

การวางแผนการจัดซื้อเหล็กเส้นเพื่อใช้ในการก่อสร้างโดยวิธีการพยากรณ์ความต้องการและราคาในอนาคต

Reinforced steel procurement planning in construction using demand and price forecasting

โชติกา ตูลย์วัฒนกุล¹ เขมชาติ คุณธรรมวรกุล² และ นคร กกแก้ว³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการพยากรณ์ราคาเหล็กเส้น เพื่อใช้ประกอบการวางแผนซื้อเหล็กเส้นในเวลาที่เหมาะสม และเพื่อเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์พยากรณ์ราคาและความต้องการการใช้เหล็กเส้นในแต่ละวิธี จำนวน 4 วิธี ได้แก่ 1) แบบจำลอง ARIMA, 2) แบบจำลอง Brown, 3) วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) และ 4) XGBoost โดยเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่อข้อมูลของแต่ละวิธีในการคาดการณ์แนวโน้มของดัชนีราคาในอนาคตเมื่อเทียบกับดัชนีราคาจริง เพื่อให้ได้วิธีการที่ดีที่สุดและนำไปใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อไปได้ นอกจากนี้โครงการยังได้นำเสนอวิธีการคำนวณต้นทุนเหล็กเส้นด้วย 3 วิธี ได้แก่ 1) คำนวณต้นทุนการสั่งซื้อโดยใช้ปริมาณการสั่งซื้อจาก EOQ เดิมและใหม่, 2) วิธีที่ผู้รับเหมาใช้แบบสั่ง 2 ครั้ง และ 3) วิธีแบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ เพื่อเสนอทางเลือกในการนำไปช่วยสนับสนุนการวางแผนด้านการเงิน และการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ขององค์กร ผลการศึกษาพบว่า วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่อข้อมูลน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ 3 วิธีที่เหลือ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่อข้อมูลอยู่ที่ 1.85%, 2.18% และ 1.98% ของเหล็กเส้น SD40 DB12x10, SD40 DB20x12 และ SD50 DB32x10 ตามลำดับ

คำสำคัญ: สั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด, คลังสินค้า, การพยากรณ์, ราคาเหล็กเส้น

Abstract

This project aims to study methods for forecasting rebar prices to support the timing of purchases and optimize procurement planning. One of the objectives is to compare the accuracy of four forecasting techniques in predicting future price trends, which include: 1) ARIMA Model 2) Brown's Model 3) Exponential Smoothing Method, and 4) XGBoost. The accuracy of each forecasting method is then evaluated by comparing the percentage error against actual rebar prices. The goal is to identify the most accurate method to apply in future cost estimation. Additionally, the project proposes three cost calculations under 3 different strategies: (1) existing and new EOQ (Economic Order Quantity) models; (2) a two-round ordering strategy; and (3) an Ad-hoc (on-demand) method. These methods offer alternative solutions to support financial planning and strategic decision-making within the organization. The results indicate that the Exponential Smoothing method yields the lowest forecasting error when compared with the other three methods. The percentage errors for forecasting the rebar price index are 1.85%, 2.18%, and 1.98%, for SD40 DB12x10, SD40 DB20x12, and SD50 DB32x10, respectively.

Keywords: Economic Order Quantity, Inventory, Forecasting, Steel price

1 บทนำ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่สำคัญของประเทศ เป็นอุตสาหกรรมที่นำไปสู่การพัฒนาประเทศ ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของเม็ดเงินทั้งในด้านเงินทุนในการก่อสร้าง การจ้างงาน รวมไปถึงอุตสาหกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการก่อสร้าง อีกทั้งธุรกิจก่อสร้างยังเป็นธุรกิจที่เติบโตไปพร้อมกับความเจริญของประเทศ หากเศรษฐกิจของประเทศรุ่งเรือง อุตสาหกรรมก่อสร้างก็จะเติบโตควบคู่กันไป

ในปัจจุบัน การจัดซื้อเหล็กในแต่ละโครงการจะใช้วิธีการวิเคราะห์ราคาการสั่งซื้อแตกต่างกันไป อีกทั้งสถานการณ์ของราคาเหล็กเส้นในปี พ.ศ.2567 มีแนวโน้มต่ำลงอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ตลาดมีการพยากรณ์แนวโน้มราคามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรือคงที่ อย่างไรก็ตามราคาเหล็กเส้นในแต่ละเดือนยังมีความผันผวนของราคาจริง ผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นถึงความไม่แน่นอนของราคา นำไปสู่การจัดทำโครงการฉบับนี้เพื่อพยากรณ์ความต้องการและราคาของเหล็กเส้นในอนาคต ทำให้การวางแผนจัดซื้อเหล็กเส้นเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด

การบริหารและการจัดเก็บสินค้าคงคลังเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญของการจัดซื้อสินค้า ซึ่งเป็นกระแสเงินไหลออก ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับกระแสเงินสดของโครงการ ผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญดังกล่าวข้างต้น นำไปสู่การจัดทำโครงการฉบับนี้เพื่อให้กระแสเงินสดของบริษัทมีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้การจัดเก็บสินค้าคงคลังแต่ละโครงการที่มีจัดเก็บในไซตมีปริมาณพื้นที่จัดเก็บแตกต่างกันจึงต้องมีการตรวจสอบปริมาณเหล็กเส้นที่ใช้ และปริมาณเหล็กเส้นคงคลังอยู่เสมอ เพื่อให้พื้นที่ดังกล่าวจัดเก็บเพียงพอ และมีปริมาณเหล็กเส้นที่ไม่ขาดมือ ปริมาณทั้งสองค่าดังกล่าวจึงสามารถนำไปวิเคราะห์และแสดงในรูปของกราฟเส้นประกอบการจัดทำโครงการฉบับนี้

2 การทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กเส้น

การเติบโตของเศรษฐกิจไทยอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งที่กระตุ้นการพัฒนาเมืองและโครงการโครงสร้างพื้นฐาน นำไปสู่ความต้องการเหล็กเส้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งความคิดริเริ่มที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลในการมุ่งเป้าไปที่การอัพเกรดเครือข่ายการขนส่งและสิ่งอำนวยความสะดวกสาธารณะ ทำให้กระตุ้นการเติบโตของตลาดอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กเส้น และที่ตั้งเชิงกลยุทธ์ของประเทศไทยในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งดึงดูดการลงทุนจากต่างประเทศในโครงการก่อสร้าง และสนับสนุนอุตสาหกรรมเหล็กเส้น ด้วยเหตุนี้ ตลาดนี้จึงยังคงเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญของความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจของประเทศ ตลาดเหล็กเส้นในประเทศไทยเผชิญกับความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศและสากล ตลาดโลก หลายประการ ดังต่อไปนี้ ประการแรก ตลาดเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับภาคการก่อสร้าง ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากสภาพเศรษฐกิจ โครงการที่เกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานของรัฐบาล และแนวโน้มอสังหาริมทรัพย์ที่มีความผันผวน และอาจส่งผลกระทบต่อความต้องการเหล็กเส้น ประการที่สอง การแข่งขันจากประเทศผู้ผลิตเหล็กที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่อาจส่งผลกระทบต่อราคาค่าและส่วนแบ่งการตลาด

สำหรับผู้ผลิตในประเทศ ซึ่งมีการพิจารณาในการรับรองคุณภาพและมาตรฐานของเหล็กเส้นที่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปฏิบัติตามข้อกำหนด การก่อสร้างและการรักษาความไว้วางใจของผู้บริโภค ประการที่สาม ตลาดอาจเผชิญกับความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน เนื่องจากมีแรงกดดันที่เพิ่มขึ้นต่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ทำให้มีการนำแนวทางปฏิบัติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้ และประการสุดท้าย ความสามารถในการสร้างสรรค์นวัตกรรมในแง่ของการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต ที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการคงความสามารถของการแข่งขันในตลาดเหล็กเส้น

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อดัชนีราคาเหล็กเส้นภายในประเทศไทย

