

วารสารวิศวกรรมศาสตร์

นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ สำหรับระบบแบบสองระดับ ภายใต้การศึกษาระยะเวลา

วราภรณ์ พกนนท์^a, ปวีณา เชาวลิตวงศ์^{b,*}, และ นระเกณท์ พุ่มชูศรี^c

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10330

อีเมล: varaporn_puk@yahoo.com^a, paveena.c@chula.ac.th^{b,*}, naragain.p@chula.ac.th^c

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ สำหรับระบบพัสดุคงคลังแบบสองระดับ ประกอบด้วยศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา ที่ความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอน มีการเติมเต็มคลังแบบต่อเนื่อง มีระยะเวลาในการส่งมอบ และมีการกำหนดระดับการให้บริการเป้าหมายเป็นเงื่อนไขของระบบ ด้วยความซับซ้อนของระบบ งานวิจัยเริ่มต้นการศึกษาโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดนโยบายพัสดุคงคลังและสามารถหานโยบายที่ดีที่สุดของระบบได้ ผลการศึกษาแสดงถึงอิทธิพลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องและลักษณะคำตอบของระบบ แต่เนื่องจากวิธีการจำลองสถานการณ์ใช้เวลานานในการหานโยบายที่ดีที่สุด วิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกจึงได้รับการพัฒนาขึ้น โดยอาศัยวิธีการแบ่งส่วนย่อย (Decomposition approach) และวิธีการค้นหาคำตอบแบบหนึ่งมิติ (One-dimensional search) เพื่อให้ได้คำตอบที่ยอมรับได้ จากผลการทดลอง ฮิวริสติกสามารถประหยัดเวลาในการหาคำตอบได้มาก โดยคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกให้ค่าต้นทุนรวมทั้งระบบต่อหน่วยเวลาสูงกว่าค่าต้นทุนรวมจากคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 1.22% โดยเฉลี่ย

คำสืบค้น : นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้, ศูนย์กระจายสินค้า, สาขาหลายสาขา

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (ISSN: 1906-3636) ปีที่ 5 ฉบับที่ 2

วันที่ส่ง 8 มกราคม 2557

วันที่ตอบรับ 17 มีนาคม 2557

วันที่ตีพิมพ์ 31 สิงหาคม 2557

Online at <http://www.ej.eng.chula.ac.th/>

DOI:10.4186/ejth.2013.5.2.27



The Can-Order Policy for Two-Echelon Inventory System under Lead-Time Consideration

Varaporn Pukcarnon^a, Paveena Chavalitwongse^{b,*}, and Naragain Phumchusri^c

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

E-mail: varaporn_puk@yahoo.com^a, paveena.c@chula.ac.th^{b,*}, naragain.p@chula.ac.th^c

Abstract. The research's objective is to develop the can-order policy for two-echelon inventory system consisting of a warehouse and multiple retailers facing stochastic demand. The continuous replenishment is considered. This work emphasizes non-zero lead time and target service level as a system constraint. Due to the complicated system, computer simulation is initially utilized to determine the inventory policy setting from which the best-known solution can be obtained. It also provides new insights of inventory policy setting: the effects of relevant factors and the solution characteristics. Since simulation has to be run on a large search space over a long period of time to find the best-known solution, heuristic approach is utilized to solve this problem. The proposed heuristic is designed based on decomposition approach and one-dimensional search to determine the appropriate inventory policy setting. From the experimental result, the proposed heuristic can obtain the appropriate policy much faster than the simulation by providing on average of 1.22% cost gap, as compared to the best-known solution.

Keywords: Can-order policy, warehouse, multiple retailers.

Engineering Journal (ISSN: 1906-3636) Volume 5 Issue 2

Received 8 January 2014

Accepted 17 March 2014

Published 31 August 2014

Online at <http://www.ej.eng.chula.ac.th/>

DOI:10.4186/ejth.2013.5.2.27

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานโยบายการควบคุมระบบพัสดุคงคลังแบบสองระดับ ในรูปแบบศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา (One-warehouse n-retailer inventory system) โดยอาศัยการบริหารแบบรวมศูนย์ (Centralized control) ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนรวมของทั้งระบบ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารงานได้เป็นอย่างดี [1-3] ในสถานการณ์จริง ระบบดังกล่าวต้องเผชิญกับความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic demand) ทำให้การบริหารพัสดุคงคลังมีความซับซ้อน การตอบสนองต่อความไม่แน่นอนนี้จึงต้องอาศัยข้อมูลที่ถูกต้อง และความรวดเร็วทันต่อความเปลี่ยนแปลง ด้วยความก้าวหน้าทันสมัยของเทคโนโลยีสารสนเทศ การเติมเต็มพัสดุคงคลังอย่างต่อเนื่อง (Continuous replenishment) จึงมีความน่าสนใจมากขึ้น เพราะช่วยให้องค์กรสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และยังช่วยลดปริมาณคงคลังสำรองได้อีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาระบบศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการ และการเติมเต็มพัสดุคงคลังอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยด้านระบบพัสดุคงคลังในรูปแบบศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขานั้น มีอยู่หลายด้าน อาทิเช่น การนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models) และการพัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบ (Solution approaches) เพื่อกำหนดนโยบายในการบริหารพัสดุคงคลัง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำเสนอแบบนโยบายรูปแบบใหม่ๆ เพื่อควบคุมพัสดุคงคลังให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปนโยบายในการบริหารพัสดุคงคลังแบ่งได้เป็น 2 นโยบายหลักคือนโยบายกำหนดระยะเวลาเติมเต็มคงที่และปริมาณเติมเต็มถึงจุดสูงสุด (Fixed-interval order-up-to policies) และนโยบายที่กำหนดปริมาณเติมเต็มแบบคงที่ (Stock-based batch-ordering policies) [4] ตัวอย่างงานวิจัย เช่น Axsäter [5-8] เป็นนักวิจัยที่มีผลงานทางวิชาการเกี่ยวกับการบริหารพัสดุคงคลังอยู่มากมาย ต่อมาในช่วงหลังปีค.ศ. 2000 งานวิจัยจะบูรณาการนโยบายการเติมเต็มพัสดุคงคลังร่วมกับปัญหาในรูปแบบอื่นๆ ทิศทางที่น่าสนใจคือ การผนวกรวมเข้ากับนโยบายการเติมเต็มร่วม (Joint replenishment policy) เพื่อให้เกิดการประหยัดต้นทุนโดยรวมทั้งหมด [9-11]

นโยบายการเติมเต็มร่วม เป็นรูปแบบปัญหาที่มาจากระบบพัสดุคงคลังที่สินค้าหลายชนิดภายใต้หนึ่งคลัง (Multi-item single-location inventory system) หลักการคือ สินค้าในระบบจะเกิดการแบ่งปันต้นทุนในการสั่งซื้อ (Ordering cost) ร่วมกันเมื่อมีการสั่งกับผู้ส่งมอบเดียวกัน ซึ่งจะนำไปสู่การลดต้นทุนรวมของระบบทั้งหมด ภายใต้หลักการดังกล่าว จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับรูปแบบศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขาได้ เนื่องจากโครงสร้างระบบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวิธีการหาคำตอบ มีรูปแบบใกล้เคียงกัน [12] สำหรับระบบที่มีความต้องการไม่แน่นอนและมีการเติมเต็มพัสดุคงคลังอย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนานโยบายการเติมเต็มร่วมขึ้นมาหลายรูปแบบ และสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ (Can-order policy) และนโยบายอื่นๆ [13, 14] ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ เนื่องจากเป็นนโยบายที่ช่วยลดต้นทุนรวมของระบบในหลายสถานการณ์ได้เป็นอย่างดี [13, 15-17] เป็นนโยบายที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับผู้ใช้งาน [18, 19] และมีความเป็นไปได้ที่สามารถจะนำมาพัฒนาบนโครงสร้างระบบแบบสองระดับ [3, 17, 20, 21]

นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ (Can-order policy) ประกอบด้วย 3 ตัวแปรหลัก ได้แก่ ระดับต้องสั่ง (Must-order level: s) ระดับร่วมสั่ง (Can-order level: c) และระดับเติมเต็มในการสั่ง (Order-up-to level: S) โดยกลไกในการตัดสินใจเกิดเมื่อสินค้าตัวใดตัวหนึ่ง ณ เวลาใดๆ มีระดับพัสดุคงคลัง (Inventory position) ลดลงถึงหรือต่ำกว่าระดับต้องสั่ง (s) ก็จะมีการสั่งออเดอร์ขึ้น ขณะเดียวกันหากสินค้าอื่นๆ ที่มีระดับพัสดุคงคลังลดลงถึงหรือต่ำกว่าระดับร่วมสั่ง (c) สินค้าเหล่านั้นก็จะถูกนำมารวม สั่งไปพร้อมกันในออเดอร์นี้ด้วย โดยปริมาณการสั่งจะเติมจากระดับพัสดุคงคลังให้เติมระดับเติมเต็มในการสั่ง (S) ด้วยกลไกดังกล่าวทำให้นโยบายนี้มีความน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบพัสดุคง

คลังแบบศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา โดยแต่ละสาขามีเส้นทางจัดส่งเดียวกัน สามารถสั่งซื้อร่วมกันเพื่อประหยัดค่าส่งได้ และอาศัยกลไกการตัดสินใจแบบเดียวกัน

งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตพัฒนาวิธีการหาคำตอบสำหรับนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ในหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาระบบแบบหนึ่งระดับ (Single echelon) [15, 16, 22] ขณะที่งานวิจัยที่ศึกษาระบบแบบสองระดับ (Two echelon) ยังมีอยู่น้อยมาก และจำกัดขอบเขตในการศึกษา อาทิเช่น Özkaya [17] ศึกษาชานโยบายนี้โดยการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และพัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบ ทั้งนี้ภายใต้ผลการทดสอบที่เทียบเท่ากับขอบเขตล่าง (Lower Bound) วิธีการของ Özkaya [17] ให้คำตอบแตกต่างไปจากขอบเขตล่างมากถึง 156% โดยเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่างานวิจัยดังกล่าวยังไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน [23] ต่อมา Gou และคณะ [24] ศึกษาชานโยบายนี้ ภายใต้ระยะเวลาเป็นศูนย์ (Zero lead time) โดยใช้การจำลองสถานการณ์ ศึกษาผลกระทบจากการปรับค่าพารามิเตอร์ความต้องการสินค้าของลูกค้า และจำนวนสาขา Pukcamon และคณะ [25, 26] ได้ศึกษาชานโยบายนี้ในระบบคลังแบบสองระดับ ที่มีระยะเวลานำเป็นศูนย์ โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในมุมที่กว้างกว่างานวิจัยของ Gou และคณะ [24] จากผลการศึกษาพบว่า การนำนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้มาใช้ขึ้น ช่วยลดต้นทุนรวมได้มากกว่า 30% ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ เช่น องค์ประกอบด้านต้นทุน ความต้องการของลูกค้า จำนวนสาขา เป็นต้น โดยเปรียบเทียบกับนโยบายการเติมเต็มอิสระแบบจุดสั่งซื้อ-ระดับเติมเต็มในการสั่ง (s, S) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน อีกรูปแบบหนึ่งของระบบแบบสองระดับคือ ระบบการขนส่งแบบเทียบท่า (Cross-docking system) ดังเช่นในงานวิจัยของ หฤทัย ไทยมณี [21] เปรียบเทียบนโยบายการเติมเต็มร่วมสำหรับคลังแบบศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา โดยเสนอให้นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้เป็นทางเลือกหนึ่ง แต่ทั้งนี้กำหนดให้ไม่มีการเก็บพัสดุดังคลังในศูนย์กระจายสินค้า ทำให้นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้เกิดขึ้นเพียงที่ระดับสาขาเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาถึงการควบคุมพัสดุดังคลังที่ระดับศูนย์กระจายสินค้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การพัฒนานโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้บนระบบแบบสองระดับ ที่สนใจการควบคุมพัสดุดังคลังทั้งที่ศูนย์กระจายสินค้าและที่ระดับสาขานั้น ยังขาดการพัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบบนระบบที่มีระยะ เวล่านำไม่เท่ากับศูนย์ (Non-zero lead time) โดยสามารถให้คำตอบที่ดีเพียงพอกับระบบได้

