

ตัวแบบปริมาณการสั่งซื้อแบบพลวัตเมื่อระยะเวลานำไม่แน่นอน: กรณีศึกษาถ่านหินอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

นิรชร วะชุม¹ กาญจน์ภา อมรัชกุล²

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

118 ถ.เสรีไทย เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์หาจุดสั่งซื้อและปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมกรณีศึกษาการสั่งซื้อถ่านหินสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของบริษัทแห่งหนึ่ง โดยเลือกใช้วิธีการหาคำตอบด้วยตัวแบบการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัต (Dynamic Lot Sizing Model) เนื่องจากราคาซื้อขายของถ่านหินนั้นไม่คงที่ จากการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังพบว่าข้อมูลมีลักษณะแบบมีแนวโน้มลดลง จึงได้ทำการพยากรณ์ราคาถ่านหินด้วยวิธีการของ Holt การขนส่งถ่านหินประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การขนส่งทางเรือ Supramax การขนส่งโดยเรือ lighter และการขนส่งทางรถบรรทุก ซึ่งการขนส่งทุกรูปแบบใช้เวลาไม่แน่นอน จึงต้องกำหนดนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังแบบจุดสั่งซื้อหรือ Reorder point และสต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety stock) โดยกำหนดระดับการให้บริการอยู่ที่ 99.99% ส่งผลให้ปริมาณสต็อกเพื่อความปลอดภัยเท่ากับ 50,009.83 ตัน และมีจุดสั่งซื้ออยู่ที่ 111,693.18 ตัน จากการศึกษาพบว่า การหาจุดสั่งซื้อและปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยตัวแบบการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัตนั้นสามารถทำให้ลดต้นทุนรวมของค่าใช้จ่ายได้ 372,852,309.64 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 22.01% ของค่าใช้จ่ายรวมเดิมในปี 2558

คำสำคัญ: ตัวแบบปริมาณการสั่งซื้อแบบพลวัต ปริมาณสินค้าเพื่อความปลอดภัย สินค้าคงคลังที่เหมาะสมที่สุด

* Corresponding author. E-mail: mashi_dew@hotmail.com

¹ มหบัณฑิต (เกียรตินิยม) สาขาการจัดการโลจิสติกส์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า)

² รองศาสตราจารย์ สาขาการจัดการโลจิสติกส์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า)

A Dynamic Lot Sizing Model with Stochastic Lead Time: A Case Study of Coal in the Cement Industry

Nirachon Wachum^{*1} Kannapha Amaruchkul²

Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration
118 Serithai, Bangkapi, Bangkok 10240

Abstract

The objective of this research was to find a suitable inventory policy regarding coal in the cement industry. The order quantities were found by solving the dynamic lot sizing model, which incorporated time-varying coal prices. Historical prices reveal a decline trend; hence, prices are forecasted using double exponential smoothing (Holt's method). Coal transportation consists of three parts; namely 1) sea freight by Supramax, 2) local water freight by lighter; and 3) inland transportation by truck. The lead time was stochastic; thus, safety stock was needed based on a pre-specified 99.99% service level. The associated safety stock was 50,009.83 tons, and the reorder point was 111,693.18 tons. If this policy were to have been implemented in the previous year (2015), the saving would have been 372,852,309.64 THB, or the company would have saved 22.01% of the total cost.

Keywords: Dynamic lot sizing model, safety stock, inventory optimization

* Corresponding author. E-mail: mashi_dew@hotmail.com

¹ Master of Science (Honor). Graduate program in logistics management. National Institute of Development Administration. (NIDA)

² Associate professor. Graduate program in logistics management. National Institute of Development Administration. (NIDA)

1. บทนำ

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สำคัญประเภทหนึ่งของประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream industry) ในฐานะที่เป็นปัจจัยการผลิตหลักของอุตสาหกรรมก่อสร้าง เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์คือถ่านหิน ราคาถ่านหินเป็นราคาที่มีความผันผวนมาก อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นับเป็นกลุ่มผู้ใช้ถ่านหินกลุ่มใหญ่ที่สุดของภาคเอกชนในประเทศไทย ผู้ใช้ในกลุ่มนี้มีจำนวนไม่มาก แต่ละรายจะมีความต้องการใช้ถ่านหินในปริมาณมาก โดยมีสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 50 ของถ่านหินนำเข้าทั้งหมด ในระยะยาวแนวโน้มอุปสงค์ (Demand) ของถ่านหินจะยังคงเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วนที่สูงกว่าอุปทาน (Supply) จากปริมาณความต้องการถ่านหินในประเทศจีน อินเดีย และประเทศต่างๆ ทั่วโลก

ต้นทุนของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนทางด้านการผลิต ต้นทุนด้านการขนส่ง กระจายสินค้าและต้นทุนด้านการตลาด/การบริหาร โดยมีการประมาณการสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 68,22 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนหลักจะอยู่ที่กระบวนการผลิต โดยที่ต้นทุนสำคัญของกระบวนการผลิตก็คือถ่านหินซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักของกระบวนการในเตาเผา (Kiln) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาค้นคว้าหาตัวแบบที่เหมาะสมกับลักษณะของการสั่งซื้อถ่านหิน และทำการวิเคราะห์หาระบบการสั่งซื้อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับบริษัทการศึกษา ถ่านหินมีปริมาณความต้องการใช้ถ่านหินอยู่ที่ 2 ล้านตันต่อปี โดยมีนโยบายการสั่งซื้อ 2 รูปแบบ คือ การสั่งซื้อภายใต้สัญญากับผู้ขายภายในประเทศ และการสั่งซื้อแบบไม่มีสัญญากับแหล่งถ่านหินจากประเทศอินโดนีเซีย แบ่งสัดส่วนการสั่งซื้อเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของปริมาณความต้องการทั้งหมดในแต่ละรูปแบบการสั่งซื้อ ภายใต้การสั่งซื้อแบบมีสัญญาระยะยาว ราคาซื้อขายถ่านหินจะคงที่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญา แต่สำหรับแบบไม่มีสัญญา ราคาถ่านหินจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามปัจจัยภายนอก ในงานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตเฉพาะถ่าน

