



การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมภายใต้ การล้าสมัยอย่างฉับพลันและการเกิดเครื่องจักรขัดข้อง โดยพิจารณาเวลาในการซ่อม

Production Lot Sizing Problem with Sudden Obsolescence and Machine Breakdowns Considering Repair Time

พรชนันท์ ขุริมนต์ และ ธนาวรรณ นียะโมสธ*

Parachanun Khurimon and Thanawath Niyamosoth*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 หมู่ 16 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
123 Moo 16 Mittapap Rd., Nai-Muang, Muang District, Khon Kaen, 40002, Thailand

*E-mail: thanani@kku.ac.th, Tel.: +669 9219 6091

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับงานทางด้านการวางแผนการผลิต และควบคุมปริมาณสินค้าคงคลัง โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด ภายใต้ การล้าสมัยอย่างฉับพลันของสินค้าและการเกิดเครื่องจักรขัดข้อง โดยพิจารณาช่วงเวลาที่เกิดความขัดข้องด้วย จากการศึกษาพบว่าอัตราการเกิดความขัดข้อง ระยะเวลาการซ่อมโดยเฉลี่ย และต้นทุนสินค้าล้าสมัยมีผลต่อต้นทุนรวมและ ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญ ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้คือช่วยให้การพิจารณาหาขนาดการ ผลิตมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับสภาพธุรกิจในปัจจุบันที่สินค้าที่ผลิตมีการเปลี่ยนรุ่นอยู่เสมอและเครื่องจักร ที่ใช้ในการผลิตมีความซับซ้อนสูงซึ่งมีแนวโน้มจะเกิดความขัดข้องได้ง่าย

ABSTRACT

In this work, we study an unreliable production system that produces a particular product subject to sudden obsolescence. The purpose of our work is to determine the optimal lot size that minimizes the total expected cost during product lifetime considering machine breakdowns and repair time. The numerical results show that failure rate, mean repair time, and obsolescence cost have significant impact on the optimal lot size. The managerial insight obtained by this research can support the manager in making decision concerning the production lot size more properly.

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วใน ปัจจุบันได้ก่อให้เกิดประเด็นท้าทายใหม่ ๆ แก่อุตสาหกรรม

ประเด็นหนึ่งที่สำคัญ คือ เรื่องการควบคุมสินค้าคงคลัง สำหรับสินค้าที่มีแนวโน้มจะเกิดการล้าสมัย โดยปกติ เมื่อสินค้าเกิดการล้าสมัย ความต้องการของสินค้านั้นจะ ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้สินค้าคงคลังที่เหลืออยู่ต้อง

ถูกจำหน่ายออกไปในราคาที่ต่ำกว่าราคาขายตามปกติ ก่อให้เกิดต้นทุนสินค้าต่ำสุดต่อธุรกิจ ดังนั้น การผลิตสินค้าคงคลังมากเกินไปจนสามารถนำไปสู่การเกิดต้นทุนสินค้าต่ำสุดที่สูงมากได้ วิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้ก็คือการสั่งผลิตในปริมาณน้อย ๆ ด้วยขนาดรุ่นที่เล็ก อย่างไรก็ตามการผลิตในปริมาณน้อยสามารถก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะมีปริมาณการผลิตสินค้าไม่เพียงพอต่อการตอบสนองความต้องการลูกค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตหยุดทำงานเนื่องจากเกิดความขัดข้อง ดังนั้น เพื่อชดเชยปริมาณการผลิตที่สูญเสียไปในระหว่างที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้อง ผู้ประกอบการมีแนวโน้มที่จะผลิตสินค้าในปริมาณมากขึ้นด้วยขนาดรุ่นที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผู้ประกอบการจะต้องเผชิญกับการตัดสินใจว่าควรจะทำคำสั่งผลิตด้วยขนาดรุ่นที่เล็กหรือด้วยขนาดรุ่นที่ใหญ่จึงจะเหมาะสม เมื่อต้องรับมือกับทั้งประเด็นการเกิดสินค้าต่ำสุดและประเด็นการเกิดเครื่องจักรขัดข้อง

ปัญหาการจัดการสินค้าคงคลังภายใต้การเกิดสินค้าต่ำสุดได้ถูกศึกษาเป็นครั้งแรก ๆ โดย Brown และคณะ [1] ซึ่งได้นำเสนอแบบจำลองปัญหาสินค้าคงคลังแบบพลวัต โดยพิจารณาการเกิดสินค้าต่ำสุดของสินค้าเป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งของความแปรปรวนของความต้องการ ในอนาคต Master [2] ได้พิจารณาการเกิดสินค้าต่ำสุดอย่างซับซ้อนในแบบจำลองการหาปริมาณการสั่งที่ประหยัด (Economic Order Quantity หรือ EOQ) โดยผู้ศึกษาได้สรุปว่า ขนาดรุ่นการสั่งที่ประหยัดเมื่อพิจารณาการเกิดสินค้าต่ำสุดจะเล็กกว่าขนาดรุ่นการสั่งที่ประหยัดในแบบจำลอง EOQ แบบปกติเสมอ Song และ Zipkin [3] ได้นำแบบจำลองของมาร์คอฟโคเวียนมาใช้ศึกษาผลกระทบของการเกิดสินค้าต่ำสุดที่มีต่อการจัดการสินค้าคงคลัง ผู้วิจัยได้สรุปว่า การค้าต่ำสุดของสินค้ามีผลต่อการตัดสินใจด้านการจัดการสินค้าคงคลังอย่างมีนัยสำคัญ David และคณะ [4] ได้ประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) ในแบบจำลอง EOQ ที่มีกระบวนการเกิดสินค้าต่ำสุดขึ้นกับเวลา Fink และ