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ บนระบบที่มีศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา มีระยะเวลานำไม่เท่ากับศูนย์ (Non-zero lead time) ซึ่งเป็นการขยายขอบเขตจากงานที่ผ่านมาให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น รวมถึงพัฒนาวิธีการหาคำตอบสำหรับนโยบายดังกล่าว เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและยอมรับได้ ในบทความนี้จะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนางานวิจัยอย่างเป็นระบบ ภายใต้หัวข้อต่างๆ ได้แก่ หัวข้อที่ 2 (คำอธิบายระบบ) เป็นการอธิบายให้เข้าใจระบบที่สนใจศึกษา ขอบเขต และสมมติฐานต่างๆ หัวข้อที่ 3 (วิธีการวิจัย) เป็นการอธิบายถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ และรูปแบบวิธีการวิจัยที่นำมาใช้ หัวข้อที่ 4 และ หัวข้อที่ 5 เป็นการอธิบายรายละเอียดเฉพาะในแต่ละวิธีการวิจัย รวมถึงผลการศึกษาที่ได้ และสุดท้ายหัวข้อที่ 6 เป็นการสรุปการวิจัย และชี้ให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้ รวมทั้งเสนอแนวทางการวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต

2. คำอธิบายระบบ

ระบบที่ศึกษาประกอบด้วย ศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถขนส่งภายในรอบเดียวกันได้ ในที่นี้สนใจเพียงสินค้าหนึ่งประเภท (Single commodity) เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษา ความต้องการสินค้าเกิดขึ้นจากลูกค้ารายย่อยของแต่ละสาขา (End customers) ซึ่งไม่ทราบค่าที่แน่นอน ศูนย์กระจายสินค้าทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางดูแลพัสดุดังคลังของทั้งระบบ เมื่อสาขาใดๆ มีระดับพัสดุดังคลังถึงจุดสั่งซื้อ ศูนย์กระจายสินค้าจะเติมเต็ม

พัสดุดังกล่าวให้กับสาขานั้นๆ และเมื่อศูนย์กระจายสินค้ามีระดับพัสดุดังกล่าวของตนเองถึงจุดสั่งซื้อ จะส่งคำสั่งและรับการเติมเต็มจากผู้ส่งมอบภายนอก (Outside supplier) แต่สาขาใช้นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ในการควบคุมพัสดุดังกล่าวแบบต่อเนื่อง กล่าวคือ เมื่อสาขาหนึ่งสาขาใดมีระดับพัสดุดังกล่าวลดลงถึงหรือต่ำกว่าระดับต้องสั่ง (s) ณ เวลาใดๆ จะมีการสั่งซื้อเกิดขึ้น เรียกว่าเป็น “การเติมเต็มตามปกติ (Normal replenishment)” ขณะเดียวกันหากสาขาอื่น ๆ มีระดับพัสดุดังกล่าวลดลงถึงหรือต่ำกว่าระดับร่วมสั่ง (c) สาขาเหล่านั้นก็จะถูกนำมารวมในออเดอร์นี้ไปพร้อมกันด้วย เรียกว่าเป็น “การเติมเต็มแบบพิเศษ (Special replenishment)” โดยศูนย์กระจายสินค้าจะเติมคลังสาขาให้ถึงระดับการเติมเต็มในการสั่ง (S) โดยในระบบนี้จะไม่เกิดการเติมเต็มร่วมที่ศูนย์กระจายสินค้าเนื่องจากเป็นการพิจารณาสินค้าหนึ่งประเภท ทำให้สามารถปรับใช้นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ โดยกำหนดให้ระดับร่วมสั่งมีค่าเท่ากับระดับต้องสั่ง ทำให้นโยบายที่ศูนย์กระจายสินค้าเป็นแบบเดียวกับนโยบายการเติมเต็มแบบจุดสั่งซื้อ-ระดับเติมเต็มในการสั่ง (s, S) ที่ใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการควบคุมพัสดุดังกล่าว เพื่อให้ได้ต้นทุนพัสดุดังกล่าวรวมทั้งระบบ (Total system-wide cost) ต่ำที่สุด โดยต้นทุนหลักมี 2 ประเภท คือ ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุ (Holding cost) และต้นทุนการสั่งซื้อเติมเต็มพัสดุ (Ordering cost) ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุดังกล่าวเกิดขึ้นในคลังทุกแห่ง ทั้งที่ศูนย์กระจายสินค้าและที่สาขา ส่วนต้นทุนการสั่งซื้อเติมเต็มพัสดุ (หมายถึง ค่าแรงงาน ค่าขนส่ง ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดจากการสั่งซื้อครั้ง) จะเกิดขึ้นทุกครั้งที่คลังสาขาสั่งให้เติมเต็ม โดยไม่ขึ้นกับจำนวนสาขาที่ไปส่งในรอบนั้นๆ เช่นเดียวกับที่ศูนย์กระจายสินค้า ต้นทุนการสั่งซื้อเติมเต็มพัสดุดังกล่าวก็เกิดขึ้นต่อครั้ง เมื่อมีการสั่งซื้อไปยังผู้ส่งมอบภายนอก จากนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ การสั่งร่วมกันระหว่างสาขานี้ส่งผลให้ต้นทุนการสั่งซื้อเติมเต็มพัสดุดังกล่าวลดลง แต่ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพัสดุดังกล่าวที่มาร่วมสั่งเติมเต็มแบบพิเศษจะสั่งที่ระดับร่วมสั่ง c ไม่ใช่ที่ระดับต้องสั่ง s ทำให้ต้องเก็บพัสดุดังกล่าวที่อยู่เหนือระดับ s ไว้ เรียกพัสดุดังกล่าวที่เหลืออยู่เหนือระดับ s ว่า สต็อกส่วนเหลือ (Residual stock) [15] ดังนั้นการกำหนดค่าระดับ s , c และ S ของทั้งระบบจึงมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหากสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสในการสั่งร่วม และปริมาณพัสดุดังกล่าว จะทำให้สามารถหาต้นทุนพัสดุดังกล่าวรวมทั้งระบบที่ต่ำที่สุดได้

งานวิจัยนี้กำหนดให้ระบบมีระยะเวลาในการส่งมอบไม่เท่ากับศูนย์ (Non-zero lead time) จึงเกิดกระบวนการตัดสินใจว่าแต่ละคลังควรสั่งเติมเต็มเมื่อใด เพื่อไม่ให้มีสินค้าขาดมือ เกินกว่าระดับการให้บริการเป้าหมาย โดยระดับการให้บริการ เป็นวิธีการหนึ่งในการพิจารณาด้านต้นทุนค่าปรับที่ไม่สามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ (Penalty cost) ที่แปลงมาให้อยู่ในรูปแบบของระดับการให้บริการ ซึ่งสะดวกและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน โดยการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าจะต้องมีระดับการให้บริการ (ไม่ให้เกิดสินค้าขาดมือ) ไม่น้อยกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ เรียกว่า ระดับการให้บริการเป้าหมาย (Target service level: TSL) ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการให้บริการแบบอัตโนมัติการเติมเต็มรายการในคำสั่งซื้อ (Fill rate: FR) ซึ่งเป็นการกำหนดระดับการให้บริการโดยสนใจจำนวนของสินค้าที่สามารถเติมเต็มตามออเดอร์ได้ (Quantity-oriented performance) โดยทั่วไปในการบริหารระบบโดยรวมแบบสองระดับนี้ จะสนใจที่ระดับการให้บริการสุดท้ายที่เกิดขึ้นกับลูกค้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจ TSL เฉพาะที่ระดับสาขานั้นๆ นั่นคือ แต่ละสาขาต้องส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ตาม TSL ที่กำหนดไว้เป็นเงื่อนไขของระบบ

ทั้งนี้ระบบที่ศึกษา ประกอบด้วยสมมติฐานดังต่อไปนี้

สมมติฐานที่ 1 ผู้ส่งมอบภายนอกจะมีปริมาณสินค้าเพียงพอให้กับศูนย์กระจายสินค้าเสมอ เพื่อกำจัดผลกระทบจากปัญหาที่สินค้าไม่เข้าสู่คลังของศูนย์กระจายสินค้าได้ตามกำหนด

สมมติฐานที่ 2 ระบบนี้กำหนดนโยบายให้เกิดการเติมเต็มแบบเชื่อมโยง (Nested policy) เมื่อใดก็ตามที่ศูนย์กระจายสินค้ามีการสั่งเติมเต็มคลังตัวเอง ที่ระดับสาขาเกิดการสั่งเติมเต็มตัวเองเช่นกัน ดังนั้นจะไม่เกิดกรณีที่ศูนย์กระจายสินค้าสั่งก่อนที่ระดับสาขาจะถึงจุดสั่ง [27, 28]

สมมติฐานที่ 3 กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ามีจำนวนสินค้าไม่เพียงพอกับออเดอร์ที่ระดับสาขาสั่งมา ระบบกำหนดให้ศูนย์กระจายสินค้าไม่ส่งแยกออเดอร์ (No-splitting order) เพื่อลดความยุ่งยากจากปัญหาการจัดสรรออเดอร์ให้กับสาขา (Allocation problem) ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของปัญหาที่ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการศึกษา อย่างไรก็ตามเพื่อให้ระบบใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จึงอนุญาตให้เกิดการส่งแทรกได้ กล่าวคือ เมื่อศูนย์กระจายสินค้ามีของให้ไม่เพียงพอกับออเดอร์ที่ 1 ทำให้ต้องรองจนกว่าจะมีของเข้ามาเติมเต็มศูนย์กระจายสินค้า ระหว่างนั้นหากมีออเดอร์ที่ 2 เข้ามา และศูนย์กระจายสินค้ามีของเพียงพอสำหรับออเดอร์ที่ 2 ก่อน ก็สามารถส่งแทรกให้กับออเดอร์ที่ 2 ได้ เพื่อไม่ต้องรองตามลำดับของออเดอร์ ซึ่งแม้ว่าวิธีนี้อาจทำให้ออเดอร์ที่ 1 มีโอกาสที่ต้องรอนานขึ้นได้ แต่ไม่มีผลกระทบต่อระดับการให้บริการ

สมมติฐานที่ 4 เพื่อให้การศึกษานโยบายดังกล่าว สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ง่ายขึ้น และสามารถนำไปสู่การวิเคราะห์และสรุปปัญหาได้อย่างมีรูปแบบ งานวิจัยจึงกำหนดให้แต่ละสาขาเป็นแบบเดียวกัน (Identical retailers) โดยหมายความรวมถึง นโยบาย s , c และ S ที่เหมือนกันทุกสาขา และกำหนดให้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีค่าเท่ากันทุกสาขาด้วย

สมมติฐานที่ 5 กำหนดให้ความต้องการที่เข้ามาเป็นแบบปัวซอง (Poisson demand) ซึ่งจะได้ค่าระยะเวลาระหว่างความต้องการของลูกค้ามีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution)