หินที่เป็นการสั่งซื้อแบบไม่มีสัญญากับแหล่งถ่านหินจากประเทศอินโดนีเซีย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากพฤติกรรมราคาซื้อขายของถ่านหินนั้นไม่คงที่มีการปรับเปลี่ยนขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นเหตุผลให้ไม่สามารถที่จะหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยตัวแบบการขนาดสั่งซื้อที่ประหยัดหรือ Economic Order Quantity (EOQ) งานวิจัยนี้จำเป็นต้องประยุกต์ตัวแบบที่มีความเป็นพลวัตหรือที่เรียกว่า Dynamic lot sizing ซึ่งมีอธิบายอยู่ในหนังสือการวิจัยดำเนินงาน หรือ การบริหารการจัดการ (Operations research/management) เบื้องต้น เช่น บทที่ 6 ใน [1] หรือ บทที่ 7 ใน [2]

ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal solution) สามารถแก้ได้โดยใช้ optimization solver ที่รองรับตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม(Integer) หรือการโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic programming) เช่น Wagner-Whitin algorithm หากปัญหามีขนาดใหญ่มาก ใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนานเกินไป สามารถใช้วิธีการฮิวริสติกส์ (heuristic) เช่น Silver-Meal, least unit cost, part period balancing เข้ามาแก้ได้ ในงานวิจัยนี้ได้ปรับเปลี่ยนตัวแบบพลวัตพื้นฐานนี้ให้เข้ากับสถานการณ์ของบริษัทการศึกษา เพิ่มข้อจำกัดเพิ่มเติม เช่น การเพิ่มสต็อกเพื่อปลอดภัย (Safety stock) เนื่องจากมีความไม่แน่นอนในเรื่องระยะเวลานำ (Lead time) การกำหนดให้จำนวนที่สั่งซื้อเป็นเต็มลำเรือ

งานวิจัยรวบรวมบทความของ Dynamic lot sizing model เช่น [3] รวบรวมแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้ Meta-heuristics เช่น Genetic algorithm, Tabu Search, Simulated annealing พร้อมทั้งเปรียบเทียบแนวทางการแก้ปัญหา [4] และ [5] รวบรวมปัญหาการวางแผนการผลิตเมื่อมีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง [5] พิจารณาการวางแผนสำหรับ Material Requirement Planning (MRP) ระบุแนวทางที่นิยมใช้ได้แก่ Safety stock และ Safety lead time กรณีแรกมักใช้เมื่อปริมาณความต้องการไม่แน่นอน กรณีหลังมักใช้เมื่อระยะเวลานำไม่แน่นอน เมื่อมีระยะเวลานำไม่แน่นอนอาจใช้ทั้งสองแนวทางร่วมกัน [6] นำเสนอตัว

แบบ Lot sizing ร่วมกับจุดสั่งซื้อ เมื่อมีความไม่แน่นอนทั้งปริมาณความต้องการและระยะเวลานำ และยิ่งไปกว่านั้นระยะเวลานำยังขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อ [6] วิเคราะห์ด้วยแบบดังกล่าวโดยใช้ทฤษฎีแถวคอย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา เช่น [7] ได้ทำการศึกษาการกำหนดขนาดการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัตกรณีศึกษาการคงคลังข้าวเปลือกของโรงสีตัวอย่างเพื่อนำเสนอวิธีการหาปริมาณการสั่งซื้อข้าวเปลือก โดยทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด สำหรับสินค้าชนิดเดียวที่มีความต้องการไม่แน่นอน โดยการเปรียบเทียบการคำนวณด้วยวิธีปัจจุบันที่โรงสีใช้ และวิธีที่ได้นำเสนอไปคือการกำหนดขนาดการสั่งซื้อด้วยวิธีแบบพลวัต พบว่า ค่าใช้จ่ายคงคลังรวมที่ลดลง 70,014,289.33 บาทต่อปี เท่ากับ 3.45% ดังนั้นวิธีการคำนวณด้วยวิธีแบบพลวัตสามารถลดต้นทุนคงคลังรวมของโรงสีได้ [8] ได้ศึกษาแบบจำลองสินค้าคงคลังแบบสั่งเป็นรุ่นกรณีที่มีความไม่แน่นอนสำหรับโรงงานผลิตแหวนรถยนต์วัตถุประสงค์ของแบบจำลองสินค้าคงคลังคือการทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังรวมต่ำสุด ต้นทุนสินค้าคงคลัง ประกอบด้วย ต้นทุนการสั่งซื้อรวมกัน ต้นทุนการสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นจากการสั่งวัตถุดิบแต่ละตัว ต้นทุนการเก็บรักษา และ ราคาวัตถุดิบ ข้อจำกัดของแบบจำลองคือ วัตถุดิบหลายชนิด ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดมีความไม่แน่นอนแต่ผันแปรตามเวลา ผู้จัดจำหน่ายหลายแหล่ง ช่วงเวลานำมีความไม่แน่นอนมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และงบประมาณแบบจำลองสินค้าคงคลังนี้ใช้โปรแกรม Lingo เวอร์ชัน 6 เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยคือ ค่าใช้จ่ายลดลง 206,696 บาท เท่ากับ 0.06% งานวิจัยอื่นที่ใช้โปรแกรมเชิงพลวัต เช่น [9]

ปัญหาการจัดการสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษาที่มีความไม่แน่นอนของระยะเวลานำ การคำนวณ Safety stock ทำได้เมื่อทราบการแจกแจงของระยะเวลานำ การทดสอบว่าข้อมูลในอดีตมีการแจกแจงแบบใดสามารถทำได้โดยวิธีการทางสถิติที่เรียกโดยรวมว่า การทดสอบ Goodness of Fit ในการทดสอบจะมีสมมติฐานว่าง (Null hypothesis) ที่ว่า ข้อมูลมาจากการแจกแจงที่มีพารามิเตอร์ตามที่กำหนด ตัวอย่างเช่น เมื่อข้อมูลเป็นเชิงกลุ่ม (Categorical data) สามารถใช้ Chi-squared goodness

of fit test เมื่อต้องการทดสอบว่าข้อมูลเป็นการแจกแจงปกติ สามารถใช้ Shapiro-Wilk หรือหากเป็นการแจกแจงต่อเนื่อง (Continuous distribution) สามารถใช้ Kolmogorov-Smirnov รายละเอียดของการทดสอบมีในหนังสือสถิติพื้นฐาน เช่น [10]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในปี 2557 และหาคำตอบเพื่อหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขหรือนโยบายการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการจัดการการสั่งซื้อถ่านหินของบริษัทกรณีศึกษาในปี 2558 และทดลองน่านโยบายที่ได้มาใช้กับข้อมูลปี 2558 เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงในปี 2558

กำหนดให้หนึ่งหน่วยเวลาคือหนึ่งสัปดาห์ เนื่องจากราคาวัตถุดิบ (ในที่นี้คือถ่านหิน) เปลี่ยนแปลงทุกหนึ่งสัปดาห์ ในตัวแบบจึงให้หนึ่งคาบเท่ากับหนึ่งสัปดาห์ ขั้นตอนการสร้างนโยบายและรายละเอียดเป็นดังต่อไปนี้

1. พยากรณ์พยากรณ์ราคาถ่านหินปี พ.ศ.2558 เป็นรายสัปดาห์ โดยมีจำนวนคาบในการวางแผนทั้งหมด (Planning Horizon) เท่ากับ 52 สัปดาห์

2. รวบรวมค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Setup cost) และ ค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้า (Holding cost)

3. หาปริมาณถ่านหินที่สต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety stock) ด้วยระดับการให้บริการที่ 99.99% ในการคำนวณสต็อกที่ปลอดภัยนี้ได้คำนึงถึงความไม่แน่นอนของระยะเวลานำรวมด้วย

4. สร้างตัวแบบกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยมีพารามิเตอร์นำเข้า (Input parameters) ที่ได้จากข้อ 1 2 3 ข้างต้น ตัวแบบนี้มีจำนวนคาบทั้งหมดเท่ากับ 52 สัปดาห์

5. หาผลเฉลยของตัวแบบเพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point) ที่เหมาะสม หนึ่งปริมาณการสั่งซื้อที่ได้จากคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) เป็นปริมาณการสั่งซื้อทั้งหมด 52 สัปดาห์ แต่การนำไปใช้เป็นแบบ Rolling Horizon โดยมีระยะเวลาในการปรับปรุง (Update) คือหนึ่งไตรมาส

ดังนั้น จึงนำไปใช้เฉพาะคำตอบที่ได้ในหนึ่งไตรมาส นั่นคือ ปริมาณการสั่งซื้อ 13 สัปดาห์แรกของคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

เมื่ออธิบายโดยละเอียดจะได้ว่า เริ่มต้นจะแก้ปัญหาทั้งหมด 52 สัปดาห์ จากค่าพยากรณ์ราคาถ่านหิน ข้อ 1 ทั้งหมด 52 สัปดาห์ ได้คำตอบมาเป็นปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุด 52 สัปดาห์ นำเฉพาะสัปดาห์ที่ 1-13 (ไตรมาสแรก) ไปใช้จริง หลังจากเมื่อได้ทราบค่าจริงของในช่วงไตรมาสแรก มีการปรับปรุงค่าพยากรณ์ใหม่ โดยพยากรณ์ในสัปดาห์ที่ 14-65 (จำนวนทั้งหมด 52 สัปดาห์) และหาคำตอบที่เหมาะสมอีกครั้ง (Re-Optimization) นำเฉพาะปริมาณการสั่งซื้อของ 13 สัปดาห์แรก นั่นคือ สัปดาห์ที่ 14-26 ไปใช้ หลังจากเมื่อได้ทราบค่าจริงของในช่วงไตรมาสสอง มีการปรับปรุงค่าพยากรณ์ใหม่ โดยพยากรณ์ในสัปดาห์ที่ 28-79 (จำนวนทั้งหมด 52 สัปดาห์) และหาคำตอบที่เหมาะสมอีกครั้ง เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนจบปี

6. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการใช้นโยบายที่สร้างขึ้น กับที่เกิดขึ้นจริงในปี 2558 ระบบการจัดการสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษาเป็นระบบทราบปริมาณสินค้าคงคลังตลอดเวลา และปริมาณการสั่งซื้อเท่ากับ Lot-Size ที่คำนวณได้จากข้อ 5 โดยสั่งซื้อเมื่อระดับสินค้าคงคลัง (Inventory Position) ต่ำกว่าระดับการสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point) ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 5 เนื่องจากระบบจัดการสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษาเป็นแบบ Continuous-Review จึงแสดงตารางการเปรียบเทียบเป็นรายวัน

ตัวแบบปริมาณสั่งซื้อพลวัต (Dynamic lot sizing model) ที่สร้างขึ้นสำหรับกรณีที่เวลานำไม่แน่นอน เป็นดังนี้ให้

