

การหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมเมื่ออุปสงค์และระยะเวลาการหยุดชะงักของ อุปทานแจกแจงอย่างไม่ต่อเนื่อง

ณัฐวุฒิ วิเชียรพงษ์¹ และ จิรเกียรติ ทรายทอง^{*2}

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
199 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา ชลบุรี 20230

Received: 13 October 2020; Revised: 27 December 2020; Accepted: 8 February 2021

บทคัดย่อ

การที่มีความเป็นไปได้ของอุปทานที่จะเกิดการหยุดชะงัก องค์กรจำเป็นต้องมีวิธีการเพื่อจัดการกับปัญหาดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้ใช้การถือครองสินค้าคงคลังเพื่อจัดการกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานภายใต้ระบบสต็อกมูลฐานที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือเพื่อหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุด การพิจารณาความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานให้มีการแจกแจงอย่างไม่ต่อเนื่องสามารถช่วยองค์กรให้ได้ระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมเมื่อทั้งความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานไม่พอดีกับการแจกแจงแบบใดเลยซึ่งเป็นสิ่งที่งานวิจัยชิ้นนี้แตกต่างจากวรรณกรรมที่ปรากฏอยู่ จากการทดลองเชิงตัวเลขโดยใช้หลากหลายค่าพารามิเตอร์พบว่าสามารถคำนวณหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมและต้นทุนรวมที่คาดหวังที่ต่ำที่สุดต่อหน่วยเวลาได้

คำสำคัญ: การหยุดชะงักของอุปทาน การถือครองสินค้าคงคลัง ระบบสต็อกมูลฐาน ระบบทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะ

* Corresponding author. E-mail: chirakiat@eng.src.ku.ac.th

¹ นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Determining the Optimal Base Stock Level when Demand and Supply Disruption Length are Discretely Distributed

Natthawut Wichianpong¹ and Chirakiat Saithong^{*2}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
Sriracha Campus 199 Sukhumvit Rd., Tung-Sukla, Sriracha, Chonburi 20230, Thailand

Received: 13 October 2020; Revised: 27 December 2020; Accepted: 8 February 2021

Abstract

In the face of possibility of supply disruption, an organization needs an approach to deal with the problem. This research work uses an inventory holding approach to address the supply disruption problem under a periodic review base stock inventory system. The objective of this research work is to determine the optimal base stock level, which yields the minimum total costs per unit of time. Considering both demand and supply disruption length as discrete distributions can help an organization derives the optimal base stock level when both demand and supply disruption length do not fit with any prevailed distribution, which fills the gap in the literature. In the numerical experiment section, using a wide range of parameters, it is found that the optimal base stock level and the minimum expected total costs per unit of time can be determined.

Keywords: supply disruption, inventory holding, base stock system, periodic review inventory system.

* Corresponding author. E-mail: chirakiat@eng.src.ku.ac.th

¹ Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

² Lecturer in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

1. บทนำ

การดำเนินธุรกิจในปัจจุบันมักเกิดความเสี่ยงอันเนื่องมาจากเหตุการณ์แบบสุ่มที่เกิดจากผู้ส่งมอบ เช่น อุบัติเหตุ ความขัดแย้งของแรงงาน หรือปัญหาอื่นๆของผู้ส่งมอบที่ทำให้เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน (supply disruption) ผลจากการหยุดชะงักของอุปทาน นอกจากจะทำให้ขาดแคลนสินค้าหรือวัตถุดิบที่ป้อนเข้าในกระบวนการผลิตแล้วยังทำให้บริษัทต้องสูญเสียกำไรและค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น ปัญหาการประท้วงของคนงานในท่าเรือแห่งหนึ่งในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ทำให้เกิดการขาดแคลนสินค้าบางรายการในธุรกิจค้าปลีก ปัญหาการล้มละลายของผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่งส่งผลกระทบต่อ การดำเนินการผลิตของบริษัท ฟอर्ड มอเตอร์ เป็นต้น [1] ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์การจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการหยุดชะงักของอุปทานนี้

การถือครองสินค้าคงคลัง (Inventory holding) เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยบรรเทาผลกระทบจากการหยุดชะงักของอุปทานได้และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่ระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานไม่นานเกินไป [2] หากกำหนดนโยบายสินค้าคงคลังไม่เหมาะสม จะทำให้มีสินค้าคงคลังไม่เพียงพอกับความต้องการหรือมากเกินไปกว่าความจำเป็นได้ ซึ่งทำให้เกิดผลที่ตามมาคือต้นทุนสูงขึ้น ดังนั้นในการใช้วิธีการถือครองสินค้าคงคลังเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการหยุดชะงักของอุปทาน องค์กรต้องกำหนดนโยบายสินค้าคงคลังให้เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุดภายใต้การมีความเป็นไปได้ของการหยุดชะงักของอุปทานในระบบสต็อกมูลฐานที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะ (Periodic review base stock system) สำหรับงานวิจัยที่พิจารณาความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอนร่วมกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานแบบสุ่มในระบบสต็อกมูลฐานที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะนี้ [3-9] พิจารณาความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นตัวแปรสุ่มที่แจกแจงตามความน่าจะเป็นแบบต่างๆ ถึงอย่างไรก็ตามทั้งความต้องการสินค้าและ

ระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานอาจไม่สามารถพหุติกับการแจกแจงแบบใดเลยก็ได้และสมควรกำหนดเป็นการแจกแจงแบบฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็น (Probability mass function) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมในระบบการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะเมื่อความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานมีการแจกแจงแบบฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถพหุติกับการแจกแจงแบบใดเลย (Arbitrary probability mass function)