Ferrell [5] ได้นำเทคนิคห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chains) มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสินค้าคงคลังแบบคาบเวลาสำหรับสินค้าที่สามารถเกิดการเสื่อมสภาพต่ำสุด หรือทั้งสองอย่าง และทำการเปรียบเทียบประสิทธิผลของนโยบายสินค้าคงคลังหลาย ๆ นโยบาย Song และ Lau [6] ได้นำเสนอแบบจำลองสินค้าคงคลังแบบคาบเวลา โดยพิจารณาการเกิดสินค้าต่ำสุดอย่างซับซ้อน โดยนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาสามารถหาได้โดยใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงพลวัต Emsermann และ Simon [7] ได้พัฒนาแบบจำลองสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่อง ภายใต้การเกิดสินค้าต่ำสุด และได้แนะนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการบิน Prince และ Dekker [8] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนนโยบายการจัดการสินค้าคงคลัง สำหรับระบบสินค้าคงคลังที่มีการคาดการณ์ถึงความต้องการของความต้องการของลูกค้าและการเกิดสินค้าต่ำสุด Jaarsveld และ Dekker [9] ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าเชิงปริมาณสำหรับค่าพารามิเตอร์ของการเกิดสินค้าต่ำสุดในงานวิจัยของ Prince และ Dekker [8] Prathumthip และ Niyamosoth [10] ได้นำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัด (Economic Production Quantity หรือ EPQ) ภายใต้การเกิดสินค้าต่ำสุดอย่างซับซ้อน โดยใช้กรณีศึกษาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรซึ่งมีความซับซ้อนและความแม่นยำสูง (High precision parts) ในจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จากการศึกษาค้นพบว่า ขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดเมื่อพิจารณาการเกิดสินค้าต่ำสุดจะเล็กกว่าขนาดการสั่งที่ประหยัดในแบบจำลอง EPQ แบบปกติเสมอ

นอกจากประเด็นเรื่องการเกิดสินค้าต่ำสุดแล้ว ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้อีกประเด็นหนึ่ง คือ เรื่องการหาขนาดการสั่งผลิตในกรณีที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้องในระหว่างการผลิต Groenevelt และคณะ [11] ได้ศึกษาผลกระทบของการเกิดเครื่องจักรขัดข้อง

ที่มีต่อปริมาณสิ่งผลิตที่ประหยัด ซึ่งผู้ศึกษาได้สรุปว่า ขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดเมื่อพิจารณาการเกิดเครื่องจักรขัดข้อง จะใหญ่กว่าขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดในแบบจำลอง EPQ แบบปกติเสมอ Groenevelt และคณะ [12] ได้ศึกษาต่อจากงานของ Groenevelt และคณะ [11] โดยได้พิจารณาเวลาที่ใช้ในการซ่อมและสต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety Stock) เป็นองค์ประกอบในการสร้างแบบจำลองด้วย ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดภายใต้การเกิดเครื่องจักรขัดข้องจะใหญ่กว่าขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดในแบบจำลอง EPQ แบบปกติเสมอ เช่นเดียวกัน Moinzadeh และ Aggarwal [13] ได้พิจารณา นโยบายการวางแผนการผลิตและการควบคุมปริมาณสินค้าคงคลังแบบ (s,S) สำหรับหน่วยผลิตที่เป็นคอขวดที่สามารถเกิดความขัดข้องในระหว่างการผลิตได้ พร้อมทั้งนำเสนอรูปแบบการคำนวณคุณสมบัติเชิงปฏิบัติการต่าง ๆ ของนโยบาย Ben-Daya [14] ได้นำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดและระดับการทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบไม่สมบูรณ์ (Imperfect Preventive Maintenance) สำหรับกระบวนการผลิตที่สามารถเสื่อมสภาพและเกิดความขัดข้องได้ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับการทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน จะช่วยลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการผลิตของเสียและต้นทุนการซ่อมบำรุงได้ Giri และคณะ [15] ได้นำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัดภายใต้การเกิดเครื่องจักรขัดข้องในกรณีที่มีการเกิดความขัดข้องถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของอัตราการผลิต Chelbi และคณะ [16] ได้นำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมและอายุของเครื่องจักรที่ควรทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน สำหรับระบบการผลิตที่สามารถเกิดความขัดข้องและผลิตของเสียออกมาเมื่ออยู่ในสภาวะนอกควบคุม Jeang [17] ได้นำเสนอแบบจำลองสินค้าคงคลัง และการออกแบบคุณภาพสำหรับระบบการผลิตที่สามารถเกิดการเสื่อมสภาพและการขัดข้องได้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาขนาดการสั่งผลิตและพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เหมาะสม Bouslah และคณะ [18]

ได้นำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตและอัตราการผลิตที่เหมาะสมสำหรับระบบการผลิตที่ไม่สมบูรณ์และสามารถเกิดความขัดข้องได้ โดยประยุกต์ใช้แผนการสุ่มตรวจเพื่อยอมรับเชิงเดี่ยว (Single Acceptance Sampling Plan) เป็นส่วนหนึ่งของนโยบายการควบคุมคุณภาพ Jafari และ Makis [19] ได้ประยุกต์ใช้นโยบายการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-based Maintenance Policy) เข้ากับแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัด เพื่อหาขนาดการสั่งผลิตและนโยบายการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม Cheng และคณะ [20] ได้นำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมและนโยบายการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบตามสภาพสำหรับระบบการผลิตที่ประกอบด้วยหลายองค์ประกอบ

แต่เดิมนั้น ปัญหาการหาขนาดการสั่งผลิตภายใต้การเกิดสินค้าล้าสมัยและปัญหาการหาขนาดการสั่งผลิตภายใต้การเกิดเครื่องจักรขัดข้องเป็นสองแนวทางวิจัยที่แยกจากกัน สำหรับแบบจำลองการหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่พิจารณาทั้งประเด็นการเกิดสินค้าล้าสมัยและประเด็นการเกิดเครื่องจักรขัดข้องได้ถูกนำเสนอโดย Niyamosoth และคณะ [21] ซึ่งได้ทำการศึกษาต่อจากงานวิจัยของ Prathumthip และ Niyamosoth [10] โดยใช้กรณีศึกษาของสถานประกอบการเดียวกัน โดยในงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาการหาขนาดการสั่งผลิตที่ประหยัด โดยพิจารณาความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสามารถเกิดความขัดข้องได้และสินค้าที่ผลิตสามารถเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลันได้ ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นด้านการผลิตและการขายของสถานประกอบการที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีความซับซ้อนสูง เกิดความขัดข้องได้ง่าย และชิ้นงานที่ทำการผลิตมีการล้าสมัยอย่างฉับพลันเนื่องจากการเปลี่ยนรุ่นตามการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี โดยในงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่าระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมมีค่าน้อยมาก สามารถตัดออกจากการพิจารณาได้ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว ระยะเวลาในการ

ซ่อมอาจมีค่ามากจนมีผลต่อการพิจารณาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทำการศึกษาต่อจากบทความดังกล่าว โดยนำเสนอแบบจำลองการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมภายใต้การเกิดสินค้าล้าสมัยและเครื่องจักรขัดข้องโดยพิจารณาระยะเวลาในการซ่อมด้วย ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้คือ จะช่วยให้การพิจารณาหาขนาดการผลิตมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับสภาพธุรกิจในปัจจุบันที่สินค้าที่ผลิตมีการเปลี่ยนรุ่นอยู่เสมอและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีความซับซ้อนสูงซึ่งมีแนวโน้มจะเกิดความขัดข้องได้ง่าย

