

การหาค่าที่ดีที่สุดในการตัดสินใจขนส่งเงินสด ณ ศูนย์เงินสด

จิรภัทร นวคุณมงคล¹ และ จุฑา พิชิตลำเค็ญ^{*2}

สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
10900

Received: 14 April 2021; Revised: 26 April 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการหาค่าที่ดีที่สุดเป็นจำนวนเงินสด และค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเบิก และส่งเงินสดในการตัดสินใจขนส่งเงินสดระหว่างศูนย์เงินสดของธนาคารพาณิชย์ จังหวัดภูเก็ต และธนาคารแห่งประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มในการจำลอง และประมวลผลด้วยโปรแกรมเสริมสำเร็จรูป OpenSolver และนำเสนอขั้นตอนในการขนส่งเงินสดมาพิจารณา ผู้วิจัยใช้ข้อมูลในอดีตของการเบิก-ส่งเงินสดระหว่างศูนย์เงินสดและธนาคารแห่งประเทศไทยในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ที่พิจารณาฤดูกาล เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการตัดสินใจ โดยใช้โปรแกรมเสริมสำเร็จรูปในไมโครซอฟท์เอ็กเซลชื่อ the AAA version of the Exponential Smoothing ค่าพยากรณ์จากโปรแกรมเสริมมีค่าคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ต่ำกว่าค่าพยากรณ์เดิมที่ศูนย์เงินสดใช้ หลังจากใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบกับค่าพยากรณ์ใหม่ พบว่าค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสด ค่าใช้จ่ายในการถือครองเงินสด) ลดลง 24% ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2562 และค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสดไม่เกินค่าเป้าหมายที่ 100,000 บาท

คำสำคัญ: การหาค่าที่ดีที่สุด, การพยากรณ์, การขนส่ง, เงินสด, สินค้าคงคลัง

* Corresponding author. E-mail: ¹jiraphat.na@ku.th, ²juta.p@ku.th

¹ โครงการปริญญาโทภาคพิเศษ สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Optimization of Cash Logistics in A Cash Center

Jiraphat Navakhunmongkol¹ and Jutta Pichitlamken ^{*2}

Engineering Management Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering,
Kasetsart University Bangkok 10900

Received: 14 April 2021; Revised: 26 April 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

We model the optimization of cash logistic between a cash center of a commercial bank and the Bank of Thailand in Phuket using a mixed integer linear programming (MILP) problem, which is solved via a Microsoft Excel add-in OpenSolver. Conditions on the cash transport decisions are written as MILP constraints. Historical data of cash withdrawals and deposits between cash centers and the Bank of Thailand are input to a forecasting model (the AAA version of the Exponential Smoothing), which allows for seasonality. Our results show that our forecasts have lower MAPE than the forecasts currently used by the cash center. Using a MILP model combined with a new forecasted value, the cost of cash transportation (transportation cost, sorting cost, cost of fund) reduces by 24% decrease in April 2019, and the sorting cost is not over the budget of 100,000 Baht.

Keywords: optimization, forecasting, logistics, cash, inventory

* Corresponding author. E-mail: ¹jiraphat.na@ku.th, ²jutta.p@ku.th

¹ Engineering Management Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Kasetsart University

² Associate Professor in Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Kasetsart University

1. บทนำ วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย

1.1 บทนำ

กระแสเงินสด (Cash Flow) ระหว่างศูนย์เงินสดของธนาคารกรณีศึกษาและธนาคารแห่งประเทศไทย (ธปท.) ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ดังรูปที่ 1 เดิมกระบวนการตัดสินใจใช้ประสบการณ์ของพนักงานที่ประจำอยู่ที่สำนักงาน โดยใช้ค่าพยากรณ์จากวิธีถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ประกอบการพิจารณา มีการขนส่ง 19 ครั้งต่อเดือนโดยเฉลี่ยแยกเป็นการนำฝาก – ถอนเงินจากศูนย์เงินสดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเงินสดระหว่างศูนย์เงินสดของธนาคารพาณิชย์และธนาคารแห่งประเทศไทยในจังหวัดภูเก็ตประกอบด้วยค่าใช้จ่ายที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายโดยรวมมากที่สุดดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการถือครองเงินสด (Cost of Fund: COF) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการนำเงินสดมาจัดเก็บไว้ ณ ศูนย์เงินสด โดยคิดตามอัตราดอกเบี้ยนโยบายจากธนาคารแห่งประเทศไทย

2. ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Delivery Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่

เกิดขึ้นเมื่อมีการขนส่งเงินสดจากศูนย์เงินสดไปธนาคารแห่งประเทศไทย

3. ค่าใช้จ่ายในการคั่นนับ (Sorting Cost) เป็นค่าใช้จ่ายในการคั่นนับเงินสดที่เบิก หรือส่งเงินสดให้แก่ธนาคารแห่งประเทศไทย โดยการคั่นนับธนบัตรคิดค่าคั่นนับที่ 20 บาท ต่อ มัด โดย 1 มัด มี 1,000 ฉบับ แยกตามชนิดของธนบัตร

จากข้อมูลเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2562 พบว่ามีค่าใช้จ่ายในการคั่นนับเงินสดที่เกินงบประมาณที่วางแผนไว้ 100,000 บาทต่อเดือน ดังรูปที่ 2

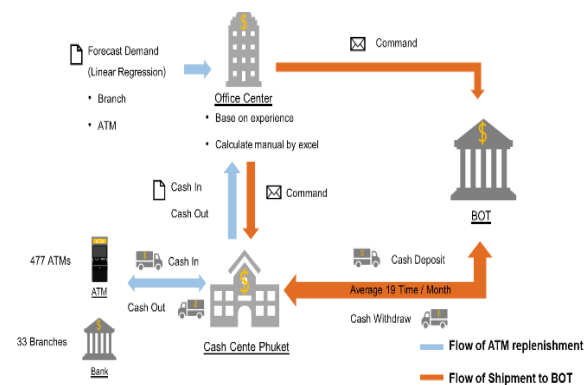
1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจและพัฒนาค่าพยากรณ์ในการกำหนดปริมาณเงินสดที่นำฝากและถอนเงินสดจากธนาคารแห่งประเทศไทย

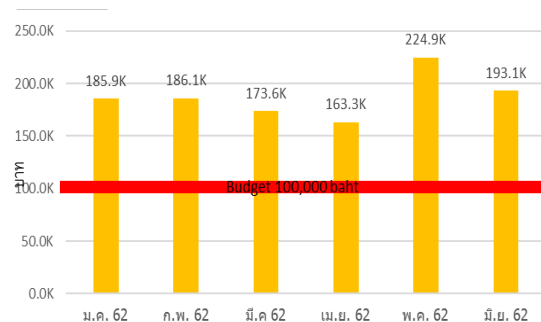
1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาจากข้อมูลการใช้เงินสด และการฝาก-ถอนเงินสด ตั้งแต่วันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2562 – 15 มิถุนายน พ.ศ. 2562 โดยเลือกข้อมูลจากศูนย์เงินสดจังหวัดภูเก็ต และวิเคราะห์เฉพาะธนบัตรคุณภาพดี ชนิดธนบัตร 1,000 500

และ 100 บาท โดยอัตราดอกเบี้ยนโยบายอยู่ที่ 1.75 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี



รูปที่ 1 กระแสเงินสดจากศูนย์เงินสดของธนาคารพาณิชย์ไปยังธนาคารแห่งประเทศไทยจังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการคั่นนับเงินสดจากศูนย์เงินสดกลางจังหวัดภูเก็ตไปยังธนาคารแห่งประเทศไทยตั้งแต่วันที่ 15 ม.ค. – 15 มิ.ย.62

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อที่ 2.1 อธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเบิกส่งเงินสด หัวข้อที่ 2.2 แสดงตัวแบบการพยากรณ์ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจ และ หัวข้อที่ 2.3 อธิบายตัวชี้วัดในการตัดสินใจเลือกตัวแบบพยากรณ์ด้วยความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ และหัวข้อที่ 2.4 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ

ค่าใช้จ่ายในการถือครองเงินสดเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการถือครองเงินสดไว้ที่ศูนย์เงินสด ค่าใช้จ่ายนี้จะคำนวณโดยอ้างอิงกับอัตราดอกเบี้ยนโยบายของธปท. ดังสมการที่ (1)

$$COF = I \times \sum_{t=1}^J \sum_{d=1}^3 EB(t, d) \quad (1)$$

เมื่อ COF คือ ค่าใช้จ่ายในการถือครองเงินสด

EB (t, d) คือ เงินสดสุทธิที่ศูนย์เงินสดถือครองที่เวลา t และชนิดธนบัตร d

I คือ อัตราดอกเบี้ยนโยบาย ร้อยละ 1.75 ต่อปี

t คือ ช่วงเวลาที่เรานสนใจเริ่มที่ 1 คือวันที่เรานสนใจ ถึงวันที่ J

d คือ ชนิดธนบัตรที่เรานสนใจ โดย 1 คือธนบัตรชนิด 1,000 บาท 2 คือธนบัตรชนิด 500 บาท และ 3 คือธนบัตรชนิด 100 บาท

ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Direct cost, DC) คือ 3,400 บาทต่อรอบ

ค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสด (Sorting cost) คิดที่ 20 บาท ต่อ มัด

โดยค่าใช้จ่ายในการถือครอง ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการคั่นเงิน เป็นค่าใช้จ่ายหลักที่สามารถชี้วัดได้ โดยจะไม่รวมถึงค่าเสียหายต่างๆ ที่ไม่สามารถตีเป็นตัวเลขชี้วัดได้เช่น ความพอใจของลูกค้า เป็นต้น

เงินสดคงเหลือ ณ สิ้นวัน (Ending Balance) เป็นเงินสดที่ถือครองไว้ภายในศูนย์เงิน ณ วันก่อนหน้าโดยคำนวณได้ตามสมการ (2) โดยเงินสดคงเหลือ ณ สิ้นวันนั้นต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ดังสมการที่ (3)

$$EB(t, d) = EB(t - 1, d) + (1,000 \times W(t, d) \times U(d)) - (1,000 \times DP(t, d) \times U(d)) - SO(t, d) + SI(t, d) \quad (2)$$

$$EB(t, d) \geq 0 \quad (3)$$

เมื่อ EB(t, d) คือ เงินสดคงเหลือ ณ สิ้นวัน

W(t, d) คือ จำนวนมัดที่ทำการถอนมาจากธปท.

SO(t, d) คือ เงินสดที่นำเข้าไปเติมสาขา หรือATMs ที่ต้องการ

SI(t, d) คือ เงินสดที่นำกลับมาหลังจากเข้าไปเติมสาขา หรือATMs ที่ต้องการ

t คือ ช่วงเวลาที่เรานสนใจเริ่มที่ 1 คือวันที่เรานสนใจ ถึงวันที่ J

d คือ ชนิดธนบัตรที่เรานสนใจ โดย 1 คือธนบัตรชนิด 1,000 บาท 2 คือธนบัตรชนิด 500 บาท และ 3 คือธนบัตรชนิด 100 บาท

2.2 การพยากรณ์ (Forecasting)

วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Simple Exponential Smoothing: ES) เป็นวิธีการพยากรณ์โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้เกิดการตอบสนองอย่างรวดเร็วกับการเปลี่ยนแปลงของความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่สนใจ โดยใช้พารามิเตอร์ (α) เป็นค่าน้ำหนักของค่าอุปสงค์จริงของเงินสดที่เกิดขึ้น ณ เวลา t (D_t) โดยการคำนวณค่าพยากรณ์สามารถทำได้ตามสมการ (4) [1]

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

โดยที่

t คือ ช่วงเวลาปัจจุบันที่ทำการพยากรณ์

F_{t+1} คือ ค่าพยากรณ์สำหรับช่วงเวลาถัดไป

D_t คือ ค่าความต้องการเงินสด

จริง ณ เวลา t

F_t คือ ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา

ปัจจุบัน t

α คือ ค่าน้ำหนักที่ให้กับความต้องการของค่าของ α มักมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 – 1.00

2.3 ความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์

ค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ตลอดช่วงเวลาของข้อมูลสามารถคำนวณเป็นค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Deviation) ดังสมการที่ (5) [2] [3]

$$\text{Absolute Deviation} = |e_t| = |y_t - \hat{y}_t| \quad (5)$$

นอกจากนี้ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลที่นำมาพยากรณ์ แสดงในรูปของร้อยละ เรียกว่า ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Percentage Error: APE) โดยคำนวณได้จากสมการ (6)และสามารถหาค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean

Absolute Percentage Error: MAPE) ได้จากอัตราส่วนของผลรวมของร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดดังสมการที่ (7)

$$APE_t = \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n APE_t}{n} \quad (7)$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cardona and Moreno [4] ได้พยากรณ์ความต้องการใช้เงินสด และออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อลดค่าใช้จ่ายการจัดการเงินสด การพยากรณ์ใช้ 2 วิธีการคือแบบจำลอง ARMA-ARCH และแบบจำลอง Neural Network ส่วนที่สองเป็นการออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นถดถอย เมื่อนำข้อมูลจริงของความต้องการใช้เงินสดมาใช้กับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 1.215 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง ARMA-ARCH ใช้ร่วมกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 36.183 เปอร์เซ็นต์ แต่กระแสเงินสดไม่เพียงพอสำหรับ 14 วัน เมื่อนำค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง Neural Network มาใช้ร่วมกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 13.604 เปอร์เซ็นต์ แต่กระแสเงินสดไม่เพียงพอ 8 วัน จากการวิจัยทั้ง 3 รูปแบบพบว่ามีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยไม่ใช้ค่าพยากรณ์เท่านั้นที่มีกระแสเงินสดเพียงพอเนื่องจากค่าพยากรณ์ยังมีความแม่นยำน้อย ผลการวิจัยครั้งนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้งานแบบอัตโนมัติเต็มระบบได้แต่สามารถนำไปเป็นแนวทางในการตัดสินใจจัดการเงินสดในสาขาอื่น ๆ ได้อีกหากทราบตัวแปรที่มีผลกับค่าใช้จ่ายในสาขา

Diao et al. [5] ได้วิเคราะห์การจัดการต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการบริหารเงินสดของการเติมเงินเข้าระบบของตู้ ATM ด้วยการแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 กระบวนการ โดยเริ่มจากกระบวนการ Inner Loop โดยวิเคราะห์ส่วนของต้นทุนดอกเบี้ยที่เกิดขึ้น และค่าใช้จ่ายในการเติมเงินสดเข้าตู้ ATM โดยกำหนดความต้องการถอนเงินสดเป็นค่าคงที่ เป็นค่าเฉลี่ยของความต้องการถอนเงินสดที่ได้จากตัวแบบจำลองเชิงเส้นกระบวนการถัดมา Outer Loop วิเคราะห์ใช้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเติมเงิน ต้นทุนดอกเบี้ย และค่าเสียโอกาสเมื่อลูกค้าต้องการถอนเงินสดแต่ตู้ ATM ไม่มีเงินสดเพียงพอในการบริการ กระบวนการนี้สุ่มค่าความต้องการถอนเงินสดด้วยวิธี Monte

Carlo เพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนเงินสดขั้นต่ำที่ควรมีในตู้ ATM จากนั้นกลับไปที่กระบวนการ Inner Loop วิเคราะห์อีกครั้งเพื่อได้ผลลัพธ์เป็นค่าจำนวนเงินสดที่แนะนำในการเข้าไปเติมเงินสดที่ตู้ ATM โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายลงจาก 9.6 ล้านบาทลงเป็น 9.2 ล้านบาท

Lázaro et al. [6] พิจารณาระบบขนส่งเงินสดระหว่างธนาคารพาณิชย์ โดยใช้ตัวแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยมีปัจจัยที่วิเคราะห์คือค่าพยากรณ์ความต้องการถอนเงินสด ซึ่งได้จากการใช้เงินสดในอดีตมาใส่เข้ากับ Machine Learning เพื่อประมวลผลมาเป็นค่าพยากรณ์ และใช้การทำให้ Robust Optimization ในการจัดการกับความไม่แน่นอนของความต้องการถอนเงินสด ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บของแต่ละสาขาลง 50,000 หน่วย

3. วิธีการดำเนินงาน

โปรแกรมการจัดการขนส่งเงินสดซึ่งวิเคราะห์ด้วยตัวแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มของงานวิจัยนี้แสดงผลเป็นปริมาณเงินสดที่ตัดสินใจ เบิก-ส่ง ไปยังธนาคารแห่งประเทศไทย โดยมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลสภาพปัจจุบัน

ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลปริมาณความต้องการเบิกเงินสดและฝากเงินสดของตู้ ATM และธนาคารพาณิชย์แต่ละเดือน และข้อมูลการเบิก-ส่งเงินสดของศูนย์เงินสด รวมถึงค่าพยากรณ์การเบิกส่งเงินสด และเงินสดคงเหลือที่ศูนย์เงินสดปัจจุบัน เพื่อใช้ในการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเงินสด

3.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเงินสดสำหรับธุรกิจการเงิน ธนาคาร ด้วยการวิเคราะห์จากแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mix Linear Programming Model) รวมถึงการพยากรณ์เงินสดโดยการวิเคราะห์แนวโน้มจากอนุกรมเวลา (Time Series Regression Method)

