รายงานผลการวิจัย

การวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทย

Analysis of Inventory System with a Stochastic Inventory Model : Case Study of Steel Industries in Thailand

ผศ. วัชรินทร์ แสงมา

นายพิษณุ ทองขาว

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณ ปี พ.ศ. 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ. ดวงสุดา เตโชติรส อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ. จุฑามาศ พีรพัชระ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และผศ. ดร. วัลลภ ภูผา คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครมาตั้งแต่เริ่มต้น ขอขอบคุณ รองกรรมการบริหาร ผู้จัดการ วิศวกร และพนักงานโรงงานผลิตเหล็กและเหล็กกล้าของโรงงานตัวอย่าง จังหวัดสมุทรปราการ ที่ช่วยในเรื่องของข้อมูล เป็นอย่างดี ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้ให้ทุนสนับสนุน จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ชื่อเรื่อง : การวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก
: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทย

ผู้วิจัย : วัชรินทร์ แสงมา และ นายพิษณุ ทองขาว

พ.ศ. : 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ เลือกวิธีการพยากรณ์ปริมาณความต้องการของเหล็กรีดร้อนที่มีความไม่แน่นอน 3 วิธี ได้แก่วิธีพยากรณ์ปรับเรียบแบบเอ๊กซ์โปเนนเชียล วิธีการพยากรณ์แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA) และวิธีการพยากรณ์ที่เสนอขึ้นโดยใช้วิธีของเบย์ เพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการหาปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบ จุดสั่งซื้อวัตถุดิบ เพื่อทำให้เกิดต้นทุนการผลิตสินค้ารวมต่ำสุดในการวางแผนและควบคุมการผลิต ของโรงงานผลิตเหล็กและเหล็กกล้า ในเขตจังหวัด สมุทรปราการ โดยทำการเลือกศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เหล็กรีดร้อนที่มียอดสั่งสูงและมีความผันผวนบางประเภทเท่านั้น ซึ่งได้แก่ เหล็กเอชบีม เหล็กแผ่นเรียบ เหล็กเส้นกลม เหล็กเพลาดำ ทุกขนาด เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์หา ค่าอัตราความต้องการสินค้าของลูกค้าต่อเดือน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังต่อหน่วยต่อหน่วยเวลา ค่าใช้จ่ายในกรณีสินค้าขาดมือต่อหน่วยต่อหน่วยเวลา ค่าใช้จ่ายในการเตรียมการผลิตต่อครั้ง และนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณหามาทำการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก ภายใต้นโยบาย (r,Q) ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดในแต่ละขนาด

คำสำคัญ: การพยากรณ์แบบเบย์, ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก ,นโยบายสินค้าคงคลังแบบ (r,Q) , ปริมาณความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอน

Title : Analysis of Inventory System with a Stochastic Inventory Model

: Case Study of Steel Industries in Thailand

Researcher: Watcharin Sangma and Pitsanu Tongkhow

Year : 2012

Abstract

The objectives of this research were to select the most appropriate forecasting model for uncertain demand of hot-rolled steel and to find the purchase amount and the reorder point of some raw materials in order to minimize the total cost of production in an iron and steel production planning. The three forecasting models which were exponential model, ARIMS model, and the proposed Bayesian model were studied. An iron and steel factory in Samutprakarn province was a prototype for this study. Because of their uncertain high demand, the Steel H-Beam, Steel plate, steel round bar, and black steel round bar with various sizes were selected, and their parameters including demand rate, inventory cost, back order cost, and setup cost were collected. The study found that the proposed Bayesian forecasting model is the most appropriate. The predicted demand and all parameter values were used to find the purchase amounts and the reorder points of the raw materials under the (r,Q) policy of the stochastic inventory model.

Keyword: Bayesian Forecasting , Stochastic Inventory Model, Stochastic Inventory Model for The (r,Q) Policy , Uncertainty Demand.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
สมมุติฐานในการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสโตคาสติก	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมาณค่าในตัวแบบการพยากรณ์	5
ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับสินค้าคงคลัง	16
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทย	27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	33
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	33
การเก็บรวบรวมข้อมูล	34
การวิเคราะห์ข้อมูล	34
การประเมินผลวิจัย และข้อเสนอแนะ	40
บทที่ 4 ผลการวิจัย	41
ผลการเลือกเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม	41
ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	46
ผลการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลัง	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	55

สรุปผลการวิจัย 55
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป 56
บรรณานุกรม 57
ภาคผนวก 58
ประวัติคณะผู้วิจัย 61

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและสำคัญของปัญหา

เหล็กถือว่าเป็นสินค้าที่มีความต้องการนำมาใช้ในการผลิต และสร้างสิ่งต่างๆตามความต้องการในปัจจุบันเพราะว่าไม่ว่าจะเป็นงานโครงสร้าง รถยนต์ เครื่องมือเครื่องใช้ เป็นต้น ใช้เหล็กเป็นชิ้นส่วนประกอบทั้งนั้น อุตสาหกรรมเหล็กของไทยจัดเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากเหล็กเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลายประเภท สำหรับผลิตภัณฑ์สำคัญที่มีความโดดเด่นในอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า ได้แก่ กลุ่มเหล็กทรงยาว เช่น เหล็กเส้น ลวดเหล็ก และกลุ่มเหล็กทรงแบน เช่น เหล็กแผ่นรีดร้อนและรีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบและเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ซึ่งความต้องการใช้เหล็กในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งความต้องการใช้ของอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เฟอร์นิเจอร์ บรรจุภัณฑ์ของอาหาร กระป๋อง เครื่องจักรกล และอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศและการส่งออกที่เพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุทำให้อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้ามีการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากเช่นกัน

จากราคาเหล็กในตลาดโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และประกอบกับอุตสาหกรรมก่อสร้างที่มีการขยายตัวสูงขึ้นอย่างมาก จากข้อมูลการเก็บรวบรวมของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย และผลกระทบจากราคาเหล็กในตลาดโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้น ผู้ผลิตจึงได้ทำการเร่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กไว้เพื่อเก็บไว้เป็นสินค้าคงคลังกันมาก จากข้อมูลดังที่ได้กล่าวมานั้น การที่ราคาเหล็กของตลาดโลก และปริมาณการใช้เหล็กทำให้ปริมาณการนำเข้าเหล็กที่มีแนวโน้มสูงขึ้น รวมถึงปริมาณการผลิตและปริมาณการส่งออกที่ลดลงนั้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาถึงการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังเพื่อไปใช้ไการวางแผนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย โดยพิจารณากรณีที่เมื่อปริมาณความต้องการเหล็กแต่ละชนิดมีค่าไม่แน่นอน (Random Variable) แต่สามารถรู้ค่าได้ว่าอยู่ในช่วงใด มีระยะเวลาในการนำส่งสินค้า (Lead Time) มีการเกิดสินค้าขาดมือ (Shortage) ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างหนึ่งในการวางแผนตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง และใช้เป็นต้นแบบให้กับผู้ผลิตอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย และอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบพยากรณ์สำหรับหาปริมาณความต้องการเหล็กภายใต้ความไม่แน่นอนที่มีความแม่นยำขึ้น
2. เพื่อวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังภายใต้ปริมาณความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนในตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก

สมมุติฐานของการวิจัย

ทราบฟังก์ชันการแจงแจงความน่าจะเป็นของปริมาณความต้องการเพื่อนำไปสร้างตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอนในข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลาที่ผู้วิจัยเสนอขึ้นโดยใช้วิธีของเบย์ที่มีค่าต่ำกว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอีกสองวิธีคือ ตัวแบบการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล และตัวแบบการพยากรณ์แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA) หลังจากนั้นนำค่าที่ประมาณที่ได้มาวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกโดยทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำ เมื่อนำมาเปรียบกับข้อมูลจริงในอดีต

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างเท่านั้น โดยมีข้อจำกัดของการศึกษาคือ มีสินค้าขาดมือโดยคิดค่าใช้จ่ายสินค้าขาดมือ มีระยะเวลาในการนำส่งสินค้า ปริมาณความต้องการสินค้ามีค่าไม่แน่นอนแต่รู้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. สินค้าที่ผลิตมี 1 รายการ
2. อัตราความต้องการสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
3. อัตราความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
4. ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละครั้งเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
5. มีอัตราการผลิตเป็นค่าคงตัวและต่อเนื่อง
6. ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตแต่ละหน่วยเป็นค่าคงตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และไม่ขึ้นกับปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้ง
7. ช่วงเวลานำส่งสินค้าเป็นค่าคงตัว
8. ระยะเวลาการวางแผนการดำเนินงานของระบบเป็นแบบอนันต์
9. มีพื้นที่ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง กำลังการผลิตและเงินทุนเพียงพอ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการในอนาคตของความต้องการเหล็กในโรงงานตัวอย่างและนำไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจของอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทยได้
2. ทำให้ทราบค่าปริมาณการผลิตเหมาะที่สุดในแต่ละครั้ง จำนวนการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด จุดสั่งซื้อสินค้า ระยะเวลาการสั่งซื้อและคาบการใช้สินค้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในวางแผนการตัดสินใจในอนาคตของโรงงานตัวอย่าง และใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ผลิตเหล็กและเหล็กกล้าอื่นๆในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. นำวิธีการที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในโรงงาน และอุตสาหกรรมอื่น ๆได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทยในครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สโตคาสติก (Stochastic)

สโตคาสติกจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรสุ่ม (Random Variable) เช่น การประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบการพยากรณ์ การวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลัง โดยที่ค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบนั้นเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชันของความน่าจะเป็น วิธีการประมาณค่าที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป เช่น การประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) วิธีนี้นิยมใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่มโดยที่ตัวแปรสุ่มแต่ละตัวมีค่าของ prior distribution แค่ระดับเดียวหรือถ้ามีหลายระดับ ฟังก์ชั่นต้องไม่มีความซับซ้อนเท่าไรจึงจะคำนวณหาค่าพารามิเตอร์มาได้ แต่ถ้าตัวแปรสุ่มแต่ละตัวมีค่าของฟังก์ชันความน่าจะเป็นหรือ prior distribution หลายระดับซึ่งจะเรียกว่า hyperprior distribution และเมื่อหา joint distribution มาแล้ว ได้ฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนมาก เราก็จะนิยมใช้วิธีการประมาณค่าที่สามารถประมาณฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนได้ เช่น วิธีการประมาณแบบเบย์ (Bayesian Estimation) มาประมาณซึ่งวิธีนี้จะเรียกว่าวิธีกระบวนการสโตคาสติก (Stochastic Process) เพราะกระบวนการประมาณค่าพารามิเตอร์นอกจากจะมีตัวแปรสุ่มแล้ว ยังมีเวลามาเข้าเกี่ยวข้องในกระบวนการด้วย วิธีของเบย์จะใช้หลักการของห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) มาช่วยในการประมาณ ซึ่งวิธีการของห่วงโซ่มาร์คอฟ ถือว่าเป็นวิธีการของกระบวนการสโตคาสติกที่ได้รับนิยมมากพอสมควร และถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายหลายสาขาวิชา ในที่นี้จะขอกล่าวกระบวนการสโตคาสติกคร่าวๆ โดยมี S เป็นเซตของสถานที่เป็นไปได้ทั้งหมด (State Space) ก็คือเซตของตัวแปรสุ่ม $\{X_t, t \in \mathrm{T}\}$ โดยที่ X_t จะมีค่าความน่าจะเป็น และสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของมันได้ โดยจะ

เหมือนกับเซตของตัวแปรสุ่มที่เราใช้กันอยู่ทั่วๆไป เช่น f(x), p(x) เป็นต้น เซต T จะถูกเรียกว่าเซตพารามิเตอร์ของกระบวนการ ถ้า $T = \mathbb{N} = \{0,1,2,...\}$ กระบวนการนี้จะเรียกว่ากระบวนการหนึ่งของการประมาณพารามิเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (A discrete parameter process) แต่ถ้า T ไม่สามารถนับได้ กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการหนึ่งของการประมาณพารามิเตอร์แบบต่อเนื่อง (A continuous parameter process) โดยทั่วๆไป T จะเป็นจำนวนจริงบวกโดยที่ $T = \mathbb{R}_+ = (0,\infty]$ และ $T = [a,b] \subset \mathbb{R}$ เมื่อค่า t คือเวลา และเมื่ออยู่ในรูปของ X_t ก็จะเรียกว่า สถานะ หรือ ตำแหน่ง หรือ กระบวนการ ณ เวลา t ถ้า S อยู่ใน $\mathbb{R}$ ก็จะเรียกว่าเซตของจำนวนเต็มทั้งหมด หรือ เซตจำกัดเซตหนึ่ง สำหรับค่าคงที่ $\omega \in \Omega$ การจับคู่จะได้ดังนี้

$$t \to X_t(\omega) \tag{1}$$

สมการข้างบนได้กำหนดบนเซตของพารามิเตอร์ T ซึ่งจะถูกเรียกว่า A realization หรือ trajectory เป็นเส้นทางตัวอย่าง หรือฟังก์ชันตัวอย่างของกระบวนการ ให้ $\{X_t, t \in T\}$ เป็น กระบวนการสโตคาสติกแบบที่มีค่าเป็นจำนวนจริงกระบวนการหนึ่ง (real-valued) และ $\{t_1 < ... < t_n\} \subset T$ ดังนั้น ฟังก์ชันความน่าจะเป็น $P_{t_1},...,P_{t_n} o\ (X_{t_1},...,X_{t_n})^{-1}$ ของเวคเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่ม

ซึ่งหลักการของกระบวนการสโตคาสติกที่กล่าวมาข้างต้นได้มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างทั่วโลกอย่างกว้างขวางตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมาณค่าในตัวแบบการพยากรณ์

ก่อนที่จะทำการตัดสินใจเลือกวิธีการพยากรณ์ใดๆควรจะพิจารณาถึงลักษณะของข้อมูลการตัดสินใจว่ามีความสอดคล้องกับลักษณะของวิธีการพยากรณ์ที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ สำหรับการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็นแบบอนุกลมเวลา(Time Series) ซึ่งเป็นวิธีการพยากรณ์โดยคาดการณ์ในอนาคต ว่าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับในปัจจุบันหรืออนาคต เช่น ยอดขายหรืออุปสงค์ในความเป็นจริงได้รับอิทธิพลจากแนวโน้น (Trend) ฤดูกาล (Seasonal) วัฏจักร (Cycle) และเหตุการณ์ผิดปรกติ (Irregular Variation) วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา ยังมีหลายวิธี และที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing) (Montgomery,2008)

เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักที่จัดค่าพยากรณ์ออกมาในรูปการใช้สมการคำนวณ ซึ่งจะใช้ข้อมูลเริ่มต้นค่าเดียวและถ่วงน้ำหนักโดยใช้สัมประสิทธิ์เชิงเรียบ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.00 ของค่าสังเกตก่อนหน้านั้น มี 3 แบบคือ

1) Single exponential smoothing

ตัวแบบการพยากรณ์แบบ Single exponential smoothing นิยามดังนี้

ให้ S_t แทนค่าพยากรณ์ของค่าสังเกต Y_t ณ เวลา t เมื่อ $t=1,...,n$

$$S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)S_{t-1},\ 0 \le \alpha \le 1 \tag{2}$$

ค่าพยากรณ์ S_1 ไม่เกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีเทอม S_0 นอกเสียจากจะกำหนดค่าเริ่มต้นให้ S_0 เทคนิคนี้ใช้สำหรับข้อมูลที่ ไม่มี trend และ seasonal ถ้าข้อมูลมี trend จะใช้ Double exponential smoothing และถ้ามีทั้ง trend และ seasonal จะใช้ Triple Exponential Smoothing

2) Double exponential smoothing หรือ Holt's method

ตัวแบบการพยากรณ์แบบ Double exponential smoothing ได้จากขยายตัวแบบของ Single exponential smoothing ออกไปดังนี้

$$S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + A_{t-1}),\ 0 \le \alpha \le 1 \tag{3}$$

โดยที่ $$A_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)A_{t-1},\ 0 \le \beta \le 1 \tag{4}$$

เมื่อ β คือค่าคงที่แสดง trend

3) Triple Exponential Smoothing หรือ Holt-Winters method

ตัวแบบการพยากรณ์แบบ Triple exponential smoothing ได้จากขยายตัวแบบของ Double exponential smoothing ออกไป มี 2 แบบคือ

- Multiplicative Seasonal Model

$$S_t = \alpha(Y_t / B_{t-s}) + (1-\alpha)(S_{t-1} + A_{t-1}),\ 0 \le \alpha \le 1, \tag{5}$$

$$A_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)A_{t-1},\ 0 \le \beta \le 1, \tag{6}$$

$$B_t = \gamma(Y_t / S_t) + (1-\gamma)B_{t-s},\ 0 \le \gamma \le 1, \tag{7}$$

เมื่อ γ คือค่าคงที่แสดง seasonal และ s คือความยาวช่วงของ seasonal ใช้ตัวแบบการพยากรณ์นี้เมื่อข้อมูลมี seasonal เป็นแบบการคูณ (multiplicative seasonality)