T = จำนวนคาบทั้งหมด

I_0 = จำนวนสินค้าคงคลัง ณ เวลาเริ่มต้น

สำหรับแต่ละคาบเวลา $t = 1, 2, \dots, T$ ให้

K_t = ต้นทุนการสั่งซื้อวัตถุดิบต่อครั้งในคาบที่ t

p_t = ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบในคาบที่ t

h_t = ต้นทุนในการเก็บรักษาวัตถุดิบหน่วยต่อคาบเวลาที่ t

d_t = ปริมาณความต้องการในคาบที่ t

SS = Safety stock

S = ค่าใช้จ่ายสำหรับเรือบรรทุกสินค้าแบบเต็มลำ

K = ความจุของเรือบรรทุกสินค้า

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

Y_t = ตัวแปรทวินาม (Binary) มีค่า 1 เมื่อมีการสั่ง และมีค่า 0 เมื่อไม่มีการสั่งซื้อ ในคาบเวลาที่ t

X_t = ปริมาณการสั่งซื้อในคาบเวลาที่ t

U_t = จำนวนเรือที่ใช้ในคาบเวลาที่ t

I_t = ปริมาณวัตถุดิบคงคลังปลายคาบที่ t

ตัวแบบโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) เขียนได้ดังนี้

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T (sU_t + K_t Y_t + p_t X_t + h_t I_t) \quad (1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$I_{t-1} + X_t - d_t = I_t \quad \forall t \quad (2)$$

$$X_t \leq M Y_t \quad \forall t \quad (3)$$

$$I_{t-1} + X_t - d_t \geq SS \quad \forall t \quad (4)$$

$$X_t \leq \kappa U_t \quad \forall t \quad (5)$$

$$Y_t \in \{0,1\}, X_t, U_t \geq 0, U_t \text{ integer } \forall t \quad (6)$$

โดยที่ M = ค่าคงที่ ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณความต้องการรวมทั้งหมด; $M \geq \sum_{t=1}^T d_t$

สมการ (1) เป็นสมการเป้าหมาย ต้องการให้ผลรวมของต้นทุนรวมมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนขนส่ง ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนราคาวัตถุดิบ และต้นทุนการเก็บรักษาสมการ (2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุดิบคงคลังที่มีในคลังสินค้า กล่าวคือ ผลรวมของปริมาณสินค้าที่มีอยู่ปลายช่วงเวลาก่อนหน้า I_{t-1} กับปริมาณสั่งซื้อวัตถุดิบที่มาถึง X_t หักด้วยปริมาณความต้องการ d_t ได้เป็นปริมาณวัตถุดิบที่มีอยู่ปลายคาบ I_t ข้อจำกัด (3) กล่าวว่า ปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละช่วงเวลาไม่เกิน $M Y_t$ ข้อจำกัดนี้ใช้เพื่อช่วยนิยามตัวแปร Y_t ข้อจำกัด (4) ปริมาณสินค้าคงคลังที่เหลืออยู่ในแต่ละสัปดาห์จะต้องมีค่ามากกว่าปริมาณสต็อกเพื่อความปลอดภัย หรือสามารถเขียนได้เป็น $I_t \geq SS$ จากนิยามของ I_t ใน (2) นอกจากนั้น การสั่งซื้อถ่านหินยังมีข้อจำกัด (5) กำหนดว่าปริมาณสั่งซื้อต้องไม่เกิน K ปริมาณสูงสุดที่เรือบรรทุกได้ ข้อจำกัด (6) กำหนดให้

จำนวนสั่งซื้อ X_t มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ Y_t เป็นตัวแปรทวินาม และ U_t เป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

4. ผลการศึกษา

4.1. พยากรณ์พยากรณ์ราคาก่านหินปีพ.ศ.2558

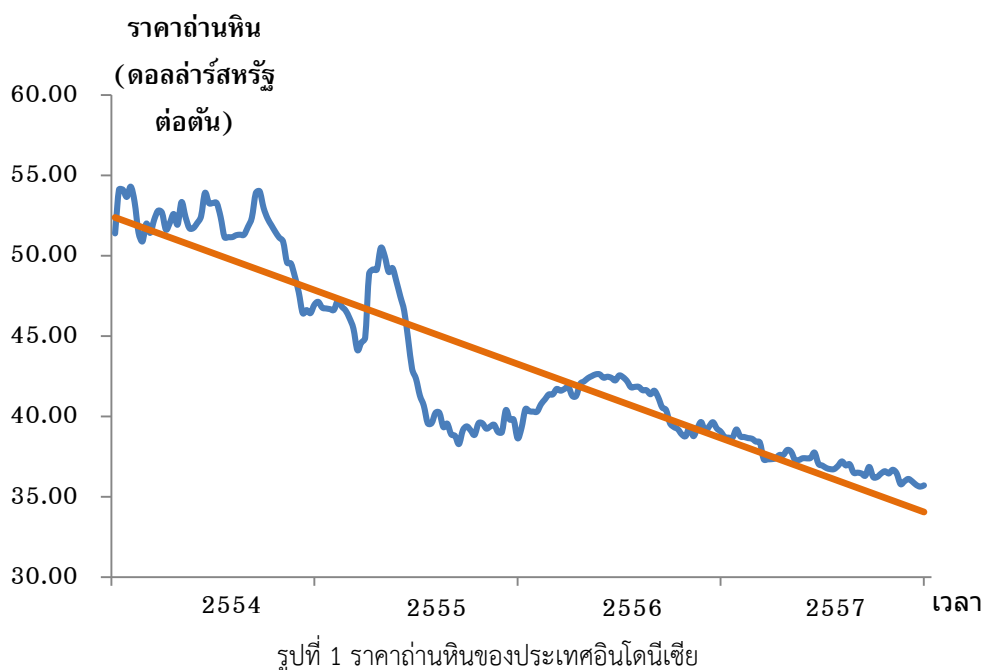
นำข้อมูลราคาก่านหินประจำสัปดาห์ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2554 ถึง 2557 มาแสดงในรูปแบบกราฟเพื่อวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพยากรณ์ราคาในปีพ.ศ.2558 ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าถึงแม้ราคาก่านหินจะมีความแปรปรวนขึ้นลงอยู่เสมอแต่ก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยจะทำการพยากรณ์ด้วย 2 วิธี ได้แก่ วิธีการใช้สมการเส้นตรงจากข้อมูลเก่า และการปรับเรียงเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบแก้ไขแนวโน้ม(แบบจำลองของโฮลท์) แล้วนำค่าวัดความถูกต้องโดยวิธีค่าคลาดเคลื่อนกำลัง