ภายใต้ระบบที่มีความซับซ้อนดังที่กล่าวมานี้ เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ที่สนใจศึกษานโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ จึงเกิดคำถามของงานวิจัยดังนี้: 1) การที่ระบบมีระยะเวลานำและระดับการให้บริการเป้าหมายเกิดขึ้นนั้น มีผลต่อการกำหนดค่า s , c และ S อย่างไร และ 2) มีวิธีการอย่างไรในการกำหนดค่าระดับ s , c และ S ของทั้งระบบ ให้เกิดความสมดุลระหว่างต้นทุนทั้งหมดและนำไปสู่ต้นทุนที่สอดคล้องรวมทั้งระบบต่ำที่สุด คำถามเหล่านี้จึงนำไปสู่งานวิจัยในขั้นตอนต่อไป

3. วิธีการวิจัย

ในการศึกษานโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้บนระบบดังที่กล่าวมาให้หัวข้อที่ 2 รวมถึงการพัฒนาวิธีการหาคำตอบสำหรับนโยบายนี้ พบว่า การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) โดยการศึกษาเชิงวิเคราะห์ (Analytical approach) นั้นทำได้ยาก เนื่องจากความซับซ้อนยุ่งยากของระบบ อาทิเช่น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสาขา ความไม่แน่นอนของความต้องการ ปริมาณเติมเต็มของแต่ละสาขาไม่คงที่ ช่วงเวลาเติมเต็มของแต่ละสาขาไม่คงที่ และระยะเวลานำที่เกิดขึ้นจริงที่ระดับสาขาไม่คงที่ เป็นต้น งานวิจัยที่ผ่านมา อาศัยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) เพื่อช่วยในการศึกษาระบบที่มีความซับซ้อนเช่นนี้ [24-26, 28]

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ ประกอบด้วย 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ องค์ประกอบด้านต้นทุน อัตราความต้องการของลูกค้า จำนวนสาขา ระยะเวลานำ และระดับการให้บริการเป้าหมาย โดยแสดงในรูปแบบสัญลักษณ์และคำอธิบาย ดังต่อไปนี้

- i = ดัชนี i หมายถึง คลังลำดับที่ $i = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ โดย ศูนย์กระจายสินค้า แทนด้วย $i = 0$
และสาขา แทนด้วย $i = \{1, 2, \dots, n\}$
- n = จำนวนสาขาในระบบ
- λ_i = อัตราความต้องการสินค้าของลูกค้า ณ สาขาที่ i
- h_i = ต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุต่อชิ้นต่อหน่วยเวลา ณ สาขาที่ i

h_0	=	ต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุต่อชิ้นต่อหน่วยเวลา ณ ศูนย์กระจายสินค้า
h_0 / h_i	=	สัดส่วนต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุ ณ ศูนย์กระจายสินค้า เทียบกับ ณ สาขาที่ i
K_r	=	ต้นทุนต่อครั้งในการสั่งเติมเต็มพัสดุ จากศูนย์กระจายสินค้ามายังระดับสาขา
K_w	=	ต้นทุนต่อครั้งในการสั่งเติมเต็มพัสดุ จากผู้ส่งมอบภายนอกมายังศูนย์กระจายสินค้า
l_i	=	ระยะเวลานำในการส่งมอบสินค้า จากศูนย์กระจายสินค้ามายังสาขาที่ i
l_0	=	ระยะเวลานำในการส่งมอบสินค้า จากผู้ส่งมอบภายนอกมายังศูนย์กระจายสินค้า
l_0 / l_i	=	สัดส่วนระยะเวลานำในการส่งมอบสินค้า จากผู้ส่งมอบภายนอกมายังศูนย์กระจายสินค้า เทียบกับ จากศูนย์กระจายสินค้ามายังสาขาที่ i
TSL_i	=	ระดับการให้บริการเป้าหมาย ณ สาขาที่ i

เนื่องจากปัจจัยองค์ประกอบด้านต้นทุน อัตราความต้องการของลูกค้า และจำนวนสาขา มีการศึกษาไว้แล้วในงานวิจัยก่อนหน้า [24-26] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลานำในการส่งมอบสินค้า และระดับการให้บริการเป้าหมายเป็นหลัก โดยกำหนดค่าทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพิจารณาจากค่าพื้นฐานทั่วไปที่พบได้ในหลายงานวิจัย ประกอบกับสัดส่วนต้นทุน h_0 / h_i ที่ผลการศึกษาก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่า h_0 / h_i เป็นปัจจัยสำคัญที่จะชี้ว่า ศูนย์กระจายสินค้าจะตัดสินใจเก็บพัสดุดังคลังไว้หรือเป็นเพียงจุดกระจายสินค้าส่งให้แก่สาขาเก็บพัสดุแต่เพียงระดับเดียว

ตารางที่ 1 ค่าทดสอบของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัย	h_0 / h_i	l_i	l_0 / l_i	TSL_i
ค่าทดสอบ	0.3, 0.5, 0.7	0.2, 1	0.25, 0.5, 1, 2, 4	0.90, 0.95, 0.99

โดยวิธีการหาคำตอบสำหรับระบบที่มีความซับซ้อนดังกล่าว งานวิจัยนี้เลือกใช้ 2 วิธี ได้แก่ “การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation)” เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อศึกษากระบวนการทางพัสดุดังคลังที่มีความซับซ้อน และไม่สามารถหาคำตอบเชิงวิเคราะห์ (Analytical approach) ให้กับระบบได้ ซึ่งเป็นที่นิยมในหลายๆ งานวิจัย [24-26, 28] โดยจำลองสถานการณ์ภายใต้ปัจจัยต่างๆ ที่กำหนด และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดที่ให้ต้นทุนรวมของทั้งระบบต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุดได้ (Best-known solution) แต่การทดลองเช่นนี้ใช้เวลาค่อนข้างมากในการหาคำตอบที่ดีที่สุด แม้จะเป็นปัญหาขนาดเล็ก เพราะจำเป็นต้องทำการทดลองจำนวนมากเพียงพอให้ครอบคลุมขอบเขตคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solutions) “การหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic approach)” จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อช่วยแก้ปัญหาจากวิธีการแรกที่ต้องใช้เวลานานในการทดลอง รวมถึงวิธีการนี้ยังถูกนำมาใช้แทนที่การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) ซึ่งปรากฏในหลายๆ งานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องด้วยลักษณะปัญหามีความซับซ้อน [15-17, 22] สามารถลดพื้นที่ในการค้นหาคำตอบอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีเป็นที่ยอมรับ โดยสมรรถนะของฮิวริสติกสามารถวัดได้โดยการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีการแรก

4. การจำลองสถานการณ์ และผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการเลือกใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ เพื่อช่วยในการศึกษาระบบที่มีความซับซ้อนยุ่งยาก ไม่ว่าจะเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างสาขา ความไม่แน่นอนของความต้องการ ปริมาณเติมเต็มของแต่ละสาขาไม่คงที่ ช่วงเวลาเติมเต็มของแต่ละสาขาไม่คงที่ และระยะเวลานำที่เกิดขึ้นจริงที่ระดับสาขาไม่คงที่ เป็นต้น ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ผู้วิจัยสามารถเห็นผลกระทบ

ต่างๆ ภายใต้นโยบายการเติมร่วมแบบสามารถจัดหาได้ รวมถึงลักษณะคำตอบที่เกิดขึ้นในแต่ละคลัง อันจะเป็นประโยชน์ ก่อให้เกิดความเข้าใจต่อการประยุกต์ใช้นโยบายดังกล่าวสำหรับระบบพัสดุคงคลังแบบสองระดับชั้นได้เป็นอย่างดี

การจำลองสถานการณ์ให้กับระบบที่ศึกษา มีขั้นตอนวิธีการทางคอมพิวเตอร์ (Computer algorithm) ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 3 ส่วน ได้แก่ ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variables) ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant factors) และการตั้งค่าการทดลอง (Experiment setting) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ จะอยู่ในรูปแบบรายงานต้นทุนทางพัสดุคงคลัง และข้อมูลความเคลื่อนไหวต่างๆ จากผลลัพธ์นี้ สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่ให้ต้นทุนพัสดุคงคลังรวมทั้งระบบต่ำที่สุด และเป็นไปตามเงื่อนไขระดับการให้บริการเป้าหมายได้

1) ตัวแปรการตัดสินใจ มีอยู่ด้วยกัน 5 ตัว ได้แก่ $(s_0, S_0; s_i, c_i, S_i)$ ซึ่งแต่ละค่านี้จะถูกนำมาประกอบกันเป็นหนึ่งชุดคำตอบ (Solution) สำหรับโจทย์ปัญหาหนึ่ง ซึ่งหนึ่งโจทย์สามารถมีได้หลายคำตอบ แต่จะมีคำตอบที่ดีที่สุด (Best solution) ซึ่งเป็นนโยบายที่ทำให้ต้นทุนพัสดุคงคลังรวมทั้งระบบต่ำที่สุด การป้อนข้อมูลเข้าสู่การจำลองสถานการณ์ ค่าตัวแปรการตัดสินใจจะถูกนำเข้าแบบช่วง (Range) โดยกำหนดค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด เพื่อใช้ในการสร้างชุดคำตอบหลายๆ ชุด ทั้งนี้กำหนดให้

$TC(s_0, S_0; s_i, c_i, S_i) =$ ต้นทุนพัสดุคงคลังรวมทั้งระบบต่อหน่วยเวลา

$RP =$ ระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ (Running period)

$HC_i =$ ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลังรวม ตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ ณ คลังที่ i

$OC_w =$ ต้นทุนการสั่งเติมเต็มพัสดุคงคลังรวม ตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ที่ระดับศูนย์กระจายสินค้า

$OC_r =$ ต้นทุนการสั่งเติมเต็มพัสดุคงคลังรวม ตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ที่ระดับสาขา

$INV_i =$ ปริมาณพัสดุที่เก็บรักษาไว้ (Quantity-Time Based) ตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ ณ คลังที่ i

$BO_i =$ จำนวนพัสดุขาดมือรวม (Quantity-Based) ตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ ณ คลังที่ i

$NO_w =$ จำนวนครั้งรวมตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ ที่ศูนย์กระจายสินค้าสั่งซื้อไปที่ผู้ส่งมอบภายนอก

$NO_r =$ จำนวนครั้งรวมตลอดช่วงเวลาการจำลองสถานการณ์ ที่ศูนย์กระจายสินค้าเติมเต็มพัสดุคงคลังไปที่สาขา

$FR_i =$ ระดับการให้บริการ ณ สาขาที่ i

$d_i =$ ความต้องการรวมของลูกค้าที่เข้าสู่ระบบ ตลอดช่วงระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ ณ สาขาที่ i

ด้วยรูปแบบปัญหาที่กล่าวมา สามารถสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

สมการต้นทุน

$$TC(s_0, S_0; s_i, c_i, S_i) = \frac{\left(\sum_{i=0}^n HC_i + OC_w + OC_r \right)}{RP} \quad (1)$$

$$HC_i = h_i \times INV_i \quad (2)$$

$$OC_r = K_r \times NO_r \quad (3)$$

$$OC_w = K_w \times NO_w \quad (4)$$

สมการเงื่อนไข

$$FR_i = 1 - \frac{BO_i}{d_i} \quad (5)$$

$$FR_i \geq TSL_i \quad (6)$$

ปริมาณพัสดุที่เก็บรักษาไว้ (INV_i) มีค่าเท่ากับปริมาณที่มีอยู่จริง (Inventory on hand) คูณกับค่าช่วงเวลาเก็บรักษาพัสดุไว้ในเวลานั้น ซึ่งจะสะสมไปตลอดระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ เกิดเป็นค่า INV_i ขณะที่จำนวนพัสดุขาดมือ (BO_i) เป็นค่าที่เกิดจากการพิจารณาระดับคงคลังสุทธิของแต่ละคลัง i (Net inventory level: NET_i) ซึ่งค่า NET_i เท่ากับปริมาณที่มีอยู่จริง (Inventory on hand) หักลบปริมาณที่ถูกคำสั่งเข้ามา เมื่อใดก็ตามที่ค่า $NET_i < 0$ จะเกิดเหตุการณ์ที่พัสดุขาดมือ โดยจำนวนที่ขาดมือนี้จะถูกสะสมไปตลอดระยะเวลาการจำลองสถานการณ์ เกิดเป็นค่า BO_i