คือในเวลาเดียวกันของแต่ละฤดูกาล ค่าสังเกตจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นค่าร้อยละ ตัวอย่างเช่นข้อมูลรายเดือน 5 ปี ความยาวช่วงของ seasonal คือ 12 และข้อมูลปรากฏให้เห็นว่าในเดือนธันวาคมของแต่ละปี ค่าสังเกตจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 ไม่ใช่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นค่าคงที่

- Additive Seasonal Model

$$S_t = \alpha(Y_t - B_{t-s}) + (1-\alpha)(S_{t-1} + A_{t-1}),\ 0 \le \alpha \le 1, \tag{8}$$

$$A_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)A_{t-1},\ 0 \le \beta \le 1, \tag{9}$$

$$B_t = \gamma(Y_t - S_t) + (1-\gamma)B_{t-s},\ 0 \le \gamma \le 1, \tag{10}$$

เมื่อ γ คือค่าคงที่แสดง seasonal และ s คือความยาวช่วงของ seasonal ใช้ตัวแบบการพยากรณ์นี้เมื่อข้อมูลมี seasonal เป็นแบบการบวก (additive seasonality) คือในเวลาเดียวกันของแต่ละฤดูกาล ค่าสังเกตจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นค่าคงที ในทางปฏิบัติเราไม่ทราบว่าจะต้องกำหนดค่า moving average length เท่าไรดี จึงจะทำให้ ค่า error หรือ mean square error (MSE) หรือ ค่าวัดความผิดพลาดอื่นๆ ให้ค่าต่ำที่สุด ดังนั้นเราควรจะต้องกำหนดค่า α ให้เหมาะสม

2.2.2 แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA)

แบบจำลอง ARIMA เป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยม และเป็นวิธีที่ให้ค่าพยากรณ์ในระยะสั้นที่ดี เนื่องจากวิธีนี้มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error : MSE) ของการพยากรณ์ที่ได้จะต่ำกว่าวิธีอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์แนวโน้ม วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และวิธีถดถอยเชิงพหุ เป็นต้น อีกทั้งในการจัดทำสมการและการพยากรณ์ยังมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และซับซ้อนน้อยกว่าแบบมหภาคที่อยู่ในลักษณะระบบสมการหลายชั้น สำหรับแบบจำลอง ARIMA เป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดย George E.P.Box และ Gwilym M. Jenkins ในปี ค.ศ. 19702 โดยพื้นฐานแล้วแบบจำลอง ARIMA เป็นวิธีที่ให้ค่าพยากรณ์ในระยะสั้นที่ดี3 หรือเหมาะกับการพยากรณ์ไปข้างหน้าในช่วงเวลาสั้นๆ และต้องมีช่วงของข้อมูลที่ยาวพอสมควร แบบจำลอง ARIMA(p,d,q) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ แบบจำลอง Auto Regressive (AR(p)) กระบวนการIntegrated (I(d)) และแบบจำลอง Moving Average (MA(q)) โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้

1) แบบจำลอง Auto Regressive (AR(p))

แบบจำลอง Auto Regressive เป็นรูปแบบที่แสดงว่าค่าสังเกต y_t ถูกกำหนดจากค่าของ $y_t,...,y_{t-p}$ หรือ ค่าสังเกตที่เกิดขึ้นก่อนหน้า p โดยกระบวนการหรือระบบ AR(p) คือกระบวนการหรือระบบ Auto Regressive ที่มีอันดับที่ p ซึ่งเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

AR(p) คือ $$x_t = \mu + \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-1} + ... + \phi_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (11)$$

โดยที่

μ คือ ค่าคงที่ (Constant Term)

ϕ_j คือ พารามิเตอร์ตัวที่ j

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

ในกรณี ของ AR(1) สามารถเขียนรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$x_t = \mu + \phi_1 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (12)$$

หรือ

$$x_t - \phi_1 x_{t-1} = \mu + \varepsilon_t \quad (13)$$

หรือ

$$(1-\phi_1\beta)x_t = \mu + \varepsilon_t \quad (14)$$

เมื่อ B คือ Backward shift operation5

และในกรณี ของ AR(2) สามารถเขียนรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$x_t = \mu + \phi_1 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

หรือ

$$x_t - \phi_1 x_{t-1} - \phi_2 x_{t-2} = \mu + \varepsilon_t \quad (16)$$

หรือ

$$(1-\phi_1\beta - \phi_2\beta^2)x_t = \mu + \varepsilon_t \quad (17)$$

2) แบบจำลอง Moving Average (MA(q))

แบบจำลอง Moving Average (MA) เป็นรูปแบบที่แสดงว่าค่าสังเกต y_t ถูกกำหนดจากค่าความคลาดเคลื่อน $\varepsilon_{t-1},...,\varepsilon_{t-p}$ หรือค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ก่อนหน้า โดยกระบวนการหรือระบบ MA(q) คือกระบวนการหรือระบบ Moving Average ที่มีอันดับ q ซึ่งเขียนในรูปของ MA (q) ได้ดังนี้

$$\text{MA (q) คือ } x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_2\varepsilon_{t-2} - ... - \theta_q\varepsilon_{t-q} \quad (18)$$

โดยที่

μ คือ ค่าคงที่ (Constant Term)

θ_j คือ พารามิเตอร์ตัวที่ j

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

ในกรณี MA(1) สามารถเขียนรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 x_{t-1} \quad (19)$$

หรือ

$$x_t = \mu + (1-\theta_1\beta)\varepsilon_t \quad (20)$$

และในกรณี MA(2) สามารถเขียนรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$x_t = \mu + \varepsilon_t - \theta_1 x_{t-1} - \theta_2 x_{t-2} \quad (21)$$

หรือ

$$x_t = \mu + (1-\theta_1\beta - \theta_2\beta^2)\varepsilon_t \quad (22)$$

3) แบบจำลอง Auto Regressive Moving Average (ARMA(p,q))

แบบจำลอง Auto Regressive Moving Average (ARMA) เป็นแบบจำลองที่นำเอากระบวนการ Auto Regressive และ Moving Average มาใช้รวมกัน โดยกระบวนการหรือระบบ ARMA(p,q) คือกระบวนการหรือระบบ Auto Regressive ที่มีอันดับที่ p และ Moving Average ที่มีอันดับ q ซึ่งเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

แบบจำลอง ARMA (p,q)

$$\Delta_t y_t = \delta + \phi y_{t-1} + \phi y_{t-2} + ... + \phi y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - ... - \theta_q\varepsilon_{t-q} \quad (23)$$

โดยที่

y_t คือ ค่าสังเกตในอนุกรมเวลา ณ เวลา t

p คือ อันดับของ Autoregressive

q คือ อันดับของ Moving Average

δ คือ ค่าคงที่ (Constant Term)

t คือ เวลา

ϕ คือ พารามิเตอร์ของ Auto Regressive

θ คือ พารามิเตอร์ของ Moving Average

ε_t คือ กระบวนการ white noise ซึ่งก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

4) กระบวนการ Integrated (I(d))

กระบวนการ Integrated (I(d)) เป็นการหาผลต่างของอนุกรมเวลาระหว่างข้อมูล ณ ปัจจุบันกับข้อมูลถอยหลังไป d คาบเวลา โดยสาเหตุที่ต้องทำการหาผลต่างของอนุกรมเวลา เนื่องจากแบบจำลอง ARIMA ต้องใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาทีมีคุณสมบัติคงที่ (Stationary) เท่านั้น โดยในกรณีข้อมูลอนุกรรมเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์มีคุณสมบัติไม่คงที่ (Nonstationary) จะต้องทำการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นข้อมูลที่มีคุณสมบัติคงที่ก่อน โดยการ

หาผลต่างของข้อมูลอนุกรมเวลาก่อนที่นำไปสร้างแบบจำลอง ARIMA ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถ้าต้องหาผลต่างอันดับที่ d สามารถเขียนในรูปของ I(d) ได้ดังนี้

I(d) คือ $\Delta_d x_t = \Delta_{d-1}(x_t - x_{t-1})$ หรือ $(1-\beta)^d x_t$ (24)

ในกรณี I(1) สามารถเขียนรูปแบบได้ดังนี้

I(1) คือ $\Delta x_t = (x_t - x_{t-1})$ หรือ $(1-\beta)x_t$ (25)

ในกรณี I(2) สามารถเขียนรูปแบบได้ดังนี้

I(2) คือ $\Delta_2 x_t = \Delta(x_t - x_{t-1})$ หรือ $(1-\beta)^2 x_t$ (26)

โดยที่

ε_t คือ พจน์ความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

$(1-\beta)^d x_t$ คือ ผลต่างอันดับที่ d

β คือ Backward shift operation

จากรายละเอียดต่างๆ ที่กล่าวในข้างต้นถ้านำแบบจำลอง Auto Regressive แบบจำลอง Moving Average และ กระบวนการ Integrated มาพิจารณารวมกัน สามารถนำมากำหนดเป็นรูปแบบทั่วไปของแบบจำลอง ARIMA ที่ใช้ในการประมาณการคือ

แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA)

$$\Delta_t y_t = \delta + \phi\Delta_d y_{t-1} + \phi\Delta_d y_{t-2} + ... + \phi\Delta_d y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - ... - \theta_q\varepsilon_{t-q} \quad (27)$$

โดยที่

y_t คือ ค่าสังเกตในอนุกรมเวลา ณ เวลา t

d คือ จำนวนครั้งของการหาผลต่างเพื่อให้อนุกรมเวลามีคุณสมบัติคงที่ (Stationary)

p คือ อันดับของ Autoregressive

q คือ อันดับของ Moving Average

δ คือ ค่าคงที่ (Constant Term)

t คือ เวลา

Δ^d คือ ผลต่างอันดับที่ d

$\phi_1,...,\phi_p$ คือ พารามิเตอร์ของ Auto Regressive

$\theta_1,...,\theta_q$ คือ พารามิเตอร์ของ Moving Average

ε_t คือ กระบวนการ white noise ซึ่งก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ภายใต้ข้อ สมมติที่ว่าความคลาดเคลื่อนที่คนละเวลาเป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน โดยมี การแจง แจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และความแปรปรวนคงที่

นอกจากส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลอง ARIMA ที่กล่าวในข้างต้นนั้น ก่อนที่จะสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องเข้าใจในเรื่องของ Autocorrelation Function และ Partial Autocorrelation Function ซึ่งรายละเอียดของฟังก์ชันทั้ง 2 แสดงในหัวข้อต่อไป

5) Autocorrelation Function (ACF)

Autocorrelation Function เป็นฟังก์ชันของการวัดสหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ณ เวลา t (x_t) และ ข้อมูล ณ เวลา $t-k(x_{t-k})$ ของช่วงเวลาห่างกัน kหน่วย ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ_k หรือ r_k ในกรณีสหสัมพันธ์ในตัวเองของตัวอย่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\rho_k \text{ หรือ } r_k \frac{\sum_{t=k+1}^{n}(x_t-\bar{x})(x_{t-k}-\bar{x})}{\sum_{t=1}^{n}(x_t-\bar{x})^2} \tag{28}$$

เมื่อ $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}x_t$ และ k = 0,1,2,3,.....

โดยความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ r_k (Standard error of r_k) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$se_{r_k}=\frac{1}{\sqrt{n}} \tag{29}$$

สหสัมพันธ์ในตัวเองของข้อมูลสุ่ม (random data) มีการแจกแจงเชิงตัวอย่างที่สามารถประมาณได้ โดยการแจกแจงปกติด้วยค่าเฉลี่ย (mean) เท่ากับศูนย์ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{n}}$

ในการศึกษาจะใช้สหสัมพันธ์ในตัวเองเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับสืบค้นคุณสมบัติของข้อมูลอนุกรมเวลาเชิงประจักษ์ โดยมี 2 วิธีสำหรับทดสอบว่าค่า r_k มีค่าแตกต่างไปจากศูนย์หรือไม่โดย ใช้การแจกแจงปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) หรือ ใช้ค่าสถิติ Box-Pierce Q statistic ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

การแจกแจงปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution)

$$r_k \sim N(0, \frac{1}{\sqrt{n}}) \tag{30}$$

ค่าสถิติ Box-Pierce Q statistic

$$Q = n\sum_{k=1}^{m} r^2 \sim \chi^2(m-p-q) \tag{31}$$

โดยที่ m คือค่าล่าหรือค่าล้าหลังสูงสุด (Maximum Lag) ที่พิจารณา

6) Partial Autocorrelation Function (PACF)

การพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x_t กับ x_{t-k} อาจเป็นไปได้ว่าสหสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากสหสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรนี้กับตัวแปร $x_{t-1},...,x_{t-k+1}$ ดังนั้นเพื่อที่จะได้สหสัมพันธ์ระหว่าง x_t กับ x_{t-k} ที่ได้ขจัดความเกี่ยวข้องระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวนี้กับตัวแปร $x_{t-1},...,x_{t-k+1}$ ดังกล่าว จึงต้องทำการวัดสหสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรในรูปแบบของการสหสัมพันธ์แบบมีเงื่อนไข $Corr(x_t, x_{t-k} | x_{t-1},...,x_{t-k+1})$ ซึ่งเรียกว่า Partial Autocorrelation โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ ϕ_{kk} แต่ถ้านำสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนมาพิจารณาในรูปแบบฟังก์ชันจะเรียกว่า Partial Autocorrelation Function (PACF) ซึ่ง ϕ_{kk} สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\phi_{kk} = \frac{Cov\left[\left(x_t - \hat{x}_t\right), \left(x_{t-k} - \hat{x}_{t-k}\right)\right]}{\sqrt{Var\left(x_t - \hat{x}_t\right)}\sqrt{Var\left(x_{t-k} - \hat{x}_{t-k}\right)}} \tag{32}$$

โดยที่ $\hat{x}_t = \beta_1 x_{t-1} + \beta_2 x_{t-2} + ... + \beta_k x_{t-k+1}$ (33)

2.2.3 วิธีการพยากรณ์แบบเบย์ (Robert, 2001), (Congdon,2006),(West,1997)

ตัวแบบเบย์ เป็นวิธีการประมาณพารามิเตอร์ ซึ่งสร้างจาก Likelihood, $p(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})$, และ Prior, $\pi(\boldsymbol{\theta})$, เมื่อ $\mathbf{Y}$ คือตัวแปรสุ่มที่สังเกตค่าได้ และ $\boldsymbol{\theta}$ คือค่าพารามิเตอร์ที่สังเกตค่าไม่ได้

การแจกแจงร่วม (Joint Distribution) ของ $\boldsymbol{\theta}$ กับ $\mathbf{Y}$ สามารถเขียนอยู่ในรูป

$\pi(\boldsymbol{\theta},\mathbf{Y}) = p(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})\pi(\boldsymbol{\theta})$ และ Posterior ที่สร้างจากกฎของเบย์คือ

$$\pi(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y}) = \frac{p(\boldsymbol{\theta},\mathbf{Y})}{p(\mathbf{Y})} = \frac{p(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})\pi(\boldsymbol{\theta})}{p(\mathbf{Y})} \tag{34}$$

โดยที่

$$p(\mathbf{Y}) = \sum_{\boldsymbol{\theta}} p(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})\pi(\boldsymbol{\theta}) \tag{35}$$

เมื่อ $\boldsymbol{\theta}$ เป็นตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete) และ

$$p(\mathbf{Y}) = \int p(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})\pi(\boldsymbol{\theta})d\boldsymbol{\theta} \tag{36}$$

เมื่อ $\boldsymbol{\theta}$ เป็นตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่อง (Continuous)

เนื่องจาก $p(\mathbf{Y})$ เป็นฟังก์ชันของ $\mathbf{Y}$ ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับ $\boldsymbol{\theta}$ จึงถูกพิจารณาว่าเป็นค่าคงที่และสามารถเขียน $\pi(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y})$ อยู่ในรูป $\pi(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y}) \propto p(\mathbf{Y}|\boldsymbol{\theta})\pi(\boldsymbol{\theta})$ (37)

นั่นคือ $\pi(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y})$ เป็นสัดส่วนกับผลคูณของ จาก Likelihoodกับ Prior

ตัวแบบที่ซับซ้อนสามารถใช้ตัวแบบเบย์แก้ปัญหาได้ เช่นใช้ตัวแบบเบย์ที่มี 3 ขั้น ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 ระบุการการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่สังเกตค่าได้เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ให้ ขั้นตอนที่ 2 ระบุการแจกแจงของพารามิเตอร์ เมื่อกำหนดไฮเปอร์พารามิเตอร์ให้ และขั้นตอนที่ 3 ระบุการแจกแจงของไฮเปอร์พารามิเตอร์ในทำนองเดียวกัน จำนวนขั้นตอนอาจมีมากกว่า 3 ได้