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคาเหล็กเส้นที่มีความสำคัญมากของประเทศไทยในปัจจุบัน คือ เวลา เนื่องจากเวลาในการสั่งซื้อมีความสัมพันธ์กับอุปสงค์ของเหล็กเส้น โดยหากอุปสงค์มีมาก แสดงว่าเหล็กเส้นเป็นที่ต้องการมาก ก็จะทำให้ช่วงเวลาการสั่งซื้อสั้น ในทางกลับกัน หากอุปสงค์มีน้อย ช่วงเวลาการสั่งซื้อก็จะนาน จากสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้การพยากรณ์จุดสั่งซื้อใหม่ หรือ Reorder Point (ROP) เป็นสิ่งที่ควรสนใจ เพราะเป็นการกำหนดระดับที่จะทำการสั่งซื้อสินค้าในรอบใหม่เมื่อพบว่าปริมาณสินค้าคงคลังเหลือในระดับที่ควรจะมีการสั่งซื้อ ดังนั้น หากสามารถทำนาย Reorder Point ได้แม่นยำก็จะทำให้การวางแผนการซื้อทำได้ง่ายยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ โครงการฉบับนี้จึงให้ความสนใจกับเวลาและ Reorder Point

2.1.3 การบริหารวัสดุคงคลัง

การบริหารวัสดุคงคลัง หมายถึง การดำเนินงานในด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับรายการวัสดุ โดยเริ่มตั้งแต่การบันทึกการรับวัสดุ การจ่ายวัสดุ การควบคุมจำนวนวัสดุคงเหลือให้มีประสิทธิภาพ และสั่งซื้อวัสดุในระดับที่เหมาะสม โดยทั่วไปงานก่อสร้างจะมีการสั่งซื้อวัสดุเพื่อเตรียมไว้ใช้งานก่อน ไม่ซื้อวัสดุวันต่อวัน ซึ่งเป็นการซื้อเพื่อสำรองวัสดุที่คลังส่วนกลางสำหรับงานก่อสร้างทุกโครงการเพื่อให้ดำเนินงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและทำให้เกิดต้นทุนจม ต้นทุนเสียโอกาส และต้นทุนเก็บรักษา

งานก่อสร้างเป็นงานที่ต้องใช้วัสดุหลายประเภทและต้องใช้เป็นจำนวนมาก วัสดุที่ใช้มีมากมายจาก หลายแหล่งผลิตหรือแหล่งจำหน่าย วัสดุเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีสถานที่เก็บรักษา ก่อนการใช้งานเพราะต้องมีการจัด เตรียมวัสดุมาให้พร้อม เพื่อไม่ให้งานสะดุดหรือขาดตอน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลกำไร โดยสถานที่เก็บรักษาวัสดุในงานก่อสร้างมีดังนี้

(1) ลานกองวัสดุ ในกรณีมีพื้นที่มากพอ ควรจัดพื้นที่ให้กับรถบรรทุกเข้ามาส่งวัสดุสะดวก ควรตั้งในหน่วยงานก่อสร้างเพื่อความสะดวก และตั้งในตำแหน่งที่ถูกทิศทางลมโดยที่ฝุ่นละอองจากกองวัสดุเหล่านี้รบกวน ประชาชนโดยรอบสถานที่ก่อสร้างและผู้ปฏิบัติงานอื่นๆน้อยที่สุด

(2) พื้นที่ก่อสร้างที่สร้างเสร็จแล้ว ในกรณีมีเนื้อที่จำกัดอาจใช้พื้นที่ก่อสร้างที่เสร็จแล้ว เป็นที่กองวัสดุ เพื่อเตรียมสำหรับการใช้งานในส่วนต่อไป ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะต้องไม่ทำปฏิกิริยาหรือเพิ่มน้ำหนักให้กับสิ่งก่อสร้าง มากนัก รวมถึงต้องเก็บวัสดุให้ปลอดภัย เพื่อป้องกันการสูญหายและเสียหาย

(3) โกดังเก็บวัสดุ ที่ตั้งควรอยู่ใกล้กับถนนที่บรรทุกรถขนาดใหญ่สามารถเข้าถึงได้และใกล้กับ สถานที่ก่อสร้างมากที่สุด เพื่อสะดวก

ต่อการควบคุมการใช้ การเบิกจ่าย และปลอดภัย ตั้งในบริเวณที่สูง น้ำท่วมไม่ถึงในหน้าฝน ซึ่งโกดังเก็บวัสดุสามารถแบ่งได้ 3 แบบ ได้แก่ โกดังแบบเปิดโล่ง โกดังแบบฝาโปร่ง และโกดังแบบฝาหีบ

การตรวจนับและติดตามวัสดุคงคลังมี 3 วิธีการ ดังนี้

1) การติดตามวัสดุคงคลังเป็นแบบช่วงเวลา (Periodic) คือการตรวจนับวัสดุโดยกำหนดช่วงเวลาเป็น รายสัปดาห์ รายเดือน รายไตรมาส หรือรายปี ส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้กับวัสดุที่มีอัตราการหมุนเวียนต่ำและ มีการคงคลัง วัสดุไวจำนวนมาก

2) การติดตามวัสดุคงคลังแบบต่อเนื่อง (Continuous) คือการตรวจนับวัสดุแบบต่อเนื่องในทุกวัน มีการกำหนดจุดสั่งซื้อ ซึ่งปริมาณที่สั่งซื้อจะมีปริมาณคงที่ เมื่อตรวจนับวัสดุแล้วปริมาณวัสดุลดลงถึงจุดที่กำหนดไว้ ฝ่ายจัดซื้อจะทำการสั่งซื้อวัสดุเท่ากับปริมาณที่กำหนดไว้

3) การติดตามวัสดุคงคลังแบบระบบสองถัง (Two-Bin) คือการตรวจนับวัสดุแบบต่อเนื่องอย่างง่าย โดยใช้การสังเกตปริมาณวัสดุที่อยู่ภายในถัง โดยใช้ 2 ถังสำหรับจัดเก็บวัสดุ

ปัญหาที่พบในการบริหารวัสดุคงคลัง คือ การมีปริมาณวัสดุคงคลังในคลังจำนวนมาก ทำให้สูญเสียพื้นที่ ในการจัดเก็บวัสดุ อีกทั้งยังเกิดต้นทุนในการเก็บรักษา และต้นทุนจมเนื่องจาก การสำรองวัสดุไว้ในจำนวนที่มาก

2.1.4 จุดสั่งซื้อใหม่

ในกระบวนการสั่งซื้อสินค้าคงคลัง ปัจจัยที่มีความสำคัญมาก คือ เวลา เนื่องจากเวลาในการสั่งซื้อ แปรผกผันกับความต้องการสินค้า จึงจำเป็นต้องมีการพยากรณ์ที่แม่นยำเพื่อควบคุมปริมาณสินค้าคงคลังและจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point : ROP) เป็นการกำหนดระดับที่จะทำการสั่งซื้อสินค้ารอบใหม่ เมื่อพบว่าปริมาณสินค้าคงคลังเหลือระดับที่ควรมีการสั่งซื้อสินค้าเข้ามาในปริมาณคงที่ ซึ่งเท่ากับปริมาณที่กำหนดไว้

ค่านาย อภิปรชญาสกุล (2553) ได้ให้คำนิยามว่าจุดสั่งซื้อใหม่แบ่งออกเป็น 4 แบบ โดยโครงงานฉบับนี้พิจารณาภายใต้สถานการณ์ดังต่อไปนี้ จุดสั่งซื้อใหม่โดยที่อัตราความต้องการสินค้าคงคลังคงที่แต่รอบเวลาไม่คงที่ เป็นภาวะที่เวลาคอยสินค้า มีการแปรผัน ซึ่งมีการคำนวณจุดสั่งซื้อใหม่ดังแสดงตัวอย่างในสมการที่ (1)นี้

$$\text{จุดสั่งซื้อใหม่ (ROP)} = (d \times \bar{L}) + Z d \delta_L \quad (1)$$

โดย d = อัตราความต้องการสินค้าคงคลังคงที่
 $\bar{L}$ = รอบระยะเวลาเฉลี่ย
 Z = ค่าของระดับการให้บริการ
 δ_L = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรอบเวลา

2.1.5 ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุแบบประหยัด Economic order quantity (EOQ)

ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุอย่างประหยัด คือ ขนาดของการสั่งซื้อวัสดุที่ทำให้เกิดต้นทุนในการควบคุมปริมาณที่น้อยที่สุดที่รวมต่อปี (Total Annual Cost) ของการจัดเก็บรายการสั่งซื้อวัสดุมีค่าต่ำสุด เพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนในการจัดหาปริมาณ

หากพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการสั่งซื้อกับต้นทุนการถือครอง พบว่าต้นทุนการสั่งซื้อและต้นทุนการถือครองมี

ความสัมพันธ์เชิงลบกัน ซึ่งจุดต่ำที่สุดของต้นทุนรวมจะเป็นจุดที่ต้นทุนทั้งสองส่วนนี้เท่ากัน ดังนั้นถ้าทำการสั่งซื้อวัสดุที่ปริมาณการสั่งซื้อ ณ จุดนี้จะทำให้เกิดต้นทุนรวมน้อยที่สุด ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ ณ จุดนี้เรียกว่า ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุที่ประหยัดที่สุด หรือ EOQ ดังสมการที่ (2)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (2)$$

โดย EOQ = ขนาดการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งที่ประหยัด (Q^*)
 D = ความต้องการปริมาณวัสดุต่อปี (หน่วย/ปี)
 Q = ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุต่อครั้ง (หน่วย/ครั้ง)
 H = ต้นทุนในการจัดเก็บ พัด/หน่วย/ช่วงเวลา
 S = ต้นทุนในการสั่งซื้อวัสดุต่อครั้ง

ในการแสดงที่มาของวิธีการคำนวณของทฤษฎีปริมาณการสั่งซื้อวัสดุที่ประหยัดที่สุด EOQ จะอาศัยการเขียนกราฟของปริมาณวัสดุคงคลังเทียบกับเวลา โดยการคำนวณในระบบของ EOQ จะสามารถแสดงกราฟระบบวัสดุคงคลังภายใต้การสั่งซื้อวัสดุแบบ EOQ

2.1.6 การพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

แบบจำลอง Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) ได้รับการพัฒนามาจากวิธีการของ Box-Jenkins เป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับและเป็นวิธีที่ให้ค่าพยากรณ์ในระยะสั้นที่ดี เนื่องจากวิธีนี้มีค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error, MSE) ของการพยากรณ์ที่ได้ต่ำกว่าวิธีอื่นๆ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ แบบจำลอง Auto Regressive (AR(p)) กระบวนการ Integrate (I(d)) และแบบจำลอง Moving Average (MA(q))

2.1.7 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่เปลี่ยนแปลงไปตามลำดับการเกิดขึ้น หรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในช่วงเวลาที่ผ่านไป โดยการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเหล่านั้นอาจจะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีรูปแบบหรือไม่ก็ได้ แต่ในกรณีที่ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงรูปแบบในช่วงเวลาที่ผ่านมานี้ในอดีต จะส่งผลทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจะเป็นอย่างไร ทำให้สามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในอนาคตได้ การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของเวลาในอดีตเป็นที่ยึด (ศิริลักษณ์ เล็กสมบูรณ์, 2531)

การสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังด้วยวิธีของบราวน์ (Brown's exponential smoothing method: Brown) การทำให้เรียบแบบเส้นโค้งเลขชี้กำลังด้วยวิธีของบราวน์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้ม เป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล เช่นเดียวกับการทำให้เรียบแบบเส้นโค้งเลขชี้กำลัง ด้วยวิธีของฮอลต์ แต่มีการกำหนดให้ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับและค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชันเท่ากัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการทำให้เรียบแบบเส้นโค้งเลขชี้กำลังด้วยวิธีของบราวน์เป็นกรณีพิเศษของการทำให้เรียบแบบเส้นโค้ง

เลขชี้กำลังด้วยวิธีของโฮลต์

2.1.8 พยากรณ์แนวโน้มวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing)

เป็นวิธีที่ใช้หลักการเกี่ยวกับการพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก นั่นคือให้ความสำคัญกับข้อมูลชุดใหม่ที่สุดมากที่สุด (ค่าถ่วงน้ำหนักสูงสุด) และค่อยๆ ลดค่าถ่วงน้ำหนักลง วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลจะทำการพยากรณ์โดยนำค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาที่ผ่านมาบวกเข้ากับอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลานั้นๆ ดังแสดงโดยสมการที่ (3) และ (4) ดังต่อไปนี้

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (3)$$

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(e_{t-1}) \quad (4)$$

โดย F_t = ค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้า ณ ช่วงเวลา t
 F_{t-1} = ค่าพยากรณ์ความต้องการสินค้า ณ ช่วงเวลา $t-1$
 α = ค่าคงที่ปรับเรียบ ระหว่าง 0 ถึง 1
 A_{t-1} = ข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา $t-1$
 e_{t-1} = ค่าผิดพลาด ณ ช่วงเวลา $t-1$

แปลความหมายจากสมการได้ว่า ค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t ใดๆ คำนวณได้จากค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาก่อนหน้าหนึ่งช่วงเวลา ($t-1$) บวกกับ อัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของค่าผิดพลาด (Error e) ที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาก่อนหน้าหนึ่งช่วงเวลา

2.1.9 XGBoost (XGB)

เป็น ensemble learning method ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบ multiple-learners หรือก็คือการเรียนรู้แบบเสมือนมีผู้เรียนหลายคนช่วยกันเรียน สำหรับโมเดลนี้ก็ถูกแต่งเสริมเติมแต่งจาก Gradient boosting โดยความสามารถที่เพิ่มขึ้นมาหลักๆ คือ Regularization (ความสามารถลดการเกิด overfit) Sparse Aware (ความสามารถจัดการกับ missing value อัตโนมัติ) Parallelization (ความสามารถทำงานแบบขนานกับจำนวน core ของ cpu ได้) และ Cache Optimization (ช่วยในการใช้ hardware อย่างมีประสิทธิภาพ) XGBoost สามารถแบ่งวิธีการเป็น 3 ตัวหลักๆ ได้ดังนี้

(a) Bagging (Bootstrap Aggregating) คือ การสร้าง learner หลายๆ ตัว แล้วให้แต่ละตัวเรียน subset ของข้อมูลทั้งหมด หลังจากนั้น มาทำการ vote ว่าถ้ามีคำถามมา ให้ดูผลลัพธ์ที่เป็นคำตอบส่วนมาก ซึ่งทำให้สามารถลด variance และช่วยลดการเกิด overfit
 (b) Boosting คือ การเรียนแบบเป็นลำดับ โดยเริ่มจาก learner ก่อนหน้าเรียนแล้วนำเอาข้อผิดพลาดของตัวเอง มาปรับปรุงใน learner ต่อๆ ไป เพื่อลด error จาก learner ก่อนหน้า ส่งผลให้มี accuracy ที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามก็อาจทำให้เกิด overfit ได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างโมเดลได้แก่ Gradient boosting, AdaBoost
 (c) Stacking มีลักษณะคล้ายกับ Boosting แต่มีความต่างตรงที่ Stacking มีการแบ่ง learner เป็นหลายๆ กลุ่ม แล้วเอาข้อมูลทั้งหมดให้กลุ่มแรกเรียน จากนั้น คำตอบของกลุ่มแรกจะถูกนำมารวมกันเพื่อส่งต่อให้กลุ่มต่อไปมาเรียน

2.1.10 วิธีแบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ (Price forecast and ad-hoc buying time decisions)