2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาขยายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ สถานการณ์ต่างๆ จึงถูกกำหนดขึ้น หนึ่งสถานการณ์ ถือเป็นหนึ่งโจทย์ปัญหา ที่ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านต้นทุน อัตราความต้องการของลูกค้า จำนวนสาขา ระยะเวลา นำ และระดับการให้บริการเป้าหมาย คำตอบที่ดีที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นขอบเขตล่างประจำสถานการณ์นั้น

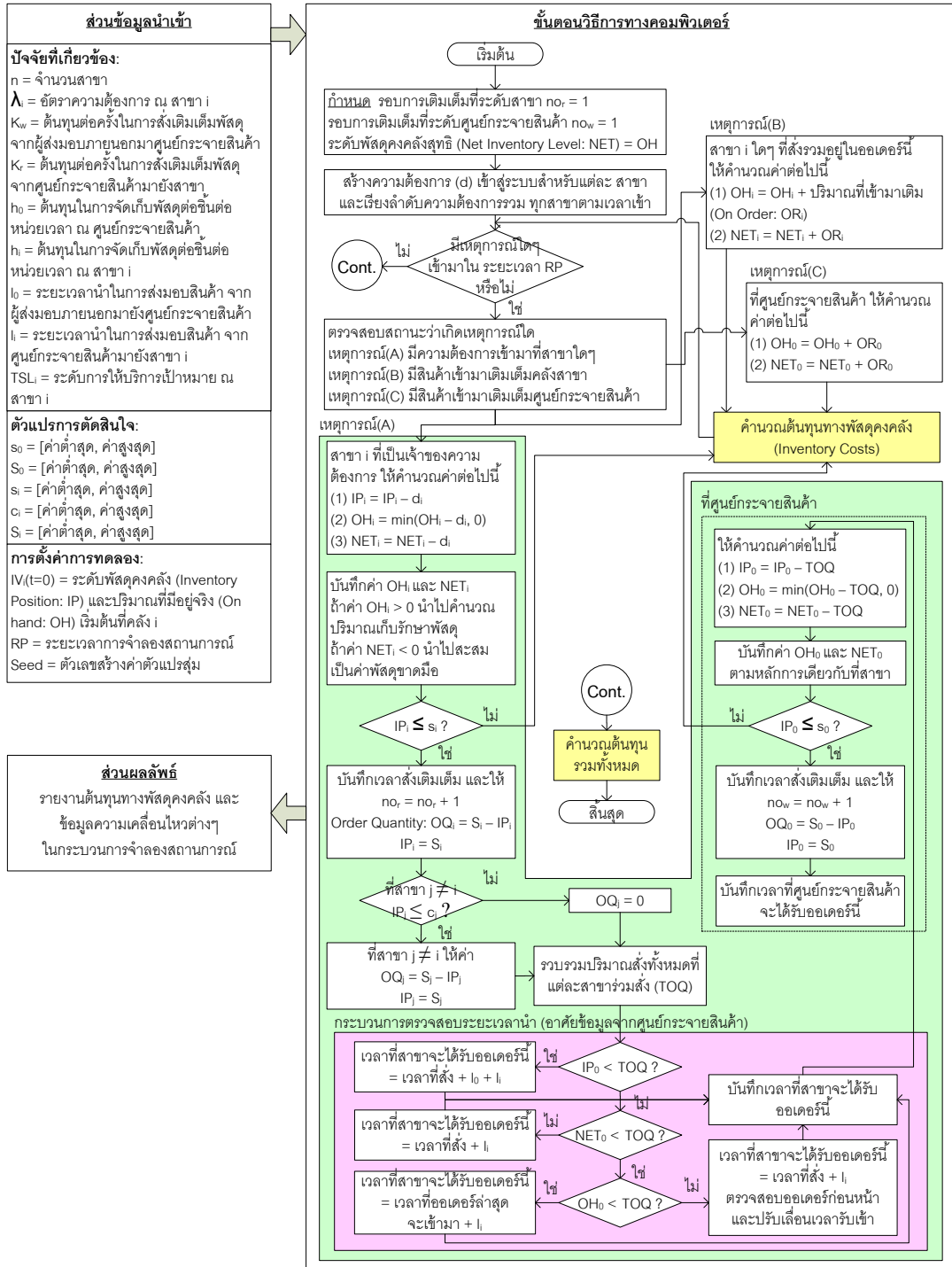
3) การตั้งค่าการทดลอง เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับระบบ ได้แก่ ระดับพัสดุดังกล่าวเริ่มต้น ในที่นี้กำหนดค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับการกำหนดระยะเวลาในการจำลองสถานการณ์ พบว่า คำตอบเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) หลังจากทดสอบไปแล้ว 8,000 หน่วยเวลา ดังนั้นเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่อย่างสมบูรณ์ จึงกำหนดให้ระยะเวลาในการจำลองสถานการณ์มีค่าเท่ากับ 10,000 หน่วยเวลา นอกจากนี้ การทดลองจำเป็นต้องตั้งค่าตัวเลขสร้างค่าตัวแปรสุ่ม (Seed number) ในกับการทดลอง โดยแต่ละ Seed number จะสร้างตัวเลขสุ่มหนึ่งชุด เป็นค่าระยะห่างระหว่างความต้องการของลูกค้าที่เข้าสู่ระบบ (Inter-arrival time)

เนื่องจากงานวิจัยเป็นลักษณะการทดลอง (Experiment-based) จึงต้องอาศัยการทำซ้ำ (Replication) หลายรอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง การทำซ้ำแต่ละรอบใช้ Seed number ที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยกำหนดการทำซ้ำไว้ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การทำซ้ำ 5 รอบต่อหนึ่งโจทย์ปัญหา ซึ่งในแต่ละรอบจะได้นโยบายที่ให้ต้นทุนรวมของทั้งระบบต่อหน่วยเวลาที่ต่ำที่สุด ถือเป็น คำตอบที่ดีที่สุดของระบบในรอบนั้นๆ (The best solution) ซึ่งอาจได้คำตอบที่เหมือนหรือแตกต่างกัน ทั้งนี้พบว่าแต่ละคำตอบมีค่าต้นทุนรวมทั้งระบบต่อหน่วยเวลาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (The best-known solution) เป็นตัวแทนของกลุ่มปัญหา โดยคำตอบที่ดีที่สุดนี้ หมายถึง นโยบายที่ใช้ควบคุมพัสดุดังกล่าวที่ทำให้ระบบเกิดต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยวิธีการเลือกคำตอบที่ดีที่สุดนี้ เกิดจากการนำคำตอบ (The best solution) ที่ได้จากการทำซ้ำแต่ละรอบในขั้นตอนที่ 1 มาหาค่าเฉลี่ยของต้นทุนรวมทั้งระบบต่อหน่วยเวลา (The average total system-wide cost per unit time) จากอีก 10 Seed number เลือกคำตอบที่ให้ค่าต้นทุนรวมทั้งระบบต่อหน่วยเวลาโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆ (The best-known solution) ซึ่งพบว่าแต่ละคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของต้นทุนรวมทั้งระบบต่อหน่วยเวลาจาก 10 Seed number มีค่าต้นทุนเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือการเลือกคำตอบใดๆ มาเป็นตัวแทนสำหรับปัญหานั้นก็สามารถเลือกได้ทุกคำตอบ แต่ทั้งนี้เพื่อระบุคำตอบที่ดีที่สุดอย่างมีระบบ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะคำตอบได้ ขั้นตอนที่ 2 นี้จึงยังนำมาใช้ในงานวิจัยตามที่กำหนดไว้

โดยทั้งนี้วิธีทำซ้ำหลายรอบดังกล่าวได้นำไปใช้กับการยืนยันคำตอบของฮิวริสติก (Output validation) ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีการทางคอมพิวเตอร์ เพื่อการจำลองสถานการณ์ (Computer algorithm)

4.1. ผลกระทบของนโยบายการเติมเต็มแบบสามารถจัดหาได้

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระดับร่วมสั่ง c_i ช่วยให้เกิดการแบ่งปันต้นทุนการสั่งเติมเต็มร่วมกันระหว่างสาขาได้ การเพิ่มค่า c_i เข้าใกล้ค่าระดับเติมเต็มในการสั่ง S_i แม้ว่าจะช่วยเพิ่มโอกาสในการสั่งเติมเต็มร่วมกัน แต่ก็เป็นการเพิ่มปริมาณในการเก็บรักษาพัสดุคงคลังด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการแลกเปลี่ยน (Trade off) เพื่อให้ได้ระดับที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าค่า c_i ที่เพิ่มขึ้นเข้าใกล้ S_i ทำให้ค่าต้นทุนรวมลดลง แต่การเพิ่มค่า c_i จะเพิ่มถึงเพียงจุดๆ หนึ่ง เพราะต้นทุนรวมจะเปลี่ยนเป็น

เพิ่มขึ้นแทน อย่างไรก็ตาม ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากจุดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด มีค่าไม่ถึง 0.2 % โดยเฉลี่ย นอกจากนี้ ประเด็นที่น่าสนใจและมีความแตกต่างจากระบบที่มีระยะเวลานำเป็นศูนย์ คือ ค่า c_i มีผลต่อระดับการให้บริการ FR_i โดยค่า c_i ที่ลดลง มีโอกาสที่จะทำให้ค่า FR_i ลดลงตามได้ เนื่องจากระดับพัสดุคงคลังที่เหลือเฉลี่ยก่อนถึงจุดต้องสั่งมีการปรับลดลงตามค่า c_i ทำให้มีโอกาสที่พัสดุจะขาดมือเพิ่มขึ้น

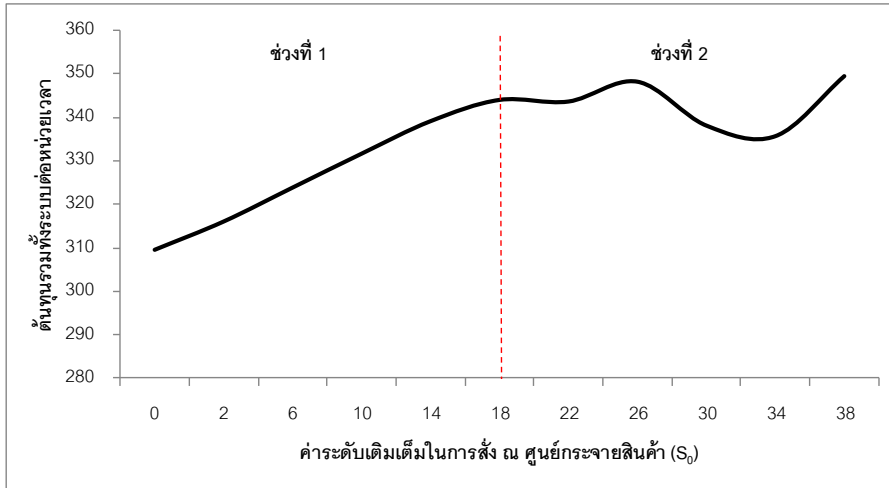
นโยบายการเติมเต็มแบบสามารถจัดหาได้ มีผลต่อต้นทุนโดยรวมทั้งระบบ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับระดับพัสดุคงคลังที่เหลือเฉลี่ยก่อนถึงจุดต้องสั่ง ปริมาณและความถี่ในการสั่งเติมเต็มมายังระดับสาขา ซึ่งแน่นอนว่า ค่าจากระดับสาขาย่อมส่งผลกระทบต่อปริมาณและความถี่ในการสั่งเติมเต็มมายังระดับศูนย์กระจายสินค้าด้วย และมีผลทำให้ค่า FR_i ที่ได้มีค่าสูงกว่านโยบายการเติมเต็มแบบอิสระ ส่งผลให้ค่า s_i สามารถลดต่ำกว่านโยบายการเติมเต็มแบบอิสระได้