ในการหาค่าที่ดีที่สุดในการขนส่งเงินสดระหว่างศูนย์เงินสด และธนาคารแห่งประเทศไทย ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการขนส่ง พัฒนาเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม และคัดเลือกค่าพยากรณ์โดยการเลือกชุดพยากรณ์ที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยที่สุดมาใช้งาน

3.3 รวบรวมข้อมูลและสร้างตัวแบบในการตัดสินใจขนส่งเงินสด

รวบรวมข้อมูลแล้วพัฒนาเป็นตัวแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed Linear Programming Model) สมการเป้าหมาย (Objective Function) ของงานวิจัยนี้คือค่าใช้จ่ายรวม C ต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} \text{Min } C = & \text{Delivery Cost} + \text{Cost of fund} + \text{Sorting Cost} \\ \text{Min } C = & (DC \times \sum_{t=1}^J y(t) + z(t)) + (I \times \sum_{t=1}^J \sum_{d=1}^3 EB(t, d)) \\ & + (SC \times \sum_{t=1}^J \sum_{d=1}^3 (W(t, d) + DP(t, d))) \quad (8) \end{aligned}$$

เมื่อมีตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

$W(t, d)$ คือมัดธนบัตรที่ d ที่เบิกจากธนาคารแห่งประเทศไทยวันที่ t

$DP(t, d)$ คือมัดธนบัตรที่ d ที่นำส่งเข้าธนาคารแห่งประเทศไทยวันที่ t

$y(t)$ คือ ตัวแปรตัดสินใจหากมีการเบิกจะมีค่าเท่ากับ 1 กรณีอื่น เท่ากับ 0

$z(t)$ คือ ตัวแปรตัดสินใจหากมีการส่งจะมีค่าเท่ากับ 1 กรณีอื่น เท่ากับ 0

t คือ ช่วงเวลาที่เราส่งเงินเริ่มที่ 1 คือวันที่เราส่งเงิน ถึงวันที่ J

d คือ ชนิดธนบัตรที่เราสนใจ โดย 1 คือธนบัตรชนิด 1,000 บาท 2 คือธนบัตรชนิด 500 บาท และ 3 คือธนบัตรชนิด 100 บาท

ข้อจำกัดเพื่อให้การคำนวณได้สมการเป้าหมายที่ต้องการมีดังนี้

$$\sum_{d=1}^3 1000 \times W(t, d) \times U(d) \leq My(t), \forall t = 1, \dots, J \quad (11)$$

$$\sum_{d=1}^3 1000 \times DP(t, d) \times U(d) \leq Mz(t), \forall t = 1, \dots, J \quad (12)$$

$$\sum_{d=1}^3 1000 \times W(t, d) \times U(d) \leq 500,000,000, \forall t = 1, \dots, J \quad (13)$$

$$\sum_{d=1}^3 1000 \times DP(t, d) \times U(d) \leq 500,000,000, \forall t = 1, \dots, J \quad (14)$$

$$y(t) \leq C(t), \forall t = 1, \dots, J \quad (15)$$

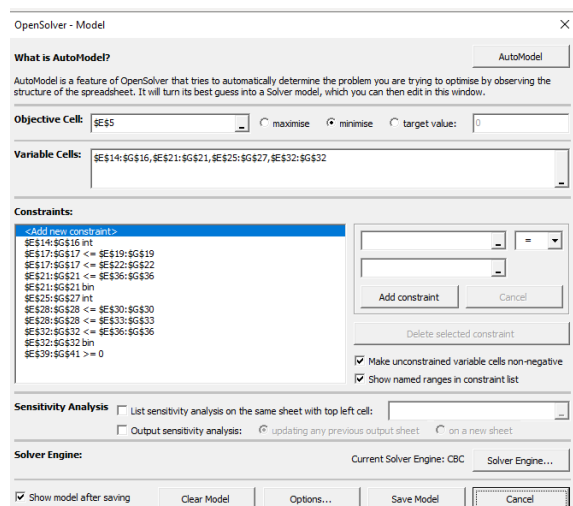
$$z(t) \leq C(t), \forall t = 1, \dots, J \quad (16),$$