สำหรับหัวข้อลำดับถัดไปของงานวิจัยชิ้นนี้ประกอบด้วย หัวข้อที่ 2 แนวคิดของแบบจำลอง สมมติฐานและสัญลักษณ์ที่ใช้ หัวข้อที่ 3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หัวข้อที่ 4 การทดสอบเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไว และหัวข้อที่ 5 สรุปผลการศึกษา

2. แนวคิดของแบบจำลอง สมมติฐานและสัญลักษณ์ที่ใช้

ต่อไปนี้เป็นแนวคิดพื้นฐาน สมมติฐานและสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้

2.1 แนวคิดและสมมติฐานของแบบจำลอง

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองการหาขนาดการผลิตที่ประหยัด โดยพิจารณาความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสามารถเกิดความขัดข้องได้ ในระหว่างที่ทำการผลิต นอกจากนี้ยังได้พิจารณาความเสี่ยงที่สินค้าที่ผลิตได้จะเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลัน ณ เวลาใด ๆ ในอนาคต โดยรูปแบบของระบบการผลิตสินค้าคงคลัง การเกิดความขัดข้อง และการซ่อมเครื่องจักรที่ขัดข้องให้กลับมาอยู่ในสภาพใช้งาน จะอ้างอิงจากงานวิจัยของ Groenevelt และคณะ [12] ส่วนรูปแบบการเกิดสินค้าล้าสมัยอย่างฉับพลัน จะอ้างอิงจากงานวิจัยของ Master [2] สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ เราจะสมมติให้

การซ่อมมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม โดยมีอัตราเกิดความขัดข้องและอัตราการซ่อมที่คงที่ กล่าวคือระยะเวลาในการเกิดความขัดข้องครั้งแรกและระยะเวลาในการซ่อมมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) และเพื่อที่จะทำให้การผลิตดำเนินไปอย่างราบรื่น เราจะต้องทำการกำหนดสต็อกเพื่อความปลอดภัยขึ้น ซึ่งสต็อกเพื่อความปลอดภัยดังกล่าวนี้จะถูกใช้ไปตลอดเวลาที่มีการเกิดความขัดข้องและการซ่อมขึ้น โดยในระหว่างที่มีการผลิตในแต่ละรอบ เราจะสมมติให้สัดส่วน β ของปริมาณชิ้นงานที่ผลิตในรอบนั้น ๆ ถูกผันไปเป็นสต็อกเพื่อความปลอดภัย ในขณะที่ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้ในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าตามปกติ ดังนั้น หากในแต่ละรอบการผลิตมีการสั่งผลิตชิ้นงานจำนวน q หน่วย ชิ้นงานจำนวน $q\beta$ จะถูกเติมเข้าไปในสต็อกเพื่อความปลอดภัย ส่วนที่เหลืออีก $q(1-\beta)$ หน่วย จะถูกใช้ในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นในรอบการผลิตนั้น ๆ โดยสต็อกเพื่อความปลอดภัยจะถูกนำมาใช้ในขณะที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้องและมีการซ่อมเกิดขึ้น ต้นทุนสินค้าขาดสต็อก (Shortage Cost) จะเกิดขึ้นในกรณีที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้องและสต็อกเพื่อความปลอดภัยถูกใช้จนหมดโดยไม่ขึ้นอยู่กักระดับสินค้าคงคลังในการผลิตตามปกติ (Running Stock Level) ในขณะนั้น โดยในงานวิจัยนี้จะสมมติให้ต้นทุนสินค้าขาดสต็อกดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียยอดขาย (Lost Sales) รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการดำเนินไปของระดับสินค้าคงคลังในการผลิตและระดับของสต็อกเพื่อความปลอดภัย ซึ่งจะแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 4 ประเภท คือ Type I, Type II, Type III, และ Type IV ในช่วงเวลาประเภท Type I เครื่องจักรมีการทำงาน ดังนั้น ทั้งสต็อกเพื่อความปลอดภัยและสินค้าคงคลังในการผลิตตามปกติจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา βr และ $r(1-\beta)-d$ สำหรับช่วงเวลาประเภท Type II เครื่องจักรมีการเกิดความขัดข้องและมีการทำการซ่อม ระดับสินค้าคงคลังในการผลิตตามปกติจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ระดับสต็อกเพื่อความปลอดภัยจะลดลงด้วยอัตราเท่ากับ

d สำหรับช่วงเวลาประเภท Type III จะเกิดขึ้นในกรณี
ที่ระดับสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัยมีไม่เพียงพอที่จะ
ตอบสนองความต้องการในช่วงเวลาที่มีการซ่อมและ
ช่วงเวลาก่อตั้งเครื่อง (Setup Time) ที่ตามมา จะทำให้
เกิดต้นทุนเนื่องจากการสูญเสียยอดขายขึ้น ในช่วงเวลา
ประเภท Type IV เครื่องจักรหยุดทำงานเนื่องจากเป็น
ช่วงเวลาก่อตั้งเครื่องบำรุงรักษาเชิงป้องกันพร้อมกับ
ตั้งเครื่องเพื่อทำการผลิตในรอบถัดไป ดังนั้น ในช่วงเวลานี้
ระดับสินค้าคงคลังในการผลิตตามปกติจะลดลงเนื่องจาก
สินค้าคงคลังที่มีอยู่จะถูกนำไปใช้ตอบสนองความต้องการ
ลูกค้าตามปกติ แต่ระดับของสต็อกเพื่อความปลอดภัย
จะมีค่าเท่าเดิม เนื่องจากการหยุดของเครื่องจักรไม่ได้
เกิดขึ้นจากการเกิดความขัดข้อง จึงไม่มีการนำสต็อก
เพื่อความปลอดภัยไปใช้ตอบสนองความต้องการ
ของลูกค้า นอกจากเรื่องระบบการผลิต สินค้าคงคลัง
กระบวนการในการเกิดความขัดข้องและการซ่อมแล้ว
งานวิจัยชิ้นนี้ยังได้พิจารณาความเสี่ยงที่ขึ้นงานที่ผลิต
ออกมาอาจจะเกิดการล่าช้าอย่างฉับพลัน ณ เวลาใด ๆ
ในอนาคต โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะสมมติให้อัตราการเกิด
สินค้าล่าช้าอย่างฉับพลันมีค่าคงที่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง
คือระยะเวลาในการเกิดสินค้าล่าช้าแต่ครั้งมีการกระจาย
แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