เป็นวิธีแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแก้ปัญหาหรือทำงานที่เฉพาะโดยไม่คำนึงถึงการใช้งานที่กว้างขึ้น ซึ่งในที่นี้ วิธีนี้จะนำมาใช้ในการคำนวณต้นทุนของการสั่งซื้อเหล็กเส้นทั้งหมด โดยคำนึงถึงสถานการณ์ว่าราคาพยากรณ์ในเดือนถัดไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง หากราคามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ให้ใช้ราคาจริงของเดือนนั้น และปริมาณสั่งซื้อจริงทั้งหมดตั้งแต่เดือนนั้นถึงเดือนที่ราคาพยากรณ์มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นลดลง หากราคามีแนวโน้มลดลง ให้พิจารณาปริมาณเหล็กเส้นคงคลังที่น้อยที่สุด (minimum stock) ว่าหากใช้ปริมาณเหล็กเส้นในเดือนนั้นแล้วยังไม่ถึงปริมาณเหล็กเส้นน้อยที่สุด ให้ชะลอการสั่งซื้อ หากใช้ปริมาณเหล็กเส้นในเดือนนั้นแล้วปริมาณเหล็กเส้นน้อยกว่า minimum stock ให้ทำการสั่งซื้อโดยใช้ราคาจริงของเดือนนั้น และปริมาณสั่งซื้อจริงทั้งหมดตั้งแต่เดือนที่ถัดไปจนถึงเดือนที่ราคาพยากรณ์มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นเพิ่มขึ้นหรือจนถึงเดือนที่ minimum stock ไม่เพียงพอหากใช้ปริมาณตามแผน

2.1.11 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

การวัดความคลาดเคลื่อนของค่าจริง และค่าพยากรณ์ได้โดยใช้สัมประสิทธิ์ หรือจำนวนข้อมูลต่าง ๆ จะพิจารณาจากการที่ค่าจริงใกล้เคียงค่าพยากรณ์ที่สุด หรือทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในระดับที่น้อยที่สุด จึงจะเป็นค่าที่เหมาะสม และสามารถสรุปได้ว่าการพยากรณ์ครั้งนั้นให้ความแม่นยำมากที่สุด โดยในโครงการนี้จะทำการวัดค่าความคลาดเคลื่อนผ่านวิธีในสมการที่ (5) ,(6) ,(7) และ (8) ดังนี้

$$\text{Mean Absolute Percentage Error (MAPE)} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

$$\text{Mean Squared Error (MSE)} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

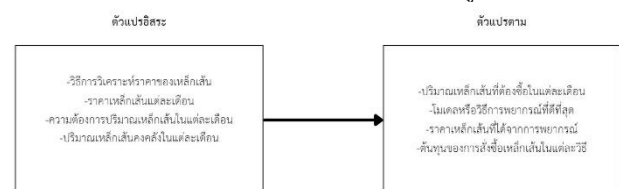
$$\% \text{error} = \text{Relative Error} \times 100\%$$

$$\text{Relative Error} = \frac{|\text{ค่าพยากรณ์} - \text{ค่าจริง}|}{\text{ค่าจริง}}$$

3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

จากการศึกษา แนวคิด ทฤษฎีต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวบรวมจาก การทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถนำมาเขียนกรอบแนวคิดการวิจัย รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.1-1



รูปที่ 1 ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

3.2 กระบวนการศึกษาวิจัย

- 1.กำหนดวิธีการวิเคราะห์ราคาของเหล็กเส้นด้วย 2 วิธี ดังนี้
 - 1) แนวคิดการสั่งซื้อแบบประหยัด หรือ EOQ
 - 2) จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point, ROP)
- 2.เก็บรวบรวมข้อมูลแนวโน้มราคาเหล็กเส้นแต่ละเดือนของโครงการ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2568
- 3.เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อเหล็กเส้นและปริมาณเหล็กเส้นคงคลังแต่ละเดือนของโครงการ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2568

4.วิเคราะห์ราคาเหล็กเส้นโดยใช้ 2 วิธี โดยหา EOQ ของเหล็กเส้นในแผนโครงการเดิม และโครงการใหม่ และจำนวนรอบที่ต้องสั่งซื้อของแผนโครงการใหม่

5.คำนวณต้นทุนการสั่งซื้อโดยใช้ปริมาณการสั่งซื้อจาก EOQ เดิม EOQ ใหม่ และวิธีที่ผู้รับเหมาใช้แบบส่ง 2 ครั้ง

6. วิธีการพยากรณ์ราคาเหล็กเส้นใน 6 เดือนข้างหน้า (ระยะสั้น) และใน 12 เดือน (ระยะยาว)

ด้วย 4 วิธี ดังนี้

- 1) แบบจำลอง ARIMA
- 2) แบบจำลอง Brown
- 3) แบบจำลอง Exponential Smoothing
- 4) XGBoost

7.เปรียบเทียบราคาเหล็กเส้นจริงกับราคาที่พยากรณ์ทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาวและหาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุด

8.นำโมเดลที่ดีที่สุดไปใช้ประกอบการคำนวณต้นทุนการสั่งซื้อด้วยวิธีแบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ (Price forecast and ad-hoc buying time decisions)

9.เปรียบเทียบต้นทุนจากขั้นตอนที่ 5 และ 7 เพื่อสรุปผลและเสนอแนวทางการคำนวณหาต้นทุนที่ดีที่สุด

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การพยากรณ์ดัชนีราคาเหล็กเส้น

4.1.1 การพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง Autoregressive Integrated

Moving Average (ARIMA)

เดือน-ปี	ค่าจริง	พยากรณ์แบบ 6 เดือน (ระยะสั้น)			
		ARIMA(0,1,0)(0,0,0) ค่าที่พยากรณ์ได้	error	ARIMA(1,1,0)(0,0,0) ค่าที่พยากรณ์ได้	error
ก.พ.-67	20700				
มี.ค.-67	20800				
เม.ย.-67	20900				
พ.ค.-67	21450				
มิ.ย.-67	21500				
ก.ค.-67	21000				
ส.ค.-67	20000	20965	4.84%	20831	6.16%
ก.ย.-67	20350	20936	2.88%	20793	1.98%
ต.ค.-67	20350	20905	2.73%	20700	1.72%
พ.ย.-67	19850	20873	5.13%	20655	4.68%
ธ.ค.-67	19100	20841	9.12%	20611	7.91%
ม.ค.-68	19250	20809	8.10%	20568	6.85%
รวม			33.81%		26.67%
ก.พ.-67	20500				
มี.ค.-67	20600				
เม.ย.-67	20700				
พ.ค.-67	21250				
มิ.ย.-67	21300				
ก.ค.-67	20800				
ส.ค.-67	19800	20768	4.89%	20631	4.20%
ก.ย.-67	20150	20736	2.91%	20593	2.00%
ต.ค.-67	20150	20705	2.75%	20500	1.74%
พ.ย.-67	19850	20673	5.21%	20455	4.10%
ธ.ค.-67	18900	20641	9.21%	20411	7.99%
ม.ค.-68	19050	20609	8.18%	20368	6.94%
รวม			33.18%		26.14%
ก.พ.-67	20800				
มี.ค.-67	20900				
เม.ย.-67	21000				
พ.ค.-67	21500				
มิ.ย.-67	21650				
ก.ค.-67	21150				
ส.ค.-67	20150	21123	4.83%	20996	4.20%
ก.ย.-67	20500	21095	2.80%	20930	2.10%
ต.ค.-67	20500	21068	2.77%	20885	1.88%
พ.ย.-67	20000	21041	5.21%	20846	4.23%
ธ.ค.-67	19250	21014	9.16%	20809	6.10%
ม.ค.-68	19400	20986	8.05%	20771	7.07%
รวม			33.05%		27.57%
Total error			99.01%		81.18%
Total error per data			5.50%		4.51%

ตารางที่ 1 ผลของการพยากรณ์แบบ 6 เดือน (บาท/ตัน) ด้วยรูปแบบ ARIMA(0,1,0), ARIMA(1,1,0), ARIMA(0,1,1) และ ARIMA(1,1,1)