เมื่อ $C(t)$ สถานะของธนาคารแห่งประเทศไทย 1 เปิดทำการ 0 ปิดทำการ

SC	20 บาท ต่อ มัด
DC	3,400 บาท ต่อ เที่ยว
I	ร้อยละ 1.75 ต่อ ปี
U (1)	1,000 บาท
U (2)	500 บาท
U (3)	100 บาท
J	วันสุดท้ายของแต่ละเดือน

โดยสมการ (11) และ (12) ระบุสถานการณ์ขนส่งเงิน สมการ (13) และ (14) ใช้สำหรับการกำหนดขีดจำกัดของรถขนส่งเงินสด และสุดท้ายสมการ (15) และ (16) ใช้ในการบอกขีดจำกัดวันเปิดปิดของธนาคารแห่งประเทศไทย

สมการเชิงเส้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความไม่แน่นอนของความต้องการใช้เงินในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ฤดูกาล เศรษฐกิจ เทคโนโลยี ซึ่งผู้วิจัยพยายามลดผลกระทบของข้อจำกัดนี้ โดยการพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ความต้องการการใช้เงินสด

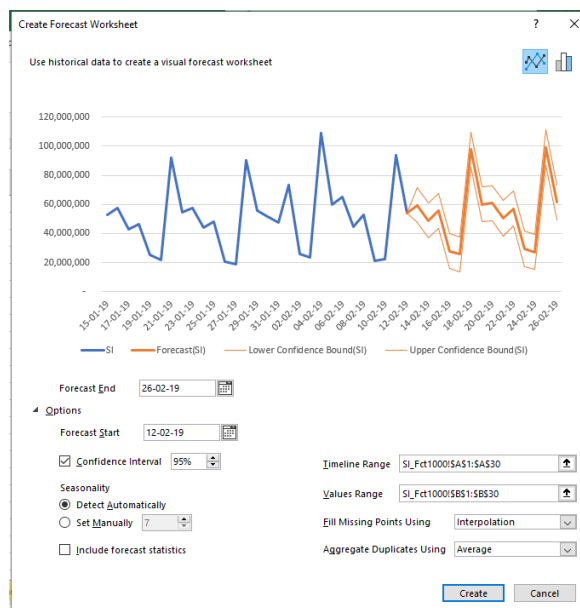


รูปที่ 3 การกำหนดสมการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มผ่านโปรแกรม Microsoft Excel ส่วนเสริม OpenSolver

ผู้วิจัยประมวลผลด้วย OpenSolver และกำหนดวิธีการเป็น CBC (COIN-OR Branch-and-Cut) ดังรูปที่ 3

3.4 พัฒนาค่าพยากรณ์ความต้องการถอน และฝากเงินสดที่ศูนย์เงินสด

ผู้วิจัยพัฒนาค่าพยากรณ์การถอน-ฝากเงินสดจากศูนย์เงินสดไปยังธนาคารพาณิชย์ และตู้ ATM โดยเริ่มใช้ข้อมูล 30 วันพิจารณาข้อมูลในอดีตนำมาเทียบกับอนุกรมเวลาพบว่าข้อมูลมีแนวโน้มฤดูกาลผู้วิจัยจึงนำเครื่องมือการพยากรณ์รูปแบบ The AAA version of The Exponential Smoothing ที่สามารถใส่ค่าแนวโน้มฤดูกาลโดยการปรับค่า Beta และ Gamma ในการวิเคราะห์และกำหนดเงื่อนไขระดับความเชื่อมั่นของค่าพยากรณ์ดังรูปที่ 4 [7]



รูปที่ 4 การพยากรณ์การถอน-ฝากเงินสดจากศูนย์เงินสดไปยังธนาคารพาณิชย์ และตู้ ATM ตั้งแต่วันที่ 1 เม.ย. 62 ถึง 30 เม.ย. 62

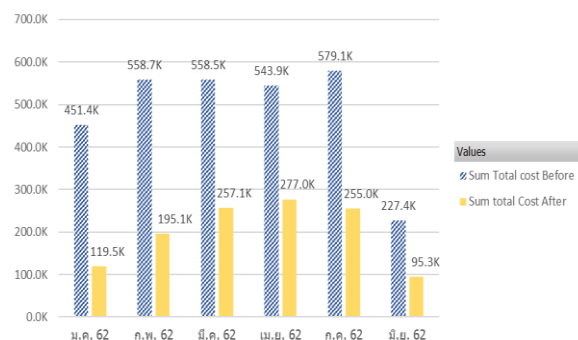
4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน 1.ผลจากการพัฒนาการตัดสินใจด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Add – in OpenSolver 2.ผลจากพัฒนาค่าพยากรณ์ 3.ผลจากพัฒนาจุดออกค่าสั่งเบิกเงินสดเข้า