2.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เราจะใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- r คือ อัตราการผลิต (ชิ้น/วัน)
- d คือ อัตราความต้องการ (ชิ้น/วัน)
- h คือ ต้นทุนการถือครองสินค้าต่อหน่วยต่อวัน
(\$/หน่วย/วัน)
- S คือ ต้นทุนการตั้งเครื่องต่อครั้ง (\$)
- p คือ ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (\$)
- C คือ ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (\$/วัน)
- t_s คือ เวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่อง (วัน)
- t_m คือ ระยะเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (วัน)
- q คือ ปริมาณการผลิต (หน่วย)
- Q^* คือ ปริมาณการผลิตที่เหมาะสม (หน่วย)

α คือ ระดับการให้บริการที่ต้องการ (สัดส่วนของความ
ต้องการรวมที่ได้รับการตอบสนอง)

β คือ สัดส่วนของปริมาณการผลิตที่ถูกผันไปเป็นสต็อก
สินค้าเพื่อความปลอดภัย

λ คือ อัตราการเกิดความขัดข้องโดยเฉลี่ย (ครั้ง/วัน)

μ คือ อัตราการซ่อมแซมโดยเฉลี่ย (ครั้ง/วัน)

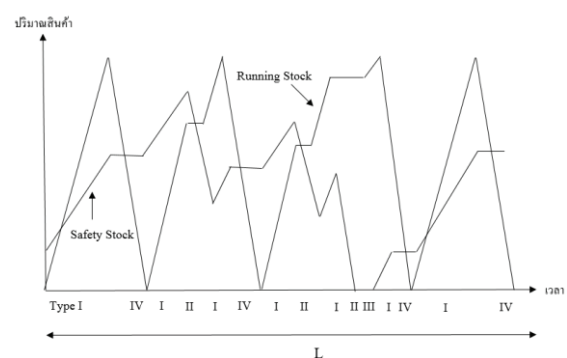
t_f คือ ระยะเวลาในการเกิดความขัดข้องครั้งแรก (วัน)
สมมติให้มีการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล
แบบ λ

t_r คือ ระยะเวลาในการซ่อม (วัน) สมมติให้มีการ
กระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบ μ

C_S คือ ต้นทุนสินค้าล่าช้าต่อหน่วย (\$)

y คือ ระยะเวลาในการเกิดสินค้าล่าช้า (วัน) สมมติให้
มีการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยอัตรา θ

L คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการเกิดสินค้าล่าช้า (วัน)
$$= E[y] = \frac{1}{\theta}$$



รูปที่ 1 ระดับของสินค้าคงคลังและสต็อก
เพื่อความปลอดภัย

(อ้างอิงจากรูปของ Groenevelt และคณะ [12])

3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลำดับถัดไปเป็นการนำเสนอขั้นตอนการสร้าง
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ โดยมี
จุดประสงค์เพื่อคำนวณหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม
ที่สุดที่ทำให้ต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า ซึ่ง
ประกอบด้วย ต้นทุนการตั้งเครื่อง ต้นทุนการถือครอง
สินค้าคงคลัง ต้นทุนสต็อกเพื่อความปลอดภัย ต้นทุนการ

บำรุงรักษา และต้นทุนสินค้าสามัญ มีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้ ระดับการให้บริการที่ต้องการ (α) ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 กล่าว คือ ไม่มีการเกิดสินค้าขาดแคลน ดังนั้น จึงไม่มีการพิจารณาต้นทุนสินค้าขาดแคลนในแบบจำลองนี้

3.1 ขนาดความยาวของรอบการสั่งผลิต (Cycle Length)

จากงานของ Groenevelt และคณะ [12] เราสามารถหาค่าคาดหวังของความยาวรอบการสั่งผลิตได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$E[\text{Cycle Length}] = \frac{q(1-\beta)}{d} + \frac{q\lambda}{r} (E[t_r] + t_s) \quad (1)$$

โดยความยาวรอบการสั่งผลิตหนึ่งรอบจะเริ่มตั้งแต่การเริ่มต้นการผลิตชิ้นงานจำนวน q หน่วย ไปจนถึงการเริ่มการผลิตชิ้นงานจำนวน q หน่วยครั้งต่อไป ซึ่งจะรวมระยะเวลาในการผลิต ระยะเวลาที่หยุดการผลิตเพื่อทำการบำรุงรักษาและตั้งเครื่อง และระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมในกรณีที่เกิดความขัดข้อง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตบวกระยะเวลาที่เครื่องจักรหยุดเนื่องจากการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและระยะเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องเพื่อทำการผลิตในรอบต่อไปจะมีค่าเท่ากับ $\frac{q(1-\beta)}{d}$

สำหรับค่าคาดหวังของเวลาที่ใช้ในการซ่อมในแต่ละรอบการผลิตจะเท่ากับค่าคาดหวังของจำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้อง $\frac{q\lambda}{r}$ คูณด้วยค่าคาดหวังของระยะเวลาในการซ่อมบวกระยะเวลาในการตั้งเครื่องหลังจากที่ซ่อมเสร็จ $E[t_r] + t_s$ เมื่อรวมเทอมต่าง ๆ เหล่านี้เข้าด้วยกันจะได้สูตรการคำนวณค่าคาดหวังของความยาวรอบดังแสดงในสมการที่ (1)

3.2 การวิเคราะห์ระดับการให้บริการ

จากงานของ Groenevelt และคณะ [12] ระดับการให้บริการที่ทำได้จริง $\underline{\alpha}(\beta)$ จะถูกวัดโดยสัดส่วนของความต้องการที่ได้รับการตอบสนองโดยเฉลี่ย โดยระดับการให้บริการที่ทำได้จริงดังกล่าวนี้นี้จะเป็นฟังก์ชันของ β ซึ่งสามารถหาได้โดยประยุกต์ใช้ Renewal Reward Theorem ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\underline{\alpha}(\beta) = \frac{E[\text{Production per Cycle}]}{E[\text{Demand per Cycle}]} \quad (2)$$

โดย

$$E[\text{Production per Cycle}] = q \quad (3)$$

และ

$$E[\text{Demand per Cycle}] = d \cdot E[\text{Cycle Length}] \quad (4)$$

ดังนั้น ระดับการให้บริการที่ทำได้จริงสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\underline{\alpha}(\beta) = \frac{r/d}{(1-\beta)(r/d) + (E[t_r] + t_s)/E[t_f]} \quad (5)$$