เดือน-ปี	ค่าจริง	พยากรณ์แบบ 12 เดือน (ระยะยาว)			
		ARIMA(0,1,0)(0,0,0) ค่าที่พยากรณ์ได้	error	ARIMA(1,1,0)(0,0,0) ค่าที่พยากรณ์ได้	error
ก.พ.-67	20700	20464	1.14%	20371	1.59%
มี.ค.-67	20800	20227	2.78%	20127	3.24%
เม.ย.-67	20900	19991	4.35%	19971	4.92%
พ.ค.-67	21450	19753	7.90%	19616	8.55%
มิ.ย.-67	21500	19510	9.22%	19391	9.95%
ก.ค.-67	21000	19282	8.18%	19106	9.02%
ส.ค.-67	20000	19040	4.78%	18881	5.79%
ก.ย.-67	20350	18800	7.57%	18696	8.62%
ต.ค.-67	20350	18773	8.73%	18343	9.87%
พ.ย.-67	19850	18336	7.63%	18086	8.99%
ธ.ค.-67	19100	18100	5.24%	17831	6.64%
ม.ค.-68	19250	17864	7.20%	17876	8.70%
รวม			74.69%		88.73%
ก.พ.-67	20500	20264	1.15%	20173	1.80%
มี.ค.-67	20600	20027	2.78%	19929	3.26%
เม.ย.-67	20700	19791	4.39%	19672	4.97%
พ.ค.-67	21250	19553	7.98%	19418	8.62%
มิ.ย.-67	21300	19310	9.31%	19183	10.00%
ก.ค.-67	20800	19082	8.26%	18959	9.09%
ส.ค.-67	19800	18843	5.62%	18699	6.79%
ก.ย.-67	20150	18609	7.65%	18399	8.69%
ต.ค.-67	20150	18373	8.82%	18146	9.95%
พ.ย.-67	19850	18136	7.70%	17880	8.96%
ธ.ค.-67	18900	17900	5.29%	17635	6.59%
ม.ค.-68	19050	17664	7.28%	17381	8.76%
รวม			75.48%		86.40%
ก.พ.-67	20800	20577	1.07%	20387	1.99%
มี.ค.-67	20900	20355	2.61%	20146	3.51%
เม.ย.-67	21000	20132	4.13%	19890	5.39%
พ.ค.-67	21500	19900	7.40%	19636	8.70%
มิ.ย.-67	21650	19668	9.07%	19385	10.55%
ก.ค.-67	21150	19464	7.57%	19101	9.69%
ส.ค.-67	20150	19241	4.52%	18837	6.52%
ก.ย.-67	20500	19018	7.23%	18573	9.40%
ต.ค.-67	20500	18795	8.32%	18308	10.59%
พ.ย.-67	20000	18573	7.14%	18045	9.79%
ธ.ค.-67	19250	18350	4.68%	17781	7.63%
ม.ค.-68	19400	18027	6.69%	17517	9.71%
รวม			70.69%		93.44%
Total error			220.80%		265.57%
Total error per data			6.13%		7.38%

ตารางที่ 2 ผลของการพยากรณ์แบบ 12 เดือน (บาท/ตัน) ด้วยรูปแบบ

ARIMA(0,1,0), ARIMA(1,1,0), ARIMA(0,1,1) และ ARIMA(1,1,1)

4.1.2 การพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง Brown

Model Brown	เดือน-ปี	ค่าจริง	พยากรณ์แบบ 6 เดือน (ระยะสั้น)	
			ค่าที่พยากรณ์ได้	%error
SD40 DB12x10	ก.พ.-67	20700		
	มี.ค.-67	20800		
	เม.ย.-67	20900		
	พ.ค.-67	21450		
	มิ.ย.-67	21500		
	ก.ค.-67	21000		
	ส.ค.-67	20000	20500	2.50%
	ก.ย.-67	20350	20000	1.72%
	ต.ค.-67	20350	19500	4.18%
	พ.ย.-67	19850	19000	4.28%
	ธ.ค.-67	19100	18500	3.14%
	ม.ค.-68	19250	18000	6.49%
			sum	22.31%
SD40 DB20x12	ก.พ.-67	20500		
	มี.ค.-67	20600		
	เม.ย.-67	20700		
	พ.ค.-67	21250		
	มิ.ย.-67	21300		
	ก.ค.-67	20800		
	ส.ค.-67	19800	20500	3.54%
	ก.ย.-67	20150	20000	0.74%
	ต.ค.-67	20150	19500	3.23%
	พ.ย.-67	19650	19000	3.31%
	ธ.ค.-67	18900	18500	2.12%
	ม.ค.-68	19050	18000	5.51%
			sum	18.44%
SD50 DB32x10	ก.พ.-67	20800		
	มี.ค.-67	20900		
	เม.ย.-67	21000		
	พ.ค.-67	21500		
	มิ.ย.-67	21650		
	ก.ค.-67	21150		
	ส.ค.-67	20150	20650	2.48%
	ก.ย.-67	20500	20150	1.71%
	ต.ค.-67	20500	19650	4.15%
	พ.ย.-67	20000	19150	4.25%
	ธ.ค.-67	19250	18650	3.12%
	ม.ค.-68	19400	18150	6.44%
			sum	22.15%
			Total %error	62.90%
			Total %error per da	3.49%

ตารางที่ 3 ผลของการพยากรณ์แบบ 6 เดือน (บาท/ตัน) ด้วย Model Brown

Model Brown	เดือน-ปี	ค่าจริง	พยากรณ์แบบ 12 เดือน (ระยะยาว)	
			ค่าที่พยากรณ์ได้	%error
SD40 DB12x10	ก.พ.-67	20700	20451	1.20%
	มี.ค.-67	20800	20328	2.27%
	เม.ย.-67	20900	20205	3.33%
	พ.ค.-67	21450	20082	6.38%
	มิ.ย.-67	21500	19959	7.17%
	ก.ค.-67	21000	19836	5.54%
	ส.ค.-67	20000	19714	1.43%
	ก.ย.-67	20350	19591	3.73%
	ต.ค.-67	20350	19468	4.33%
	พ.ย.-67	19850	19345	2.54%
	ธ.ค.-67	19100	19222	0.64%
	ม.ค.-68	19250	19099	0.78%
				39.35%
SD40 DB20x12	ก.พ.-67	20500	20261	1.17%
	มี.ค.-67	20600	20144	2.21%
	เม.ย.-67	20700	20027	3.25%
	พ.ค.-67	21250	19910	6.31%
	มิ.ย.-67	21300	19793	7.08%
	ก.ค.-67	20800	19676	5.40%
	ส.ค.-67	19800	19559	1.22%
	ก.ย.-67	20150	19442	3.51%
	ต.ค.-67	20150	19325	4.09%
	พ.ย.-67	19650	19208	2.25%
	ธ.ค.-67	18900	19091	1.01%
	ม.ค.-68	19050	18974	0.40%
				37.90%
SD50 DB32x10	ก.พ.-67	20800	20488	1.50%
	มี.ค.-67	20900	20331	2.72%
	เม.ย.-67	21000	20175	3.93%
	พ.ค.-67	21500	20018	6.89%
	มิ.ย.-67	21650	19861	8.26%
	ก.ค.-67	21150	19704	6.84%
	ส.ค.-67	20150	19548	2.99%
	ก.ย.-67	20500	19391	5.41%
	ต.ค.-67	20500	19234	6.18%
	พ.ย.-67	20000	19077	4.62%
	ธ.ค.-67	19250	18921	1.71%
	ม.ค.-68	19400	18764	3.28%
				54.32%
				131.57%
				3.65%

ตารางที่ 4 ผลของการพยากรณ์แบบ 12 เดือน (บาท/ตัน) ด้วย Model Brown

4.1.3 พยากรณ์แนวโน้มวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing)