4.1 ผลการตัดสินใจขนส่งเงินสดด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Add – in OpenSolver

ผลที่ได้จากการใช้ตัวแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มที่สามารถลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขนส่งเงินสดไปได้มากกว่าร้อยละ 59 จากค่าใช้จ่ายก่อนใช้แบบจำลอง โดยเดือนมกราคม 2562 ลดลงร้อยละ 74 เดือนกุมภาพันธ์ 2562

ลดลงร้อยละ 65 เดือนมีนาคม 2562 ลดลง ร้อยละ 54 เดือนเมษายน 2562 ลดลงร้อยละ 49 เดือนกรกฎาคม 2562 ลดลงร้อยละ 56 และเดือนมิถุนายน 2562 สามารถลดได้ร้อยละ 58 ดังรูปที่ 5 โดยเฉลี่ยสามารถลดค่าใช้จ่ายในการคั่นบ่อต่อเดือนได้ ประมาณร้อยละ 56 ลดค่าใช้จ่ายในการถือครองเงินสด ประมาณร้อยละ 73 และลดค่าใช้จ่ายในการส่งประมาณร้อยละ 10



รูปที่ 5 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมด ก่อน และหลังการใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการคั่นบ่อซึ่งมีการตั้งงบประมาณไว้ต่อเดือนอยู่ที่ 100,000 บาท โดยผลลัพธ์ที่ได้ส่วนมากทำได้ตามงบประมาณที่ตั้งไว้ ดังรูปที่ 6

4.2 การเลือกค่าพยากรณ์ความต้องการถอน และฝากเงินสดที่ศูนย์เงินสด

เมื่อใช้ส่วนเสริมในโปรแกรม Excel Add-in Forecast Sheet และรูปแบบการพยากรณ์เป็น the AAA version of the Exponential Smoothing ในการพัฒนาค่าพยากรณ์ดังรูปที่ 18 ได้ผลลัพธ์ในเดือนเมษายน 2562 แบ่งตามประเภทการใช้เป็นฝากเงินสด และถอนเงินสดจากศูนย์เงินสดโดยแบ่งเป็นธนบัตร 1000 บาท 500 บาท 100 บาทโดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ดังตารางที่ 1 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ดังนี้

การฝากเงินเข้าศูนย์เงินสด ชนิดธนบัตร 1000 บาท ใช้ค่าพยากรณ์เดิมค่า MAPE 60%

การฝากเงินเข้าศูนย์เงินสด ชนิดธนบัตร 500 บาท ใช้ค่าพยากรณ์เดิมค่า MAPE 70%

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของค่าพยากรณ์ที่ใช้ในปัจจุบัน และค่าพยากรณ์ด้วย The AAA version of the Exponential Smoothing

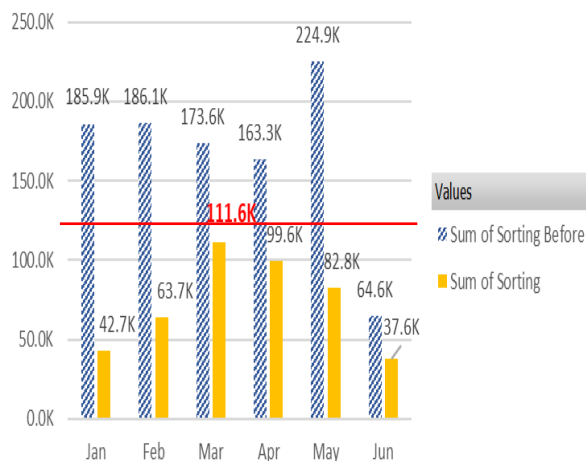
ดัชนี	การฝากเงินเข้าสู่ศูนย์เงินสด						การเบิกเงินจากศูนย์เงินสด					
	ธนบัตร 1000		ธนบัตร 500		ธนบัตร 100		ธนบัตร 1000		ธนบัตร 500		ธนบัตร 100	
	ค่าพยากรณ์		ค่าพยากรณ์		ค่าพยากรณ์		ค่าพยากรณ์		ค่าพยากรณ์		ค่าพยากรณ์	
	ค่าพยากรณ์เดิม	Exponential Smoothing	ค่าพยากรณ์เดิม	Exponential Smoothing	ค่าพยากรณ์เดิม	Exponential Smoothing	ค่าพยากรณ์เดิม	Exponential Smoothing	ค่าพยากรณ์เดิม	Exponential Smoothing	ค่าพยากรณ์เดิม	Exponential Smoothing
MPAE	60%	173%	70%	74%	164%	62%	82%	20%	44%	14%	33%	13%