2. ทบทวนวรรณกรรม

วิธีการถือครองสินค้าคงคลังสามารถนำมาใช้เพื่อบรรเทาผลกระทบจากการหยุดชะงักของอุปทานได้ [10] ศึกษาปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานและการควบคุมระดับสินค้าคงคลังโดยใช้ระบบการทบทวนสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่องภายใต้ความต้องการสินค้าที่คงที่และไม่พิจารณาเวลานำ [11] พิจารณาระบบการทบทวนสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่องด้วยเช่นกันสำหรับกรณีที่ความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นแบบสุ่มและพิจารณาเวลานำ โดยฟังก์ชันต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ [12] เสนอแบบจำลองการตัดสินใจสินค้าคงคลังที่เป็นแบบจำลองการสั่งครั้งเดียวและสั่งซื้อสินค้าจากผู้ส่งมอบโดยที่ทั้งสองผู้ส่งมอบมีความเป็นไปได้ที่จะประสบปัญหาซึ่งทำให้เกิดการหยุดชะงักของอุปทานขึ้น [13] พิจารณาระบบที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทานที่มีการสั่งซื้อจากผู้ส่งมอบสองรายด้วยเช่นกันแต่ได้เพิ่มสิทธิของผู้ซื้อทางปลายน้ำของห่วงโซ่อุปทานที่สามารถมีสิทธิ์สั่งซื้อสินค้าโดยตรงจากผู้ผลิตได้โดยไม่ต้องผ่านผู้กระจายสินค้า

สำหรับงานวิจัยที่พิจารณาความเป็นไปได้ของการหยุดชะงักของอุปทานในระบบสต็อกมูลฐานที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะ [3] พิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องเพื่อหาจำนวนสต็อกมูลฐานที่เหมาะสม [4] ศึกษาการใช้วิธีการถือครองสินค้าคงคลังจากผู้ส่งมอบเพียงรายเดียวที่มีความ

เป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาการหยุดชะงักของอุปทาน โดยสามารถสร้างสูตรสำเร็จรูปของระดับสต็อกมูลฐานสำหรับบางการแจกแจงความต้องการสินค้า [5] กำหนดนโยบายสินค้าคงคลังที่เหมาะสมโดยพิจารณาความไม่แน่นอนของผลผลิตร่วมกับความไม่แน่นอนของอุปทาน [6] ศึกษากรณีของผู้ส่งมอบต้องประสบปัญหาการขัดข้องของอุปทานโดยรวมความไม่แน่นอนของเหตุการณ์การหยุดชะงักของอุปทานแบบสุ่มเข้ากับความไม่แน่นอนจากผลผลิตเพื่อหาจำนวนสินค้าคงคลังที่เหมาะสม โดยสร้างสูตรสำเร็จรูปเพื่อประมาณค่าของระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสม [7] พัฒนาระบบการควบคุมสินค้าคงคลังโดยใช้แบบจำลองปริมาณการสั่งซื้อครั้งเดียวหรือแบบจำลองเด็กส่งหนังสือพิมพ์โดยที่มีการจัดหาสินค้าจากผู้ส่งมอบสองราย ผู้ส่งมอบรายแรกขายสินค้าให้ในราคาขายส่งที่ถูกกว่าแต่ไม่น่าเชื่อถือซึ่งอยู่ภายใต้การหยุดชะงักแบบสุ่ม ผู้ส่งมอบรายที่สองเป็นผู้ส่งมอบที่เชื่อถือได้แต่ขายสินค้าให้ในราคาแพงกว่า [8] พิจารณาการหยุดชะงักของอุปทานอันเนื่องมาจากการขนส่งที่ท่าเรือเดินทะเล [9] พิจารณาความต้องการสินค้าแบบพีชชี กระบวนการผลิตที่อาจจะผลิตของเสีย และมีความเป็นไปได้ที่จะตรวจสอบคุณภาพสินค้าผิดพลาดเพื่อหา นโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม [14] ศึกษาปัญหาการเกิดการชะงักของอุปทานอันเนื่องมาจากการปฏิเสธวัตถุดิบที่มีปัญหาคุณภาพในระบบการทบทวนสินค้าคลังแบบเป็นระยะ [15] ทำการหาสูตรสำเร็จรูปสำหรับระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมเมื่อมีความเป็นไปได้ของการหยุดชะงักของอุปทาน โดยที่ระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องและสินค้าที่ไม่พอขาย (Shortage inventory) สามารถเป็นไปได้ทั้งการส่งคืนในภายหลัง (Backorder) และการเสียยอดขาย (Lost sale)

จากงานวิจัยข้างต้น การพิจารณาความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน (Stochastic demand) ภายใต้ระบบสต็อกมูลฐานที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะ (Periodic review base stock system) ได้มีการกำหนดให้ความต้องการสินค้าและระยะเวลาของการหยุดชะงักของอุปทานเป็นตัวแปรสุ่มที่ทราบลักษณะการแจกแจง เช่น [3] กำหนดให้ความต้องการสินค้ามีการแจกแจงแบบ Poisson และระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานมีการแจกแจงแบบ Exponential [4] และ [6]

กำหนดความต้องการสินค้าให้มีการแจกแจงแบบ Normal และระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานมีการแจกแจงแบบ Geometric [5] กำหนดความต้องการสินค้าให้มีการแจกแจงแบบ Uniform และระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานมีการแจกแจงแบบ Geometric จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่าวรรณกรรมที่ปรากฏอยู่ได้กำหนดความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานให้เป็นตัวแปรสุ่มที่ขึ้นตามการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบใดแบบหนึ่ง มีเพียงงานวิจัยของ [8] เท่านั้นที่พิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นที่ไม่ได้มีการแจกแจงแบบใดเลย (Arbitrary probability mass function) ถึงอย่างไรก็ตาม [8] พิจารณาการหยุดชะงักของการขนส่ง (Transportation disruption) แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้พิจารณาการหยุดชะงักอันเนื่องมาจากปัญหาต่างๆของผู้ส่งมอบ (Facility disruption) นอกจากนี้งานวิจัยชิ้นนี้ยังได้กำหนดความต้องการสินค้าให้เป็นตัวแปรสุ่มที่มีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นที่ไม่ได้มีการแจกแจงแบบใดเลย (Arbitrary probability mass function) ด้วยเช่นกัน