กำหนดให้ระดับการให้บริการที่ทำได้จริงมีค่าเท่ากับระดับการให้บริการที่ต้องการ $\underline{\alpha}(\beta) = \alpha$ จะสามารถแก้สมการหาค่า β ได้ดังนี้

$$\beta = 1 - \frac{1}{\alpha} + \frac{d}{r} \frac{E[t_r] + t_s}{E[t_f]} \quad (6)$$

โดย β ที่คำนวณได้ในสมการ (6) จะเป็นสัดส่วนของปริมาณการผลิตที่ถูกผันไปเป็นสต็อกสินค้าเพื่อความปลอดภัยที่ทำให้ระดับการบริการที่ทำได้จริงมีค่าเท่ากับระดับการบริการที่ต้องการ

3.3 ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในหนึ่งรอบการผลิต

ต้นทุนที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบการผลิตประกอบด้วย ต้นทุนการตั้งเครื่อง ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง ต้นทุนสต็อกเพื่อความปลอดภัย ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และต้นทุนการซ่อม ซึ่งการคำนวณหาค่าคาดหวังของต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบของการผลิต ($E[\text{Cycle Cost}]$) ซึ่งเป็นผลรวมของต้นทุนต่าง ๆ ที่กล่าวไปข้างต้นสามารถทำได้โดยประยุกต์ใช้ Renewal Reward Theorem ดังนี้

$$E[\text{long-run average cost}] = \frac{E[\text{Cycle Cost}]}{E[\text{Cycle Length}]} \quad (7)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} E[\text{Cycle Cost}] \\ = E[\text{long-run average cost}] \cdot E[\text{Cycle Length}] \end{aligned} \quad (8)$$

โดย $E[\text{long-run average cost}]$ หมายถึง ค่าคาดหวังของต้นทุนต่อหน่วยเวลาโดยเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของต้นทุนต่อหน่วยเวลาโดยเฉลี่ยของต้นทุนต่อไปนี้ (i) ต้นทุนการตั้งเครื่อง (Setups), (ii) ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง (Running stock), (iii) ต้นทุนสต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety stock), (iv) ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance), และ (v) ต้นทุนการซ่อม (Corrective maintenance) จาก Groenevelt และคณะ [12] ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาของต้นทุนต่างๆ ใน (i) – (v) สามารถหาได้ดังนี้ ต้นทุนการตั้งเครื่อง

$$\text{Setups: } \frac{s(1 + \lambda(q/r))}{(q/d)(1 - \beta) + (q/r)\lambda(E[t_r] + t_s)} \quad (9)$$

ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง

$$\text{Running stock: } \frac{1}{2}hq(1 - \beta - (d/r)) \quad (10)$$

ต้นทุนสต็อกเพื่อความปลอดภัย

$$\text{Safety stock: } h[\alpha d(W_q + E[t_r]) + t_s] - (1 - \alpha)rE[t_f] \quad (11)$$

โดย W_q สามารถเทียบได้กับจำนวนลูกค้าที่รอคอยอยู่ในคิวโดยเฉลี่ยในระบบแถวคอยแบบ G1/M/1 ในกรณีที่ระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลและเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องมีค่าเท่ากับศูนย์ ($t_s = 0$) ระบบแถวคอยแบบ G1/M/1 จะลดรูปลงเป็นระบบแถวคอยแบบ M/M/1 ซึ่งในกรณีนี้จะสามารถหา W_q ได้สูตร (Render และคณะ [22])

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (12)$$

ดังนั้น จะสามารถหาต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาของสต็อกเพื่อความปลอดภัยได้จากสูตรต่อไปนี้ (Groenevelt และคณะ [12])

Safety stock :

$$h \cdot \left[\alpha d \left(\frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + E[t_r] \right) + t_s \right] - (1 - \alpha)rE[t_f] \quad (13)$$

ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Preventive maintenance :

$$\frac{p}{(q/d)(1 - \beta) + (q/r)\lambda(E[t_r] + t_s)} \quad (14)$$

ต้นทุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

Corrective maintenance :

$$\frac{\lambda \left(\frac{q}{r} \right) E[t_r] c}{\left(\frac{q}{d} \right) (1 - \beta) + \lambda \left(\frac{q}{r} \right) (E[t_r] + t_s)} \quad (15)$$

โดย $E[\text{long-run average cost}]$ ในสมการที่ (8) จะเป็นผลรวมของต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาของต้นทุนต่างๆ ที่ปรากฏในสมการที่ (9), (10), (11), (14), และ (15) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อความสะดวก เราจะกำหนดให้ $t_s = 0$ สำหรับ $E[\text{Cycle Length}]$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

3.4 ค่าคาดหวังของต้นทุนสินค้าล้าสมัย

ในกรณีที่สินค้าที่ผลิตเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลันสินค้าคงคลัง (Running stock) และสต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety stock) จะถูกจำหน่ายออกไปในราคาที่ต่ำกว่าราคาขายตามปกติ ก่อให้เกิดต้นทุนสินค้าล้าสมัยขึ้น กำหนดให้ C_s เป็นต้นทุนสินค้าล้าสมัยต่อหน่วย เราสามารถคำนวณหาค่าคาดหวังของต้นทุนสินค้าล้าสมัยที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบของการล้าสมัย ($E[OC]$) ได้โดยสูตรต่อไปนี้

$$E[OC] = C_s \left(\begin{array}{l} \text{Average Running Stock Level} \\ + \text{Average Safety Stock Level} \end{array} \right) \quad (16)$$

โดยจาก Groenevelt และคณะ [12] เราสามารถหา

Average Running Stock Level และ

Average Safety Stock Level ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Average Running Stock Level} = \\ \frac{1}{2} q(1 - \beta - (d/r)) \end{aligned} \quad (17)$$

และ

$$\text{Average Safety Stock Level} = \left[\alpha d \left(\frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + E[t_r] \right) + t_s \right] - (1 - \alpha) r E[t_f] \quad (18)$$