สองเฉลี่ย (Mean Squared Error (MSE)) ผลของการเปรียบเทียบกับค่าจริงเพื่อทำการวัดความผิดพลาดในการพยากรณ์โดยการหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของทั้ง 52 สัปดาห์ของวิธีการพยากรณ์โดยใช้วิธีของ Holt เท่ากับ 0.7592 ซึ่งน้อยกว่าวิธีการแรกเท่าที่เท่ากับ 6.1065 จึงเลือกใช้วิธีการนี้เพื่อใช้ในกระบวนการต่อไป

4.2 การหาค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้า

4.2.1 ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ

ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ค่าดำเนินการประกอบด้วยค่าเอกสาร 20 บาทต่อครั้ง ค่าโทรศัพท์ 200 บาทต่อครั้ง และค่าติดต่อทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ 30 บาทต่อครั้ง รวมเป็น $K_t = 250$ บาทต่อครั้ง และค่าใช้จ่ายสำหรับเรือบรรทุกสินค้าเทกองแบบเต็มลำนั้นใช้ค่าเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วยค่าน้ำมัน ค่าแรงงาน และค่าดำเนินการอื่นๆโดยได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $S = 10,877,464$ บาทต่อลำ



4.2.2 ค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้า

ประกอบไปด้วย ค่าดำเนินการขนถ่ายสินค้าขึ้นเรือ หรือขนถ่ายสินค้าลงจากเรือที่ทำเรือ ค่ากองเก็บ ค่าดำเนินการขนย้ายภายในกองเก็บ ค่าสูญหายระหว่างการขนย้าย และต้นทุนเงินทุน ด้วยร้อยละของค่าใช้จ่ายต่อปีของราคาเฉลี่ยของถ่านหิน 27,4,19,2 และ 12 ตามลำดับ รวมเป็นร้อยละ 64 ของราคาเฉลี่ยของถ่านหิน ดังตารางที่ 1 นั่นคือ $h_t = 0.64p_t$ เมื่อพารามิเตอร์ p_t เป็นราคาจากที่ได้ทำการพยากรณ์ด้วยวิธีการของ Holt ในข้อ 4.1 ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้า

รายการ	ร้อยละของค่าใช้จ่ายต่อปีของราคาเฉลี่ยของถ่านหิน
ค่าดำเนินการขนถ่ายสินค้าขึ้นเรือหรือขนถ่ายสินค้าลงจากเรือที่ทำเรือ	27
ค่ากองเก็บ	4
ค่าดำเนินการขนย้ายภายในกองเก็บ	19
ค่าสูญหายระหว่างการขนย้าย	2
ต้นทุนเงินทุนของบริษัทกรณีศึกษา	12
รวม	64

4.3 การหาปริมาณถ่านหินที่สต็อกเพื่อความปลอดภัย (Safety stock)

กำหนดให้ใช้ระดับการให้บริการที่ 99.99% เนื่องจากถ่านหินเป็นวัตถุดิบที่ขาดไม่ได้ในกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous process) บริษัทกรณีศึกษาจึงได้กำหนดระดับการให้บริการไว้สูงมาก หากวัตถุดิบขาดกระบวนการจะหยุดลงและมีค่าเสียหายเกิดขึ้นตามมาเป็นอันมาก ระยะเวลาตั้งแต่สั่งจนกระทั่งได้รับถ่านหิน (Lead time) ไม่แน่นอน ส่วนหนึ่งมาจากระยะเวลาขนส่งด้วยเรือไม่แน่นอน จึงใช้วิธีการเวลานำไม่แน่นอน (Stochastic lead time) เพื่อคำนวณหา Safety stock (SS) เริ่มจากการหาค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการขนส่งสินค้าของทั้ง 3 รูปแบบทั้งเรือ Supramax เรือ Lighter และรถบรรทุก รวมค่าเฉลี่ยเวลานำ

ทั้ง 3 การขนส่งเท่ากับ 540.35 ชั่วโมง มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 117.80 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบ Goodness of fit test โดยใช้ Shapiro-Wilk test สำหรับการแจกแจงปกติจะได้ค่า P-value ที่ 0.3514 หรือใช้ Kolmogorov-Smirnoff ทดสอบสมมติฐาน Null hypothesis ที่ว่า ข้อมูลระยะเวลานำมีการแจกแจงแบบปกติที่มี Mean เท่ากับ 540.35 ชั่วโมง มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 117.80 ชั่วโมง จะได้ P-value ที่ 0.5332 (ค่า P-value มาจากผลลัพธ์ในโปรแกรม R โดยใช้คำสั่ง shapiro.test และ ks.test ตามลำดับ) ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธ Null hypothesis ว่าระยะเวลานำแจกแจงแบบ Normal mean เท่ากับ 540.35 ชั่วโมง มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 117.80 ชั่วโมง