ในการพิจารณาตัวแปรสุ่มที่ถูกใช้เป็นตัวกำหนดความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน ต้องนำข้อมูลดิบของทั้งความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานมาทำการหาฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อหาการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่เหมาะสม การพิจารณาความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่เป็นฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นที่ไม่ได้มีการแจกแจงแบบใดเลยนี้มีข้อดีคือองค์กรสามารถทำการกำหนดระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมได้โดยที่ข้อมูลความต้องการสินค้าและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานไม่สอดคล้องกับการแจกแจงแบบใดเลย การพิจารณาสิ่งเหล่านี้ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นสิ่งใหม่และยังไม่พบว่ามีวรรณกรรมใดที่กำหนดระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้าและระยะเวลาของการหยุดชะงักของอุปทานในรูปแบบดังกล่าวนี้

3. การกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้พิจารณาแบบที่ประกอบไปด้วยหนึ่งผู้ส่งมอบและหนึ่งผู้ซื้อโดยที่ผู้ซื้อใช้ระบบสต็อกมูลฐานที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังเป็นระยะ (Periodic review base stock system) ผู้ส่งมอบมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัญหาและไม่สามารถส่งมอบได้ตามเวลาที่ผู้ซื้อกำหนดจึงทำให้ผู้ซื้อต้องหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสม (Optimal base stock level) เพื่อให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุด ต้นทุนที่พิจารณาได้แก่ต้นทุนสินค้าคงเหลือและต้นทุนสินค้าขาดมือโดยที่ทั้งต้นทุนสินค้าคงเหลือและต้นทุนสินค้าขาดมือเป็นต้นทุนที่ไม่พิจารณามูลค่าของสินค้าและสินค้าขาดมือจะทำให้เกิดต้นทุนการเสียโอกาสการขาย (Lost Sale)

การที่จะให้ได้มาซึ่งระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมมีความจำเป็นต้องสร้างฟังก์ชันต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลา ก่อน ในหัวข้อนี้จะสร้างฟังก์ชันต้นทุนรวมของทั้งกรณีที่ไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทานและกรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทานโดยใช้สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

T = รอบเวลาการสั่งหรือเติมสินค้า

S = ระดับสต็อกมูลฐาน

D_T = ตัวแปรสุ่มของความต้องการสินค้า

$P\{D_T = \varepsilon_T\}$ = ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของ D_T

h = ต้นทุนต่อหน่วยเมื่อมีสินค้าคงคลังเหลือ

c = ต้นทุนต่อหน่วยเมื่อมีสินค้าคงคลังขาดมือ

Y = ตัวแปรสุ่มของระยะเวลาที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

$P\{Y = y\}$ = ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องของ Y

D = ความต้องการสินค้าที่ทราบค่าแน่นอน (Deterministic demand) ระหว่างการหยุดชะงักของอุปทาน

p = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

A = ตัวแปรสุ่มของระยะเวลาในรอบคงคลังสุดท้าย

Z = ตัวแปรสุ่มของระยะเวลาในรอบการต่ออายุ

$TC_a(S)$ = ต้นทุนรวมที่คาดหวังในกรณีที่ไม่มีเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

$TC_b(S)$ = ต้นทุนรวมที่คาดหวังในกรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

$TC(S)$ = ต้นทุนรวมที่คาดหวัง

$TCU(S)$ = ต้นทุนรวมที่คาดหวังต่อหน่วยเวลา

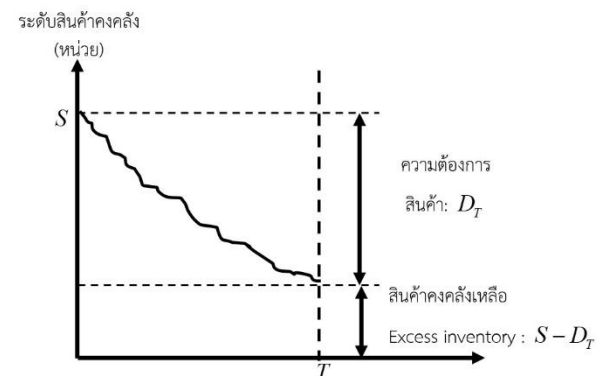
3.1 กรณีที่ไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

รูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงสถานการณ์ที่เป็นไปได้สำหรับกรณีที่สินค้าคงเหลือและสินค้าขาดมือตามลำดับ ปริมาณสินค้าคงคลังที่เหลือมีค่าเท่ากับ $S - D_T$ ดังนั้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการมีสินค้าคงคลังเหลือคือ

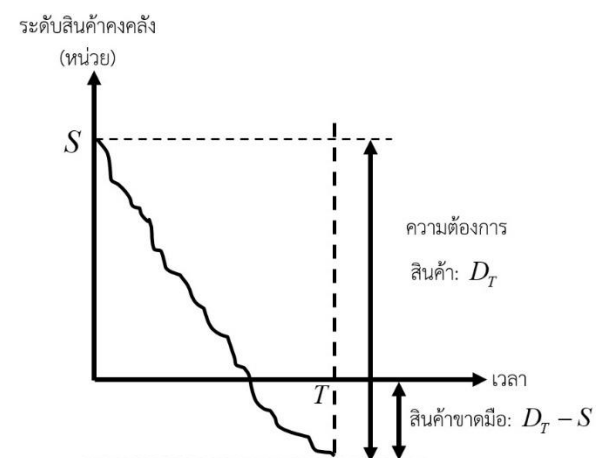
$$= h \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - \varepsilon_T) P\{D_T = \varepsilon_T\}$$