3.5 ค่าคาดหวังของระยะเวลาการเกิดสินค้าล้มหายอย่างฉับพลัน

ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม y เป็น ระยะเวลาที่สินค้าเกิดการล้มหายอย่างฉับพลัน ซึ่งมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยอัตราการเกิดสินค้าล้มหายอย่างฉับพลันเท่ากับ θ ดังนั้นจะสามารถหาค่าคาดหวังของระยะเวลาการเกิดสินค้าล้มหายอย่างฉับพลัน L ได้จากสมการต่อไปนี้

$$L = E[y] = \frac{1}{\theta} \quad (19)$$

3.6 ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า

จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้ คือ การคำนวณหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุสินค้า ($E[TC]$) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในหนึ่งรอบของการเกิดสินค้าล้มหายอย่างฉับพลันมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเราสามารถคำนวณหา $E[TC]$ ได้จากสมการต่อไปนี้

$$E[TC] = E[\text{number of cycle}] \cdot E[\text{Cycle Cost}] + E[OC] \quad (20)$$

โดย $E[\text{number of cycle}]$ หมายถึง ค่าคาดหวังของจำนวนรอบการผลิต ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E[\text{number of cycle}] = \frac{L}{E[\text{Cycle Length}]} \quad (21)$$

ซึ่ง $E[TC]$ ในสมการที่ (20) จะเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ของงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของ q เพียงตัวแปรเดียว

3.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยชิ้นนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Min} E[TC(q)] \quad (22)$$

$$\text{Subject to: } q > 0 \quad (23)$$

ซึ่งฟังก์ชันเป้าหมายในสมการที่ (22) เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องของ q เพียงตัวแปรเดียว ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้ง่ายโดยใช้ซอฟต์แวร์หลายชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

4. การทดสอบเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไว

ในหัวข้อนี้จะทำการแสดงการทดสอบเชิงตัวเลขเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมซึ่งได้แก่ ขนาดการผลิต (q) ที่ทำให้ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในหนึ่งรอบของการเกิดสินค้าล้มหายอย่างฉับพลัน ($E[TC]$) มีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้ในหัวข้อนี้จะมีการทำการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพื่อดูผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่มีต่อคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา

4.1 ค่าทดสอบ (Input Data)

ค่าคงที่ที่ใช้ในการทดสอบเชิงตัวเลขในงานวิจัยชิ้นนี้มีดังต่อไปนี้ คือ

$$\alpha = 1 \text{ (ไม่มีการขาดแคลนสินค้า)}, \theta = \frac{1}{1080} \text{ (หรือ } L = 1,080 \text{ วัน)}, S = 1,500 \text{ (\$)}, h = 2 \text{ (\$/ชิ้น/วัน)}, r = 1,000 \text{ (ชิ้น/วัน)}, d = 500 \text{ (ชิ้น/วัน)}, \lambda = 0.1 \text{ (ครั้ง/วัน)}, \mu = 0.5 \text{ (ครั้ง/วัน)}, c = 1,000 \text{ (\$/วัน)}, p = 900 \text{ (\$)}, C_s = 50 \text{ (\$/ชิ้น)}$$

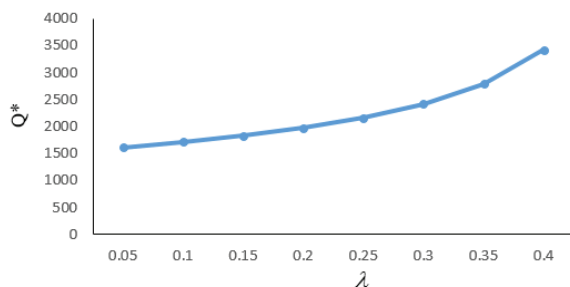
4.2 ผลการการทดสอบเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไว

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการการทดสอบเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความไวซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 จากการศึกษาพบว่าขนาดการผลิตที่เหมาะสม (Q^*) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการเกิดความขัดข้อง (λ) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผู้ผลิตมีแนวโน้มจะต้องมีการผลิตสินค้าด้วยขนาดรุ่นที่ใหญ่เพื่อชดเชยกำลังการผลิตที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้องและทำการซ่อม

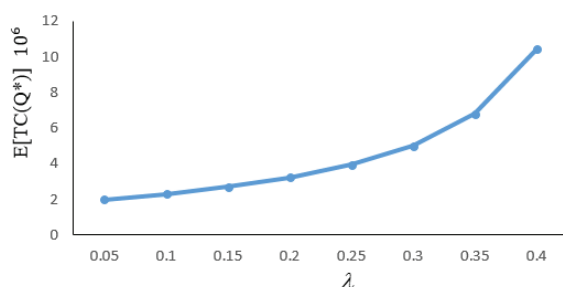
ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมและค่าคาดหวังของต้นทุนรวม ณ อัตราการเกิดความขัดข้องต่าง ๆ

λ	$d = 500$	
	Q^*	$E[TC(Q^*)]$
0.05	1,614	1,999,910
0.1	1,712	2,309,530
0.15	1,831	2,700,910
0.2	1,977	3,216,570
0.25	2,166	3,933,520
0.3	2,422	5,006,680
0.35	2,796	6,799,440
0.4	3,425	10,407,200

นอกจากนี้ จากตารางที่ 1 ยังพบว่า ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเมื่ออัตราการเกิดความขัดข้องเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการผลิตและต้นทุนการซ่อม (Corrective maintenance cost) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 และ รูปที่ 3



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความขัดข้องและขนาดการผลิตที่เหมาะสม



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความขัดข้องและค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมและค่าคาดหวังของต้นทุนรวม ณ อัตราการซ่อมต่าง ๆ

โดยพบว่า ขนาดการผลิตที่เหมาะสมจะลดลงเมื่อการซ่อมกระทำด้วยอัตรา (μ) ที่สูงขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ขนาดการผลิตที่เหมาะสมจะลดลงเมื่อค่าคาดหวังของระยะเวลาในการซ่อม ($E[t_r] = \frac{1}{\mu}$) ลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากผู้ผลิตไม่จำเป็นต้องผลิตสินค้าด้วยขนาดรุ่นที่ใหญ่เพื่อชดเชยกำลังการผลิตที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องจักรเกิดความขัดข้องและทำการซ่อม นอกจากนี้ จากตารางที่ 2 ยังพบว่า ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้าจะลดลงเมื่อ μ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการลดลงของปริมาณการผลิตและต้นทุนการซ่อม (ต้นทุนการซ่อมเป็นสัดส่วนกับเวลาที่ใช้ซ่อม) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5

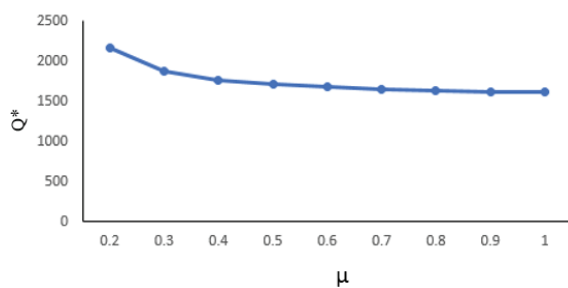
ตารางที่ 2 ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมและค่าคาดหวังของต้นทุนรวม ณ อัตราการซ่อมต่าง ๆ