ให้ L เป็นตัวแปรสุ่มแทนระยะเวลานำ หน่วยเป็นชั่วโมง ให้ v เป็นปริมาณความต้องการถ่านหินต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าคงที่เท่ากับ $v = (1000000/(365*24))=114.15$ ตันต่อชั่วโมง (เนื่องจากปริมาณความต้องการถ่านหินเท่ากับ 1,000,000 ตันต่อปี) ให้ D_L แทนปริมาณความต้องการในช่วงระยะเวลานำ Demand during lead time) จะได้ $D = vL$ จากทฤษฎีความน่าจะเป็น ผลคูณของค่าคงที่กับตัวแปรสุ่ม Normal จะมีการแจกแจงปกติด้วย โดยมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามนี้

$$\mu_L = E[D_L] = vE[L]$$

$$\sigma_L = \sqrt{\text{var}(D_L)} = v\sqrt{\text{var}(L)}$$

แทนค่าเฉลี่ยของระยะเวลานำ $E[L] = 540.35$ ชั่วโมง จะได้ค่าเฉลี่ยของปริมาณความต้องการในช่วงระยะเวลานำ $\mu_L=61,683.35$ ตัน และแทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลานำ $\sqrt{\text{var}(L)} = 117.80$ ชั่วโมง จะได้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความต้องการในช่วงระยะเวลานำ $\sigma_L=13,447.06$ ตัน สต็อกเพื่อความปลอดภัยอยู่ที่ 50,009.83 ตัน ซึ่งคำนวณจากสูตร $SS = k \sigma_L$ โดยค่า $k = 3.719$ มาจากระดับการให้บริการที่ 99.99% หรือ 99.99 percentile ของ Standard normal

4.4 สร้างตัวแบบการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัต (Dynamic lot sizing)

จำนวนสินค้าคงคลังเริ่มต้นอยู่ที่ $I_0 = 120,000$ ต้น ปริมาณขนส่งสูงสุดต่อลำ $K = 52,500$ ต้นต่อลำ ทำการสร้างตัวแบบลงในโปรแกรม Microsoft Excel และทำการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วย Premium Solver™ (Pro version) ซึ่งได้ Add-In เข้าไปใน Excel

4.5 หาผลเฉลยของตัวแบบเพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point) ที่เหมาะสม

ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบในข้อ 4.4 นำมาใช้เป็นปริมาณการสั่งซื้อ และจุดสั่งซื้อคำนวณจากสูตร $ROP = SS + \mu_L = 50,009.83 + 61,683.35 = 111,693.18$ ต้น โดยที่ SS ได้มาจากระดับการให้บริการ 99.99% ในข้อ 4.3 และปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละครั้งคือ 52,500 ต้น ได้มาจากการผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ในตัวแบบพลวัตข้อ 4.4 ซึ่งในตัวแบบนี้ได้มีการปรับข้อมูลล่าสุดอยู่เสมอ นั่นคือ เป็นแบบ Rolling horizon ที่มีระยะเวลาการปรับข้อมูลและหาผลเฉลยตัวแบบทุกๆ ไตรมาส

4.6 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมที่คำนวณได้กับค่าใช้จ่ายเดิม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา โดยที่ค่าใช้จ่ายในปีพ.ศ.2558 ที่บริษัทกรณีศึกษาจ่ายไป คือ 1,693,674,030.29 บาท และผลจากการดำเนินกระบวนการสร้างตัวแบบการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัต (ระดับการให้บริการ 99.99%) คือ 1,320,821,720.65 บาท ดังตารางที่ 2 เพราะฉะนั้น จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายไปได้ 1,693,674,030.29 -

1,320,821,720.65 = 372,852,309.64 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 22.01

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การหาจุดสั่งซื้อและปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมกรณีศึกษาการสั่งซื้อถ่านหินสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของบริษัทแห่งหนึ่ง ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัตทำให้ค่าประมาณการณีย่อยรวมมีค่าต่ำที่สุดโดยใช้ราคากำหนดจากการพยากรณ์ นอกจากนั้น เวลานำของการสั่งซื้อถ่านหินนั้นไม่แน่นอน จึงกำหนดนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังแบบจุดสั่งซื้อ ซึ่งต้องมีสต็อกเพื่อความปลอดภัย

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป ตัวอย่างเช่น การศึกษานี้ ได้ทำการศึกษาเพียงการสั่งซื้อถ่านหินที่ไม่มีสัญญาหรือกล่าวคือเป็นเพียงครั้งหนึ่งของปริมาณความต้องการทั้งหมด เพราะฉะนั้นหากบริษัทหมดอายุสัญญา ควรนำเอาปริมาณอีกครั้งหนึ่งเข้ามารวมในการวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมทั้งสองกรณีและข้อดีข้อเสียของการปรับเปลี่ยน รวมไปถึงหากเมื่อวิเคราะห์ว่าต้องมีการสั่งซื้อทั้งสองกรณีแล้ว จะต้องมีการแบ่งสัดส่วนปริมาณอย่างไรเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดต่อบริษัท นอกจากนี้ในการพยากรณ์ราคากำหนด อาจใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อราคากำหนด และนำค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการ Holt ที่ใช้ในบทความนี้ กับค่าพยากรณ์จากวิธีการวิเคราะห์ถดถอย มาสร้างเป็นค่าพยากรณ์รวม (Combined Forecast) ซึ่งมักจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำลง

ตารางที่ 2 ผลจากการดำเนินกระบวนการสร้างตัวแบบการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัต (ระดับการให้บริการ 99.99%)