ตัวแบบเบย์สามารถเพิ่มความแกร่ง (Robustness) ให้กับตัวประมาณแบบเบย์ได้ เนื่องจากความไม่แน่นอน (Uncertainty) ถูกนำมาคิดไว้ในขั้นตอนของการแจกแจงของ Prior นอกจานั้นวิธีการของเบย์ยังทำให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ใน Posterior ง่ายขึ้น โดยใช้การการจำลองสถานการณ์ (Simulation) การจำลองสถานการณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ วิธีเชิงตัวเลข Markov Chain Monte Carlo (MCMC)

2.2.4 Markov Chain Monte Carlo (MCMC)และ Gibbs sampling (Robert,2004)

MCMC เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับสร้างข้อมูลจากการแจกแจงที่มีมิติขนาดใหญ่ ในตัวแบบเบย์ เป้าหมายหลักคือการสร้าง $\boldsymbol{\theta}^{(0)},\boldsymbol{\theta}^{(1)},\boldsymbol{\theta}^{(2)},...$ ของ Posterior จากห่วงโซ่มาร์คอฟ

(Markov Chain) โดยเริ่มจาก Initial state $\boldsymbol{\theta}^{(0)}$ และเมื่อห่วงโซ่คงที่ในการวนซ้ำรอบที่ T เซตของ $\boldsymbol{\theta}^{(0)},...,\boldsymbol{\theta}^{(T)}$ จะถูกตัดทิ้ง เรียกว่า ช่วงของการ burn-in และ $\boldsymbol{\theta}^{(T+1)},\boldsymbol{\theta}^{(T+)},\boldsymbol{\theta}^{(T+3)},...$ เป็นห่วงโซ่ที่คงที่ (Stationary) แล้ว ที่สร้างมาจาก Posterior มีหลายวิธีในการสร้าง MCMC แต่วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Gibbs sampling

Gibbs sampling (Geman and Geman, 1984)

เป็นวิธีการสร้าง MCMC จากการสุ่มตัวอย่างแบบวนซ้ำจากการแจกแจงแบบมีเงื่อนของแต่ละพารามิเตอร์เมื่อรู้พารามิเตอร์ที่เหลือทั้งหมดและข้อมูล

สมมติว่า Posterior คือ $\pi(\boldsymbol{\theta} \mid \mathbf{Y})$ ที่มีมิติขนาด k โดยที่ $\mathbf{Y}$ แทนข้อมูลที่สังเกตค่าได้ และสำหรับแต่ละ θ_i ของ $\boldsymbol{\theta}$ การแจกแจงแบบมีเงื่อนของแต่ละพารามิเตอร์เมื่อรู้พารามิเตอร์ที่เหลือทั้งหมดและข้อมูลคือ $\pi(\theta_i \mid \theta_1,...,\theta_{i-1},\theta_{i+1},...,\theta_k,\mathbf{Y}) = \pi(\theta_i \mid \theta_{-i},\mathbf{Y})$ (38)

Gibbs sampling เป็นกระบวนการวนซ้ำมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดค่าเริ่มต้น $\boldsymbol{\theta}^{(0)} = (\theta_1^{(0)},\theta_1^{(0)},...,\theta_k^{(0)})$ (39)
- รอบที่ i จะเป็นการเปลี่ยนสถานะจาก $\boldsymbol{\theta}^{i}$ ไปเป็น $\boldsymbol{\theta}^{i+1}$ มีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่ม $\theta_1^{(i)}$ จาก $\pi(\theta_1 \mid \theta_2^{(i-1)},\theta_3^{(i-1)},...,\theta_k^{(i-1)},\mathbf{Y})$ (40)
2. สุ่ม $\theta_2^{(i)}$ จาก $\pi(\theta_2 \mid \theta_1^{(i)},\theta_3^{(i-1)}...,\theta_k^{(i-1)},\mathbf{Y})$ (41)

. .

. .

3. สุ่ม $\theta_k^{(i)}$ จาก $\pi(\theta_k \mid \theta_1^{(i)},\theta_2^{(i)}...,\theta_{k-1}^{(i)},\mathbf{Y})$ (42)

ลำดับของการสุ่ม $\boldsymbol{\theta}_1^{(1)},\boldsymbol{\theta}_2^{(2)}...,\boldsymbol{\theta}^{(T)}$ เป็นสถานะต่อเนื่องกันของ Markov Chain

2.2.5 การวัดความถูกต้องแม่นยำของการพยากรณ์ (Najafi and Tarazkar,2006),(Yelland,2010)

การวัดความถูกต้องแม่นยำของการพยากรณ์นั้นเป็นการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลอนุกรมเวลาในแต่ละชุด วิธีวัดความถูกต้องแม่นยำของการพยากรณ์นั้นมีหลายวิธีแต่วิธีที่ใช้กันมากก็คือ เราจะใช้การพิจารณาจากค่าวัดความถูกต้อง ซึ่งต่างเป็นฟังก์ชันของค่าความคลาดเคลื่อน e_t โดยที่ e_t เป็นผลต่างของค่าจริง (Y_t) กับค่าพยากรณ์ $(\hat{Y}_t)$ ณ เวลา t ดังนี้

1) Root Mean Squared Error (RMSE)

$$\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2}{n}} \tag{43}$$

วิธี RMSE เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป ข้อเสียของวิธีนี้คือไม่มีฐานการเปรียบเทียบ และถ้า MSE มีค่าสูงอาจเป็นเพราะมีความคลาดเคลื่อนสูง หรือขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูล

2) Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| e_t / Y_t \right|}{n} \times 100 \tag{44}$$

วิธี MAPE เป็นหนึ่งในวิธีที่ถูกยอมรับ และที่ใช้ในการเปรียบเทียบมากที่สุดสำหรับอนุกรมเวลา

3) Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| e_t \right|}{n} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| Y_t - \hat{Y}_t \right|}{n} \tag{45}$$

เมื่อค่า MSE (Mean Squared Error) MAPE (Mean Absolute Percentage Error) และ MAE (Mean Absolute Error) มีค่าต่ำ แสดงถึง วิธีการพยากรณ์นั้นมีความถูกต้องมาก

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับสินค้าคงคลัง

สินค้าคงคลัง หมายถึง สินค้าหรือวัตถุดิบที่ถูกจัดเก็บไว้ในคลังเพื่อนำไปใช้ในการผลิตหรือการขาย

2.3.1 การตัดสินใจขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง

การตัดสินใจขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง (Basic Inventory Decisions) นั้นเป็นการแก้ปัญหาสินค้าคงคลัง มิใช่อยู่ที่ความพยายามทำให้มีสินค้าคงคลังเหลือน้อยที่สุด หากแต่จะต้องพยายามหาระดับที่เหมาะสมที่สุดที่ควรจะเก็บรักษาไว้ เพื่อให้ต้นทุนในการดำเนินงานให้มีสินค้าคงคลังทั้งสิ้นน้อยที่สุดและมีกำไรสูงที่สุด ดังนั้น ในการตัดสินใจขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสินค้าคงคลังจึงมีอยู่ด้วยกัน 2 ประการ คือ

1. จะสั่งซื้อครั้งละเท่าไร
2. จะสั่งซื้อจำนวนนี้เมื่อใด

ในการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาทั้งสองนี้ ฝ่ายจัดการมักจะเกิดความรู้สึกที่ขัดแย้งกัน ถ้าจะให้ต้นทุนในการสั่งซื้อต่ำจะต้องสั่งซื้อแต่ละครั้งเป็นจำนวนมาก ๆ แต่ถ้าจะให้ต้นทุนในการจัดให้มีสินค้าคงคลังอยู่ในระดับต่ำ จำนวนสั่งซื้อแต่ละครั้งจะต้องมีจำนวนน้อย ถ้าเน้นทางใดทาง

หนึ่งมากจนเกินไปย่อมก่อให้เกิดผลในทางที่ไม่ดีต่อต้นทุนที่เกิดขึ้น ดังนั้น ผู้บริหารกิจการจึงต้องหาความสมดุลระหว่างความต้องการทั้งสอง โดยอาศัยเครื่องมือขั้นมูลฐานบางอย่างที่ได้มาจากการวิจัยการปฏิบัติงาน เราก็จะได้มาซึ่งตัวแบบที่ใช้ในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Economic Order Quantity)

2.3.2 ตัวแบบสินค้าคงคลัง (Inventory Model)

ตัวแบบสินค้าคงคลังเป็นแบบเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์หาขนาดที่ประหยัดของการสั่งผลิตหรือสั่งซื้อแต่ละครั้ง ในการออกใบสั่งซื้อแต่ละครั้ง จะต้องกำหนดลงไปว่าต้องการสินค้าคงคลังแต่ละชนิดครั้งละกี่หน่วย ถ้าในแต่ละครั้งซื้อเป็นจำนวนมาก ค่าเก็บรักษาสินค้าคงคลังก็จะมาก แต่ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการออกใบสั่งก็จะน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าสั่งซื้อผลิตภัณฑ์แต่ละครั้งเป็นจำนวนน้อย ต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังก็จะน้อยตาม แต่ต้นทุนในการสั่งซื้อจะมากขึ้น ในบางครั้งการสั่งซื้อครั้งละมาก ๆ อาจได้ส่วนลด เพราะฉะนั้นความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของต้นทุนที่เกิดขึ้นนี้ย่อมจะมีผลต่อการตัดสินใจเป็นอย่างมาก ดังนั้น การคำนวณหาขนาดของการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตที่เหมาะสมควรเป็นปริมาณสินค้าคงคลังที่ทำให้ต้นทุนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องมีค่าน้อยที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสินค้าคงคลังที่สั่งซื้อหรือสั่งผลิตแต่ละครั้ง เป็นดังนี้

- ต้นทุนในการออกใบสั่งซื้อหรือสั่งผลิตจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของที่สั่งซื้อ
- ต้นทุนในการจัดให้มีสินค้าคงคลัง จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณของที่สั่งซื้อหรือสั่งผลิตเข้ามาเก็บไว้ในคลัง
- ผลรวมของต้นทุนในการออกใบสั่งซื้อ หรือสั่งผลิตกับต้นทุนในการจัดให้มีสินค้าคงคลัง จะมีค่าน้อยที่สุดที่จุดที่ทำให้ต้นทุนในการจัดให้มีสินค้าคงคลังกับต้นทุนในการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตเท่ากัน

ในการคำนวณหาจุดหรือขนาดของสินค้าคงคลัง ที่ทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังทั้งสิ้นอยู่ในระดับต่ำสุดตามที่กล่าวมานี้ เราจะต้องตั้งข้อสมมติว่า ตัวแบบสินค้าคงคลังอยู่ภายให้สภาพการณ์ที่แน่นอน กล่าวคือ

- เราต้องทราบปริมาณความต้องการของลูกค้าต่อปีที่แน่นอน และเป็นความต้องการที่เกิดขึ้นในลักษณะที่คงที่ตลอดเวลา (Deterministic Demand)

- ช่วงเวลาที่รอคอยสินค้าคงคลังนับตั้งแต่ออกใบสั่งซื้อหรือสั่งผลิตจนกระทั่งสินค้าคงคลังนั้นเข้ามาอยู่ในคลังเรียบร้อยมีค่าเป็นศูนย์ ข้อสมมตินี้ก็คือ เมื่อออกใบสั่งซื้อหรือสั่งผลิตไม่ว่าจะเป็นจำนวนเท่าใดก็ตาม ก็จะได้จำนวนสินค้าคงคลังชนิดนั้นเข้ามาทันที
- จากผลของข้อสมมติตามข้อ 1 และข้อ 2 จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องมีสินค้าคงคลังเผื่อเก็บไว้ (Safety Stock)

การคิดคำนวณต้นทุนของสินค้าคงคลังนั้น อาจจะแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1. ต้นทุนสินค้า คือการคำนวณต้นทุนสินค้าต่อหน่วย ซึ่งหมายถึงมูลค่าที่จะใช้ไปเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้า 1 หน่วย ซึ่งแบ่งออกเป็นต้นทุนทางตรง ได้แก่ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าจ้างเหมา เป็นต้น และต้นทุนทางอ้อม ได้แก่ ต้นทุนทางอ้อมด้านวัสดุที่ใช้ร่วมกัน เช่น ค่าหีบห่อ ค่าสี เป็นต้น ต้นทุนทางอ้อมด้านแรงงาน เช่น ค่าใช้จ่ายด้านวางแผนและควบคุมการผลิต ค่าใช้จ่ายด้านบริหาร เป็นต้น ค่าใช้จ่ายทางอ้อมอื่นๆเช่น ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าเสื่อมราคา ค่าประกันอัคคีภัยโรงงาน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม เป็นต้น
2. ต้นทุนจากค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Carrying Cost) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการมีสินค้าคงคลัง และการรักษาสภาพให้สินค้า คงคลังนั้นอยู่ในรูปที่ใช้งานได้ ซึ่งจะแปรตามปริมาณสินค้าคงคลังที่ถือไว้ และระยะเวลาที่เก็บสินค้าคงคลังนั้นไว้ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ได้แก่ ต้นทุนเงินทุนที่จมอยู่กับสินค้าคงคลัง นั่นก็คือค่าดอกเบี้ยจ่าย หากเงินทุนนั้นมาจากการกู้ยืม หรืออาจเป็นค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ถ้าเงินทุนนั้นเป็นส่วนของเจ้าของ ค่าคลังสินค้า ค่าไฟฟ้าเพื่อการรักษาอุณหภูมิ ค่าใช้จ่ายของสินค้าที่ชุดเสีย หาย หรือหมดอายุเสื่อมสภาพจากการเก็บสินค้าไว้นานเกินไป ค่าภาษีและการประกันภัย ค่าจ้างยาม และพนักงานประจำคลังสินค้า เป็นต้น
3. ต้นทุนจากค่าใช้จ่ายเนื่องจากสินค้าขาดแคลน (Shortage Cost หรือ Stock Cost) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการมีสินค้าคงคลังไม่เพียงพอต่อการผลิตหรือการขาย เป็นเหตุให้ลูกค้ายกเลิกคำสั่งซื้อ ขาดรายได้ที่ควรได้ กิจการเสียชื่อเสียง กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก เกิดการว่างงานของเครื่องจักร และคนงาน ฯลฯ ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะ แปรผกผันกับปริมาณสินค้าคงคลังที่ถือไว้ นั่นคือถ้าถือสินค้าไว้

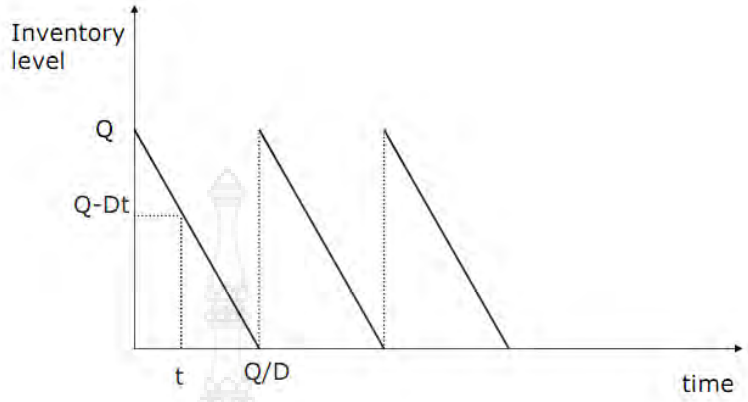
มากจะไม่เกิดการขาดแคลน แต่ถ้าถือสินค้าคงคลังไว้น้อย ก็อาจเกิดโอกาสที่ทำให้เกิดการขาดแคลนได้มากกว่า และมีค่าใช้จ่ายเนื่องจากสินค้าขาดแคลนนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณการขาดแคลน รวมทั้งระยะเวลาที่เกิดการขาดแคลนขึ้นด้วยค่าใช้จ่ายเนื่องจากสินค้าขาดแคลนนี้ ได้แก่ คำสั่งซื้อของล็อตพิเศษทางอากาศ เพื่อนำมาใช้แบบฉุกเฉิน ค่าปรับเนื่องจากการส่งสินค้าให้ลูกค้าล่าช้าค่าเสียโอกาสในการขาย ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเสียค่าความนิยมสินค้าของลูกค้า เป็นต้น

4. ต้นทุนจากค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต (Setup Cost)