μ	Q^*	$E[TC(Q^*)]$
0.2	2,166	7,208,500
0.3	1,876	3,575,020
0.4	1,769	2,670,380
0.5	1,712	2,309,530
0.6	1,678	2,129,530
0.7	1,654	2,026,880
0.8	1,637	1,962,850
0.9	1,624	1,920,240
1.0	1,614	1,890,470

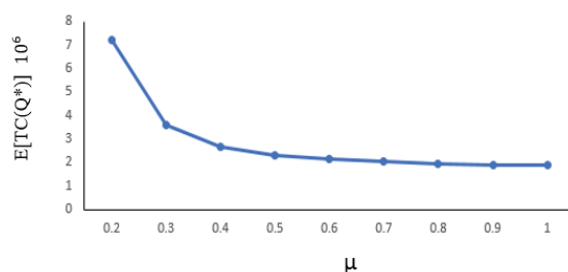
ตารางที่ 3 แสดงปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมและค่าคาดหวังของต้นทุนรวม ณ ต้นทุนสินค้าลำสมัยต่อหน่วยต่าง ๆ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อต้นทุนสินค้าลำสมัยต่อหน่วย (C_s) เพิ่มขึ้น ขนาดการผลิตที่เหมาะสมจะลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากผู้ผลิตมีแนวโน้มจะผลิตสินค้าด้วยขนาดรุ่นที่เล็กลงเมื่อต้นทุนสินค้าลำสมัยมีค่าสูง นอกจากนี้ จากตารางที่ 3 ยังพบว่า ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้าจะเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อต้นทุนสินค้าลำสมัยต่อหน่วยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของต้นทุนสินค้าลำสมัย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7

ตารางที่ 3 ปริมาณการผลิตสินค้าที่เหมาะสมและค่าคาดหวังของต้นทุนรวม ณ ต้นทุนสินค้าลำสมยต่อหน่วยต่าง ๆ

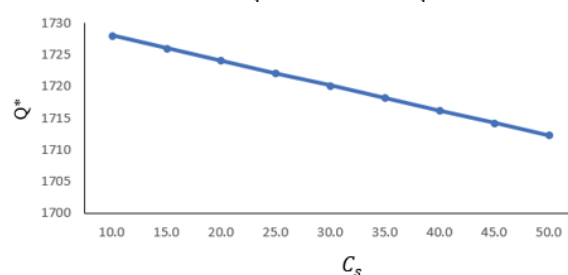
C_s	Q^*	$E[TC(Q^*)]$
10	1,728	2,245,770
15	1,726	2,253,750
20	1,724	2,261,720
25	1,722	2,269,700
30	1,720	2,277,670
35	1,718	2,285,640
40	1,716	2,293,600
45	1,714	2,301,570
50	1,712	2,309,530



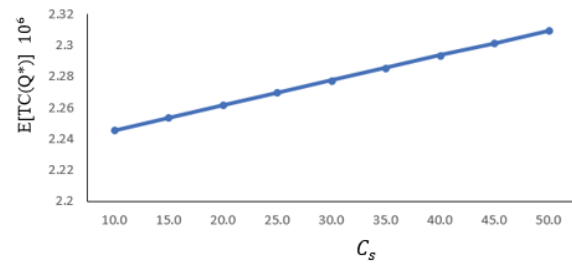
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซ่อมและขนาดการผลิตที่เหมาะสม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซ่อมและค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนสินค้าลำสมยต่อหน่วยและขนาดการผลิตที่เหมาะสม

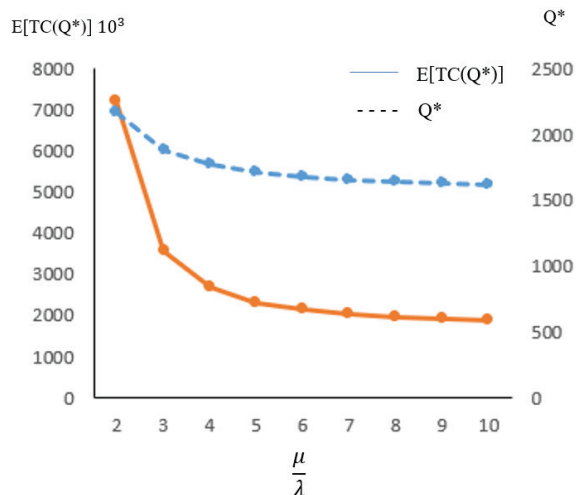


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนสินค้าลำสมยต่อหน่วยและค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า

ตารางที่ 4 แสดงผลกระทบของสัดส่วนของอัตราการผลิตซ่อม (μ) ต่ออัตราการผลิตความขัดข้อง (λ) ที่มีต่อขนาดการผลิตที่ประหยัดและค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อสัดส่วนของ μ/λ เพิ่มขึ้น ขนาดการผลิตที่ประหยัดจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผู้ผลิตมีแนวโน้มจะผลิตด้วยขนาดการผลิตที่ลดลง เมื่ออัตราการผลิตซ่อมมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตความขัดข้อง ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8

ตารางที่ 4 ผลกระทบของสัดส่วนของอัตราการผลิตซ่อมต่ออัตราการผลิตความขัดข้องที่มีต่อขนาดการผลิตที่ประหยัดและค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า

μ/λ	Q^*	$E[TC(Q^*)]$
2	2,166	7,208,500
3	1,876	3,575,020
4	1,769	2,670,380
5	1,712	2,309,530
6	1,678	2,129,530
7	1,654	2,026,880
8	1,637	1,962,850
9	1,624	1,920,240
10	1,614	1,890,470



รูปที่ 8 ผลกระทบของสัดส่วนของอัตราการจัดซื้อต่ออัตรา
การเกิดความขัดข้องที่มีต่อขนาดการผลิตที่ประหยัดและ
ค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้า

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
เพื่อคำนวณหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมสำหรับสินค้า
ที่มีแนวโน้มจะเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลันได้ ณ เวลาใด
เวลาหนึ่งในอนาคต และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสินค้า
ดังกล่าวสามารถเกิดความขัดข้องเชิงสุ่มได้ ณ เวลาใด ๆ
ขณะที่ทำการผลิต โดยได้พิจารณาผลกระทบของปัจจัย
ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดการผลิตที่
เหมาะสม เช่น อัตราการเกิดความขัดข้อง ระยะเวลาเฉลี่ยที่
ใช้ในการซ่อม และต้นทุนสินค้าล้าสมัย ผลการศึกษาพบว่า

ปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมา มีผลต่อขนาดการผลิตที่เหมาะสม
และค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในช่วงอายุของสินค้าอย่างมี
นัยสำคัญ โดยประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้คือ ช่วย
ให้การพิจารณาหาขนาดการผลิตมีความเหมาะสมมาก
ยิ่งขึ้น สอดคล้องกับสภาพธุรกิจในปัจจุบันที่สินค้าที่ผลิตมี
การเปลี่ยนรุ่นอยู่เสมอและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมี
ความซับซ้อนสูงซึ่งมีแนวโน้มจะเกิดความขัดข้องได้ง่าย
อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองเชิง
ความน่าจะเป็น ดังนั้นในการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้
ในงานจริง สถานประกอบการควรจะต้องทำการเก็บ
รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในอดีตไว้อย่างสม่ำเสมอ จึงจะ
สามารถประมาณค่าการกระจายความน่าจะเป็นและ
ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้องและทันต่อ
การใช้งาน นอกจากนี้งานวิจัยชิ้นนี้ยังสามารถนำไปวิจัย
ต่อยอดได้ในหลายแนวทาง เช่น การพิจารณาเวลาที่ใช้ในการ
การตั้งเครื่อง การพิจารณาการขาดแคลนสินค้า การใช้
การกระจายความน่าจะเป็นแบบอื่น ๆ นอกเหนือจาก
เอ็กซ์โปเนนเชียล หรือพัฒนาไปสู่แบบจำลองอื่น ๆ
ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น แบบจำลองการหาขนาดการ
ผลิตและรอบเวลาการทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
สำหรับระบบการผลิตภายใต้การเกิดการล้าสมัยอย่าง
ฉับพลันและการเกิดเครื่องจักรขัดข้อง เป็นต้น ซึ่งประเด็น
ดังกล่าวเป็นหัวข้อวิจัยที่อยู่ในระหว่างการดำเนินงานของ
ผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown, G.W., Lu, J.Y. and Wolfson, R.J. Dynamic Modeling of Inventories Subject to Obsolescence. *Management Science*, 1964; 11(1): 51-63
- [2] Masters, J.M. A Note on the Effect of Sudden Obsolescence on the Optimal Lot Size. *Decision Sciences*, 1991; 22(5): 1180-1186.
- [3] Song, J.S. and Zipkin, P.H. Managing Inventory with the Prospect of Obsolescence. *Operations Research*, 1996; 44(1): 215-222
- [4] David, I., Greenshtrein, E. and Mehrez, A. A Dynamic-Programming Approach to Continuous-Review Obsolescence Inventory Problems. *Naval Research Logistics*. 1997; 44(8):757-774
- [5] Fink, M.M., and Ferrell, W.G. Inventory Policy for Products with Short Life Cycles. Proceeding of the 11th Industrial Engineering Research Conference, Orlando, 2002.
- [6] Song, Y. and Lau, H. A Periodic-Review Inventory Model with Application to the Continuous-Review Obsolescence Problem. *European Journal of Operational Research*, 2004; 159(1):110-120.

- [7] Emsermann, M. and Simon, B. Optimal Control of an Inventory with Simultaneous Obsolescence. *Interfaces*, 2007; 37(5): 445-454.
- [8] Pinçe, C. and Dekker, R. A Continuous Review Inventory Model with Advance Policy Change and Obsolescence. *Econometric Institute Research*, 2010; 1–37.
- [9] Jaarsveld, W.V. and Dekker, R. Estimating Obsolescence Risk from Demand Data to Enhance Inventory Control. *A case study International Journal of Production Economics*, 2011; 133(1): 1-9.
- [10] Prathumthip, S. and Niyamosoth T. Production Lot Sizing for Multiple Products with Sudden Obsolescence. *Proceedings of IE Network Conference*; 2015 Aug 6-7; Bangkok, Thailand. Nakhon Pathom, Silpakorn University, 2015; 999-1004.
- [11] Groenevelt, H., Pintelon, L. and Seidmann, A. Production Lot Sizes with Machine Breakdowns. *Management Science*, 1992; 38(1):104-123.
- [12] Groenevelt, H., Pintelon, D., and Seidmann, A. Production Batching with Machine Breakdowns and Safety Stocks. *Operations Research*, 1992; 40(5): 959–971.
- [13] Moinszadeh, K. and Aggarwal, P. Analysis of a Production Inventory System Subject to Random Disruptions. *Management Science*, 1997; 43: 1577-1588.
- [14] Ben-Daya, M. The Economic Production Lot-Sizing Problem with Imperfect Production Processes and Imperfect Maintenance. *International Journal of Production Economics*, 2002; 76(3): 257-264.
- [15] Giri, B.C., Yun, W.Y. and Dohi, T. Optimal Design of Unreliable Production-Inventory Systems with Variable Production Rate. *European Journal of Operational Research*, 2005; 162(2): 372-386.
- [16] Chelbi, A., Rezg, N. and Radhoui, M. Simultaneous Determination of Production Lot Size and Preventive Maintenance Schedule for Unreliable Production System. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2008; 161-176.
- [17] Jeang, A. Simultaneous determination of production lot size and process parameters under process deterioration and process breakdown. *Omega*, 2012; 40(6): 774-781.
- [18] Bouslah, B., Gharbi, A. and Pellerin R. Joint Optimal Lot Sizing and Production Control Policy in an Unreliable and Imperfect Manufacturing System. *International Journal of Production Economics*, 2013; 144: 143-156.
- [19] Jafari, L. and Makis, V. Joint Optimal Lot Sizing and Preventive Maintenance Policy for A Production Facility Subject to Condition Monitoring. *International Journal of Production Economics*, 2015, 169; 156-168.
- [20] Cheng, G.Q., Zhou, B.H. and Li, L. Joint Optimization of Lot Sizing and Condition-Based Maintenance for Multi-Component Production Systems. *Computers & Industrial Engineering*, 2017; 110: 538-549.
- [21] Niyamosoth, T., Pathumnakul, S. and Prathumthip S. Production Lot Sizing Problem with Sudden Obsolescence and Machine Breakdowns. *KKU Engineering Journal*, 2016; 43: 504-508.
- [22] Render, B., Stair, R. M. and Hanna, M. E. Quantitative Analysis for Management. 13th edition, Pearson, 2018.