4.2. ลักษณะคำตอบแต่ละระดับชั้น

ที่ระดับศูนย์กระจายสินค้า เมื่อกำหนดค่า S_0 และหาคำตอบที่ดีที่สุดของค่า (s_i, c_i, S_i, s_0) พบว่าลักษณะคำตอบเกิดจุดต่ำสุดท้องถิ่น (Local minimum) แบ่งได้เป็น 2 ช่วงใหญ่ๆ คือ ช่วงที่ 1: ค่าระดับเติมเต็มในการสั่ง $S_0 = 0$ และช่วงที่ 2: ค่า $S_0 > 0$ โดยแสดงลักษณะคำตอบดังกล่าวได้ดังรูปที่ 2 สำหรับช่วงที่ 1 คำตอบที่ต่ำที่สุดจะเกิดขึ้นที่ค่า $S_0 = 0$ ต้นทุนรวมจะเพิ่มขึ้นเมื่อ S_0 เพิ่มขึ้นจนถึงจุดจุดหนึ่ง จากนั้นต้นทุนรวมจะลดลง ซึ่งจะเปลี่ยนเข้าสู่ช่วงที่ 2 โดยลักษณะต้นทุนรวมในช่วงที่ 2 จะมีลักษณะคล้ายกราฟแบบเว้า สามารถหาจุดต่ำสุดของต้นทุนรวมในช่วงนี้ได้ ดังนั้นในการกำหนดค่า S_0 จึงต้องพิจารณาทั้ง 2 ช่วงนี้ จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดส่งผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดว่าจะอยู่ในช่วงใด ตัวอย่างเช่น เมื่อค่าสัดส่วนต้นทุน h_0/h_i มีค่ามาก จะส่งผลให้ค่า $S_0 = 0$ นั่นคือ ศูนย์กระจายสินค้าไม่จำเป็นต้องเก็บรักษาพัสดุเลย แต่หากระยะเวลานำในการส่งมอบสินค้า l_0 มีค่าสูง หรือระดับการให้บริการเป้าหมาย TSL_i มีค่าสูง คำตอบที่ดีที่สุดสามารถเปลี่ยนจากช่วงที่ 1 มาเป็นช่วงที่ 2 ได้ ส่วนค่า s_0 ขึ้นอยู่กับ l_0 และ TSL_i ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $[0, s_0^{\max}]$ โดย s_0^{\max} คือ ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของระดับต้องสั่ง ณ ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งนำค่าระยะเวลานำที่ระดับสาขามาพิจารณาด้วย เพื่อให้ศูนย์กระจายสินค้ามีปริมาณสำรองคลังเพียงพอสำหรับช่วงระยะเวลานำของสาขา ค่า s_0^{\max} คำนวณได้จากสมการ (7) กำหนดให้ $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ ซึ่งเป็นผลรวมความต้องการทั้งหมดทุกสาขา และมีกากระจายแบบปัวซอง

$$s_0^{\max} = \min \left\{ s_0 : \sum_{x=0}^{s_0} \left(\frac{[(l_0 + l_i)\lambda_0]^x}{x!} e^{-(l_0 + l_i)\lambda_0} \right) \geq \max(TSL_i) \right\} \quad (7)$$

ที่ระดับสาขา ระดับรวมสั่ง c_i มีค่าใกล้เคียงค่า $S_i - 1$ เนื่องจาก เมื่อสองค่านี้ใกล้กัน จะทำให้เกิดการแบ่งปันต้นทุนในการสั่งเติมเต็มได้มากขึ้น แต่ผลการทดลองนี้ให้ผลแตกต่างเล็กน้อยจากงานวิจัยที่ผ่านมา (ระยะเวลานำเป็นศูนย์) เนื่องจากการทดลองที่ระยะเวลานำเป็นศูนย์ คำตอบที่ดีที่สุดมากถึง 80% เกิดขึ้นที่ค่า $c_i = S_i - 1$ ขณะที่การทดลองนี้ คำตอบที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ค่า $c_i = S_i - 1$ เพียง 25% อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ได้จาก ค่า c_i มีผลต่อระดับการให้บริการ FR_i โดยค่า c_i ที่ลดลง ทำให้ค่า FR_i ลดลง และส่งผลทำให้ต้นทุนรวมลดลงได้ อย่างไรก็ตามผลลัพธ์นี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมของคำตอบที่มี $c_i = S_i - 1$ กับคำตอบที่ดีที่สุด มีค่าความแตกต่างไม่ถึง 0.2 % โดยเฉลี่ย ส่วนค่า s_i ขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลานำในการส่งมอบสินค้า l_i ค่า TSL_i และค่าตัวแปรการตัดสินใจที่ระดับศูนย์กระจายสินค้าด้วย เพราะค่า s_0 และ S_0 มีผลต่อค่า FR_i ที่ระดับสาขา

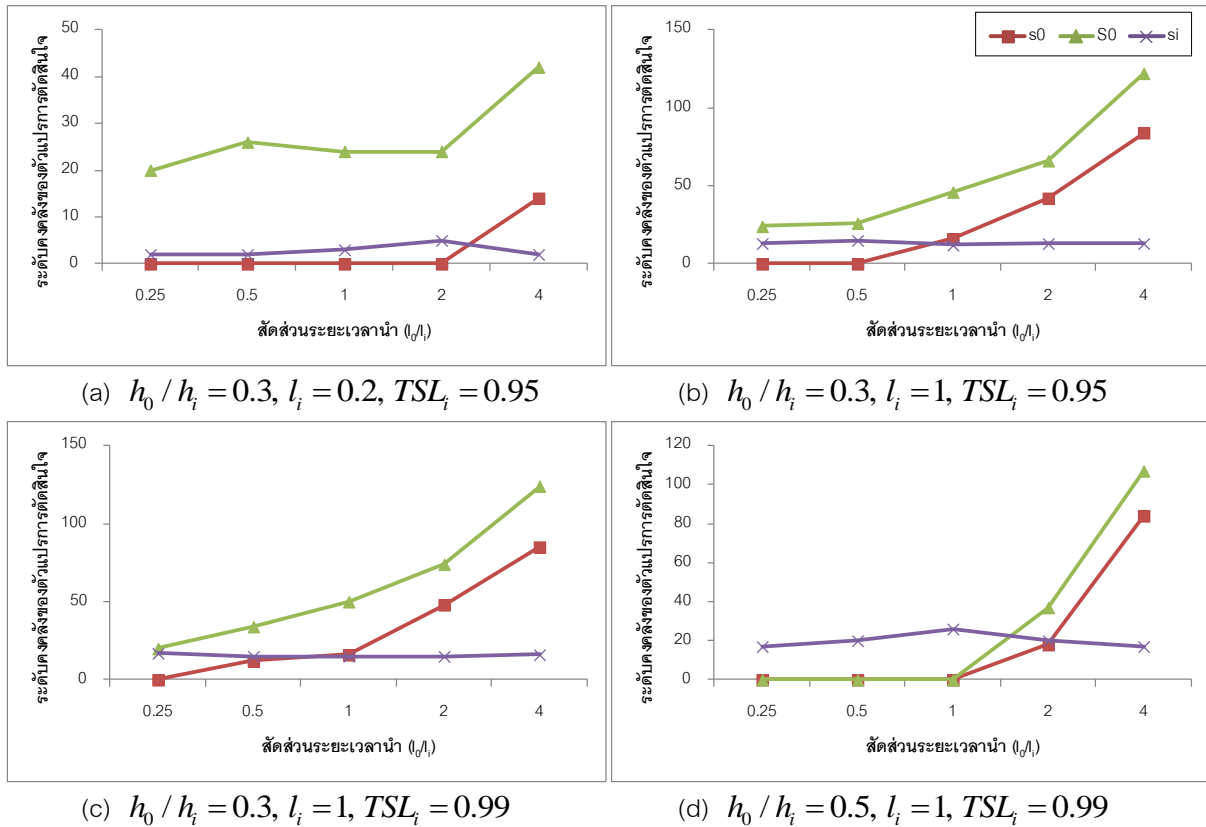


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะคำตอบ

4.2.1. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะคำตอบ

คำตอบที่ดีที่สุด โดยเฉพาะค่า s_0, S_0 และ s_i มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เลือกศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 3(a) และ 3(b) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของระยะเวลานำ พบว่าที่ l_i ค่าสูงจะส่งผลให้ค่า s_0 สูงขึ้น ถึงแม้สัดส่วน l_0/l_i จะมีค่าน้อยก็ตาม ขณะที่ค่า s_i จะสูงขึ้นตาม l_i เพื่อรักษาระดับการให้บริการเป็นไปตามเงื่อนไข โดยต้องสมดุลกับค่า s_0 ที่เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้ l_i ที่ค่าต่ำ ทำให้ s_0 มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์ แต่ไม่ได้หมายความว่าไม่มีการเก็บรักษาพัสดุที่ศูนย์กระจายสินค้า เพราะจะได้ค่า $S_0 > 0$ เพื่อช่วยรักษาระดับการให้บริการเป้าหมาย และช่วยลดรอบการสั่งเติมเต็มที่ระดับสาขา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 3(b) และ 3(c) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของระดับการให้บริการเป้าหมาย ค่า TSL_i ที่สูงไม่ได้มีผลเฉพาะที่ระดับสาขาเท่านั้น แต่ยังส่งผลให้ค่า s_0 สูงขึ้นได้

พิจารณาค่า h_0/h_i ในรูปที่ 3(c) และ 3(d) จะเห็นได้ว่า ค่า h_0/h_i มีผลต่อการเก็บรักษาพัสดุที่ระดับศูนย์กระจายสินค้า ค่า h_0/h_i ที่มากขึ้น ทำให้ค่า S_0 ลดลงเป็นศูนย์ได้ แต่ทั้งนี้โอกาสที่ค่า $S_0 = 0$ จะลดลง เมื่อ l_0/l_i และ TSL_i เพิ่มขึ้น ในกรณีที่ค่า $S_0 = 0$ ส่งผลให้ค่า $s_0 = 0$ ด้วย ดังนั้นค่า s_i จึงมีการปรับค่าให้สูงขึ้น เพื่อรักษาระดับการให้บริการตามเป้าหมาย ค่า h_0/h_i นี้สามารถทำให้คำตอบที่ดีที่สุดเปลี่ยนจากช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ 2 ได้เมื่อค่า h_0/h_i ลดลง