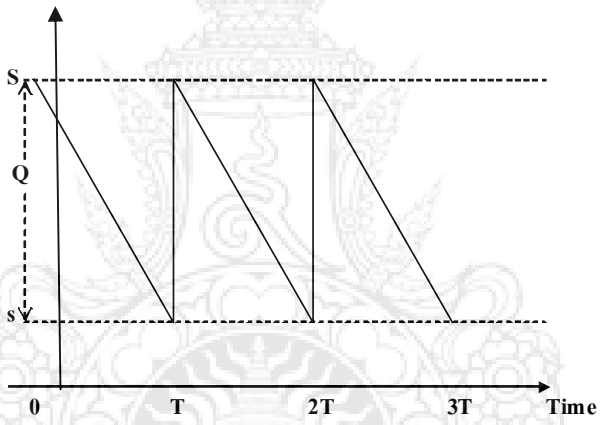
คือคือค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่าย เพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าคงคลังที่ต้องการ ซึ่งจะแปร ตามจำนวนครั้งของการสั่งซื้อ แต่ไม่แปรตามปริมาณสินค้าคงคลัง เพราะสั่งซื้อของมากเท่าใดก็ตามในแต่ละครั้ง ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ก็ยังคงที่ แต่ถ้ายิ่งสั่งซื้อบ่อยครั้ง ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อก็จะยิ่งสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อเหล่านี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่ง เป็นส่วนเกี่ยวกับการจัดเตรียมเอกสาร ได้แก่ ค่ากระดาษ(เอกสารใบสั่งซื้อ) ค่าจ้างพนักงานจัดซื้อ ค่าโทรศัพท์ ค่าขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการตรวจรับของและเอกสาร ค่าธรรมเนียมในการนำของออกจากศุลกากร ค่าใช้จ่ายในการชำระเงิน เป็นต้น ส่วนที่สอง เป็นส่วนของภาคการผลิต ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการที่เครื่องจักรจะต้องเปลี่ยนการทำงานหนึ่ง ไปทำงานอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งจะเกิดการว่างงานชั่วคราว สินค้าคงคลังจะถูกทิ้งให้รอกระบวนการผลิตที่จะตั้งใหม่ ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักรใหม่นี้จะมีลักษณะเป็นต้นทุนคงที่ต่อครั้ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของล็อตการผลิต ถ้าผลิตเป็นล็อตใหญ่มีการตั้งเครื่องใหม่นานๆ ครั้ง ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องใหม่ก็จะต่ำ แต่ยอดสะสมของสินค้าคงคลังจะสูง แต่ถ้าผลิตเป็นล็อตเล็ก มีการตั้งเครื่องใหม่ บ่อยครั้ง ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องใหม่ก็จะสูง แต่สินค้าคงคลังจะมีระดับต่ำลง และสามารถส่งมอบงานให้แก่ลูกค้าได้เร็วขึ้น

2.3.2.1 ตัวแบบสินค้าคงคลังพื้นฐาน EOQ

Economic Order Quantity (EOQ) คือ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด โดยการสั่งซื้อสินค้าในแต่ละครั้งจะสั่งในปริมาณหรือจำนวนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นเกิดจากค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering Cost) และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า (Carrying Cost) (ค่าใช้จ่ายสองตัวนี้จะแปรผกผันกัน)



ภาพที่ 1 ตัวแบบสินค้าคงคลังพื้นฐานของ EOQ



ภาพที่ 2 ตัวแบบสินค้าคงคลังภายใต้นโยบาย (S, s)

วัตถุประสงค์ของการบริหารคงคลัง เพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังให้เหมาะสมเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานมีค่าต่ำที่สุด ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่ว่าเมื่อไรจะจัดหาสินค้า และปริมาณสินค้าที่จัดหาจะมีจำนวนเท่าไร ดังนั้นนโยบายสินค้าจึงเป็นตัวกำหนดว่า เมื่อไรจะจัดหาสินค้าและปริมาณสินค้าที่จัดหาจะมีจำนวนเท่าไร ในทางปฏิบัตินโยบายสินค้าคงคลังอาจกำหนดขึ้นมาได้หลายรูปแบบมากมาย เพื่อความสะดวกในการกำหนดนโยบายสินค้าคงคลัง จึงนิยมที่นิยามสัญลักษณ์ดังนี้

S = ระดับสินค้าคงคลังสูงสุด

s = ระดับสินค้าคงคลังที่จะต้องทำการจัดหาสินค้า

Q = ปริมาณสินค้าคงคลังที่จัดหาสินค้าครั้งหนึ่งๆ

T = ระยะเวลาระหว่างการจัดหาสินค้า

ซึ่งนโยบายสินค้าคงคลังที่รู้จักกันแพร่หลายจะอยู่ในรูปแบบ (s , S) โดย s แสดงถึงจุดที่มีการจัดหาสินค้าคงคลัง และ S แสดงถึงจำนวนที่เกี่ยวข้องกับสินค้าที่จัดหา สำหรับการหาค่าต่างๆจากข้างบนนั้นต้องกำหนดและทราบค่าต่างๆก่อน ดังนี้

k แทน ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิตต่อครั้ง

c แทน ต้นทุนต่อหน่วย

D แทน ปริมาณความต้องการสินค้าต่อหน่วยเวลา

h แทนค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าต่อหน่วยต่อหน่วยเวลา

และมีข้อสมมุติฐาน คือ

1) สินค้าที่ผลิตมี 1 รายการ
2) อัตราความต้องการสินค้ามีค่าคงตัวและต่อเนื่อง
3) อัตราความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้ามีค่าคงตัว และต่อเนื่อง
4) ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละครั้งเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
5) มีอัตราการผลิตเป็นค่าคงตัวและต่อเนื่อง
6) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตแต่ละหน่วยเป็นค่าคงตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และไม่ขึ้นกับปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้ง
7) ระยะเวลาการวางแผนการดำเนินงานของระบบเป็นแบบอนันต์
8) มีพื้นที่ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง กำลังการผลิตและเงินทุนเพียงพอ

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการสั่งสินค้าเพื่อให้ระดับสินค้าคงคลัง s หน่วยเพิ่มขึ้นเป็น S หน่วยจะเท่ากับ

$$k + c(S - s) \qquad (46)$$

ถ้า h เป็นค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง/หน่วย/หน่วยเวลา (1 คาบ) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง 1 คาบ จะเท่ากับ

$$h\int_0^T (S - D\theta)d\theta \tag{47}$$

$$= h\left[ST - \frac{DT^2}{2} \right] \tag{48}$$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดรวมในหนึ่งคาบสำหรับระบบสินค้าคงคลังเท่ากับ

$$k + c(S - s) + h\left[ST - \frac{DT^2}{2} \right] \tag{49}$$

และค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาอาจเขียนได้เป็น

$$TC = \frac{k + c(S - s)}{T} + hs - \frac{hDT}{2} \tag{50}$$

$$= \frac{kD}{S - s} + cD + hS - \frac{h(S - s)}{2} \tag{51}$$

เมื่อ

$$Q = S - s = DT \tag{52}$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา (1 คาบ) คือ

$$TC = \frac{kD}{Q} + cD + h(Q + s) - \frac{hQ}{2} \tag{53}$$

ถ้ากำหนดให้ s=0

ดังนั้น

$$TC = \frac{kD}{Q} + cD + \frac{hQ}{2} \tag{54}$$

ซึ่งจะมีค่าต่ำสุดเมื่อ

$$\frac{dTC}{dQ} = -\frac{kD}{Q^{*2}} + \frac{h}{2} = 0 \tag{55}$$

แก้สมการได้ Q^* ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำสุดคือ

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kD}{h}} \tag{56}$$

นำค่า Q^* กลับเข้าไปแทนค่าในสมการ $TC = \frac{kD}{Q} + cD + \frac{hQ}{2}$

ได้

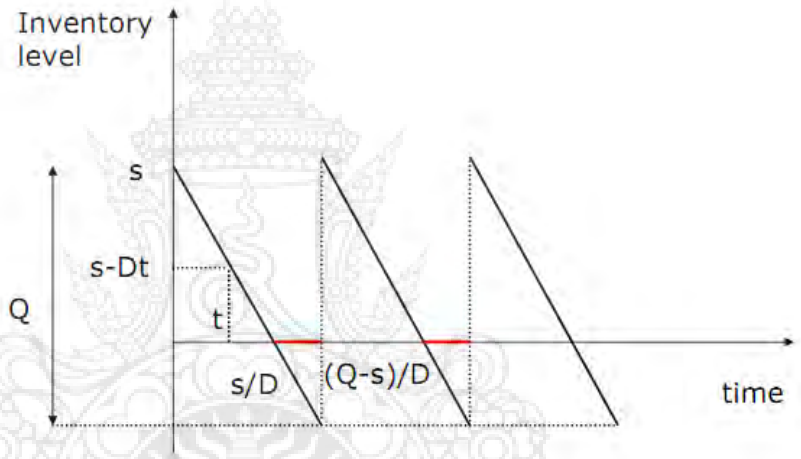
$$TC^* = cD + \sqrt{2kDh} \quad (57)$$

และ นำค่า Q^* ที่ได้ ไปแทนในสมการ $t = \frac{Q}{D}$ จะได้

$$t^* = \sqrt{\frac{2K}{hD}} \quad (58)$$

จากตัวแบบพื้นฐาน EOQ ข้างต้นสามารถนำมาขยายต่อกับปัญหาการควบคุมสินค้าคงคลังต่างๆได้อีกมากมาย

2.3.2.2 ตัวแบบสินค้าคงคลังเมื่อยอมให้มีสินค้าขาดมือ



ภาพที่ 3 ตัวแบบสินค้าคงคลังเมื่อยอมให้มีสินค้าขาดมือ

ตัวแบบสินค้าคงคลังเมื่อยอมให้มีสินค้าขาดมือมีสัญลักษณ์ดังนี้

TC แทนค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย ต่อหน่วยเวลา

Q แทน ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ต่อหน่วยเวลา

s แทน จุดที่เกิดสินค้าขาดมือ

D แทน ความต้องการสินค้า ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

k แทน ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิตต่อครั้ง

h แทน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

b แทน ค่าใช้จ่ายกรณีเมื่อมีสินค้าขาด ต่อหน่วย

และมีข้อสมมุติฐาน คือ

1) สินค้าที่ผลิตมี 1 รายการ

2) อัตราความต้องการสินค้ามีค่าคงตัวและต่อเนื่อง
3) อัตราความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้ามีค่าคงตัว และต่อเนื่อง
4) ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละครั้งเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
5) มีอัตราการผลิตเป็นค่าคงตัวและต่อเนื่อง
6) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต และค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสินค้าขาดมือแต่ละหน่วยเป็นค่าคงตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และไม่ขึ้นกับปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้ง
7) ระยะเวลาการวางแผนการดำเนินงานของระบบเป็นแบบอนันต์
8) มีพื้นที่ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง กำลังการผลิตและเงินทุนเพียงพอ

เมื่อเกิดสินค้าขาดมือขึ้น ในตัวแบบนี้สามารถยอมให้มีสินค้าขาดมือ โดยที่ระดับของสินค้าคงคลังสามารถต่ำกว่าค่าศูนย์ได้ ดังภาพที่ 3 ถ้า s คือระดับของสินค้าคงคลังล๊อตหนึ่งจากการสั่งมา Q หน่วย ที่เพิ่งถูกเติมเข้าไป ดังนั้น Q-s ก็จะเป็นระดับของสินค้าขาดมือ ของล๊อตนั้นก่อนที่จะถูกสั่ง เมื่อ h คือค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าต่อหน่วย b คือค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสินค้าขาดต่อหน่วย ดังนั้น

ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง 1 คาบ จะเท่ากับ $\frac{hs^2}{2Q}$ (59)

ค่าใช้จ่ายของสินค้าขาดมือต่อ 1 คาบ จะเท่ากับ $\frac{b(Q-s)^2}{2Q}$ (60)

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยเวลา (1 คาบ) จะเท่ากับ

$$TC = \frac{kD}{Q} + cD + \frac{hs^2}{2Q} + \frac{b(Q-s)^2}{2Q} \quad (61)$$

ค่า TC จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ

1) หาค่าอนุพันธ์อับดับที่ 1 ของค่า Q และเทียบสมการเท่ากับค่าศูนย์ ดังนี้

$$\frac{dTC}{dQ} = \frac{kD}{Q} + cD + \frac{hs^2}{2Q} + \frac{b(Q-s)^2}{2Q} = 0 \quad (62)$$

หลังจากนั้นแก้สมการได้ Q^* คือ

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kD(b+h)}{hb}} \tag{63}$$

2) หาค่าอนุพันธ์อับดับที่ 1 ของค่า s และเทียบสมการเท่ากับค่าศูนย์ ดังนี้

$$\frac{dTC}{ds} = \frac{kD}{Q} + cD + \frac{2hs}{2Q} + \frac{b(Q-s)^2}{2Q} = 0$$

$$\frac{2sh}{2Q} + \frac{b}{2Q} + 2(Q-s)^1 \frac{d}{ds}(Q-s) = 0$$

$$\frac{2sh}{2Q} + \frac{b}{2Q} + 2(Q-s)(-1) = 0$$

$$2sh - 2b(Q-s) = 0$$

$$2sh = 2b(Q-s)$$

$$sh = b(Q-s)$$

$$sh = bQ - bs$$

$$s = \frac{bQ}{h+b} \tag{64}$$

หลังจากนั้นแทนค่า Q* ใน $s = \frac{bQ}{h+b}$ จะได้

$$s^* = \sqrt{\frac{2kDb}{h(b+h)}} \tag{65}$$

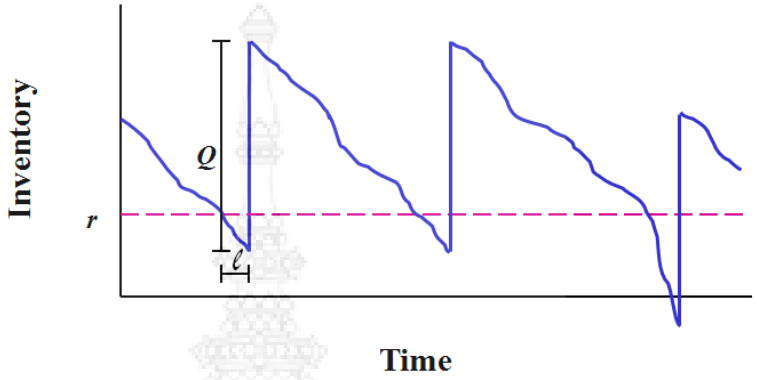
3) เอา Q* และ s* ที่หาได้ แทนในสมการ TC ได้

$$Q^* - s^* = \sqrt{\frac{2kDh}{b(b+h)}} \tag{66}$$

4) นำค่า Q^*, s^* และ $Q^* - s^*$ ที่ได้ ไปแทนในสมการ $t = \frac{Q}{D}$ จะได้

$$t^* = \sqrt{\frac{2K(b+h)}{hbD}} \tag{67}$$

2.3.2.3 ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบพิจารณาต่อเนื่องเชิงสโตคาสติกภายใต้นโยบาย (r,Q) (Stochastic Inventory Continuous Review- the (r,Q) Model



ภาพที่ 4 ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่องเชิงสโตคาสติกภายใต้นโยบาย (r,Q)

มีสัญลักษณ์ดังนี้

TC แทนค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย ต่อหน่วยเวลา

Q แทน ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ต่อหน่วยเวลา

r แทน จุดสั่งซื้อสินค้า

D แทน ความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอน ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

Ω แทน ความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนในช่วงเวลานำส่งสินค้า

l แทน ความยาวของช่วงเวลานำส่งสินค้า

k แทน ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิตต่อครั้ง

h แทน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

b แทน ค่าใช้จ่ายกรณีเมื่อมีสินค้าขาด ต่อหน่วย

นโยบาย r,Q ก็คือเมื่อใดก็ตามที่ระดับสินค้าลดลงมาที่ระดับ r (reorder point) ก็จะต้องทำการสั่งสินค้า Q หน่วยทันที เพราะว่าเราจะไม่ได้รับสินค้าทันทีเนื่องจากมีช่วงเวลานำของการส่งสินค้า (lead time) สำหรับในตัวแบบนี้ ค่าระดับความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำมีความไม่แน่นอนด้วย คือเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งทำให้ จุดสั่งซื้อมีความไม่แน่นอนตามไปด้วย ดังนั้นเราจะต้องทำการคำนวณหาค่า r ดังนั้นตัวแบบในการคำนวณค่า r ก็จะเปลี่ยนเป็นการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังแบบพิจารณาต่อเนื่องเชิงสโตคาสติก โดยมีข้อสมมติฐานก็คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีสินค้าขาด

ในช่วงเวลานำส่งสินค้า ซึ่งค่าความน่าจะเป็นควรจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ขึ้นไป แทนด้วย A โดยที่ $A \in [0.5,1]$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า r โดยการหาค่าความน่าจะเป็น $p[L \le r] = A$ โดยจะต้องทราบฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นของ L เสียก่อนจึงจะคำนวณหาค่า r ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้า L เป็นฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์ม ที่อยู่ในช่วง a และ b สามารถหาค่า r ได้คือ

$r = a + A(b-a)$ หรือ $r = \left(\frac{A-1}{2}\right)(b-a)$

แต่ถ้าความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนในช่วงเวลานำส่งสินค้าถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ค่า r สามารถหาได้จาก $\frac{(b-a)}{2}$

