.2, pp.313-318, October 25-26, 2014.

[6] K. Sirikasemsuk and H.T. Luong, "Measure of Bullwhip Effect a Dual Sourcing Model," International Journal Operational Research, Vol.20, No.4, pp. 396-426, 2014.