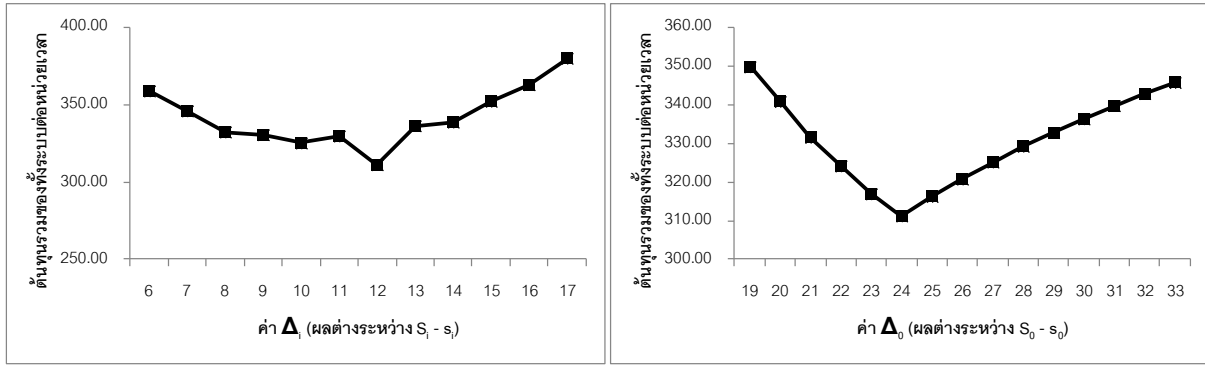
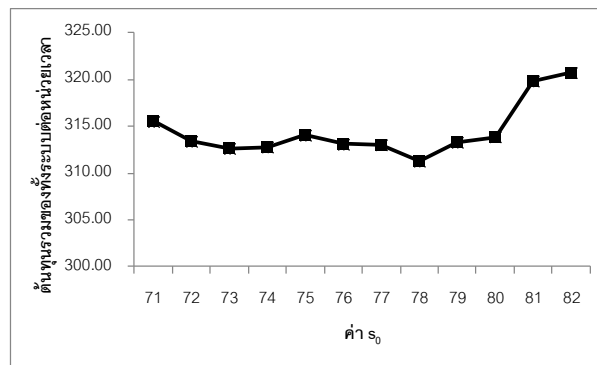


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะคำตอบ

4.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจ

ตัวแปรการตัดสินใจทั้งหมดมีความสัมพันธ์กัน ทำให้ยากที่จะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาตัวแปรการตัดสินใจแยกส่วน กำหนดให้ค่า $\Delta_k = S_k - s_k$ สำหรับครั้งที่ k ใดๆ โดยสำหรับศูนย์กระจายสินค้า $\Delta_0 = S_0 - s_0$ และ สำหรับระดับสาขา $\Delta_i = S_i - s_i, i \in N$ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรแต่ละค่า ทำให้ต้นทุนรวมมีลักษณะคล้ายกราฟแบบเว้า สามารถหาจุดต่ำสุดของต้นทุนรวมในช่วงหนึ่งได้ ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 โดยแต่ละจุดบนกราฟ เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละค่าตัวแปรบนแกนนอน

จากการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่างๆ ภายใต้นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดทำได้ และลักษณะคำตอบที่เกิดขึ้นในระบบ สร้างความเข้าใจต่อการประยุกต์ใช้นโยบายดังกล่าวสำหรับระบบพัสดุคงคลังแบบสองระดับชั้นได้ และสามารถตอบคำถามของงานวิจัยเกี่ยวกับ อิทธิพลของระยะเวลาและระดับการให้บริการเป้าหมายที่มีต่อการกำหนดค่า s, c และ S ได้ คำถามถัดมาคือ มีวิธีการอย่างไรในการกำหนดค่าระดับ s, c และ S ของทั้งระบบ ให้เกิดต้นทุนพัสดุคงคลังรวมทั้งระบบต่ำที่สุด การหาคำตอบที่ดีที่สุดจากการจำลองสถานการณ์เป็นวิธีการหนึ่ง แต่ข้อเสียคือใช้เวลาค่อนข้างมากในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ถึงแม้จะเป็นปัญหามิติเล็กก็ตาม เพราะต้องทำการทดลองมากเพียงพอจนครอบคลุมขอบเขตคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นการหาคำตอบแบบฮิวริสติกจึงถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาในจุดนี้ โดยอาศัยผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์มาเป็นแนวคิดในการพัฒนาวิธีการ และวัดสมรรถนะของฮิวริสติก โดยใช้คำตอบที่ดีที่สุดจากการจำลองสถานการณ์ในการเปรียบเทียบ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

(a) แปรค่า Δ_i และคงที่ค่า s_0 และ S_0 (b) แปรค่า Δ_0 และคงที่ค่า s_0, s_i และ S_i (c) แปรค่า s_0 และตัวแปรอื่นไม่คงที่ (มีการเปลี่ยนค่าตาม s_0)

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจกับต้นทุนรวม

5. วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก และผลการทดสอบ

5.1. หลักการและวิธีการหาคำตอบ

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4 มีประเด็นน่าสนใจที่ควรนำมาใช้ในการพัฒนาวิธีการหาคำตอบ เพื่อช่วยให้การหาคำตอบทำได้ง่ายขึ้น โดยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกนี้จะอาศัยหลักการเหล่านั้น ดังต่อไปนี้

1) การพัฒนาวิธีการหาคำตอบจะแยกออกเป็น 2 ช่วงตามลักษณะคำตอบที่เกิดจุดต่ำสุดท้องถิ่น (Local minimum) คือ ช่วงที่ 1: ค่าระดับเต็มเต็มในการสั่ง $S_0 = 0$ และช่วงที่ 2: ค่า $S_0 > 0$

2) การกำหนดระดับร่วมสั่ง c_i ให้มีค่าเท่ากับ $S_i - 1$ เพื่อลดตัวแปรการตัดสินใจลง ซึ่งจะช่วยให้หาคำตอบได้ง่ายขึ้น โดยหลักการนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eijs [15] และงานวิจัยบนระยะเวลาเป็นศูนย์ของ Pukcarmon และคณะ [26]

3) วิธีการหาคำตอบแบ่งส่วนย่อย (Decomposition approach) เป็นการแบ่งหาคำตอบในแต่ละคลัง (Single location) โดยคงที่ค่าตัวแปรในคลังอื่นๆ ไว้ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมสำหรับปัญหาการเพิ่มเต็มแบบสามารถจัดทำได้ [15, 16, 22, 26] อีกทั้งผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.2 แสดงให้เห็นว่า การพิจารณาคำตอบแบบแบ่งส่วนนี้ทำให้เกิดรูปแบบของคำตอบที่น่าสนใจ และสามารถค้นหาคำตอบ โดยอาศัยวิธีการค้นหาคำตอบอย่างง่ายเพียงหนึ่งมิติ (One-dimensional search) ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีการค้นหาแบบโกลเดนเซกชัน (Golden section search) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาจุดต่ำสุด (หรือจุดสูงสุด) ที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ [15, 29]

4) สมการต้นทุน (Cost function) อาศัยค่าที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ (Simulation cost model) ซึ่งถือเป็นค่าจริงจากกระบวนการที่เกิดขึ้น เนื่องจากระบบมีความซับซ้อน การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประมาณค่าสมการต้นทุนเพื่อเป็นตัวแทนของระบบจึงทำได้ยาก และอาจทำให้คำตอบเกิดความคลาดเคลื่อน (Cost error) ได้มาก

จากหลักการดังกล่าว สามารถนำไปสู่วิธีการหาคำตอบได้ ขั้นตอนการหาคำตอบแสดงไว้ดังรูปที่ 5 กำหนดให้ค่า $\Delta_k = S_k - s_k$ สำหรับครั้งที่ k ใดๆ โดยสำหรับศูนย์กระจายสินค้าใช้ตัวแปรแทนด้วย $\Delta_0 = S_0 - s_0$ และ สำหรับระดับสาขาใช้ตัวแปรแทนด้วย $\Delta_i = S_i - s_i, i \in N$

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการหาค่าเริ่มต้น Δ_i และ Δ_0 ตามวิธีการย่อยที่ 1 [26] ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

วิธีการย่อยที่ 1.1: หาจุดเวลาในการเติมเต็มร่วมที่ระดับสาขา (T_d) โดยให้ $T_d = \sqrt{2K_r / \sum_{i=1}^n \lambda_i h_i}$

วิธีการย่อยที่ 1.2: เลือกค่า Δ_i สำหรับแต่ละสาขา i ที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$\Delta_i = \begin{cases} m & \text{if } \left\{ Poiss(\lambda_i T_d, m+1) - \left(\frac{n}{n+1} \right) \right\} \geq \left\{ \left(\frac{n}{n+1} \right) - Poiss(\lambda_i T_d, m) \right\} \\ m+1 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$Poiss(\lambda_i T_d, m) = \frac{(\lambda_i T_d)^m e^{-(\lambda_i T_d)}}{m!} \quad (9)$$

โดยค่า $Poiss(\lambda_i T_d, m)$ หมายถึง โอกาสจะเกิดความต้องการจากลูกค้าเข้ามาจำนวน m หน่วย บนการกระจายความน่าจะเป็นแบบปัวซองของอัตราการความต้องการ λ_i ในช่วงเวลา T_d

วิธีการย่อยที่ 1.3: หาค่า Δ_0 โดยใช้สมการ $\Delta_0 = \sqrt{\frac{2K_w \lambda_0}{h_0}}$ สำหรับศูนย์กระจายสินค้า โดยค่า $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$

ขั้นตอนที่ 2 และ 3 เป็นการหาคำตอบท้องถิ่นที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละช่วงที่พิจารณา โดยขั้นตอนที่ 2 สำหรับช่วงที่ 1 และขั้นตอนที่ 3 สำหรับช่วงที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้นในขั้นตอนที่ 2 สามารถกำหนด $s_0 = 0$ และ $S_0 = 0$ การค้นหาคำตอบจึงเกิดขึ้นเฉพาะที่ระดับสาขา ขณะที่ขั้นตอนที่ 3 ต้องหาค่า s_0 และ Δ_0 แต่ทั้งนี้ ทั้ง 2 ขั้นตอน ใช้วิธีการย่อยที่ 2 และ วิธีการย่อยที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นฐานในการหาคำตอบที่ต้องการเช่นเดียวกัน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

วิธีการย่อยที่ 2 เป็นวิธีการค้นหาค่า s_i ตามเงื่อนไขระดับการให้บริการเป้าหมาย ซึ่งวิธีการนี้จะถูกนำไปใช้ในทุกระยะที่มีการหาค่าต้นทุนรวมของคำตอบใดๆ ประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