ปริมาณสินค้าคงคลังที่ขาดมือมีค่าเท่ากับ $D_T - S$ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการที่สินค้าคงคลังขาดมือคือ

$$= c \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} (\varepsilon_T - S) P\{D_T = \varepsilon_T\}$$



รูปที่ 1 กรณีเมื่อสินค้าคงคลังมากกว่าความต้องการสินค้าและไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน



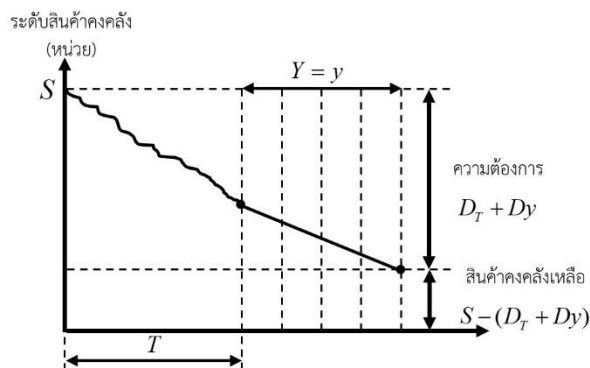
รูปที่ 2 กรณีเมื่อสินค้าคงคลังน้อยกว่าความต้องการสินค้าและไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

ดังนั้นต้นทุนรวมในกรณีที่ไมเกิดการหยุดชะงักของอุปทานคือ

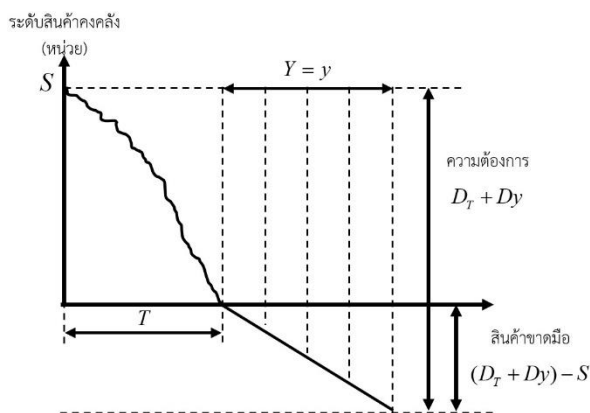
$$TC_a(S) = h \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - \varepsilon_T) P\{D_T = \varepsilon_T\} + c \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} (\varepsilon_T - S) P\{D_T = \varepsilon_T\} \quad (1)$$

3.2 กรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงสถานการณ์ที่เป็นไปได้สำหรับกรณีที่สินค้าคงเหลือและสินค้าขาดมือเมื่อเกิดการหยุดชะงักของอุปทานเป็นระยะเวลา y ตามลำดับ ปริมาณสินค้าคงคลังที่เหลือมีค่าเท่ากับ $S - (D_T + Dy)$ ดังนั้น ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกรณีที่สินค้าคงเหลือเมื่อเกิดการชะงักของอุปทานเป็นระยะเวลา y คือ



รูปที่ 3 กรณีเมื่อสินค้าคงคลังมากกว่าความต้องการสินค้า และเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน



รูปที่ 4 กรณีเมื่อสินค้าคงคลังน้อยกว่าความต้องการสินค้า และเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

$$= h \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - (\varepsilon_T + Dy)) P\{D_T = \varepsilon_T\}$$

ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกรณีที่สินค้าคงคลังขาดมือเมื่อเกิดการหยุดชะงักของอุปทานเป็นระยะเวลา y คือ

$$= c \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} ((\varepsilon_T + Dy) - S) P\{D_T = \varepsilon_T\}$$

ดังนั้นต้นทุนรวมในกรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทานคือ

$$TC_b(S) = \left(h \sum_y \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - (\varepsilon_T + Dy)) P\{D_T = \varepsilon_T\} P\{Y = y\} + c \sum_y \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} ((\varepsilon_T + Dy) - S) P\{D_T = \varepsilon_T\} P\{Y = y\} \right) \quad (2)$$

3.3 การหาระยะเวลาที่คาดหวังใน Renewal Cycle

ค่าความคาดหวังของระยะเวลาใน Renewal Cycle คือ

$$E[Z] = pE[A] + (1-p)T \quad (3)$$

โดยที่ $E[A]$ คือ

$$E[A] = T + E[Y] \quad (4)$$

นำ (4) แทนลงใน (3) จะได้

$$E[Z] = T + pE[Y] \quad (5)$$

3.4 การหาต้นทุนรวมที่คาดหวังต่อหน่วยเวลา

ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาคือ

$$E[TCU(S)] = \frac{E[TC(S)]}{E[Z]} \quad (6)$$

โดยที่

$$E[TC(S)] = (1-p)TC_a(S) + pTC_b(S) \quad (7)$$

นำ (5) และ (7) แทนลงใน (6) จะได้

$$E[TCU(S)] = \frac{(1-p)TC_a(S) + pTC_b(S)}{T + pE[Y]}$$

$$= \frac{\left((1-p) \left(h \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - \varepsilon_T) P\{D_T = \varepsilon_T\} + c \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} (\varepsilon_T - S) P\{D_T = \varepsilon_T\} \right) + p \left(h \sum_y \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - (\varepsilon_T + Dy)) P\{D_T = \varepsilon_T\} P\{Y = y\} + c \sum_y \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} ((\varepsilon_T + Dy) - S) P\{D_T = \varepsilon_T\} P\{Y = y\} \right) \right)}{T + pE[Y]} \quad (8)$$