Month	Actual Price	Forecast ($\alpha=0.9$)	Forecast Error	Forecast Error ²	Error per actual price
Jan-23	23.45	#N/A			
Feb-23	23.30	23.45	-0.15	0.02	0.64%
Mar-23	24.15	23.32	0.83	0.70	3.46%
Apr-23	23.20	24.07	-0.87	0.75	3.73%
May-23	22.05	23.29	-1.24	1.53	5.61%
Jun-23	21.95	22.17	-0.22	0.05	1.02%
Jul-23	21.60	21.97	-0.37	0.14	1.72%
Aug-23	21.35	21.64	-0.29	0.08	1.35%
Sep-23	21.45	21.38	0.07	0.01	0.33%
Oct-23	21.10	21.44	-0.34	0.12	1.62%
Nov-23	20.55	21.13	-0.58	0.34	2.84%
Dec-23	20.45	20.61	-0.16	0.03	0.77%
Jan-24	20.70	20.47	0.23	0.05	1.13%
Feb-24	20.70	20.68	0.02	0.00	0.11%
Mar-24	20.80	20.70	0.10	0.01	0.49%
Apr-24	20.90	20.79	0.11	0.01	0.53%
May-24	21.45	20.89	0.56	0.31	2.62%
Jun-24	21.50	21.39	0.11	0.01	0.49%
Jul-24	21.00	21.49	-0.49	0.24	2.33%
Aug-24	20.00	21.05	-1.05	1.10	5.24%
Sep-24	20.35	20.10	0.25	0.06	1.20%
Oct-24	20.35	20.33	0.02	0.00	0.12%
Nov-24	19.85	20.35	-0.50	0.25	2.51%
Dec-24	19.10	19.90	-0.80	0.64	4.18%
Jan-25	19.25	19.18	0.07	0.00	0.36%
		19.24	Total	6.46	1.85%
			MSE	0.27	

ตารางที่ 5 ผลของการพยากรณ์ด้วยราคาของ SD40 DB12x10 (บาท/kg) ด้วย Exponential Smoothing

Month	Actual Price	Forecast ($\alpha=0.9$)	Forecast Error	Forecast Error ²	Error per actual price
Jan-23	23.25	#N/A			
Feb-23	23.10	23.25	-0.15	0.02	0.65%
Mar-23	23.95	23.12	0.83	0.70	3.49%
Apr-23	23.00	23.87	-0.87	0.75	3.77%
May-23	21.85	23.09	-1.24	1.53	5.66%
Jun-23	21.75	21.97	-0.22	0.05	1.03%
Jul-23	21.25	21.77	-0.52	0.27	2.46%
Aug-23	21.15	21.30	-0.15	0.02	0.72%
Sep-23	21.25	21.17	0.08	0.01	0.40%
Oct-23	20.90	21.24	-0.34	0.12	1.63%
Nov-23	20.35	20.93	-0.58	0.34	2.87%
Dec-23	20.25	20.41	-0.16	0.03	0.78%
Jan-24	20.75	20.27	0.48	0.23	2.33%
Feb-24	20.75	20.70	0.05	0.00	0.23%
Mar-24	20.50	20.75	-0.25	0.06	1.20%
Apr-24	21.20	20.52	0.68	0.46	3.19%
May-24	21.85	21.13	0.72	0.51	3.28%
Jun-24	21.90	21.78	0.12	0.01	0.56%
Jul-24	21.40	21.89	-0.49	0.24	2.28%
Aug-24	20.40	21.45	-1.05	1.10	5.14%
Sep-24	20.75	20.50	0.25	0.06	1.18%
Oct-24	20.75	20.73	0.02	0.00	0.12%
Nov-24	20.25	20.75	-0.50	0.25	2.46%
Dec-24	19.50	20.30	-0.80	0.64	4.10%
Jan-25	19.05	19.58	-0.53	0.28	2.78%
		19.10	Total	7.69	2.18%
			MSE	0.32	

ตารางที่ 6 ผลของการพยากรณ์ด้วยราคาของ SD40 DB20x12 (บาท/kg) ด้วย Exponential Smoothing

Month	Actual Price	Forecast ($\alpha=0.9$)	Forecast Error	Forecast Error ²	Error per actual price
Jan-23	23.05	#N/A			
Feb-23	23.25	23.05	0.20	0.04	0.86%
Mar-23	24.50	23.23	1.27	1.61	5.18%
Apr-23	23.30	24.37	-1.07	1.15	4.61%
May-23	22.15	23.41	-1.26	1.58	5.68%
Jun-23	22.05	22.28	-0.23	0.05	1.02%
Jul-23	21.55	22.07	-0.52	0.27	2.42%
Aug-23	21.45	21.60	-0.15	0.02	0.71%
Sep-23	21.55	21.47	0.08	0.01	0.39%
Oct-23	21.30	21.54	-0.24	0.06	1.13%
Nov-23	20.65	21.32	-0.67	0.45	3.26%
Dec-23	20.55	20.72	-0.17	0.03	0.81%
Jan-24	20.80	20.57	0.23	0.05	1.12%
Feb-24	20.80	20.78	0.02	0.00	0.11%
Mar-24	20.90	20.80	0.10	0.01	0.49%
Apr-24	21.00	20.89	0.11	0.01	0.52%
May-24	21.50	20.99	0.51	0.26	2.38%
Jun-24	21.65	21.45	0.20	0.04	0.93%
Jul-24	21.15	21.63	-0.48	0.23	2.27%
Aug-24	20.15	21.20	-1.05	1.10	5.20%
Sep-24	20.50	20.25	0.25	0.06	1.20%
Oct-24	20.50	20.48	0.02	0.00	0.12%
Nov-24	20.00	20.50	-0.50	0.25	2.49%
Dec-24	19.25	20.05	-0.80	0.64	4.15%
Jan-25	19.40	19.33	0.07	0.00	0.36%
		19.39	Total	7.94	1.98%
			MSE	0.33	

ตารางที่ 7 ผลของการพยากรณ์ด้วยราคาของ SD50 DB32x10 (บาท/kg) ด้วย Exponential Smoothing

	เดือน-ปี	ค่าจริง	พยากรณ์แบบ 6 เดือน (ระยะสั้น)		พยากรณ์แบบ 12 เดือน (ระยะยาว)	
			ค่าที่พยากรณ์ได้	%error	ค่าที่พยากรณ์ได้	%error
SD40 DB12x10	ก.พ.-67	20700			20543	0.76%
	มี.ค.-67	20800			20582	1.05%
	เม.ย.-67	20900			20615	1.36%
	พ.ค.-67	21450			20590	4.01%
	มิ.ย.-67	21500			20604	4.17%
	ก.ค.-67	21000			20639	1.72%
	ส.ค.-67	20000	20497	2.49%	20546	2.73%
	ก.ย.-67	20350	20486	0.67%	20626	1.36%
	ต.ค.-67	20350	20813	2.28%	20611	1.28%
	พ.ย.-67	19850	20758	4.57%	20520	3.38%
	ธ.ค.-67	19100	21353	11.80%	20596	7.83%
	ม.ค.-68	19250	20900	8.57%	20616	7.10%
		sum		30.37%		36.74%
SD40 DB20x12	ก.พ.-67	20500			20449	0.25%
	มี.ค.-67	20600			20510	0.44%
	เม.ย.-67	20700			20448	1.22%
	พ.ค.-67	21250			20487	3.59%
	มิ.ย.-67	21300			20485	3.83%
	ก.ค.-67	20800			20480	1.54%
	ส.ค.-67	19800	20297	2.51%	20508	3.58%
	ก.ย.-67	20150	20286	0.67%	20481	1.64%
	ต.ค.-67	20150	20613	2.30%	20383	1.16%
	พ.ย.-67	19650	20558	4.62%	20529	4.47%
	ธ.ค.-67	18900	21153	11.92%	20525	8.60%
	ม.ค.-68	19050	20700	8.66%	20423	7.21%
		sum		30.69%		37.51%
SD50 DB32x10	ก.พ.-67	20800			20816	0.08%
	มี.ค.-67	20900			20826	0.35%
	เม.ย.-67	21000			20758	1.15%
	พ.ค.-67	21500			20723	3.61%
	มิ.ย.-67	21650			20800	3.93%
	ก.ค.-67	21150			20788	1.71%
	ส.ค.-67	20150	20650	2.48%	20799	3.22%
	ก.ย.-67	20500	20550	0.24%	20827	1.60%
	ต.ค.-67	20500	20952	2.20%	20771	1.32%
	พ.ย.-67	20000	20844	4.22%	20770	3.85%
	ธ.ค.-67	19250	21417	11.26%	20855	8.34%
	ม.ค.-68	19400	21065	8.58%	20723	6.82%
		sum		28.99%		35.98%
		Total %error		90.05%		110.23%
		Total %error per da		5.00%		3.06%