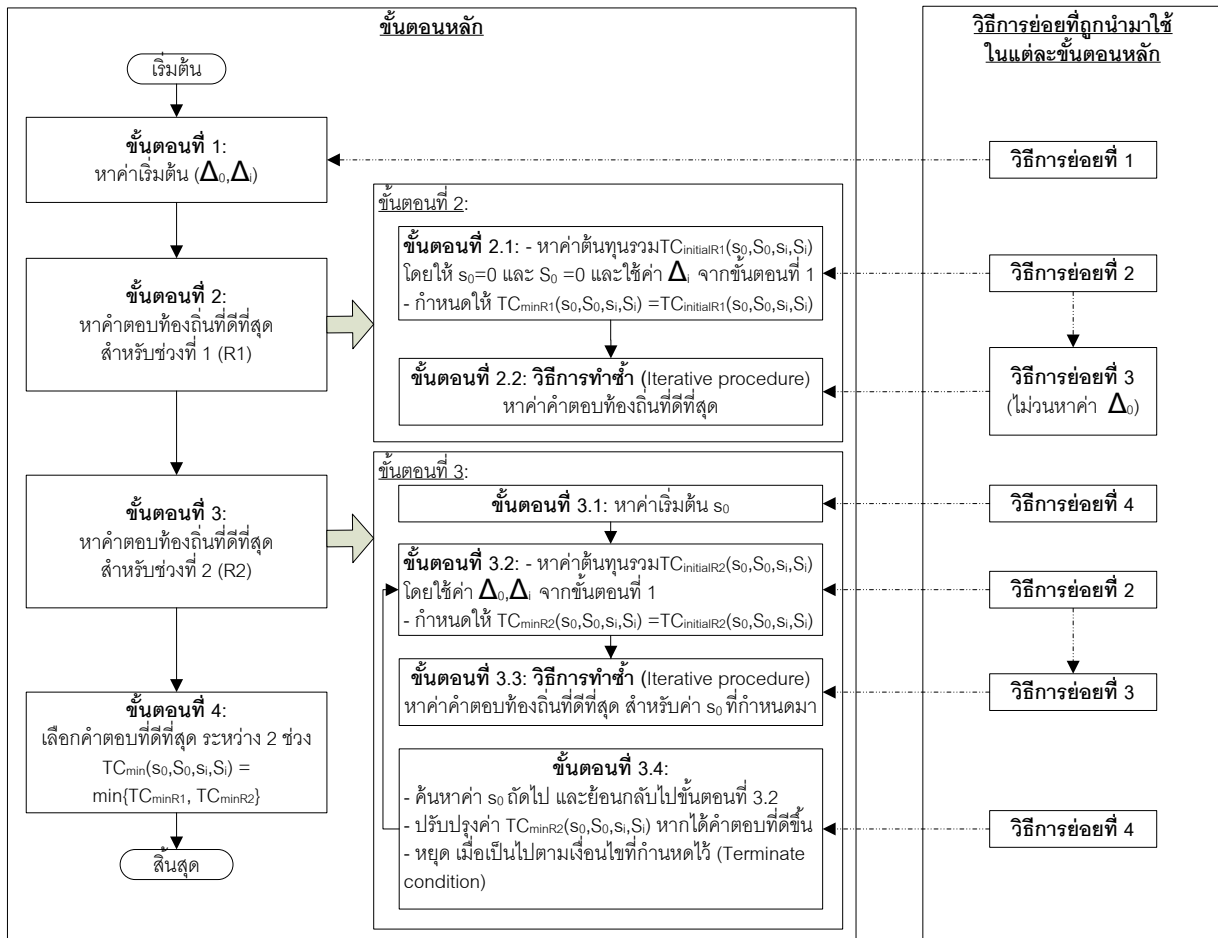
วิธีการย่อยที่ 2.1: คำนวณหาค่าเริ่มต้น s_i ของแต่ละสาขา i จากสมการที่ (10) จนครบทุกสาขา

$$s_i^{initial} = \min \left\{ s_i : \sum_{x=0}^{s_i} \left(\frac{(\lambda_i l_i)^x}{x!} e^{-(\lambda_i l_i)} \right) \geq TSL_i \right\} \quad (10)$$

เริ่มต้นที่ สาขา $i = 1$ และดำเนินการตามวิธีการย่อยต่อไปเรื่อยๆ จนครบทุกสาขา โดยการคำนวณค่า FR_i หาได้จากการนำเข้าสู่ข้อมูลตัวแปรการตัดสินใจที่กำหนดไว้ทั้งหมดเข้าสู่การจำลองสถานการณ์

วิธีการย่อยที่ 2.2: ตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่าง FR_i และ TSL_i โดยกำหนดขอบเขตไว้เท่ากับค่า $\hat{\epsilon}$ หากค่า $|FR_i - TSL_i| \leq \hat{\epsilon}$ ให้เลือกใช้วิธีการย่อยที่ 2.3 แต่ถ้ามากกว่าค่า $\hat{\epsilon}$ ให้เลือกใช้วิธีการย่อยที่ 2.4 แทน

วิธีการย่อยที่ 2.3: เป็นวิธีการค้นหาคำตอบตามลำดับ (Sequential search) โดยเปรียบเทียบค่า FR_i และ TSL_i ถ้า $FR_i < TSL_i$ ให้เพิ่มค่า s_i ทีละหนึ่งจนกว่า $FR_i \geq TSL_i$ เลือกค่า s_i ที่ได้เป็นคำตอบ แต่ถ้า $FR_i > TSL_i$ ให้ลดค่า s_i ทีละหนึ่งจนกว่า $FR_i < TSL_i$ ให้เลือกค่า s_i สุดท้ายที่ทำให้ค่า $FR_i \geq TSL_i$ เป็นคำตอบ และหยุดการค้นหา



รูปที่ 5 ขั้นตอนวิธีการหาค่าตอบแบบฮิวริสติก

วิธีการย่อยที่ 2.4: เป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบทีละครึ่ง (Half-interval search) เริ่มต้นจากกำหนดขอบเขตให้กับค่า s_i โดยถ้า $FR_i > TSL_i$ กำหนดให้ $s_i^A = s_i$ ที่ได้ และ $s_i^B = 0$ แต่ถ้า $FR_i < TSL_i$ ให้เพิ่มค่า $s_i = s_i + R$ โดย $R = \text{round}(\lambda_i)$ (ปัดค่าเป็นจำนวนเต็ม) เพิ่มไปจนกว่า $FR_i > TSL_i$ และเลือกกำหนดให้ $s_i^A = s_i$ ค่าสุดท้ายที่ได้ และ $s_i^B = s_i$ ค่าก่อนหน้า ซึ่งจะได้ช่วงในการค้นหา (R') เท่ากับ $|s_i^A - s_i^B|$ จากนั้นเข้าสู่กระบวนการวนซ้ำ เพื่อค้นหาค่า s_i โดยถ้า $FR_i > TSL_i$ จะได้ $s_i = s_i^A - R'/2$ แต่ถ้า $FR_i < TSL_i$ จะได้ $s_i = s_i^A + R'/2$ และกำหนดค่าใหม่ให้ $s_i^B = s_i^A$ และ $s_i^A = s_i$ ค่าล่าสุดที่ค้นหาได้ และปรับค่า R' ใหม่ วนซ้ำจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขของวิธีการย่อยที่ 2.2

วิธีการย่อยที่ 3 เป็นวิธีการค้นหาค่า Δ_k โดยการวนซ้ำ (Iterative procedure) กำหนดให้ $k = 0$ และเพิ่ม $k = k + 1$ ไปจนกว่าจะครบทุกคั้งตามจำนวน $n + 1$ ซึ่งจะนับเป็นหนึ่งรอบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ กรณีที่ $k = 0$ จะเป็นการพิจารณาที่ค่า Δ_0 และเมื่อ $k > 0$ จะเป็นการพิจารณาที่ค่า Δ_i , $i \in N$ การดำเนินการของวิธีการย่อยที่ 3 จะแปรค่า Δ_k โดยให้ $\Delta_{j \neq k}$ มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง อาศัยการค้นหาแบบโกลเด้นเซคชัน กำหนดให้ค้นหาค่า Δ_k และมีค่าต้นทุนรวมทั้งระบบเป็นฟังก์ชันผลลัพธ์ โดยทุกครั้งที่หาค่าฟังก์ชันผลลัพธ์ จะต้องหาค่า s_i ของทุกสาขา (ใช้วิธีการย่อยที่ 2.2) เสียก่อน เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าสู่การหาค่าฟังก์ชันผลลัพธ์ วิธีการนี้จะวนซ้ำรอบจนกว่าจะได้ค่าต้นทุนรวมที่ลดลงจากรอบก่อนหน้าไม่เกินค่า $\varepsilon\%$ และหยุดการค้นหา

สำหรับวิธีการย่อยที่ 2 และ 3 เป็นการดำเนินการภายใต้ค่า s_0 ที่กำหนดไว้ให้ เพื่อใช้ในการหาค่าตัวแปรการตัดสินใจตัวอื่นๆ โดยค่า s_0 กำหนดขึ้นจากวิธีการย่อยที่ 4 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ค้นหาค่า s_0 อาศัยการค้นหาแบบโกลเด้นเซคชัน (Golden

section search) กำหนดให้ค้นหาค่า s_0 โดยมีค่าต้นทุนรวมทั้งระบบเป็นฟังก์ชันผลลัพธ์ (ได้มาจากวิธีการย่อยที่ 3) ค้นหา ค่า s_0 จนกว่าจะได้ค่าที่ให้ต้นทุนรวมทั้งระบบต่ำที่สุด ซึ่งจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ฮิวริสติกสามารถค้นหาได้สำหรับโจทย์ ปัญหาอื่นๆ

วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกดังที่กล่าวมา ได้ถูกนำไปทดสอบภายใต้สถานการณ์ต่างๆ เพื่อวัดสมรรถนะของฮิวริสติก โดยผลการทดสอบและบทวิเคราะห์จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

5.2. ผลการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งระบบจากคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก ($TC^{(HRT)}$) กับต้นทุนรวมทั้งระบบจากคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีการจำลองสถานการณ์ ($TC^{(BS)}$) ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ โดยใช้สมการที่ (11) หาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก เทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีการจำลองสถานการณ์

$$Cost\ Gap = \frac{(TC^{(HRT)} - TC^{(BS)}) \times 100}{TC^{(BS)}} \quad (11)$$

ในการสร้างปัญหาในการทดสอบ อาศัยตารางที่ 1 เช่นเดียวกับวิธีการจำลองสถานการณ์ โดยผลการทดสอบ สรุปได้ดัง ตารางที่ 2 แยกตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องในแต่ละกรณี ซึ่งค่าตัวเลขที่ปรากฏในตารางแต่ละค่า มีความหมายดังนี้ ค่าก่อนหน้า เครื่องหมายวงเล็บ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ และค่าในเครื่องหมายวงเล็บ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (Coefficient of variation) ของค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์ความแตกต่างที่ได้จากผลการทดสอบสมรรถนะของวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีการจำลองสถานการณ์ ในแต่ละกรณีของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

		สัดส่วนต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุ	
		ค่าต่ำ ($h_0 / h_i < 0.5$)	ค่าสูง ($h_0 / h_i \geq 0.5$)
ระยะเวลานำระดับสาขา	ค่าต่ำ ($l_i = 0.2$)	2.38% (1.15)	0.70% (1.86)
	ค่าสูง ($l_i = 1$)	1.24% (0.60)	0.96% (1.55)
สัดส่วนระยะเวลานำ	ค่าต่ำ ($l_0 / l_i \in \{0.2, 0.5\}$)	2.05% (0.64)	1.44% (1.31)
	ค่าสูง ($l_0 / l_i \in \{1, 2, 4\}$)	1.59% (1.21)	0.33% (1.03)
ระดับการให้บริการ เป้าหมาย	ค่าต่ำ ($TSL_i = 0.90$)	1.46% (0.85)	1.25% (1.43)
	ค่ากลาง ($TSL_i = 0.95$)	3.45% (0.67)	1.09% (1.37)
	ค่าสูง ($TSL_i = 0.99$)	1.07% (1.06)	0.08% (2.18)
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด		1.72% (0.94)	0.81% (1.62)

วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก สามารถหาคำตอบที่ให้ต้นทุนรวมทั้งระบบได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด มีความแตกต่างกันเพียง 1.22% โดยเฉลี่ย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีมากในกรณีที่สัดส่วนต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุมีค่าสูง (ความแตกต่าง 0.81%) นอกจากนี้ ฮิวริสติกนี้ยังให้คำตอบที่ดีมากเมื่อค่าระดับการบริการเป้าหมายมีค่าสูง โดยไม่ขึ้นกับสัดส่วนต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุ สำหรับกรณีที่ค่าความแตกต่างมากกว่า 2% พบว่า เกิดในกรณีที่คำตอบที่ดีที่สุดมี