ถ้า L เป็นฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นแบบปกติ สามารถหาค่า r ได้คือ $r = L + Z_{1-A}\sigma$ เมื่อ Z_α สามารถเปิดในตารางมาตรฐานของการแจกแจงแบบปกติ และค่า Q*, t* และค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดต่อช่วงเวลา (TC*) สามารถหาได้จากสูตรในตัวแบบคงคลังเมื่อยอมให้มีสินค้าขาดมือ และมีข้อสมมุติฐาน คือ

1) สินค้าที่ผลิตมี 1 รายการ
2) อัตราความต้องการสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
3) อัตราความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
4) ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละครั้งเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
5) มีอัตราการผลิตเป็นค่าคงตัวและต่อเนื่อง
6) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตแต่ละหน่วยเป็นค่าคงตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และไม่ขึ้นกับปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้ง
7) ช่วงเวลานำส่งสินค้าเป็นค่าคงตัว
8) ระยะเวลาการวางแผนการดำเนินงานของระบบเป็นแบบอนันต์
9) มีพื้นที่ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง กำลังการผลิตและเงินทุนเพียงพอ

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทย

อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าแบ่งออกเป็น อุตสาหกรรมต้นน้ำ อุตสาหกรรมกลางน้ำ และ อุตสาหกรรมปลายน้ำ ได้ดังนี้

- **อุตสาหกรรมต้นน้ำ** คือ อุตสาหกรรมเหล็กถลุง (Pig Iron) และเหล็กพรุน (Sponge Iron) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นกระบวนการเริ่มต้นของอุตสาหกรรมเหล็กที่มีความสำคัญอย่างมากต่อศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมเหล็กและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่มีการจัดตั้งโรงงานผลิตเหล็กต้นน้ำ ซึ่งแต่เดิมนั้นแนวทางการพัฒนาถูกกำหนดโดยความต้องการของตลาดในประเทศมากกว่าจากนโยบายของภาครัฐ จึงทำให้อุตสาหกรรมเหล็กเริ่มต้นพัฒนาจากปลายน้ำเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศมากกว่าการเริ่มต้นพัฒนาจากอุตสาหกรรมต้นน้ำ

- **อุตสาหกรรมกลางน้ำ** เป็นขั้นที่นำผลิตภัณฑ์จากการผลิตเหล็กขั้นต้นทั้งที่เป็นของเหลวและของแข็งรวมถึงเศษเหล็ก (Scrap) มาหลอมปรับปรุงคุณสมบัติและส่วนผสมทางเคมีให้ได้เป็นเหล็กกล้า (Steelmaking) สำหรับประเทศไทยผู้ผลิตขั้นกลางทุกรายจะผลิตด้วยเตาอาร์ตไฟฟ้าโดยใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุหลักในการผลิต นอกจากการผลิตเหล็กกล้าแล้วอุตสาหกรรมขั้นกลางยังรวมถึงการหล่อเหล็กกล้าให้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่มีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ เหล็กแท่งยาว (Billet) เหล็กแท่งแบน (Slab) และเหล็กแท่งใหญ่ (Bloom)

- **อุตสาหกรรมปลายน้ำ** เป็นขั้นของการแปรรูปผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การรีดร้อน การรีดเย็น การเคลือบผิว การผลิตท่อเหล็ก การตีเหล็กขึ้นรูปรวมไปถึงการหล่อเหล็ก เช่น เหล็กเส้น เหล็กลวด เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน เป็นต้น ซึ่งจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทางการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ในประเทศไทย การผลิตเหล็กและเหล็กกล้าจะเริ่มจากขั้นกลาง คือ การหลอมและการหล่อ

2.1.1 กระบวนการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า

การผลิตเหล็กและเหล็กกล้าประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) การแต่งแร่และการถลุง

การแต่งแร่ คือ การแปรสภาพสินแร่ให้ได้ขนาดและคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการถลุง เช่น การบดแร่ให้ละเอียดเพื่อแยกเหล็กจากมลทินแล้ว อาจแยกโดยอาศัยความถ่วงเฉพาะที่ต่างกัน (Float) หรือใช้การแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic separation) ซึ่งแร่ที่ได้จะละเอียดเกินไป ต้องทำให้เป็นก้อน (Agglomeration) ก่อนป้อนเข้าเตาถลุง

การถลุงเหล็ก คือ การแปรสภาพแร่เหล็กให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น (%เหล็กเพิ่มขึ้น) โดยการขจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจากแร่เหล็ก

2) การหลอมและการปรุงส่วนผสม

การหลอมเหล็ก คือ การให้ความร้อนแก่ เหล็กถลุง (Pig iron) เหล็กพรุน หรือเศษเหล็ก ทำให้เหล็กหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 1600 °C)

สำหรับการผลิตเหล็กกล้า ในขั้นตอนการหลอมนี้ จะมีการปรับปรุงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กโดยการทำออกซิเดชั่นเพื่อลดปริมาณคาร์บอนและฟอสฟอรัส การเติมสารประกอบต่างๆ เพื่อลดปริมาณสารเจือปนและทำให้ผลิตภัณฑ์เหล็กมีคุณสมบัติตามที่ต้องการในขั้นตอนนี้ สิ่งเจือปนซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบออกไซด์ ซิลิเกตของธาตุต่างๆ จะแยกตัวจากน้ำโลหะ ซึ่งเราเรียกสิ่งเจือปนที่แยกออกมานี้ว่า Slag

3) การหล่อ

การหล่อเหล็ก คือ การนำเหล็กหลอมเหลวที่ได้ปรุงแต่งส่วนผสมแล้วเทลงในแบบเพื่อให้เกิดการแข็งตัวตามรูปร่างที่ต้องการการหล่อสามารถแบ่งได้แบ่ง 2 แบบ

- Ingot casting คือ การหล่อแบบที่น้ำเหล็กกล้าถูกเทลงสู่แบบหล่อที่ไม่เคลื่อนไหว (Stationary mold) เพื่อหล่อเป็นแท่งโลหะ (Ingot)
- การหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous casting) คือ การที่น้ำเหล็กหลอมเหลวได้ไหลผ่านแบบหล่อ (Mold) อย่างต่อเนื่องและแข็งตัวเป็น “ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ” คือ Billet, Bloom หรือ Slab ซึ่งสามารถตัดและนำไปผ่านขบวนการแปรรูปต่อไป

ปัจจุบัน การหล่อแบบต่อเนื่องเป็นที่นิยม เนื่องจากนำมาสู่การเพิ่มสัดส่วนผลผลิตที่ได้รับ (Yield), ปรับปรุงคุณภาพ, เพิ่มความสามารถในการผลิตและประสิทธิภาพของการลงทุน

4) การแปรรูป

คือ การแปรรูปเหล็กกล้าที่ได้หลอมเพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงของผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าอีกด้วย การแปรรูปประกอบด้วยการแปรรูปร้อนและการแปรรูปเย็น

สำหรับเหล็กแผ่นเมื่อผ่านการรีดร้อนแล้วสามารถนำไปใช้งานบางอย่างได้โดยตรง แต่สำหรับเหล็กแผ่นบางจะถูกลดขนาดด้วยการรีดเย็นต่อ เพื่อให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ และด้วยเหตุผลอื่นๆ ดังนี้

-เพื่อปรับปรุงคุณภาพผิว

- เพื่อให้ได้คุณสมบัติเชิงกลที่ต้องการ

-เพื่อให้ได้ความหนาที่ต่ำกว่าเหล็กแผ่นรีดร้อน

-เพื่อควบคุมให้ความคลาดเคลื่อนของความหนาต่ำ

เนื่องจากการรีดร้อนจะประหยัดกว่าการรีดเย็น ดังนั้นในการผลิตเหล็กแผ่นบางจึงเริ่มจากการรีดร้อนให้ได้ขนาดค่าหนึ่งก่อน จากนั้นจึงทำการรีดเย็นต่อ

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านขั้นตอนที่ 4 คือการแปรรูปแล้ว สามารถนำไปผ่านขบวนต่างๆ ของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายตามประเภทของการใช้งาน เช่น วัสดุก่อสร้าง ท่อ คอนเทนเนอร์ ถังความดัน ชิ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้าและเครื่องจักรกล เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hadley & Whitin (1915) ได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังพื้นฐานหรือตัวแบบ EOQ โดยสมมุติให้ความต้องการสินค้าทั้งหมดในช่วงเวลาที่เกิดสินค้าขาดมือนั้นลูกค้าเต็มใจที่จะรอคอยหรืออาจเรียกว่า สินค้าย้อนหลัง (backorders) หรืออาจเป็นความต้องการสินค้าที่สูญเสียไป(lost sales) เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

Banks & Fabrycky (1987) ได้ศึกษาถึงความต้องการสินค้าในช่วงเวลาที่เกิดสินค้าขาดมือที่สามารถคิดแยกออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ นั่นคือคิดเป็นสัดส่วนของการสูญเสียอุปสงค์ไปบางส่วนและสัดส่วนของอุปสงค์ที่เหลือทั้งหมดจะคิดเป็นสินค้าย้อนหลัง โดยสร้างเป็นตัวแบบที่มีการสูญเสียลูกค้าไปบางส่วนและมีสินค้าย้อนหลังผสมอยู่ในตัวแบบเดียวกัน

Kim & Park (1985) ได้นำเสนอถึงวิธีการฮิวริสติค (heuristic) ที่ใช้ในการพิจารณาหาจุดสั่งซื้อใหม่ (reorder point) ของตัวแบบที่มีความต้องการสินค้าแบบต่อเนื่อง โดยมีผลกระทบของการสูญเสียอุปสงค์ไปบางส่วนและมีสินค้าย้อนหลังผสมอยู่

Akinniyi & Silver และ Nahmias (1981) ได้มีการกำหนดระดับการให้บริการเป็นเงื่อนไขบังคับในปัญหาสินค้าคงคลัง ซึ่งจากการที่ได้กำหนดข้อจำกัดของช่วงระยะเวลาที่คาดว่าจะเกิดสินค้าขาดมือทำให้ปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลาที่มีจำกัดนั้น สามารถคิดเป็นปริมาณสินค้าย้อนหลังหรือปริมาณความต้องการสินค้าที่สูญเสียไปโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

Aucamp and Fogarty (1984) ได้นำเสนอเกี่ยวกับปัญหาสินค้าคงคลังที่มีความต้องการสินค้าในช่วงเวลาหนึ่งที่จำกัดเป็นสินค้าย้อนหลังที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย โดยลูกค้ามีความเต็มใจที่จะรอคอยสินค้านั้นตราบเท่าที่ช่วงเวลานั้นจะต้องเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ที่เหมาะสม ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับระบบสินค้าคงคลังใด ๆ ก็ได้ โดยที่สินค้านั้นต้องไม่ใช่สินค้าที่มีความจำเป็นต้องมีอยู่ตลอดเวลาหรือสินค้านั้นต้องไม่ใช่สินค้าที่จำเป็นต่อชีวิตประจำวัน ซึ่งจุดประสงค์ในการศึกษาของงานวิจัยนี้ก็คือ การสร้างตัวแบบที่ยอมให้มีความเป็นไปได้ที่รอบเวลาของการสั่งซื้อสินค้าคงคลังในแต่ละครั้ง สามารถถูกขยายเวลาออกไปเพื่อให้ครอบคลุมเวลาที่มีความล่าช้าในการรอคอยสินค้าโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายสินค้าขาดมือในช่วงเวลาที่เกิดสินค้าขาดมือนั่นเอง และตัวแบบดังกล่าวยังยอมให้มีความเป็นไปได้ที่ความต้องการสินค้านั้นสามารถเป็นปริมาณความต้องการที่สูญเสียไปหรือเป็นปริมาณสินค้าย้อนหลังเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นโดยจะคิดค่าใช้จ่ายถ้าช่วงเวลาที่รอคอยนั้นนานเกินไป

Nadim E. Abboud and Robert G. Sfairy (1997) ได้นำเสนอถึง ตัวแบบสินค้าคงคลังในการสั่งซื้อด้วยปริมาณสินค้าที่ประหยัดที่สุด (the classical economic order quantity ,EOQ) ภายใต้ผลกระทบของการเกิดสินค้าย้อนหลังโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายสินค้าขาดมือ เนื่องจากในช่วงเวลาที่เกิดสินค้าขาดมือนั้น ลูกค้าเต็มใจที่จะรอคอยสินค้าในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ถ้าเวลาที่รอคอยสินค้านั้นยาวนานเกินไปอาจทำให้ระบบสินค้าคงคลังนั้นต้องสูญเสียลูกค้าหรือรายได้ไปบางส่วน ซึ่งจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่คิดเป็นค่าใช้จ่ายแบบถ่วงน้ำหนักด้วยเวลาที่ลูกค้าต้องรอคอยสินค้าย้อนหลังนั้น จุดประสงค์ในการศึกษาของงานวิจัยนี้ก็คือ ต้องการคำนวณหาปริมาณสินค้าเหมาะที่สุด

ในการสั่งซื้อแต่ละครั้งและปริมาณสินค้ายอนหลังที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมโดยเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาที่ต่ำสุด

Revi R ,Pal M, Roundy R และ Shmoys D. B (2005) ได้เสนอการประมาณอัลกอริทึม สำหรับตัวแบบการควบคุมสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก โดยในงานวิจัยของเขาจะพิจารณาตัวแบบสินค้าคงคลังสองตัวแบบได้แก่ ตัวแบบการควบคุมสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกที่เป็นแบบพิจารณาเป็นคาบๆ และปัญหาสินค้าขนาดที่เหมาะสมของสินค้าคงคลัง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทย ผู้ศึกษาได้กำหนดวิธีการศึกษาไว้ตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 ประเมินผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรคือ โรงงานตัวอย่างในการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

ผู้ผลิตเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย โดยสุ่มตัวอย่างผู้ผลิตเหล็กและเหล็กกล้าจำนวน 1 โรงงานที่มีกำลังการผลิต และปริมาณความต้องการเหล็กสูง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์หา ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า จำนวน 5 ปี หาค่าเฉลี่ยต่างๆ ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสินค้าขาดมือ ระยะเวลาในการนำส่งสินค้าของแต่ละขนาดของแต่ละผลิตภัณฑ์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook

3.2.2 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพยากรณ์

3.2.3 โปรแกรม Open Bugs สำหรับประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบพยากรณ์

3.2.4 โปรแกรม R สำหรับวิเคราะห์ตัวแบบตัวแบบพยากรณ์ในงานวิจัยนี้

3.2.5 โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก

3.3 เก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลการสั่งซื้อของสินค้าแต่ละผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ปี ของปี พ.ศ. 2550- 2554 เพื่อนำมาเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นนำตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มาวิเคราะห์โดยการสร้างสมการพยากรณ์ สำหรับพยากรณ์อัตราความต้องการสินค้าแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือนของปีถัดไป

3.3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต เช่นค่าใช้จ่ายในการบริหารการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้ง เป็นต้นอย่างน้อย 1 ปี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการตระเตรียมการผลิต ต่อครั้ง

3.3.3 เก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลังอย่างน้อย 1 ปี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

3.3.4 เก็บรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายในกรณีสินค้าขาดมือ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในกรณีสินค้าขาดมือ ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

3.3.5 เก็บรวบรวมข้อมูลระยะเวลาเฉลี่ยในการที่จะได้รับสินค้าโดยคิดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มสั่งสินค้าจนถึงเวลาได้รับสินค้า เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการนำส่งสินค้า

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 เลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม

นำข้อมูลการสั่งซื้อเฉลี่ยของลูกค้าแต่ละเดือนในแต่ละผลิตภัณฑ์ ของปี พ.ศ. 2550-2554 มาวิเคราะห์หาค่าพยากรณ์และเปรียบเทียบเพื่อเลือกวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดมาสร้างสมการพยากรณ์เพื่อใช้พยากรณ์ปริมาณความต้องการและปริมาณความต้องการในช่วงระยะเวลานำส่งในอนาคต โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปคือ 1. วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยมีวิธีย่อยๆอีกคือ คือ 1) Single exponential smoothing 2) Double exponential smoothing หรือ Holt's method 3) Triple Exponential Smoothing หรือ Holt-Winters method ทั้งแบบ Multiplicative Seasonal Model และ Additive Seasonal Model 2.วิธีการพยากรณ์แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA) ตัวแบบการพยากรณ์แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA) และ 3. วิธีการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยเสนอขึ้นโดยใช้วิธีของเบย์ สำหรับวิธีการพยากรณ์แบบเบย์สามารถแสดงรายละเอียดของตัวแบบและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

$$Y_i \sim \mathrm{N}\left(\gamma_i(\Delta W(t \mid \alpha_i, \delta_i), \sigma_y^{\,2}\right)$$

ให้ Y_t แทนปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลาที่ t, t = 1,…n , Y_t มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ย μ_t และความแปรปรวน $\sigma_t^{\,2}$ โดยที่ $\mu_t = \gamma(\Delta W(t \mid \alpha, \delta)$