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

จาก (8) จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนด $p=0$ ซึ่งหมายความว่าไม่มีโอกาสที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทานเลย ทำให้ $E[TCU(S)]$ ข้างต้นกลายเป็น

$$E[TCU(S)] = \frac{\left(h \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - \varepsilon_T) P\{D_T = \varepsilon_T\} + c \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} (\varepsilon_T - S) P\{D_T = \varepsilon_T\} \right)}{T} \quad (9)$$

จาก (9) แสดงให้เห็นต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาในแบบจำลองของผู้ขายหนังสือพิมพ์ดั้งเดิม (Traditional newsvendor model) เมื่อไม่มีโอกาสในการเกิดการหยุดชะงักของอุปทานเลย โดยมีความยาวรอบ (Cycle length) เท่ากับ T จากนั้นกำหนดให้ $p=1$ ซึ่งหมายความว่าเกิดการหยุดชะงักของอุปทานอย่างแน่นอน ทำให้ $E[TCU(S)]$ ใน (8) กลายเป็น

$$E[TCU(S)] = \frac{\left(h \sum_y \sum_{\varepsilon_T=0}^S (S - (\varepsilon_T + Dy)) P\{D_T = \varepsilon_T\} P\{Y = y\} + c \sum_y \sum_{\varepsilon_T=S+1}^{\infty} ((\varepsilon_T + Dy) - S) P\{D_T = \varepsilon_T\} P\{Y = y\} \right)}{T + E[Y]} \quad (10)$$

จาก (10) แสดงให้เห็นถึงต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาที่มีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองของผู้ขายหนังสือพิมพ์ดั้งเดิม (Traditional newsvendor model) โดยที่มีความต้องการสินค้ารวมเท่ากับความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาทบทวนสินค้าคงคลังรวมกับความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน y ซึ่งเท่ากับ $(\varepsilon_T + Dy)$ โดยมีค่าความคาดหวังของความยาว

รอบ (Expected cycle length) เท่ากับ $T + E[Y]$ เพิ่มเติมจากนี้เมื่อกำหนดให้ $y=0$ และ $P\{Y=0\}=1$ ใน (10) (ซึ่งหมายความว่า จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทานขึ้นอย่างแน่นอนเมื่อเกิดการหยุดชะงักของอุปทานขึ้นแล้วระยะเวลาของการหยุดชะงักเป็นศูนย์) จะทำให้ (10) ลดรูปลงเป็น (9) ซึ่งเป็นต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาเมื่อไม่มีการหยุดชะงักของอุปทาน

จากข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลองโดยการวิเคราะห์แบบจำลองที่สร้างขึ้นในกรณีปลายสุด (Extreme cases) ผลของการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงค่าความคาดหวังต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาที่แสดงใน (8) ลดรูปลงที่มีลักษณะเหมือน/คล้ายกับแบบจำลองของผู้ขายหนังสือพิมพ์ดั้งเดิมได้อย่างสมเหตุสมผล นอกจากนี้ในการทดลองเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไวดังแสดงในหัวข้อถัดไปสามารถแสดงให้เห็นถึงการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ได้อย่างสมเหตุสมผลด้วย

4. การทดลองเชิงตัวเลขและวิเคราะห์ความไว

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนรวมที่คาดหวังต่อหน่วยเวลาที่ได้นั้นจำเป็นต้องทำการทดลองเชิงตัวเลขเพื่อตรวจสอบว่าภายใต้ความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอนและระยะเวลาที่อุปทานเกิดการหยุดชะงักที่ทราบฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็น องค์กรต้องกำหนดระดับสต็อกมูลฐานในปริมาณเท่าไรจึงจะทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุด ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ การทดลองเชิงตัวเลขเพื่อตรวจสอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ และการวิเคราะห์ความไวเพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์

4.1 การทดลองเชิงตัวเลข

กำหนดให้ Base case มีพารามิเตอร์ค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ $T = 15$ วัน, $h = 12$ บาทต่อหน่วย, $c = 42$ บาทต่อหน่วย, $D = 6$ หน่วยต่อวัน, $p = 0.3$ และฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการทบทวนสินค้าคงคลังและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นไปดังตารางที่ 1 จากค่าพารามิเตอร์ใน Base

case เมื่อนำไปคำนวณหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมต่อวันที่น้อยที่สุดจะได้ $S^* = 153$ หน่วย ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุด $E[TCU(S^*)] = 25.37$ บาทต่อวัน

ตารางที่ 1 ฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นสำหรับ Base case

$D_T = \varepsilon_T$	95	100	105	120	135
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.05	0.10	0.02	0.08	0.25
$D_T = \varepsilon_T$	140	145	150		
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.15	0.30	0.05		
$Y = y$	1	3	7	10	
$P\{Y = y\}$	0.10	0.25	0.50	0.15	

จากนั้นจึงทำการทดลองเชิงตัวเลขเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบในสถานการณ์ที่มีข้อมูลของพารามิเตอร์ที่หลากหลายนั้น องค์กรต้องมีระดับสต็อกมูลฐานในปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสมที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมต่อวันที่น้อยที่สุด ในการนี้การทดลองเชิงตัวเลขจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ชุดดังต่อไปนี้

การทดลองเชิงตัวเลขชุดที่ 1 มีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ $T = 15$ วัน, $h = 5$ บาทต่อหน่วย, $c = 10$ บาทต่อหน่วย, $D = 5$ หน่วยต่อวัน, $p = 0.1$ และมีฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการทบทวนสินค้าคงคลังและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นไปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดลองเชิงตัวเลขชุดที่ 1

$D_T = \varepsilon_T$	10	25	30	45	50
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1
$D_T = \varepsilon_T$	65	70	85	90	100
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.1	0.2	0.2	0.05	0.05
$Y = y$	1	3	4	10	
$P\{Y = y\}$	0.05	0.05	0.1	0.8	