ค่า $s_0 = 0$ และค่า $S_0 \neq 0$ ซึ่งจะพบคำตอบแบบนี้ได้ในสถานการณ์ที่ค่าสัดส่วน h_0 / h_i ต่ำ ร่วมกับค่า l_i ต่ำหรือค่า l_0 / l_i ต่ำ อย่างไรก็ตามในกรณีดังกล่าว คำตอบจากฮิวริสติกมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยเพียง 2.73%

เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกกับการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีการแรกนั้น พบว่าฮิวริสติกช่วยให้การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเร็วกว่าวิธีการจำลองสถานการณ์ เนื่องจากการเลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบ่งส่วนย่อย (Decomposition approach) และการค้นหาคำตอบอย่างง่ายเพียงหนึ่งมิติ (One-dimensional search) ซึ่งผลการทดสอบที่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นถึง สมรรถนะที่ดียิ่งของวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก สามารถลดเวลาในการค้นหาคำตอบและคำตอบที่ได้มีค่าความแตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ สำหรับระบบแบบสองระดับที่มีศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา อาศัยวิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ในการศึกษาในนโยบายนี้ เพื่อตอบ 2 คำถามวิจัย คือ การที่ระบบมีระยะเวลานำและระดับการให้บริการเป้าหมายเกิดขึ้น มีผลต่อการกำหนดค่าตัวแปรการตัดสินใจอย่างไร และมีวิธีการกำหนดค่าตัวแปรการตัดสินใจอย่างไร เพื่อให้ได้ต้นทุนพัสดุดังกล่าวรวมทั้งระบบต่ำที่สุด

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า นโยบายนี้มีผลต่อต้นทุนโดยรวมทั้งระบบ เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับระดับพัสดุดังกล่าวที่เฉลี่ยเฉลี่ยก่อนถึงจุดต้องสั่ง ปริมาณและความถี่ในการสั่งเติมเต็มมายังระดับสาขาและระดับศูนย์กระจายสินค้า และมีผลต่อระดับการให้บริการ ลักษณะคำตอบที่ระดับศูนย์กระจายสินค้าจะเกิดจุดต่ำสุดท้องถิ่น แบ่งได้เป็น 2 ช่วงใหญ่ๆ คือ ช่วงที่ 1 ค่าระดับเติมเต็มในการสั่ง $S_0 = 0$ และช่วงที่ 2 ค่า $S_0 > 0$ ขณะที่ลักษณะคำตอบที่ระดับสาขา ค่า c_i จะมีค่าใกล้เคียงค่า $S_i - 1$ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมของคำตอบที่มี $c_i = S_i - 1$ กับคำตอบที่ดีที่สุด มีค่าความแตกต่างไม่ถึง 0.2 % โดยเฉลี่ย ปัจจัยด้านระยะเวลานำ ระดับการให้บริการเป้าหมาย และสัดส่วนต้นทุนการเก็บพัสดุ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลักในการศึกษาระบบซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อลักษณะคำตอบที่ได้

เนื่องด้วยตัวแปรการตัดสินใจทั้งหมดมีความสัมพันธ์กัน ยากที่จะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงใช้การพิจารณาตัวแปรการตัดสินใจแยกส่วน กล่าวคือมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรค่าหนึ่ง โดยคงค่าตัวแปรอื่นไว้ ทำให้ต้นทุนรวมมีลักษณะคล้ายกราฟแบบว่า ที่สามารถหาจุดต่ำสุดของต้นทุนรวมในช่วงหนึ่งได้ จากลักษณะคำตอบดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้ อาศัยวิธีการหาคำตอบแบ่งส่วนย่อย (Decomposition approach) และสามารถค้นหาคำตอบอย่างง่ายเพียงหนึ่งมิติ (One-dimensional search) ผลการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติก แสดงให้เห็นว่า วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกมีสมรรถนะที่ดียิ่ง สามารถประหยัดเวลาในการค้นหาคำตอบได้ เมื่อเทียบกับวิธีการจำลองสถานการณ์ โดยอาศัยกระบวนการค้นหาคำตอบอย่างเป็นระบบ ทำให้คำตอบที่ได้มีค่าความแตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 1.22% โดยเฉลี่ย

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในระบบพัสดุดังกล่าวที่มีศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีหลายสาขา โดยแต่ละสาขาอยู่ในพื้นที่ที่ไม่ห่างไกลกันมากนัก (ไม่ก่อให้เกิดต้นทุนการสั่งซื้อเพิ่มเติม) โดยเริ่มต้นพิจารณาจากสินค้าหนึ่งประเภท และสามารถขยายต่อขยายใช้กับสินค้ามากกว่าหนึ่งประเภทได้โดยมองแบบอิสระจากกันในแต่ละประเภทสินค้า ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ และสมรรถนะของวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่ช่วยประหยัดเวลาในการนำไปใช้งานได้มาก นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญ สำหรับการนำนโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ไปใช้ในระบบแบบสองระดับ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเพิ่มเติมในมุมมองอื่นๆ ได้สำหรับงานวิจัยในอนาคต เช่น การศึกษาต้นทุนการสั่งซื้อเพิ่ม (Minor ordering cost) สำหรับในกรณีที่ระยะทางระหว่าง

สาขาที่ผลต่อระบบทำให้เกิดต้นทุนส่วนนี้ขึ้น การศึกษาสินค้าหลายชนิด (Multiple items) เพื่อให้ศูนย์กระจายสินค้าสามารถแบ่งปันต้นทุนระหว่างสินค้าได้เพิ่มขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีความน่าสนใจในการศึกษาเปรียบเทียบ นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้กับนโยบายอื่นๆ เพื่อชี้ให้เห็นประโยชน์ของแต่ละนโยบายในแต่ละสถานการณ์ได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนจากทุน 72 พรรษาฯ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันเป็นทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษา

บรรณานุกรม

- [1] K. Arshinder, A. Kanda, and S. G. Deshmukh, "A review on supply chain coordination: Coordination mechanisms, managing uncertainty and research directions," *Supply Chain Coordination under Uncertainty*, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 39-82.
- [2] B. D. Williams and T. Tokar, "A review of inventory management research in major logistics journals: Themes and future Directions," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 19, no. 2, pp. 212-232, 2008.
- [3] P. Kelle, H. Schneider, S. Wiley-Patton, and J. Woosley, "Healthcare supply chain management," in *Inventory Management: Non-Classical Views*, M. Y. Jaber, Ed. Boca Raton: CRC Press, 2009, ch. 5, pp. 99-128.
- [4] Q. Wang, T.-M. Choi, and T. C. E. Cheng, "Control policies for multi-echelon inventory systems with stochastic demand," in *Supply Chain Coordination under Uncertainty*. Berlin Heidelberg: Springer, 2011, pp. 83-108.
- [5] S. Axsäter, "Simple solution procedures for a class of two-echelon inventory problems," *Operations Research*, vol. 38, no. 1, pp. 64-69, 1990.
- [6] S. Axsäter, "Evaluation of installation stock based (R, Q)-policies for two-level inventory systems with Poisson demand," *Operations Research*, vol. 46, no. 3-Supplement-3, pp. S135-S145, 1998.
- [7] S. Axsäter, "Exact analysis of continuous review (R,Q) policies in two-echelon inventory systems with compound Poisson demand," *Operations Research*, vol. 48, no. 5, pp. 686-696, 2000.
- [8] S. Axsäter, "Approximate optimization of a two-level distribution inventory system," *International Journal of Production Economics*, vol. 81, pp. 545-553, 2003.
- [9] S. Cetinkaya and C.-Y. Lee, "Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems," *Management Science*, vol. 46, no. 2, pp. 217-232, 2000.
- [10] R. Haji, M. P. Neghab, and A. Baboli, "A new replenishment policy in a two-echelon inventory system with stochastic demand," in *Proc. of International Conference on Service Systems and Service Management*, Troyes, France, 2006, pp. 246-250.

- [11] L. Y. Chu and Z.-J. M. Shen, "A Power-of-Two ordering policy for one-warehouse multiretailer systems with stochastic demand," *Operations Research*, vol. 58, no. 2, pp. 492-502, 2010.
- [12] S. C. Graves, "On the deterministic demand multi-product single-machine lot scheduling problem," *Management Science*, vol. 25, no. 3, pp. 276-280, 1979.
- [13] B. Y. Özkaya, Ü. Gürler, and E. Berk, "The stochastic joint replenishment problem: A new policy, analysis, and insights," *Naval Research Logistics (NRL)*, vol. 53, no. 6, pp. 525-546, 2006.
- [14] M. Khouja and S. Goyal, "A review of the joint replenishment problem literature: 1989-2005," *European Journal of Operational Research*, vol. 186, no. 1, pp. 1-16, 2008.
- [15] M. G. Eijs, "On the determination of the control parameters of the optimal can-order policy," *Zeitschrift fur Operations Research*, vol. 39, no. 3, pp. 289-304, 1994.
- [16] P. Melchior, "Calculating can-order policies for the joint replenishment problem by the compensation approach," *European Journal of Operational Research*, vol. 141, no. 3, pp. 587-595, 2002.
- [17] B. Y. Özkaya, "Stochastic joint replenishment problem: A new policy and analysis for single location and two echelon inventory systems," Ph.D. Dissertation, Industrial Engineering, Bilkent University, Turkey, 2005.
- [18] S. F. Love, "Coordinated replenishment of multiple items," in *Inventory Control*. Auckland: McGraw-Hill, 1979, pp. 111-141.
- [19] N. Dellaert and E. van de Poel, "Global inventory control in an academic hospital," *International Journal of Production Economics*, vol. 46-47, pp. 277-284, 1996.
- [20] A. Nilsson, "Essays on joint replenishment and multi-echelon inventory systems," Licentiate Thesis, Department of Business Administration and Social Sciences, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, 2006.
- [21] หฤทัย ไทยมณี, "ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับสำหรับสินค้าหลายประเภท : ความต้องการสินค้าทราบค่าแน่นอน และช่วงเวลาที่ต้องสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้าก่อนที่จะได้รับสินค้ามีการแจกแจงความน่าจะเป็น," วิทยาสตรมหาบัณฑิต, สถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2554.
- [22] A. Federgruen, H. Groenevelt, and H. C. Tijms, "Coordinated replenishments in a multi-item inventory system with compound Poisson demands," *Management Science*, vol. 30, no. 3, pp. 344-357, 1984.
- [23] V. Pukcarnon, "A Multi-item two-echelon inventory problem under joint replenishment policy," M.S. Thesis (in progress), Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok.
- [24] Q. Gou, L. Liang, C. Xu, and Y. Zha, "A modified joint inventory policy for VMI systems," *International Journal of Information Technology & Decision Making (IJITDM)*, vol. 7, no. 2, pp. 225-240, 2008.
- [25] V. Pukcarnon, P. Chavalitwongse, and N. Phumchusri, "An application of the can-order policy for one-warehouse n-retailer inventory system," in *Proc. of 17th International Conference on Industrial*

Engineering : Theory, Applications and Practice, Pusan National University, Busan, Korea, 2013, pp. 378-395.

- [26] V. Pukcarnon, P. Chavalitwongse, and N. Phumchusri, "The can-order policy for one-warehouse n-retailer inventory system: Heuristic approach," submitted for publication.
- [27] E. B. Diks, A. G. de Kok, and A. G. Lagodimos, "Multi-echelon systems: A service measure perspective," *European Journal of Operational Research*, vol. 95, no. 2, pp. 241-263, 1996.
- [28] S. Axsäter and L. Juntti, "Comparison of echelon stock and installation stock policies for two-level inventory systems," *International Journal of Production Economics*, vol. 45, no. 1-3, pp. 303-310, 1996.
- [29] A. Antoniou and W.-S. Lu, "One-dimensional optimization," in *Practical Optimization*. USA: Springer, 2007, ch.4, pp. 81-117.