ตารางที่ 8 ผลของการพยากรณ์แบบ 6 และ 12 เดือน (บาท/ตัน) ด้วย XGBoost

4.2 วิธีการคำนวณต้นทุนการสั่งซื้อเหล็กเส้นทั้งหมด (Total Cost)

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Economic Order Quantity)

(a) วิธีการต้นทุนการสั่งซื้อโดยใช้ปริมาณการสั่งซื้อจาก EOQ เดิม

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนของ SD40 DB12x10

Holding Cost

= ราคาต่อกิโลกรัมที่แสดงใน BOQ x น้ำหนักต่อเส้น x ผลรวมของจำนวนเส้นที่สั่งซื้อทั้งหมดในโครงการ

= 20.30 บาท/kg x 8.88 kg/เส้น x 9800 เส้น

= 1766587.20 บาท

Ordering Cost

= (จำนวนต้นทุนทั้งหมดของ SD40 DB12 ทุกความยาว - Holding Cost ของ SD40 DB12 ทุกความยาว) x ปริมาณที่สั่งซื้อทั้งหมดจริง(kg) / ปริมาณทั้งหมด SD40 DB12 ทุกความยาว

= (15463423.50 - (1766587.20+12340873.44)) บาท x 87024.00 kg / 761745.00 kg

= 1355962.86 x 87024 / 761745

= 154909.20 บาท

ต้นทุนของ SD40 DB12x10

= 1766587.20 + 154909.20

= 1921496.40 บาท

ต้นทุนการสั่งซื้อทั้งหมด ซึ่งเกิดจากผลรวมของต้นทุนจากเหล็กเส้นทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ

= 1921496.40 บาท + 5309772.46 บาท + 2175249.22 บาท

= 9406518.08 บาท

(b) วิธีการต้นทุนการสั่งซื้อโดยใช้ปริมาณการสั่งซื้อจาก EOQ ใหม่

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนของ SD40 DB12x10

= จำนวนรอบ x Total Cost + 19.00 บาท/kg x น้ำหนักต่อเส้น x ผลรวมของจำนวนเส้นที่สั่งซื้อทั้งหมดในโครงการ

**19.00 บาท/kg เป็นค่าสมมติที่เป็นค่ากลางของราคาต่อน้ำหนักในเหล็กเส้นทุกชนิด

4.1.4 XGBoost

$$= 4 \text{ รอบ} \times 120663.26 \text{ บาท} / \text{รอบ} + 19.00 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times 9800 \text{ เส้น} \\ = 2133456.00 \text{ บาท}$$

ต้นทุนการสั่งซื้อทั้งหมด ซึ่งเกิดจากผลรวมของต้นทุนจากเหล็กเส้น ทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ

$$= 2133456.00 \text{ บาท} + 5916633.92 \text{ บาท} + 2052268.78 \text{ บาท} \\ = 10102358.70 \text{ บาท}$$

4.2.2 วิธีที่ผู้รับเหมาใช้แบบสั่ง 2 ครั้ง

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนของ SD40 DB12x10

Holding Cost

$$= \text{ราคาเหล็กเส้นจริงของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566} \times \text{น้ำหนักต่อเส้น} \times \text{ผลรวมของจำนวนเส้นตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567} + \text{ราคาเหล็กเส้นจริงของเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567} \times \text{น้ำหนักต่อเส้น} \times \text{ผลรวมของจำนวนเส้นตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2568} \\ = 20.55 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times (400 + 0 + 2800 + 1000 + 0 + 0 + 1800) \text{ เส้น} + 21.50 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3000) \text{ เส้น} \\ = 1667664.00 \text{ บาท}$$

Ordering Cost

= สัดส่วนระหว่าง Ordering Cost และ Holding Cost ของวิธีคำนวณการสั่งซื้อโดยใช้ปริมาณการสั่งซื้อจาก EOQ เดิม $\times$ Holding Cost ของวิธีการคำนวณต้นทุนการสั่งซื้อแบบผู้รับเหมาใช้สั่ง 2 ครั้ง

$$= 154909.20 \text{ บาท} / 1766587.20 \text{ บาท} \times 1667664.00$$

$$= 146234.78 \text{ บาท}$$

ต้นทุนของ SD40 DB12x10

$$= 1667664.00 + 146234.78$$

$$= 1813898.78 \text{ บาท}$$

ต้นทุนการสั่งซื้อทั้งหมด ซึ่งเกิดจากผลรวมของต้นทุนจากเหล็กเส้น ทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ

$$= 1813898.78 \text{ บาท} + 5751112.40 \text{ บาท} + 2424120.17 \text{ บาท} \\ = 9989131.35 \text{ บาท}$$

4.2.3 วิธีแบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ (Price forecast and ad-hoc buying time decisions)

การคำนวณวิธีนี้ เกิดจากการดูแนวโน้มของราคาเหล็กเส้น พยากรณ์จากแนวโน้มวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ %error ต่ำที่สุด

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนของ SD40 DB12x10

Holding Cost

$$= 20.55 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times 400 \text{ เส้น} + 20.45 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times 3600 \text{ เส้น} + 20.70 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times 1000 \text{ เส้น} + 20.90 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times 1800 \text{ เส้น} + 19.10 \text{ บาท/kg} \times 8.88 \text{ kg/เส้น} \times 3000 \text{ เส้น} \\ = 1753444.80 \text{ บาท}$$

Ordering Cost

$$= \text{สัดส่วนระหว่าง Ordering Cost และ Holding Cost ของวิธีคำนวณการสั่งซื้อโดยใช้ปริมาณการสั่งซื้อจาก EOQ เดิม} \times \text{Holding Cost ของวิธีการคำนวณต้นทุนการสั่งซื้อแบบ Ad-hoc} \\ = 154909.20 \text{ บาท} / 1766587.20 \text{ บาท} \times 1753444.80$$

$$= 153756.76 \text{ บาท}$$

ต้นทุนของ SD40 DB12x10

$$= 1753444.80 + 153756.76$$

$$= 1907201.56 \text{ บาท}$$

ต้นทุนการสั่งซื้อทั้งหมด ซึ่งเกิดจากผลรวมของต้นทุนจากเหล็กเส้น ทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ

$$= 1907201.56 \text{ บาท} + 5499705.75 \text{ บาท} + 2181858.12 \text{ บาท} \\ = 9588765.43 \text{ บาท}$$

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การจัดทำโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ทั้งสิ้น 3 ประการ โดยประการแรกคือ เพื่อศึกษาวิธีการพยากรณ์เหล็กเส้น เพื่อประกอบ

การวางแผนซื้อเหล็กเส้นในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าด้วยการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธี ได้แก่ แบบจำลอง ARIMA แบบจำลอง Brown วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) และ XGBoost ซึ่งแบบจำลองทั้งสี่ที่ได้กล่าวไปข้างต้นล้วนแต่เป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมในหมู่นักการศึกษา ค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับด้านการพยากรณ์ในรูปแบบต่างๆ อย่งไรก็ตามงานวิจัยส่วนมากที่มีในตลาด ล้วนกล่าวถึงความแม่นยำของแต่ละตัวแบบ และการ

เปรียบเทียบแต่ละตัวแบบพยากรณ์ในช่วงเวลาทั่วไป ซึ่งจากการเปรียบเทียบผู้วิจัยได้เลือกวิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของราคาพยากรณ์น้อยที่สุดจากทั้ง 4 วิธี จากนั้นใช้การสั่งซื้อ Ad-hoc เพื่อประกอบการวางแผนซื้อเหล็กเส้น

วัตถุประสงค์ประการสอง คือ เพื่อเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์พยากรณ์ราคาและความต้องการการใช้เหล็กเส้นในแต่ละวิธี