จากค่าพารามิเตอร์ข้างต้นเมื่อนำไปคำนวณหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสม (Optimal base stock level) ที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมต่อวันที่น้อยที่สุด จะได้ $S^* = 85$ หน่วย ซึ่ง

ทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุด $E[TCU(S^*)] = 9.25$ บาทต่อวัน

การทดลองเชิงตัวเลขชุดที่ 2 มีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ $T = 7$ วัน, $h = 25$ บาทต่อหน่วย, $c = 30$ บาทต่อหน่วย, $D = 4$ หน่วยต่อวัน, $p = 0.25$ และมีฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการทบทวนสินค้าคงคลังและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดลองเชิงตัวเลขชุดที่ 2

$D_T = \varepsilon_T$	55	58	66	74	79
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
$D_T = \varepsilon_T$	82	86	93	97	100
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.05	0.2	0.05	0.05	0.05
$Y = y$	1	3	5	7	
$P\{Y = y\}$	0.1	0.1	0.2	0.6	

จากค่าพารามิเตอร์ข้างต้นเมื่อนำไปคำนวณหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสม (Optimal base stock level) ที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมต่อวันที่น้อยที่สุด จะได้ $S^* = 86$ หน่วย ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุด $E[TCU(S^*)] = 42.99$ บาทต่อวัน

การทดลองเชิงตัวเลขชุดที่ 3 มีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ $T = 7$ วัน, $h = 50$ บาทต่อหน่วย, $c = 60$ บาทต่อหน่วย, $D = 10$ หน่วยต่อวัน, $p = 0.25$ และมีฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการทบทวนสินค้าคงคลังและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นไปดังตารางที่ 4

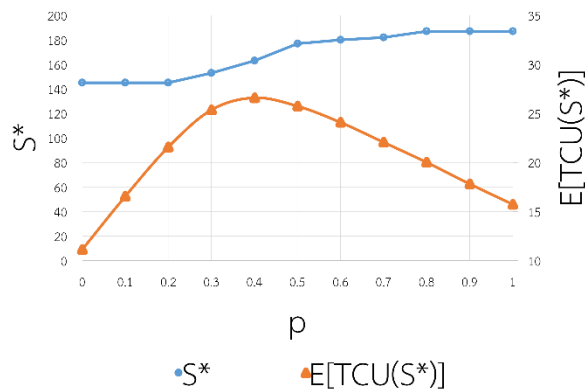
ตารางที่ 4 การทดลองเชิงตัวเลขชุดที่ 3

$D_T = \varepsilon_T$	50	60	70	80	90
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.14	0.16	0.18	0.02	0.25
$D_T = \varepsilon_T$	100	110	120	130	140
$P\{D_T = \varepsilon_T\}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$Y = y$	3	5	9	15	
$P\{Y = y\}$	0.06	0.14	0.28	0.52	

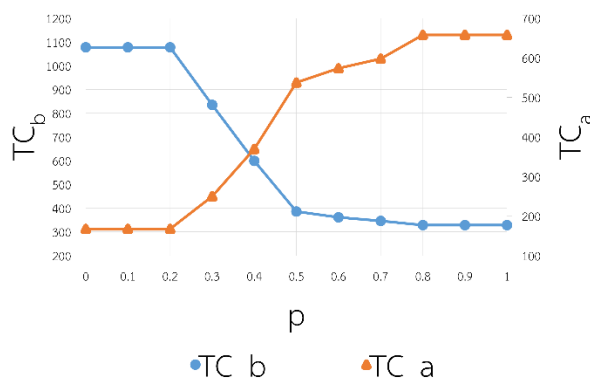
จากค่าพารามิเตอร์ข้างต้นเมื่อนำไปคำนวณหาระดับสต็อก
 ฐานที่เหมาะสม (Optimal base stock level) ที่ทำให้
 เกิดต้นทุนรวมต่อวันที่น้อยที่สุด จะได้ $S^* = 90$ หน่วย ซึ่ง
 ทำให้ ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาที่น้อยที่สุด
 $E[TCU(S^*)] = 250.18$ บาทต่อวัน

4.2 การวิเคราะห์ความไว

ในหัวข้อย่อยนี้เป็นการตรวจสอบผลกระทบของ
 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ p , $E[Y]$, h , และ c
 ที่มีต่อระดับสต็อกฐานที่เหมาะสมและต้นทุนรวมต่อ
 หน่วยเวลาที่น้อยที่สุด

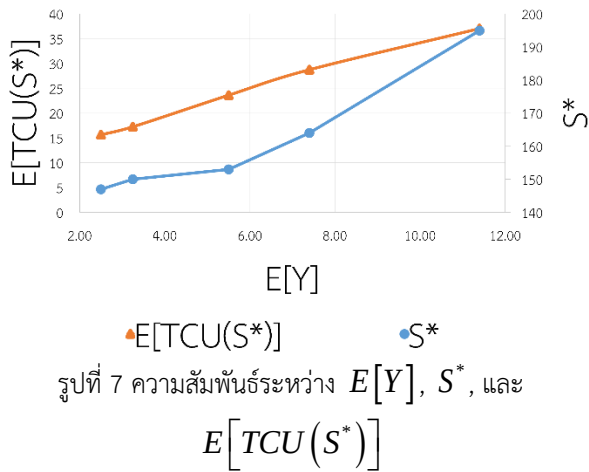


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง p , S^* , และ
 $E[TCU(S^*)]$