Input										Solver				Cost Result (THB)				
week	Begin inventory (Tons)	Demand (Tons)	Order arrive (Tons)	Set up cost (THB)	FTL cost (THB)	Coal Price (USD)	Coal price (THB)	Holding cost (THB)	Ending inventory (Tons)	Shipment	Q*	u	Du	Set up cost	FTL cost	Holding cost	Prodcut cost	Total cost
1	120000.00	19230.77	0	250	10877464	35.63	1282.81	15.79	100769.23	1	52500	1	1000000	250	10877464	1590993.36	67347750.97	79,816,458.33
2	100769.23	19230.77	0	250	10877464	35.57	1280.61	15.76	81538.46	0	0	0	0	0	0	1285151.92	0	1,285,151.92
3	81538.46	19230.77	0	250	10877464	35.51	1278.40	15.73	62307.69	0	0	0	0	0	0	980356.11	0	980,356.11
4	62307.69	19230.77	52500	250	10877464	35.45	1276.19	15.71	95576.92	1	52500	1	1000000	250	10877464	1501219.44	66999846.52	79,378,779.96
5	95576.92	19230.77	0	250	10877464	35.39	1273.98	15.68	76346.15	0	0	0	0	0	0	1197087.62	0	1,197,087.62
6	76346.15	19230.77	0	250	10877464	35.33	1271.77	15.65	57115.38	0	0	0	0	0	0	894001.44	0	894,001.44
7	57115.38	19230.77	52500	250	10877464	35.27	1269.56	15.63	90384.62	1	52500	1	1000000	250	10877464	1412292.49	66651942.08	78,941,948.57
8	90384.62	19230.77	0	250	10877464	35.20	1267.35	15.60	71153.85	0	0	0	0	0	0	1109870.29	0	1,109,870.29
9	71153.85	19230.77	0	250	10877464	35.14	1265.14	15.57	51923.08	1	52500	1	1000000	250	10877464	808493.73	66420005.78	78,106,213.51
10	51923.08	19230.77	52500	250	10877464	35.08	1262.93	15.54	85192.31	0	0	0	0	0	0	1324212.51	0	1,324,212.51
11	85192.31	19230.77	0	250	10877464	35.02	1260.73	15.52	65961.54	0	0	0	0	0	0	1023499.93	0	1,023,499.93
12	65961.54	19230.77	52500	250	10877464	34.96	1258.52	15.49	99230.77	1	52500	1	1000000	250	10877464	1537028.09	66072101.33	78,486,843.42
13	99230.77	19230.77	0	250	10877464	34.90	1256.31	15.46	80000.00	0	0	0	0	0	0	1236979.49	0	1,236,979.49
14	80000.00	19230.77	0	250	10877464	34.82	1254.10	15.43	60769.23	0	0	0	0	0	0	922686.84	0	922,686.84
15	60769.23	19230.77	52500	250	10877464	34.77	1229.97	15.14	94038.46	1	52500	1	1000000	250	10877464	1423538.08	64573205.75	76,874,477.83
16	94038.46	19230.77	0	250	10877464	34.66	1226.28	15.09	74807.69	0	0	0	0	0	0	1129044.64	0	1,129,044.64
17	74807.69	19230.77	0	250	10877464	34.56	1222.59	15.05	55576.92	0	0	0	0	0	0	836277.87	0	836,277.87
18	55576.92	19230.77	52500	250	10877464	34.56	1218.90	15.00	88846.15	1	52500	1	1000000	250	10877464	1332852.31	63992056.7	76,202,623.01
19	88846.15	19230.77	0	250	10877464	34.76	1215.21	14.96	69615.38	0	0	0	0	0	0	1041194.67	0	1,041,194.67
20	69615.38	19230.77	0	250	10877464	34.65	1211.52	14.91	50384.62	1	52500	1	1000000	250	10877464	751283.70	63604624	75,233,621.70
21	50384.62	19230.77	52500	250	10877464	34.55	1207.83	14.87	83633.85	0	0	0	0	0	0	1243561.33	0	1,243,561.33
22	83633.85	19230.77	0	250	10877464	34.45	1204.14	14.82	64423.08	0	0	0	0	0	0	954759.50	0	954,759.50
23	64423.08	19230.77	52500	250	10877464	34.35	1200.45	14.77	97692.31	1	52500	1	1000000	250	10877464	1443377.87	63023474.95	75,344,566.81
24	97692.31	19230.77	0	250	10877464	34.24	1196.76	14.73	78461.54	0	0	0	0	0	0	1155685.16	0	1,155,685.16
25	78461.54	19230.77	0	250	10877464	34.14	1193.07	14.68	59230.77	0	0	0	0	0	0	869739.13	0	869,739.13
26	59230.77	19230.77	52500	250	10877464	34.04	1189.38	14.64	92500.00	1	52500	1	1000000	250	10877464	1354060.69	62442325.9	74,674,100.59
27	92500.00	19230.77	0	250	10877464	34.01	1184.17	14.64	73269.23	0	0	0	0	0	0	977674.01	0	977,674.01
28	73269.23	19230.77	0	250	10877464	29.85	1084.14	13.34	54038.46	1	52500	1	1000000	250	10877464	714590.51	56407511.95	67,999,816.46
29	54038.46	19230.77	52500	250	10877464	29.57	1064.69	13.30	87307.69	0	0	0	0	0	0	1144070.90	0	1,144,070.90
30	87307.69	19230.77	0	250	10877464	29.30	1054.95	12.98	68076.92	0	0	0	0	0	0	888914.35	0	888,914.35
31	68076.92	19230.77	52500	250	10877464	29.03	1046.22	12.86	101346.15	1	52500	1	1000000	250	10877464	1303738.14	54873892.89	67,055,345.02
32	101346.15	19230.77	0	250	10877464	28.76	1035.48	12.74	82115.38	0	0	0	0	0	0	1046508.52	0	1,046,508.52
33	82115.38	19230.77	0	250	10877464	28.49	1025.74	12.62	62884.62	0	0	0	0	0	0	793888.26	0	793,888.26
34	62884.62	19230.77	52500	250	10877464	28.22	1016.01	12.50	96153.85	1	52500	1	1000000	250	10877464	1202373.04	53940273.83	65,420,360.86
35	96153.85	19230.77	0	250	10877464	27.95	1006.27	12.38	76923.08	0	0	0	0	0	0	952679.72	0	952,679.72
36	76923.08	19230.77	0	250	10877464	27.68	996.53	12.26	57692.31	0	0	0	0	0	0	707595.75	0	707,595.75
37	57692.31	19230.77	52500	250	10877464	27.41	986.79	12.15	90961.54	1	52500	1	1000000	250	10877464	1104741.51	51806654.77	63,789,110.28
38	90961.54	19230.77	0	250	10877464	27.14	977.06	12.03	71730.77	0	0	0	0	0	0	862584.49	0	862,584.49
39	71730.77	19230.77	0	250	10877464	26.87	967.32	11.91	52500.00	1	52500	1	1000000	250	10877464	625036.83	50784242.06	62,286,992.89
40	52500.00	19230.77	52500	250	10877464	27.69	1000.29	12.31	85789.23	0	0	0	0	0	0	1055926.59	0	1,055,926.59
41	85789.23	19230.77	0	250	10877464	27.60	993.75	12.23	66538.46	0	0	0	0	0	0	813813.56	0	813,813.56
42	66538.46	19230.77	52500	250	10877464	27.42	987.20	12.15	98807.69	1	52500	1	1000000	250	10877464	1212683.07	51828181.93	63,918,579.00
43	98807.69	19230.77	0	250	10877464	27.24	980.66	12.07	80576.92	0	0	0	0	0	0	72536.78	0	72,536.78
44	80576.92	19230.77	0	250	10877464	27.06	974.12	11.99	61346.15	0	0	0	0	0	0	735487.21	0	735,487.21
45	61346.15	19230.77	52500	250	10877464	26.88	967.57	11.91	94615.38	1	52500	1	1000000	250	10877464	1126738.07	50797680.43	62,802,132.50
46	94615.38	19230.77	0	250	10877464	26.70	961.03	11.83	75384.62	0	0	0	0	0	0	891655.72	0	891,655.72
47	75384.62	19230.77	0	250	10877464	26.51	954.49	11.75	56153.85	0	0	0	0	0	0	659670.60	0	659,670.60
48	56153.85	19230.77	52500	250	10877464	26.33	947.95	11.67	84230.77	1	52500	1	1000000	250	10877464	1043301.81	49767178.94	61,688,194.74
49	84230.77	19230.77	0	250	10877464	26.15	947.40	11.59	70192.31	0	0	0	0	0	0	813283.41	0	813,283.41
50	70192.31	19230.77	0	250	10877464	25.97	934.86	11.51	50961.54	0	0	0	0	0	0	586362.23	0	586,362.23
51	50961.54	19230.77	52500	250	10877464	25.79	928.32	11.43	84230.77	0	0	0	0	0	0	962374.29	0	962,374.29
52	84230.77	19230.77	0	250	10877464	25.60	921.77	11.34	65000.00	0	0	0	0	0	0	737419.84	0	737,419.84
Total																		1,320,821,720.65