ตารางที่ 9

วิธี	ความคลาดเคลื่อนต่อข้อมูลพยากรณ์ (Total error per data, %)			
	ระยะสั้น (6 เดือน)	ระยะยาว (12 เดือน)	แบบเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (เฉพาะ Exponential Smoothing)	%error ต่อข้อมูล ที่น้อยที่สุด
แบบจำลอง ARIMA	4.39	6.13	-	4.39
แบบจำลอง Brown	3.49	3.65	-	3.49
Exponential Smoothing	-	-	2.00	2.00
XGBoost	5.00	3.06	-	3.06

ตารางที่ 9 ผลของการวิเคราะห์พยากรณ์ราคาและความต้องการการใช้เหล็กเส้นในแต่ละวิธี

โดยจากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด ในทั้ง 4 วิธีที่นำมาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนต่อข้อมูลพยากรณ์ คือ วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) ที่ 2.00% ขณะที่การพยากรณ์อีก 3 วิธี มีแนวโน้มส่วนมากที่ให้ผลของการพยากรณ์ในระยะสั้น (6 เดือน) คลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบระยะยาว (12 เดือน) แต่ความคลาดเคลื่อนของ XGBoost มีผลของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวที่แตกต่างกับแบบจำลอง ARIMA และแบบจำลอง Brown อาจเกิดจากลักษณะของชุดข้อมูลกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างที่ผู้จัดทำเลือกใช้ ผลลัพธ์ที่ได้จึงออกมาแตกต่างกับอีก 2 วิธี

วัตถุประสงค์ประการสุดท้าย คือ เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละวิธีการสั่งซื้อเหล็กเส้น ดังตารางที่ 10

วิธีคำนวณต้นทุนในการสั่งซื้อ	ต้นทุนในการสั่งซื้อทั้งหมด (บาท)			
	SD40 DB12x10	SD40 DB20x12	SD50 DB32x10	ผลรวมของ 3 ชนิดเหล็กเส้น
แบบ EOQ เดิม	1921496.40	5309772.46	2175249.22	9406518.08
แบบ EOQ ใหม่	2133456.00	5916633.92	2052268.78	10102358.70
แบบที่ผู้รับเหมาใช้แบบสั่ง 2 ครั้ง	1813898.78	5751112.40	2424120.17	9989131.35
แบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ	1907201.56	5499705.75	2181858.12	9588765.43

ตารางที่ 10 ต้นทุนในการสั่งซื้อแต่ละวิธี

จากผลการศึกษาชี้ แสดงให้เห็นว่าวิธีคำนวณที่สามารถทำให้ต้นทุนน้อยที่สุดเป็นวิธีที่แตกต่างกันในทุกชนิดเหล็กเส้น โดยวิธีที่ผู้รับเหมาใช้แบบสั่ง 2 ครั้ง ,แบบ EOQ เดิม และแบบ EOQ ใหม่

ทำให้ต้นทุนการสั่งซื้อทั้งหมดน้อยที่สุดใน SD40 DB12x10 ,SD40 DB20x12 และ SD50 DB32x10 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลรวมของ 3 ชนิดเหล็กเส้นที่ผู้จัดทำศึกษา พบว่าวิธีแบบ EOQ เดิมมีต้นทุนในการสั่งซื้อน้อยที่สุด รองลงมา คือ วิธีแบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ (Price forecast and ad-hoc buying time decisions) วิธีที่ผู้รับเหมาใช้แบบสั่ง 2 ครั้ง และแบบ EOQ ใหม่ ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่า วิธีแบบการใช้การพยากรณ์ราคาประกอบการตัดสินใจ (Price forecast and ad-hoc buying time decisions) เป็นวิธีการคำนวณที่ทำให้ต้นทุนรวมของเหล็กเส้นตัวอย่างทั้งหมดใกล้เคียงกับแบบ EOQ เดิม และอาจเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการคำนวณต้นทุนได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการโครงการครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรบริษัท กรณีสึกษาบริษัทแสนสิริ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ศึกษาตลอดจนคำแนะนำต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] อโนทัย แสงธรรมธร. (2542). การจัดการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างอำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์. การค้นคว้าแบบอิสระ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] EOQ Model และวิธี Silver-Meal: กรณีสึกษาบริษัท XYZ. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 102-114.
- [3] นิคุณ สายวงศ์เปิง (2554). การศึกษาปัญหาด้านการจัดการวัสดุของบริษัทก่อสร้าง, โครงการวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [4] สุพรรณธิดา จิตธรรม (2554). การจัดการสินค้าคงคลังสำหรับธุรกิจบริการอาหารแช่แข็งนำเข้าจากต่างประเทศ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] นที เอื้อสมิทธิ (2554). การพัฒนาระบบการจัดการคลังพัสดุ: กรณีสึกษาร้านค้าปลีกวัสดุก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ภูมิรัฐสุภานัน สุพัทธนะ. (2562). การพยากรณ์ดัชนีราคาเหล็กของประเทศไทยโดยแบบจำลอง ARIMA และแบบจำลอง ARIMAX. [การค้นคว้าอิสระปริญามหาบัณฑิต].สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ.
- [6] รัชนิ รุ่งศรีรัตนวงศ์ (2553). ปัจจัยที่ส่งผลต่อดัชนีราคาตลาดหลักทรัพย์ SET 50. [การศึกษาค้นคว้า ด้วยตนเองบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, สาขาวิชาการเงิน.
- [7] ปรีกษา ศรีน้อย และ บุญเลิศ จิตธรรมโรจน์. (16 สิงหาคม 2561). ปัจจัยที่ส่งผลต่อดัชนีราคาตลาดหลักทรัพย์ SET 50. [Paper presentation]. การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13 ปีการศึกษา 2561, มหาวิทยาลัยรังสิต, บัณฑิตวิทยาลัย, ประเทศไทย.
- [8] ศิริลักษณ์ เล็กสมบุรณ์. (2531). การวิเคราะห์อนุกรมเวลา: ตารางประกอบการเรียนวิชาอนุกรมเวลา เลขดัชนี. มหาสารคาม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒมหาสารคาม.
- [9] อัญญา ชันธวิทย์. (2550). การอนุมานตัวแบบจำลองเพื่อกำหนดราคาสัญญาออปชั่นของดัชนี SET 50. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [10] ลักขณา เสาธยะนันท์, ยุพินกาญจนะศักดิ์ดา, บุญหญิง สมสร้าง, และ สุณิ ทวีสกุลวิริยะ. (2555). การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ราคายางพาราด้วยตัวแบบ ARIMA และตัวแบบ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 32(3), 115-128.
- [11] สุชาติดา ปอเจริญ, เฉลิมพล จตุพร และ อภิภูญา วนเศรษฐ. (2564). การพยากรณ์ราคาหุ้นในหมวดอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

เพื่อคาดการณ์ผลตอบแทนจากกลยุทธ์ การลงทุนถัวเฉลี่ยต้นทุน.
วารสารสังคมวิชาการ, 14(1), 98-112.

- [12] Tableau.com. Retrieved May 12, 2025, from
<https://www.tableau.com/analytics/what-is-time-series-analysis#definitionhttps://algoaddict.wordpress.com/2019/06/22/>
- [13] Su.Ac.Th. Retrieved May 12, 2025, from
<http://ithesisir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3668/1/61602340.pdf>
- [14] Buu.Ac.Th. Retrieved May 12, 2025, from
<https://ir.buu.ac.th/dspace/bitstream/1513/234/1/62920061.pdf>
- [15] Tci-thaijo.org. Retrieved May 12, 2025, from
https://li01.tci-thaijo.org/index.php/science_kmitl/article/download/241105/169801/
- [16] Tu.Ac.Th. Retrieved May 12, 2025, from
https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2020/TU_2020_6110038236_11641_13927.pdf
- [17] (N.d.-g). Tu.Ac.Th. Retrieved May 12, 2025,from
https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2021/TU_2021_6302110488_15225_21298.pdf