γ คือ ค่าคาดหวังของปริมาณความต้องการสินค้ารวมทั้งหมดตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา

$\Delta W(t \mid \alpha, \delta) = W(t \mid \alpha, \delta) - W(t-1 \mid \alpha, \delta)$ เมื่อ $W(t \mid \alpha, \delta)$ คือ ผลรวมของค่าความน่าจะเป็นที่จะมีความต้องการสินค้าตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 1 ถึงช่วงเวลาที่ t และกำหนดให้ $W(t \mid \alpha, \delta)$ มีการแจกแจงแบบ Cumulative Weibull พารามิเตอร์ของ $W(t \mid \alpha, \delta)$ เมื่อ $\alpha \sim \mathrm{N}_{[0,\infty)}(\mu_\alpha, \sigma_\alpha^{\,2})$, $p(\mu_g) \propto 1$, $p(\sigma_\alpha) \propto U(0,\infty)$

$\delta \sim \mathrm{N}_{[0,\infty)}(\mu_\delta, \sigma_\delta^{\,2})$, $p(\mu_g) \propto 1$, $p(\sigma_\delta) \propto U(0,\infty)$

และ $\sigma_t^{\,2}$ คือความแปรปรวนของ Y_t โดยที่

$\sigma_t^{\,2} = \sigma_y^{\,2}$, $p(\sigma_y) \propto \mathrm{Gamma}(0.1, 0.001)$ เมื่อ t คือเวลา

ค่าคาดหวังของปริมาณความต้องการสินค้ารวมตลอดช่วงเวลา

$\gamma \sim \mathrm{N}_{[0,\infty)}(\mathrm{g}, \sigma_\gamma^{\,2})$, $p(\sigma_\gamma) \propto U(0,\infty)$

$g \sim \mathrm{N}(\mu_g, \sigma_g^{\,2})$, $p(\mu_g) \propto 1$, $p(\sigma_g) \propto U(0,\infty)$

ค่าสังเกตของปริมาณความต้องการสินค้ารวมตลอดช่วงเวลา

S แทน ค่าสังเกตของปริมาณความต้องการสินค้ารวมทั้งหมดตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา

$S \sim \mathrm{N}(\gamma, [0.2\gamma]^2)$

การประมาณค่าของตัวแบบเบย์

สมมุติเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของความต้องการเหล็กเอชบีม มา 3 เดือน ได้ค่าดังนี้ 2311.97, 1817.38 , 1997.38 หน่วยเป็นเมตริกตัน

ค่าที่ได้คือ ค่าของตัวแปรสุ่ม Y_1, Y_2, Y_3 ตามลำดับ โดยที่ t=1,2,3

ให้ $Y_1 \sim N(\mu_1, \sigma^2)$, $f(y_1 \mid \mu_1, \sigma^2) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_1-\mu_1)^2}$

$Y_2 \sim N(\mu_2, \sigma^2)$, $f(y_2 \mid \mu_2, \sigma^2) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_2-\mu_2)^2}$

$Y_3 \sim N(\mu_3, \sigma^2)$, $f(y_3 \mid \mu_3, \sigma^2) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_3-\mu_3)^2}$

$$f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_1-\mu_1)^2} \; \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_2-\mu_2)^2}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_3-\mu_3)^2}$$

เมื่อแทนค่า y_1, y_2, y_3 จะได้ $f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2)$ เป็นฟังก์ชันของ $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2$ เรียก $f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2)$ ว่า Likelihood function เขียนแทนด้วย $l(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2)$

$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2$ เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า เบย์กำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่ม ในขณะที่วิธีการอื่นกำหนดให้เป็นค่าคงที่

เช่นกำหนดให้ $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \sim N(0,100)$, $\sigma^2 \sim$ Gamma(0.1,0.001)

$$f(\mu_1 \mid 0,100) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)} e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_1 - 0)^2}$$

$$f(\mu_2 \mid 0,100) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)} e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_2 - 0)^2}$$

$$f(\mu_3 \mid 0,100) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)} e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_3 - 0)^2}$$

$$f(\sigma^2 \mid 0.1, 0.001) = \frac{(0.01)^{0.1}}{\Gamma(0.1)} (\sigma^2)^{(0.1-0.01)} e^{-(0.01)\sigma^2}$$

จากกฎของเบย์จะได้ Posterior distribution ดังนี้

$$f(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2 \mid y_1, y_2, y_3) = \frac{\begin{array}{r} f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) * f(\mu_1 \mid 0,100) * \\ f(\mu_2 \mid 0,100) f(\mu_3 \mid 0,100) f(\sigma^2 \mid 0.1, 0.001) \end{array}}{f(y_1, y_2, y_3)}$$

$$f(y_1, y_2, y_3) = \int\int\int\int \left(\begin{array}{l} f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) * f(\mu_1 \mid 0,100) f(\mu_2 \mid 0,100) * \\ f(\mu_2 \mid 0,100) f(\mu_3 \mid 0,100) * f(\sigma^2 \mid 0.1, 0.001) \end{array} \right) d\mu_1 d\mu_2 d\mu_3 d\sigma^2$$

ซึ่งเป็นค่าคงที่ เรียกว่า normalizing constant คือค่าที่ทำให้พื้นที่ใต้กราฟ posterior distribution มีค่าเท่ากับ 1 สามารถตัดออกได้ และเขียน $f(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2 \mid y_1, y_2, y_3)$ อยู่ในรูป

$$f(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2 \mid y_1, y_2, y_3 \mid) \propto \begin{array}{r} f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) * f(\mu_1 \mid 0,100) f(\mu_2 \mid 0,100) * \\ f(\mu_3 \mid 0,100) f(\sigma^2 \mid 0.1, 0.001) \end{array}$$

$$f(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2 \mid y_1, y_2, y_3) \propto \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_1 - \mu_1)^2} * \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_2 - \mu_2)^2} *$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_3-\mu_3)^2} * \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)}e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_1-0)^2} *$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)}e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_2-0)^2} * \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)}e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_3-0)^2} *$$

$$\frac{(0.01)^{0.1}}{\Gamma(0.1)}(\sigma^2)^{(0.1-0.01)}e^{-(0.01)\sigma^2}$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2$ ใช้วิธีการของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบ Gibbs Sampling สามารถเขียนความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของพารามิเตอร์แต่ละตัว ได้ดังนี้

$$f(\mu_1 \mid \mu_2, \mu_3, \sigma^2, y_1, y_2, y_3) = \frac{f(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2, y_1, y_2, y_3)}{f(\mu_2, \mu_3, \sigma^2, y_1, y_2, y_3)}$$

$$= \frac{f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) f(\mu_1) f(\mu_2) f(\mu_3) f(\sigma^2)}{f(\mu_2) f(\mu_3) f(\sigma^2) f(y_1) f(y_2) f(y_3)}$$

$$= \frac{f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) f(\mu_1)}{f(y_1) f(y_2) f(y_3)}$$

$$\propto f(y_1, y_2, y_3 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, \sigma^2) f(\mu_1)$$

ตัดตัวที่ไม่มีเทอมของ μ_1 เข้าไปเกี่ยวข้องออกไป(เพราะเทอมที่ไม่เกี่ยวข้องกับ μ_1 จะเป็นค่าคงที่)

$$\propto \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_1-\mu_1)^2} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)}e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_1-0)^2}$$

สำหรับการประมาณพารามิเตอร์ตัวอื่นๆก็จะใช้หลักการเดียวกันกับข้างบน

$$f(\mu_2 \mid \mu_1, \mu_3, \sigma^2, y_1, y_2, y_3) \propto \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_2-\mu_2)^2} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)}e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_2-0)^2}$$

$$f(\mu_3 \mid \mu_1, \mu_2, \sigma^2, y_1, y_2, y_3) \propto \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_3-\mu_3)^2} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}(10)}e^{-\frac{1}{2(10)}(\mu_3-0)^2}$$

$$f(\sigma^2 \mid \mu_1, \mu_2, \mu_3, , y_1, y_2, y_3) \propto \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_1-\mu_1)^2} * \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_3-\mu_3)^2} *$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{1}{2\sigma}(y_3-\mu_3)^2} \ * \ \frac{(0.01)^{0.1}}{\Gamma(0.1)}(\sigma^2)^{(0.1-0.01)}e^{-(0.01)\sigma^2}$$

จากหลักการข้างต้นถ้าเราสุ่มข้อมูลปริมาณความต้องการมา 1 เดือน (ในงานวิจัยนี้จะสุ่มมา 60 เดือน) เมื่อนำไปแทนในตัวแบบเบย์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆใน posterior distribution ที่จะต้องนำมาประมาณค่าคือ

$f(\gamma,\alpha,\delta,{\sigma_{y1}}^2,g,\mu_g,\sigma_g,\mu_\delta,\sigma_\delta,\mu_\alpha,\sigma_\alpha \mid y_1)$ เพราะฉะนั้นถ้าเราสุ่มข้อมูลของปริมาณความต้องการมากขึ้นเท่าไรค่าพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

3.4.2 ทดสอบความน่าเชื่อถือในตัวแบบพยากรณ์

ตัวแบบการพยากรณ์โดยใช้วิธีของเบย์ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นจะต้องมีการทดสอบความน่าเชื่อถือก่อนนำไปใช้จริง สำหรับวิธีการทดสอบความน่าเชื่อถือนั้นจะใช้วิธีการจำลองสถานการณ์โดยการจำลองข้อมูลปริมาณความต้องการให้เหมือนข้อมูลจริงขึ้นมาอีก 500 ชุด จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประมาณขึ้นมาจากข้อมูลปริมาณความต้องการจริง

3.4.3 วิเคราะห์หาอัตราความต้องการในอนาคต

หลังจากได้ตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมแล้ว ขั้นต่อไปก็จะนำตัวแบบไปพยากรณ์และสร้างสมการพยากรณ์ของปริมาณความต้องการของสินค้าแต่ละชนิดสำหรับหาค่าปริมาณความต้องการในช่วงเวลานำส่งสินค้าเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังในตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกต่อไป

3.4.4 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยต่างๆ

นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยต่างๆ ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการตระเตรียมการผลิต ต่อครั้ง ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในกรณีสินค้าขาดมือ ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา และค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการนำส่งสินค้าเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังในตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกต่อไป

3.4.5 วิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังด้วยตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก

สำหรับตัวแบบการวิเคราะห์สินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก คือ ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบพิจารณาต่อเนื่องเชิงสโตคาสติกภายใต้นโยบาย (r,Q) (Stochastic Inventory Continuous Review- the (r,Q) Model

กำหนดสัญลักษณ์ดังนี้

TC แทนค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย ต่อหน่วยเวลา

Q แทน ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ต่อหน่วยเวลา

r แทน จุดสั่งซื้อสินค้า

D แทน ความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอน ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

L แทน ความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนในช่วงเวลานำส่งสินค้า

l แทน ความยาวของช่วงเวลานำส่งสินค้า

k แทน ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิตต่อครั้ง

h แทน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

b แทน ค่าใช้จ่ายกรณีเมื่อมีสินค้าขาด ต่อหน่วย

นโยบาย r,Q ก็คือเมื่อใดก็ตามที่ระดับสินค้าลดลงมาที่ระดับ r (reorder point) ก็จะต้องทำการสั่งสินค้า Q หน่วยทันที เพราะว่าเราจะไม่ได้รับสินค้าทันที เนื่องจากมีช่วงเวลานำของการส่งสินค้า (lead time) สำหรับในตัวแบบนี้ ค่าระดับความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำมีความไม่แน่นอนด้วย คือเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งทำให้ จุดสั่งซื้อมีความไม่แน่นอนตามไปด้วย ดังนั้นเราจะต้องทำการคำนวณหาค่า r ดังนั้นตัวแบบในการคำนวณค่า r ก็จะเปลี่ยนเป็นการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังแบบพิจารณาต่อเนื่องเชิงสโตคาสติก โดยมีข้อสมมติฐานก็คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีสินค้าขาดในช่วงเวลานำส่งสินค้า ซึ่งค่าความน่าจะเป็นควรจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ขึ้นไป แทนด้วย A โดยที่ $A \in [0.5,1]$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า r โดยการหาค่าความน่าจะเป็น $p[L \le r] = A$ โดยจะต้องทราบฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นของ L เสียก่อนจึงจะคำนวณหาค่า r ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้า L เป็นฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์ม ที่อยู่ในช่วง a และ b สามารถหาค่า r ได้คือ

$$r = a + A(b-a) \text{ หรือ } r = \left(\frac{A-1}{2}\right)(b-a)$$

แต่ถ้าความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนในช่วงเวลานำส่งสินค้าถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ค่า r สามารถหาได้จาก $\frac{(b-a)}{2}$

ถ้า L เป็นฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นแบบปกติ สามารถหาค่า r ได้คือ $r = \mu + Z_{1-A}\sigma$ เมื่อ Z_{α} สามารถเปิดในตารางมาตรฐานของการแจก

แจงแบบปกติ และค่า Q*, t* และค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดต่อช่วงเวลา (TC*) สามารถหาได้จากสูตรในตัวแบบคงคลังเมื่อยอมให้มีสินค้าขาดมือ และมีข้อสมมุติฐาน คือ

1) สินค้าที่ผลิตมี 1 รายการ
2) อัตราความต้องการสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
3) อัตราความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
4) ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละครั้งเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
5) มีอัตราการผลิตเป็นค่าคงตัวและต่อเนื่อง
6) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตแต่ละหน่วยเป็นค่าคงตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และไม่ขึ้นกับปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้ง
7) ช่วงเวลานำส่งสินค้าเป็นค่าคงตัว
8) ระยะเวลาการวางแผนการดำเนินงานของระบบเป็นแบบอนันต์
9) มีพื้นที่ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง กำลังการผลิตและเงินทุนเพียงพอ

3.5 ประเมินผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาพิจารณาเพื่อหาข้อสรุป และข้อเสนอแนะต่อไป

สถานที่เก็บรวบรวมข้อมูล

โรงงานผลิตเหล็กและเหล็กกล้า 1 โรงงาน ในเขตจังหวัดสมุทรปราการ

สถานที่ใช้ในการทำวิจัย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งตั้งอยู่ที่วิทยาเขตพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ระยะเวลาในการวิจัย

เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 สิ้นสุดการวิจัย 30 กันยายน 2555

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการเลือกเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เหล็กรีดร้อนที่มียอดสั่งสูง และปริมาณความต้องการมีความผันผวนบางประเภทเท่านั้น ซึ่งได้แก่ เหล็กเอชบีม เหล็กแผ่นเรียบ เหล็กเส้นกลม เหล็กเพลาดำ ทุกขนาด ถ้าเหล็กชนิดไหนมีหลายขนาดมาก งานวิจัยนี้ได้จัดกลุ่มของเหล็กแต่ละชนิดที่มีขนาดใกล้เคียงกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน สำหรับในการพยากรณ์เหล็ก เราพยากรณ์โดยแยก แต่ละขนาดของเหล็กแต่ละชนิด โดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยทำการเลือกวิธีย่อยๆอีกคือ คือ 1) Single exponential smoothing 2) Double exponential smoothing หรือ Holt's method 3) Triple Exponential Smoothing หรือ Holt-Winters method ทั้งแบบ Multiplicative Seasonal Model และ Additive Seasonal Model วิธีการพยากรณ์แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA) และวิธีการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยเสนอขึ้นโดยใช้วิธีของเบย์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบด้วยค่า MSE (Mean Squared Error) และ MAPE (Mean Absolute Percentage Error) และวิธีการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยเสนอขึ้นโดยใช้วิธีของเบย์นั้น เมื่อกำหนดและได้สมการการพยากรณ์ที่เหมาะสมมาแล้ว หลังจากนั้นทำการเขียนโปรแกรมพยากรณ์โดยใช้โปรแกรม OpenBugs และทำการพยากรณ์จากค่าปริมาณความต้องการจริง หลังจากนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการพยากรณ์ ต่อจากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้มาทำการจำลองสถานการณ์โดยสร้างชุดข้อมูลปริมาณความต้องการใหม่อีก 500 ชุดจากค่าพารามิเตอร์ของปริมาณความต้องการจริงที่ประมาณได้มาจากวิธีการของเบย์ โดยเขียนโปรแกรมจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม R เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของวิธีพยากรณ์ ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีของเบย์จากการจำลองสถานการณ์

Parameter	MSE	SE	CIL	CP
γ	0.006	0.0005	0.09	0.91
α	0.0007	0.0009	0.2	0.95
σ_y	0.0006	0.0003	0.09	0.93
μ_γ	0.0004	0.00007	0.06	0.94
σ^2_γ	0.0008	0.0001	0.07	0.92