ตัวแปรที่มีผลต่อราคาซื้อขายของถ่านหินคือ อุปสงค์และอุปทาน แต่เป็นเพราะการเก็บข้อมูลที่อาจจะไม่เพียงพอ ทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาไม่สอดคล้อง เพราะฉะนั้น หากเป็นสินค้าชนิดอื่นๆ ที่มีความแปรปรวนของตัวแปรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณความต้องการหรือราคาสินค้า ก่อนที่จะทำการพยากรณ์ค่าเหล่านั้นเพื่อไปใช้ในการคำนวณ ควรจะต้องมีการวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงหรือความแปรปรวนนั้นๆ แล้วทำการเก็บรวบรวมข้อมูลให้ได้มากที่สุดเพื่อนำมาประกอบกับการพยากรณ์ที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] E.A. Silver, D.F. Pyke and R. Peterson. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons, 1998.
- [2] S. Nahmias. *Production and Operations Analysis*. McGraw-Hill, 2009.
- [3] R. Jans and Z. Degraeve, “Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches,” *European Journal of Operational Research*., Vol. 177, pp.1855-1875, 2007.
- [4] J. Mula, R. Poler, J.P. Garcia-Sabater, F.C. Lario, “Models for production planning under uncertainty: A review,” *International Journal of Production Economics*., Vol., 103, pp.271-285, 2006.
- [5] A. Dolgui and C. Prod'homme, “Supply planning under uncertainties in MRP environments: A state of the art,” *Annual Reviews in Control*., Vol 31, pp.269-279, 2007.
- [6] T.S. Vaughan, “Lot sizing effects on process lead time, lead time demand, and safety stock,” *International Journal of Production Economics*., Vol., 100, pp.1-9, 2006.
- [7] กฤตกนก พานู, วราธร ปัญญางามและนิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์. “การกำหนดขนาดการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีแบบพลวัต กรณีศึกษาการคงคลังข้าวเปลือกของโรงสีตัวอย่าง.” *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*. 17-19 ตุลาคม. เพชรบุรี: 1899-1904, 2555.
- [8] อาคม ชินวงศ์, วิชัย รุ่งเรืองอนันต์และอรรถกร เก่งพล. “แบบจำลองสินค้าคงคลังแบบสั่งเป็นรุ่นกรณีที่มีความแน่นอนสำหรับโรงงานผลิตแหวนบรอนซ์.” *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ*. วันที่ 24 – 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2551.
- [9] กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์, “การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าประเภทเทกองโดยใช้ โปรแกรมพลวัต,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*., ปีที่ 1 (ฉบับที่ 1), หน้า 52-62, 2556.
- [10] M.H. DeGroot and M.J. Schervish. *Probability and Statistics*. Addison-Wesley, 2002.