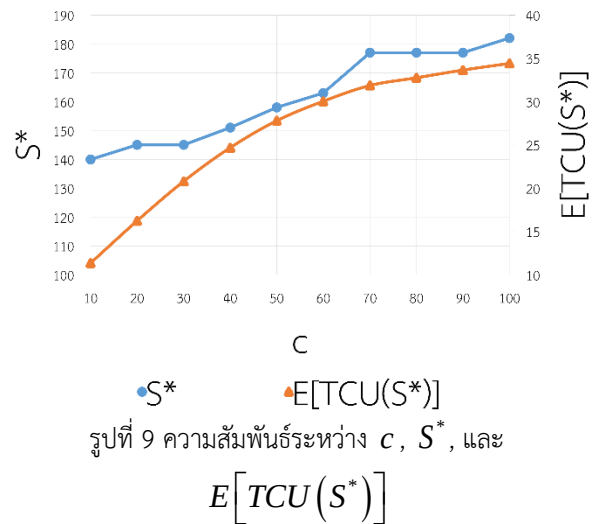
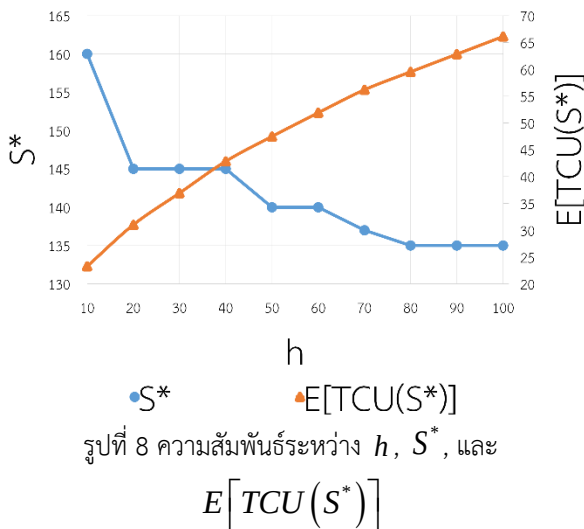


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง p , $TC_a(S^*)$, และ
 $TC_b(S^*)$

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อ p เพิ่มขึ้นจะทำให้
 S^* เพิ่มขึ้น ในขณะที่ $E[TCU(S^*)]$ จะเพิ่มขึ้นจนถึง
 ค่าหนึ่งแล้วลดลง เพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิด
 ปรากฏการณ์นี้ $E[TCU(S^*)]$ จะถูกแยกออกเป็น 2
 ส่วน คือ $TC_a(S^*)$ และ $TC_b(S^*)$ จากรูปที่ 6 จะ
 เห็นได้ว่า $TC_a(S^*)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ p เพิ่มขึ้น
 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ p ทำให้ S^*
 เพิ่มขึ้น (ดังที่แสดงในรูปที่ 5) และทำให้ $TC_a(S^*)$
 เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของ p ในบางช่วง
 จะไม่ทำให้ทั้ง S^* และ $TC_a(S^*)$ เพิ่มขึ้น (เช่น $p = 0, 0.1, 0.2$ เป็นต้น) สำหรับ $TC_b(S^*)$ จากรูปที่ 6 จะเห็น
 ได้ว่า $TC_b(S^*)$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อ p เพิ่มขึ้น สาเหตุ
 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ p ทำให้ S^* มี
 แนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังที่แสดงในรูปที่ 5) และไปช่วยบรรเทา
 ต้นทุนการขาดแคลนสินค้าที่เกิดจากการหยุดชะงักของ
 อุปทานได้ และเป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของ p ใน
 บางช่วงจะไม่มีผลกระทบต่อ $TC_b(S^*)$ (เช่น เมื่อ $p = 0, 0.1, 0.2$ เป็นต้น) ดังนั้นในการที่จะให้ได้มาซึ่ง
 $E[TCU(S^*)]$ นั้น $TC_a(S^*)$ จะถูกนำมาคูณด้วย
 $(1-p)$ ในขณะที่ $TC_b(S^*)$ จะถูกนำมาคูณด้วย p
 (ดังแสดงในสมการที่ (7)) ซึ่งเมื่อ p เพิ่มขึ้นจึง
 เปรียบเสมือนเป็นการลดความสำคัญของ $TC_a(S^*)$ ที่มี
 ต่อ $E[TCU(S^*)]$ ลง แต่ในทางตรงกันข้ามผลกระทบ
 จาก $TC_b(S^*)$ จะมีความสำคัญต่อ $E[TCU(S^*)]$
 มากขึ้น เมื่อ p เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด
 ปรากฏการณ์ที่ $E[TCU(S^*)]$ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง
 ก่อนที่จะลดลงเมื่อ p เพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้



รูปที่ 7 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง $E[Y]$ ที่มีต่อ S^* และ $E[TCU(S^*)]$ ฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของ Y ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความไวได้ถูกแสดงไว้ในภาคผนวก จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่คาดหวังเพิ่มขึ้นจะทำให้ S^* เพิ่มขึ้น ดังนั้นการที่องค์กรถือครองสินค้าคงคลังมากขึ้นทำให้เกิดผลที่ตามมาคือ $E[TCU(S^*)]$ ที่สูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 8 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง h ที่มีต่อ S^* และ $E[TCU(S^*)]$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อ h เพิ่มขึ้นทำให้ S^* มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ $E[TCU(S^*)]$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เกิดปรากฏการณ์นี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ h เป็นการเพิ่มต้นทุนให้องค์กรถ้าสั่งสินค้ามาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ รูปที่ 9 แสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง c ที่มีต่อ S^* และ $E[TCU(S^*)]$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อ c เพิ่มขึ้นทำให้ทั้ง S^* และ $E[TCU(S^*)]$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เกิดปรากฏการณ์นี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ c ทำให้้องค์กรต้องสั่งสินค้ามากขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงต้นทุนการขาดแคลนสินค้า ดังนั้นต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไวข้างต้นพบว่าองค์กรสามารถคำนวณหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมและต้นทุนรวมที่คาดหวังที่ต่ำที่สุดต่อหน่วยเวลาได้ ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาไปใช้ได้เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์และฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการทบทวนสินค้าคงคลังและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาหาหนโยบายสินค้าคงคลังที่เหมาะสมภายใต้การมีความเป็นไปได้ของการหยุดชะงักของอุปทานและความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลามีค่าน้อยที่สุดโดยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงวิเคราะห์ของต้นทุนรวมที่คาดหวังต่อหน่วยเวลาภายใต้ปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากวรรณกรรมที่มีอยู่คือมีการพิจารณาฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าและฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานซึ่งทำให้สามารถหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมเมื่อความต้องการสินค้าและระยะเวลาของการหยุดชะงักของอุปทานไม่พอดีกับการแจกแจงแบบใดเลยได้ จากการทดลองเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไวได้แสดงให้เห็นว่าระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาน้อยที่สุดสามารถทำการหาได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงการทบทวนสินค้าคงคลังและฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน

สำหรับข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ งานวิจัยชิ้นนี้ทำการพิจารณาความต้องการสินค้าในช่วงระยะเวลาของการหยุดชะงักของอุปทานเป็นความต้องการสินค้าที่ทราบค่าแน่นอน (Deterministic demand) ถึงอย่างไรก็ตามความต้องการสินค้าในช่วงนี้อาจเป็นความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน (Probabilistic demand) ได้ ซึ่งเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการวิจัยต่อไปในอนาคต นอกจากนี้การใช้วิธีการสั่งซื้อสินค้าจากผู้ส่งมอบหลายรายยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการหยุดชะงักของอุปทานได้นอกจากการถือครองสินค้าคงคลังนี้ ซึ่งการหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมจากผู้ส่งมอบหลายรายภายใต้สภาวะที่พิจารณาในงานวิจัยชิ้นนี้ก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจเช่นกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] โกศล ดีศีลธรรม, "Thailand Industry," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/onlinemag_preview.php?cid=460. [วันที่เข้าถึง 1 ตุลาคม 63].
- [2] B. Tomlin, "On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks", *Management Science.*, vol. 52, no. 5, pp. 639-657, 2006.
- [3] C. Saithong and H. T. Luong, "Effect of supply disruption on inventory policy," *European Journal of Industrial Engineering.*, vol. 13, no. 2, pp. 178-212, 2019.
- [4] D. P. Warsing Jr, W. Wangwacharakul and R. E. King, "Computing optimal base-stock levels for an inventory system with imperfect supply," *Computers & Operations Research.*, vol. 40, no. 11, pp. 2786-2800, 2013.
- [5] D. Wang, O. Tang and L. Zhang, "A periodic review lot sizing problem with random yields, disruptions and inventory capacity," *International Journal of Production Economics.*, vol. 155, pp. 330-339, 2014.
- [6] A. J. Schmitt, L. V. Snyder and Z. J. M. Shen, "Inventory systems with stochastic demand and supply: Properties and approximations," *European Journal of Operational Research.*, vol. 206, no. 2, pp. 313-328, 2010.
- [7] A. J. Schmitt and L. V. Snyder, "Infinite-horizon models for inventory control under yield uncertainty and disruptions," *Computers & Operations Research.*, vol. 39, no. 4, pp. 850-862, 2012.
- [8] B. M. Lewis, A. L. Erera, M. A. Nowak and C. W. III. Chelsea, "Managing inventory in global supply chains facing port-of-entry disruption

risks,” *Transportation Science.*, vol. 47, no. 2, pp. 162-180, 2013.

- [9] W. A. Jauhari, S. Mayangsari, N. A. Kurdhi and K. Y. Wong, “A fuzzy periodic review integrated inventory model involving stochastic demand, imperfect production process and inspection errors,” *Cogent Engineering.*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [10] L. Qi, Z. J. M. Shen and L. V. Snyder, “A continuous-review inventory model with disruptions at both supplier and retailer,” *Production and Operations Management.*, vol. 18, no. 5, pp. 516-532, 2009.
- [11] C. Saithong and H. T. Luong, “Effects of supply disruption on optimal inventory policy: The case of (r, S) continuous review inventory policy,” *International Journal of Industrial and Systems Engineering.*, vol. 35, no. 4, pp. 482-508, 2020.
- [12] E. Iakovou, D. Vlachos and A. Xanthopoulos, “A stochastic inventory management model for a dual sourcing supply chain with disruptions,” *International Journal of Systems Science.*, vol. 41, no. 3, pp. 315-324, 2010.
- [13] A. M. Ledari, S. H. R. Pasandideh and M. N. Koupaei, “A new newsvendor policy model for dual-sourcing supply chains by considering disruption risk and special order,” *Journal of Intelligent Manufacturing.*, vol. 29, no. 1, pp. 237-244, 2018.
- [14] K. Skouri, I. Konstantaras, A. G. Lagodimos and S. Papachristos, “An EOQ model with backorders and rejection of defective supply batches,” *International Journal of Production Economics.*, vol. 155, pp. 148-154, 2014.
- [15] C. Saithong and S. Lekhavat, “Derivation of closed-form expression for optimal base stock level considering partial backorder, deterministic demand, and stochastic supply

disruption,” *Cogent Engineering.*, vol. 7, no. 1, 2020.

ภาคผนวก

ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของ Y ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความไว $E[Y]$

y	$P\{Y = y\}$	$E[Y]$
1	0.3	2.50
2	0.2	
3	0.2	
4	0.3	
2	0.4	3.25
3	0.15	
4	0.25	
5	0.2	
3	0.3	5.50
5	0.3	
7	0.25	
9	0.15	
4	0.25	7.40
6	0.15	
8	0.25	
10	0.35	
10	0.1	11.40
11	0.5	
12	0.3	
13	0.1	