#

จากตารางผู้วิจัยได้เลือกผลของค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบางตัว ซึ่งได้จากการจำลองสถานการณ์จากการสร้างชุดข้อมูลปริมาณความต้องการใหม่มา 500 ชุด จากค่าพารามิเตอร์ของปริมาณความต้องการจริง โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบเบย์ ซึ่งดูจากค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย MSE (Mean Squared Error) ,ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย SE (standard errors of the MSE) ,ค่าความยาวของช่วงความเชื่อมั่นที่95% CIL(95% Confidence Interval Lengths) มีค่าต่ำ และค่าความน่าจะเป็นที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะอยู่ในช่วง 95% มีค่าสูง CP(95% Coverage Probabilities) มีค่าสูง จึงสรุปได้ว่าวิธีแบบเบย์ที่นำเสนอมีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

เมื่อนำวิธีการพยากรณ์ ทั้ง 3 วิธี ไปใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณความต้องการเหล็กที่มีความผันผวนสูงบางตัวของเหล็กแต่ละชนิดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะเลือกวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดมาใช้พยากรณ์ในงานวิจัยนี้ โดยใช้เกณฑ์ชี้วัด ค่าความผิดพลาด 3 เกณฑ์ซึ่งได้แก่ RMSE, MAPE, MAE ได้ผลดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 เมื่อดูจากค่า RMSE, MAPE,และ MAE ของเหล็กแต่ละชนิดที่มีปริมาณความที่มีความผันผวนสูง 1 ชนิด ของแต่ละเหล็กซึ่งได้แก่ เหล็กเอชบีม เหล็กแผ่นเรียบ เหล็กเส้นกลม เหล็กเพลาดำ สรุปได้ว่าวิธีของเบย์ให้ค่าของเกณฑ์วัดความผิดพลาดทั้ง 3 ตัว ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกวิธีการพยากรณ์แบบเบย์ไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการของเหล็กแต่ละชนิดในแต่ละขนาดเพื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการพยากรณ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทยต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีการพยากรณ์

ชนิดของเหล็ก	วิธีการพยากรณ์	การวัดค่าความผิดพลาด		
		RMSE	MAPE	MAE
เอชบีม	1. เบย์ (Bayesian)	**17.11**	**38.54**	**12.89**
	2. Exponential Smoothing (Simple Seasonal)	19.44	42.56	15.10
	3. ARIMA(1,1,2)(1,1,2)	20.44	47.91	15.83
แผ่นเรียบ	1. เบย์ (Bayesian)	**13.22**	**35.85**	**9.68**
	2. Exponential Smoothing (Simple Seasonal)	15.34	40.24	11.83
	3. ARIMA(1,1,2)(1,1,2)	15.88	39.84	11.73
เส้นกลม	1. เบย์ (Bayesian)	**16.45**	**39.65**	**11.65**
	2. Exponential Smoothing (Simple Seasonal)	18.61	41.77	13.76
	3. ARIMA(1,1,3)(1,1,2)	19.08	45.56	13.96
เพลาดำ	1. เบย์ (Bayesian)	**14.86**	**36.48**	**11.10**
	2. Exponential Smoothing (Winters' Additive)	15.94	39.16	12.30
	3. ARIMA(1,1,3)(1,1,3)	15.95	38.60	12.23

4.1.1 ผลการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเหล็ก

ผลการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเหล็กเอชบีม เหล็กแผ่นเรียบ เหล็กเส้นกลม เหล็กเพลาดำ สามารถสรุปผลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเหล็กเอชบีม ทุกขนาดต่อเดือน ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเหล็กเอชบีม (หน่วย:เมตริกตัน)

ขนาด	น้ำหนัก/เมตร	ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน	
มม.	กก.	μ	σ
100 x 100	17.2	2392.27	292.27
125 x 125	23.8	1897.68	182.32
150 x 150	31.5	2077.68	177.68
175 x 175	40.2	1980.36	190.64
200 x 200	49.9	2280.36	280.36
250 x 250	72.4	2183.03	183.03
300 x 300	94	2185.71	185.71
350 x 350	137	2285.71	285.71
400 x 400	172	2377.68	277.68

ตารางที่ 4 ผลการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเหล็กเหล็กเส้นกลมเฉลี่ยต่อเดือนของแต่ละขนาด (หน่วย:เมตริกตัน)

ขนาด	ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน	
มม.	μ	σ
RB 6	2443.10	254.21
RB 9	2523.78	234.55
RB 12	2155.41	198.36
RB 15	2211.00	231.58
RB 19	2167.83	285.17
RB 25	2639.38	274.95
RB 28	2212.43	199.57

ตารางที่ 5 ผลการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเหล็กแผ่นเรียบเฉลี่ยต่อเดือนของแต่ละขนาด

ขนาด(ฟุต)	ขนาด(มม)	ความหนา	ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน	
			μ	σ
3 x 6	914 x 1829	1.2 - 10	1405.78	190.30
		11.0 - 50	1527.42	179.91
		60 - 100	972.03	144.39
4 x 8	1219 x 2438	1.2 - 10	1055.85	270.59
		11.0 - 50	990.76	138.11
		60 - 100	1701.71	281.55
4 x 10	1219 x 3048	1.2 - 10	1058.01	287.45
		11.0 - 50	2598.31	249.96
		60 - 100	2207.97	192.65
4 x 16	1219 x 4877	1.2 - 10	1508.3	241.61
		11.0 - 50	1916.59	293.99
		60 - 100	2280.19	255.04
4 x 20	1219 x 6096	1.2 - 10	881.89	186.33
		11.0 - 50	2750.94	152.54
		60 - 100	1652.2	281.61
5 x 10	1524 x 3048	1.2 - 10	2999.48	226.63
		11.0 - 50	1192.88	185.57
		60 - 100	2026.61	178.53
5 x 20	1524 x 6096	1.2 - 10	1507.42	199.52
		11.0 - 50	1296.6	298.93
		60 - 100	1361.31	190.99
5 x 30	1524 x 9144	1.2 - 10	1488.61	167.03
		11.0 - 50	954.22	183.67
		60 - 100	858.77	170.32
5 x 40	1524 x 12192	1.2 - 10	1067.2	110.63
		11.0 - 50	1151.35	247.50
		60 - 100	1644.12	215.18
6 x 20	1829 x 6096	1.2 - 10	2671.59	285.09
		11.0 - 50	1016.81	165.80
		60 - 100	1246.7	161.74
6 x 30	1829 x 9144	1.2 - 10	1066.14	255.83
		11.0 - 50	2739.4	236.69
		60 - 100	838.5	268.68
6 x 40	1829 x 12192	1.2 - 10	2406.38	233.89
		11.0 - 50	1603.4	152.05
		60 - 100	1078.99	194.76

ตารางที่ 6 ผลการพยากรณ์ปริมาณความต้องการเหล็กเพลาดำเฉลี่ยต่อเดือนของแต่ละขนาด

ขนาด (มม.)	ขนาด (นิ้ว)	ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน	
		μ	σ
19.05	3/4	2413.96	199.71
22.23	7/8	2510.78	166.57
25.4	1	2068.73	232.21
28.58	1 1/8	2135.44	144.56
31.75	1 1/4	2083.64	208.59
34.93	1 3/8	2649.49	224.53
38.1	1 1/2	2137.16	281.15
41.28	1 5/8	3363.11	192.90
44.45	1 3/4	3052.43	246.82
47.63	1 7/8	2495.55	150.85
50.8	2	2820.52	236.12
53.98	2 1/8	3109.92	223.62
57.15	2 1/4	1996.99	129.99
60.33	2 3/8	3484.6	192.47
63.5	2 1/2	2610.08	149.99
66.68	2 5/8	3682.41	124.64
69.85	2 3/4	2244.5	120.58
73.03	2 7/8	2908.09	175.27
76.2	3	2494.85	155.84

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ก่อนที่จะวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกได้นั้น จะต้องทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จากค่าเฉลี่ยต่างๆของแต่ละผลิตภัณฑ์แต่ละขนาด ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา (h) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียม

การผลิตต่อครั้ง (k)ค่าใช้จ่ายในกรณีสินค้าขาดมือ ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา (b) ระเวลาในการนำส่งสินค้าต่อครั้ง (l) และจากค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าต่อหน่วยเวลา (D) ซึ่งต้องเอามาคำนวณหาสัดส่วนของปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้า (L) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความต้องการสินค้าต่อหน่วยเวลา (σ) ซึ่งต้องเอามาคำนวณหาสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนของปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้า (S) เช่นกัน ดังตาราง 7-10

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของเหล็กเอชบีม

ขนาด	น้ำหนัก/เมตร	ค่าพารามิเตอร์					
มม.	กก.	h	k	b	l	L	S
100 x 100	17.2	230	1300	130	7	558.20	68.20
125 x 125	23.8	230	1300	130	7	442.79	42.54
150 x 150	31.5	230	1300	130	7	484.79	41.46
175 x 175	40.2	230	1300	130	7	462.08	44.48
200 x 200	49.9	230	1300	130	7	532.08	65.42
250 x 250	72.4	230	1300	130	7	509.37	42.71
300 x 300	94	230	1300	130	7	510.00	43.33
350 x 350	137	230	1300	130	7	533.33	66.67
400 x 400	172	230	1300	130	7	554.79	64.79

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของเหล็กเส้นกลม

ขนาด	น้ำหนัก/เมตร	น้ำหนัก(10 เมตร)	ค่าพารามิเตอร์					
มม.	กก.	กก.	h	k	b	l	L	S
RB 6	0.22	2.22	230	1300	130	7	570.06	59.32
RB 9	0.49	4.99	230	1300	130	7	588.88	54.73
RB 12	0.88	8.88	230	1300	130	7	502.93	46.28
RB 15	1.38	13.87	230	1300	130	7	515.90	54.04
RB 19	2.22	22.26	230	1300	130	7	505.83	66.54
RB 25	3.85	38.53	230	1300	130	7	615.86	64.16
RB 28	4.83	48.34	230	1300	130	7	516.23	46.57

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของเหล็กแผ่นเรียบ

ลำดับที่	ขนาด	ขนาด	ความหนา	น้ำหนัก	ค่าพารามิเตอร์					
	(ฟุต)	(มม.)		(กก.)	h	k	b	l	L	s
1	3 x 6	914 x 1829	1.2 - 10	16 - 131	220	1100	130	7	328.02	44.40
2			11.0 - 50	144 - 656	220	1100	130	7	356.40	41.98
3			60 - 100	788 - 1314	220	1100	130	7	226.81	33.69
4	4 x 8	1219 x 2438	1.2 - 10	28-233	220	1100	130	7	246.37	63.14
5			11.0 - 50	257-1168	220	1100	130	7	231.18	32.23
6			60 - 100	1401-2336	220	1100	130	7	397.07	65.69
7	4 x 10	1219 x 3048	1.2 - 10	35-292	220	1100	130	7	246.87	67.07
8			11.0 - 50	321-1460	220	1100	130	7	606.27	58.32
9			60 - 100	1752-2920	220	1100	130	7	515.19	44.95
10	4 x 16	1219 x 4877	1.2 - 10	56-467	220	1100	130	7	351.94	56.38
11			11.0 - 50	513-2336	220	1100	130	7	447.20	68.60
12			60 - 100	2803-4672	220	1100	130	7	532.04	59.51
13	4 x 20	1219 x 6096	1.2 - 10	70-583	220	1100	130	7	205.77	43.48
14			11.0 - 50	642-2920	220	1100	130	7	641.89	35.59
15			60 - 100	3504-5840	220	1100	130	7	385.51	65.71
16	5 x 10	1524 x 3048	1.2 - 10	44-365	220	1100	130	7	699.88	52.88
17			11.0 - 50	401-1825	220	1100	130	7	278.34	43.30
18			60 - 100	2190-3650	220	1100	130	7	472.88	41.66
19	5 x 20	1524 x 6096	1.2 - 10	88-729	220	1100	130	7	351.73	46.56
20			11.0 - 50	802-3650	220	1100	130	7	302.54	69.75
21			60 - 100	4380-7300	220	1100	130	7	317.64	44.56
22	5 x 30	1524 x 9144	1.2 - 10	131-1094	220	1100	130	7	347.34	38.97
23			11.0 - 50	1204-5475	220	1100	130	7	222.65	42.86
24			60 - 100	6570-10950	220	1100	130	7	200.38	39.74
25	5 x 40	1524 x 12192	1.2 - 10	175-1460	220	1100	130	7	249.01	25.81
26			11.0 - 50	1606-7300	220	1100	130	7	268.65	57.75
27			60 - 100	8760-14600	220	1100	130	7	383.63	50.21
28	6 x 20	1829 x 6096	1.2 - 10	105-876	220	1100	130	7	623.37	66.52
29			11.0 - 50	964-4380	220	1100	130	7	237.26	38.69
30			60 - 100	5256-8760	220	1100	130	7	290.90	37.74
31	6 x 30	1829 x 9144	1.2 - 10	158-1313	220	1100	130	7	248.77	59.69
32			11.0 - 50	14444-6570	220	1100	130	7	639.19	55.23
33			60 - 100	7884-13140	220	1100	130	7	195.65	62.69
34	6 x 40	1829 x 12192	1.2 - 10	210-1752	220	1100	130	7	561.49	54.57
35			11.0 - 50	1927-8760	220	1100	130	7	374.13	35.48
36			60 - 100	10512-17520	220	1100	130	7	251.76	45.44

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของเหล็กเพลาดำ

ขนาด	ขนาด	น้ำหนัก	น้ำหนัก	ค่าพารามิเตอร์					
(มม.)	(นิ้ว)	กก./ม.	กก./6 ม.	h	k	b	l	L	s
19.05	3/4	2.24	13.44	230	1250	125	7	563.26	46.60
22.23	7/8	3.05	18.3	230	1250	125	7	585.85	38.87
25.4	1	3.98	23.9	230	1250	125	7	482.70	54.18
28.58	1 1/8	5.03	30.2	230	1250	125	7	498.27	33.73
31.75	1 1/4	6.21	37.26	230	1250	125	7	486.18	48.67
34.93	1 3/8	7.52	45.12	230	1250	125	7	618.21	52.39
38.1	1 1/2	8.95	53.7	230	1250	125	7	498.67	65.60
41.28	1 5/8	10.5	63	230	1250	125	7	784.73	45.01
44.45	1 3/4	12.2	73.2	230	1250	125	7	712.23	57.59
47.63	1 7/8	14	84	230	1250	125	7	582.30	35.20
50.8	2	15.9	95.4	230	1250	125	7	658.12	55.10
53.98	2 1/8	17.9	107.4	230	1250	125	7	725.65	52.18
57.15	2 1/4	20	120	230	1250	125	7	465.96	30.33
60.33	2 3/8	22.4	134.4	230	1250	125	7	813.07	44.91
63.5	2 1/2	24.9	149.4	230	1250	125	7	609.02	35.00
66.68	2 5/8	27.4	164.4	230	1250	125	7	859.23	29.08
69.85	2 3/4	30.1	180.6	230	1250	125	7	523.72	28.14
73.03	2 7/8	32.9	197.4	230	1250	125	7	678.55	40.90
76.2	3	35.8	214.8	230	1250	125	7	582.13	36.36

4.3 ผลการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก

ผลการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกภายใต้นโยบาย (r,Q) (Stochastic Inventory Continuous Review- the (r,Q) Model เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนและควบคุมการผลิต ก็คือเมื่อใดก็ตามที่ระดับสินค้าลดลงมาที่ระดับ r (reorder point) ก็จะต้องทำการสั่งสินค้า Q หน่วยทันที เพราะว่าเราจะไม่ได้รับสินค้าทันทีเนื่องจากมีช่วงเวลานำของการส่งสินค้า (lead time) เมื่อค่าระดับความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำมีความไม่แน่นอน คือเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งทำให้ จุดสั่งซื้อมีความไม่แน่นอนตามไปด้วย ดังนั้นเราจะต้องทำการคำนวณหาค่า r โดยมีข้อสมมติฐานว่า ความน่าจะเป็นที่จะไม่มีสินค้าขาดในช่วงเวลานำส่งสินค้า ซึ่งค่าความน่าจะเป็นควรจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ขึ้นไป แทนด้วย A โดยที่ $A \in [0.5,1]$ ดังนั้นเราสามารถหาค่า r โดยการหาค่าความน่าจะเป็น $p[L \le r] = A$ โดยจะต้องทราบฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นของ L เสียก่อนจึงจะคำนวณหาค่า r ได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความต้องการโดยใช้

ตัวแบบเบย์ภายใต้ข้อมูลปริมาณความต้องการมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ ทำให้เราสามารถทราบฟังก์ชันการแจงแจกความน่าจะเป็นของ D และ L ว่าใกล้เคียงกับการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติเพราะให้ค่าพยากรณ์ที่มีความผิดพลาดต่ำสุด ดังนั้นจึงสามารถหาค่า r ได้คือ $r = \mu + Z_{1-A}\sigma$ เมื่อ Z_{α} สามารถเปิดในตารางมาตรฐานของการแจกแจงแบบปกติจากทางหางของตาราง และสามารถค่าหา Q*, t* และค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดต่อช่วงเวลา (TC*) สามารถหาได้จากสูตรในตัวแบบคงคลังเมื่อยอมให้มีสินค้าขาดมือในบทที่ 2 โดยมีข้อสมมุติฐาน คือ

1) สินค้าที่ผลิตมี 1 รายการ
2) อัตราความต้องการสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
3) อัตราความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้ามีค่าไม่แน่นอนและต่อเนื่อง
4) ปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละครั้งเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
5) มีอัตราการผลิตเป็นค่าคงตัวและต่อเนื่อง
6) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตแต่ละหน่วยเป็นค่าคงตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และไม่ขึ้นกับปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้ง
7) ช่วงเวลานำส่งสินค้าเป็นค่าคงตัว
8) ระยะเวลาการวางแผนการดำเนินงานของระบบเป็นแบบอนันต์
9) มีพื้นที่ในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง กำลังการผลิตและเงินทุนเพียงพอ
10) โอกาสที่จะมีวัตถุดิบเหลืออยู่ในช่วงเวลานำส่งสินค้า (A) เท่ากับ 70% หรือ 0.7 ซึ่งเปิดตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติมาตรฐานได้ 0.52

และ มีสัญลักษณ์ดังนี้

TC แทนค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย ต่อหน่วยเวลา

Q แทน ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ต่อหน่วยเวลา

r แทน จุดสั่งซื้อสินค้า

D แทน ความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอน ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

Ω แทน ความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนในช่วงเวลานำส่งสินค้า

l แทน ความยาวของช่วงเวลานำส่งสินค้า

k แทน ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิตต่อครั้ง

h แทน ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา

b แทน ค่าใช้จ่ายกรณีเมื่อมีสินค้าขาด ต่อหน่วย

ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ค่าจุดสั่งซื้อสินค้า (r*) ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Q*) ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดของการผลิตเหล็กแต่ละขนาดของแต่ละชนิดดังตารางที่ 11-14

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ค่า r* และค่า Q* เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและควบการผลิตของเหล็กเอชบีม

ขนาด มม.	ค่า r*	ค่า Q*
100 x 100	593.66	35575.46
125 x 125	464.91	31685.28
150 x 150	506.35	33153.96
175 x 175	485.21	32368.13
200 x 200	566.10	34733.40
250 x 250	531.58	33984.10
300 x 300	532.53	34004.92
350 x 350	568.00	34774.11
400 x 400	588.49	35466.86

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ค่า r* และค่า Q* เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและควบการผลิตของเหล็กเส้นกลม

ขนาด มม.	น้ำหนัก/เมตร กก.	น้ำหนัก(10 เมตร) กก.	ค่า r*	ค่า Q*
RB 6	0.22	2.22	620.18	35951.44
RB 9	0.49	4.99	635.13	36540.24
RB 12	0.88	8.88	542.04	33768.41
RB 15	1.38	13.87	561.56	34201.10
RB 19	2.22	22.26	562.05	33865.56
RB 25	3.85	38.53	670.07	37367.72
RB 28	4.83	48.34	555.58	34212.16

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ค่า r* และค่า Q* เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต และควบการผลิตของเหล็กแผ่นเรียบ

ขนาด(ฟุต)	ขนาด(มม)	ความหนา	ค่า r*	ค่า Q*
3 x 6	914 x 1829	1.2 - 10	365.54	25290.91
		11.0 - 50	391.87	26362.40
		60 - 100	255.28	21030.30
4 x 8	1219 x 2438	1.2 - 10	299.72	21918.30
		11.0 - 50	258.41	21231.95
		60 - 100	452.58	27825.85
4 x 10	1219 x 3048	1.2 - 10	303.55	21940.71
		11.0 - 50	655.56	34383.59
		60 - 100	553.18	31695.84
4 x 16	1219 x 4877	1.2 - 10	399.57	26196.88
		11.0 - 50	505.17	29530.47
		60 - 100	582.33	32210.04
4 x 20	1219 x 6096	1.2 - 10	242.51	20031.47
		11.0 - 50	671.96	35379.06
		60 - 100	441.04	27418.08
5 x 10	1524 x 3048	1.2 - 10	744.56	36942.70
		11.0 - 50	314.93	23297.22
		60 - 100	508.08	30366.22
5 x 20	1524 x 6096	1.2 - 10	391.07	26189.24
		11.0 - 50	361.48	24288.95
		60 - 100	355.30	24887.67
5 x 30	1524 x 9144	1.2 - 10	380.27	26025.33
		11.0 - 50	258.86	20836.75
		60 - 100	233.96	19767.15
5 x 40	1524 x 12192	1.2 - 10	270.83	22035.79
		11.0 - 50	317.45	22888.08
		60 - 100	426.05	27350.95
6 x 20	1829 x 6096	1.2 - 10	679.58	34865.07
		11.0 - 50	269.95	21509.27
		60 - 100	322.79	23816.98
6 x 30	1829 x 9144	1.2 - 10	299.21	22024.84
		11.0 - 50	685.86	35304.77
		60 - 100	248.63	19532.47
6 x 40	1829 x 12192	1.2 - 10	607.60	33089.32
		11.0 - 50	404.11	27010.13
		60 - 100	290.17	22157.18

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่า r* และค่า Q* เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต และควบการผลิตของเหล็กเพลาดำ

ขนาด (มม.)	ขนาด (นิ้ว)	น้ำหนัก กก./ม.	น้ำหนัก กก./6 ม.	ค่า r*	ค่า Q*
19.05	3/4	2.24	13.44	587.49	34122.46
22.23	7/8	3.05	18.3	606.06	34800.03
25.4	1	3.98	23.9	510.88	31588.37
28.58	1 1/8	5.03	30.2	515.81	32093.64
31.75	1 1/4	6.21	37.26	511.49	31702.00
34.93	1 3/8	7.52	45.12	645.46	35748.38
38.1	1 1/2	8.95	53.7	532.78	32106.56
41.28	1 5/8	10.5	63	808.13	40275.95
44.45	1 3/4	12.2	73.2	742.18	38370.56
47.63	1 7/8	14	84	600.60	34694.32
50.8	2	15.9	95.4	686.77	36884.16
53.98	2 1/8	17.9	107.4	752.78	38730.21
57.15	2 1/4	20	120	481.74	31035.82
60.33	2 3/8	22.4	134.4	836.43	40996.97
63.5	2 1/2	24.9	149.4	627.22	35481.52
66.68	2 5/8	27.4	164.4	874.35	42144.54
69.85	2 3/4	30.1	180.6	538.35	32902.97
73.03	2 7/8	32.9	197.4	699.82	37452.36
76.2	3	35.8	214.8	601.04	34689.46

จากผลการวิเคราะห์ค่า r* และค่า Q* เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต และควบการผลิตของเหล็กแต่ละขนาดในแต่ละชนิด จากตารางที่ 11-14 ทำให้เราสามารถทราบจำนวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ (Q*) เพื่อใช้ในการผลิตแต่ละรอบ และจุดสั่งซื้อสินค้าเมื่อมีระยะเวลาในการนำส่งสินค้า (r*) เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดในการวางแผนและควบคุมการผลิตโดยที่ปริมาณความต้องการสินค้ามีความไม่แน่นอนได้

และถ้าอยากรู้ระยะเวลาในการผลิตแต่ละรอบ (t*) จากจำนวนวัตถุดิบที่สั่งซื้อมาก็สามารถใช้สูตรในบทที่2 สมการที่ 67 กรณีที่เกิดสินค้าขาดมือมาคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของเหล็กชนิดต่างๆในแต่ละขนาด

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทยสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

5.1 ลักษณะทั่วไปของประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือ โรงงานตัวอย่างในการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า และกลุ่มตัวอย่างคือ ผู้ผลิตเหล็กและเหล็กกล้าของประเทศไทย โดยสุ่มตัวอย่างผู้ผลิตเหล็กและเหล็กกล้าจำนวน 1 โรงงานที่มีกำลังการผลิต และปริมาณความต้องการเหล็กสูง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์หา ปริมาณความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนของลูกค้า จำนวน 5 ปี เพื่อหาค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการ และหาค่าเฉลี่ยต่างๆ ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิต ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสินค้าขาดมือ ระยะเวลาในการนำส่งสินค้าของแต่ละขนาดของแต่ละผลิตภัณฑ์

5.2 การเลือกเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ได้เลือกตัวแบบหรือวิธีการพยากรณ์เหล็กแต่ละชนิดที่มีปริมาณความต้องการผันผวนมาก หรือมีความไม่แน่นอน จาก 3 ตัวแบบคือ 1. วิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2. วิธีการพยากรณ์แบบจำลอง Autoregressive integrated moving average model (ARIMA) และ 3. วิธีการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยเสนอขึ้นโดยใช้วิธีของเบย์ สำหรับวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุดซึ่งได้แก่วิธีการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยได้เสนอขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการพยากรณ์แบบเบย์ที่ผู้วิจัยได้เสนอขึ้นมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการของเหล็กเพื่อหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่ละชนิดของแต่ละขนาด ดูผลการพยากรณ์ได้ในตารางที่ 3 ถึง 6

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ในการวิเคราะห์หาเฉลี่ยต่างๆในแต่ละขนาดของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา (h) ค่าใช้จ่ายในการตระเตรียมการผลิตต่อครั้ง (k)ค่าใช้จ่ายในกรณีสินค้าขาดมือ ต่อหน่วย ต่อหน่วยเวลา (b)

ระเวลาในการนำส่งสินค้าต่อครั้ง (l) และจากค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าต่อหน่วยเวลา (D) ซึ่งต้องเอามาคำนวณหาสัดส่วนของปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้า (L) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความต้องการสินค้าต่อหน่วยเวลา (σ) ซึ่งต้องเอามาคำนวณหาสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนของปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลานำส่งสินค้า (S) เช่นกัน ดูผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 7 ถึง 10

5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลัง

สรุปผลการวิเคราะห์ค่า r* และค่า Q* ในตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติกเพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต และควบการผลิตของเหล็กแต่ละขนาดในแต่ละชนิด สามารถดูผลการวิเคราะห์ได้ในตารางที่ 11 ถึง 14 ซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบจำนวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ (Q*) เพื่อใช้ในการผลิตแต่ละรอบ และจุดสั่งซื้อสินค้าเมื่อมีระยะเวลาในการนำส่งสินค้า (r*) เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดในการวางแผนและควบคุมการผลิตโดยที่ปริมาณความต้องการสินค้ามีความไม่แน่นอน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการวิจัยครั้งต่อๆไป เมื่อปริมาณความต้องการสินค้ามีความไม่แน่นอน และเป็นตัวแปรสุ่ม สามารถนำหลักการนี้ไปขยายต่อในการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโคคาสติกด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างออกไป และตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงพลวัต
2. นำวิธีการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมทางด้านอื่นๆ และงานทางด้านอื่นๆ

บรรณานุกรม

วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล. ทฤษฎีสินค้าคงคลัง พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ , 2536.

Akinniyi, F. A. and Silver, E. A. Inventory control using a service constraint on the expected duration of stockouts. AIIE Trans.1981, 13, 343-348.

Aucamp, D. C. and Fogarty, D. W. EOQ with limited backorder delays. Comput. Ops. Res. 1984, 11, 333-335.

Banks, J. and Fabrycky, W. J. Procurement and Inventory Systems Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987, pp. 104-107.

Bragg M. Inventory Best Practices. Wiley, John & Sons, 2004.

Congdon, P. Bayesian Statistical Modelling, 2nd ed., John Wiley & Sons: New York, 2006, pp. 1-56.

Hadley,G.and Whitin, T.M. Analysis of Inventory Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1963, pp. 42-50.

Kahforoushan,E., Zarif,M.,and Mashahir,E.B. Prediction of added value of agricultural subsectionsusing artificial neural networks: Box-Jenkins and Holt-Winters methods. Journal of Development and Agricultural Economics, 2010, 2(4):115-121.

Kim, D. H. and Park, K. S. (Q,r) inventory model with a mixture of lost sales and time-weighted backorders. J.Opt. Res. Soc. 1985, 36, 231-238.

Montgomery,D.C.,Jennings,C.L.,Kulahci,M. Introduction to Time Series Analysis and Forecasting, John Wiley & Sons. Inc, 2008.

Nadim E. A. and Robert G. S. , Time-limited free back-orders EOQ model 1997, Appl. Math Modeling, 21, 21-25.

Nahmias, S. Production and Operations Analysis. Irwin, Homewood,IL, 1989, pp.201-206

Plossl, G.W. Production and Inventory Control: Principles and Techniques. 2nd ed., Prentice Hall Published, 1985.

Revi, R ,Pal, M, Roundy, R and Shmoys D. B Approximation Algorithms for Stochastic Inventory Control Models, Mathematics of Operations Research vol. 32 no. 2, pp.284-302.

Robert, C. The Bayesian Choice: From Decision-Theoretic Foundation, 2nd ed. ,Springer:

New York, 2001, pp. 8-31.

Robert, C.P. and G. Casella. Monte Carlo Statistical Methods, 2nd ed. , Springer: New York, 2004, pp. 267-291.

Roy,D. David, J.G, Probability and Stochastic Processes, 2nd ed. ,John Wiley & Son, 2005.

Waters, D. Inventory Control and Management. Second edition. Wiley , 1992.

West,M.,Harrison,J. Bayesian forecasting and dynamic models, 2nd ed.Springer.New York, 1997.

Yelland, P.M. Bayesian Forecasting of Part Demand. International Journal of Forecasting. 2010, 26: 374-396.

ARIMA Model, http://www.docstoc.com/docs/Autoregressive-integrated-moving-average-model-(ARIMA) .

Stochastic Inventory Model, http://www.njit.edu~yangteachingie440note9.pdf.

ภาคผนวก

ตัวอย่างชุดคำสั่งของโปรแกรม

```
Model{
for (i in 2:60)
{
y[i]~dnorm(mu.y[i],var.y.inv[i])
mu.y[i]<-gamma*diff.w[i]

w2[i]<-1-1/exp(pow((i/alpha.w),delta.w))
w1[i]<-1-1/exp(pow(((i-1)/alpha.w),delta.w))

diff.w[i]<-w2[i]-w1[i]

var.y.inv[i]<-1/var.y[i]
var.y[i]<-pow(psi[i]+1,2)*pow(gamma,2)*pow(sigma.y,2)
psi[i]~dbern(0.05)
E[i]<-abs(mu.y[i]-y[i])
}
sigma.y~dgamma(0.1,.001)
s~dnorm(gamma,var.inv.s)
var.inv.s<-1/var.s
var.s<-pow(gamma,2)

alpha.w~dnorm(mu.alpha.w,var.alpha.w)I(0,)
mu.alpha.w~dnorm(0,.00001)
var.alpha.w~dgamma(0.1,.001)

delta.w~dnorm(mu.delta.w,var.delta.w)I(0,)
mu.delta.w~dnorm(0,.00001)
var.delta.w~dgamma(0.1,.001)

gamma~dnorm(mu.gamma,var.gamma)I(0,)
var.gamma~dgamma(0.1,0.001)
mu.gamma~dnorm(mu.mu.gamma,var.var.gamma)
var.var.gamma~dgamma(0.1,.001)

alpha1~dnorm(0,.00001)
mu.mu.gamma~dnorm(0,.00001)
}
Data
list(y=c(1849.81,
1852.75,
1741.19,
1084.95,
 1012.19,
1931.58,
```

957.30,
1746.65,
1313.63,
1117.02,
1259.60,
1219.18,
2185.38,
1055.93,
187.11,
1167.95,
1169.41 ,
1736.28,
902.05,
1125.69,
1886.33,
1274.35,
1119.82,
992.23,
915.64,
551.68,
156.91,
797.37,
2648.11,
2004.20,
1458.08,
1777.57,
280.82,
185.33,
1553.78,
1986.14,
2373.48,
824.69,
1036.31,
1566.72,
1658.47,
2163.70,
1756.78,
1330.17,
1522.19,
1961.02,
1855.57,
511.17,
471.91,
800.20,
426.71,
640.39,
1441.00,

```
1165.56,
1826.26,
2980.30,
1523.43,
1113.01,
1827.11,
1210.64
),s=12000)
Initial
list(gamma=1,sigma.y=1, var.gamma=0.1,mu.gamma=0,var.var.gamma=0.1,
mu.mu.gamma=0,alpha.w=1,mu.alpha.w=0,var.alpha.w=0.1,delta.w=1,mu.delta.w=0,
var.delta.w=0.1)
```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล: นางสาววัชรินทร์ แสงมา

(Miss Watcharin Sangma)

ตำแหน่ง: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

การศึกษา: อส.บ. เทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วศ.ม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ-สกุล: นายพิษณุ ทองขาว

(Mr. Pitsanu Tongkhow)

ตำแหน่ง: อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

การศึกษา: ค.อ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ-ออกแบบการผลิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

ว.ศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