การฝากเงินเข้าสู่ศูนย์เงินสด ชนิดธนบัตร 100 บาท ใช้ค่าพยากรณ์ด้วยวิธี The AAA version of The Exponential Smoothing ค่า MAPE 62%

การเบิกเงินจากศูนย์เงินสด ชนิดธนบัตร 1000 บาท ใช้ค่าพยากรณ์ ด้วยวิธี The AAA version of The Exponential Smoothing ค่า MAPE 20%

การเบิกเงินจากศูนย์เงินสด ชนิดธนบัตร 500 บาท ใช้ค่าพยากรณ์ ด้วยวิธี The AAA version of The Exponential Smoothing ค่า MAPE 14 %

การเบิกเงินจากศูนย์เงินสด ชนิดธนบัตร 100 บาท ใช้ค่าพยากรณ์ ด้วยวิธี The AAA version of The Exponential Smoothing ค่า MAPE 13%



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสดก่อนและหลังใช้โปรแกรมตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ตั้งแต่วันที่ 16 มี.ค.62 ถึง 15 มิ.ย.62

4.3 พัฒนาจุดออกคำสั่งเบิกเงินสดซ้ำ (Reorder Point) ในแบบจำลองคณิตศาสตร์

ผลการตัดสินใจด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรมและใช้ค่าพยากรณ์ที่ได้ ณ เดือน เมษายน 2562 พบว่าเมื่อเทียบกับค่าจริงในการเบิก และถอนเงินสดของศูนย์

เงินสด มีกระแสเงินสดติดลบ 11 วัน ผู้วิจัยได้เพิ่ม ปริมาณเงินสดขั้นต่ำเข้าไปในแบบจำลองโดยใช้วิธีการคำนวณดังสมการ (8) [8]และเพิ่มจุดออกคำสั่งเบิกเงินสดซ้ำ(Reorder Point) โดยกำหนดขั้นต่ำของเงินคงเหลือสิ้นวันต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ จำนวนที่คำนวณได้จากสมการ (9) [9]เพื่อไม่ให้เกิดกระแสเงินสดติดลบ

$$SS = SD \times k \times \sqrt{LT} \quad (8)$$

เมื่อ SS คือ ปริมาณเงินสดขั้นต่ำ

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพยากรณ์การเบิกเงินสดจากศูนย์เงินสด ณ เดือน เมษายน

k คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แปรผันกับระดับการให้บริการ (Service Level)

LT คือ จำนวนวันที่ใช้ในการเบิกเงินหากไม่เพียงพอเท่ากับ 1

เมื่อทำการแทนค่าด้วยเงื่อนไขที่ระดับการบริการ 95 เปอร์เซนต์ จะได้ค่า k เท่ากับ 1.64

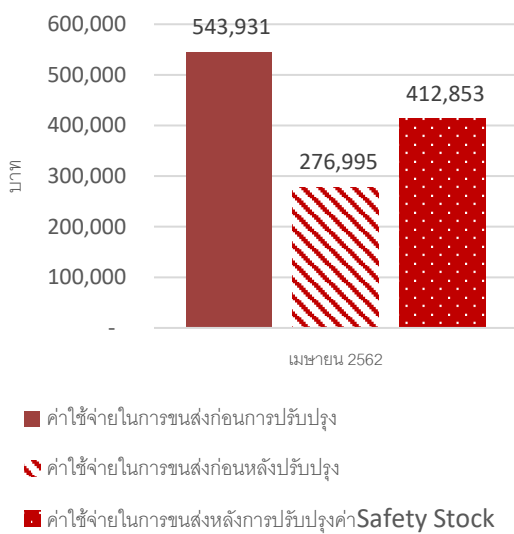
$$ROP(d) = LT \times \frac{\sum_{t=1}^d SO(t, d)}{2n} + SS \quad \forall d = 1, 2, 3 \quad (9)$$

เมื่อ $ROP(d)$ คือ จุดออกคำสั่งเบิกเงินสดซ้ำ

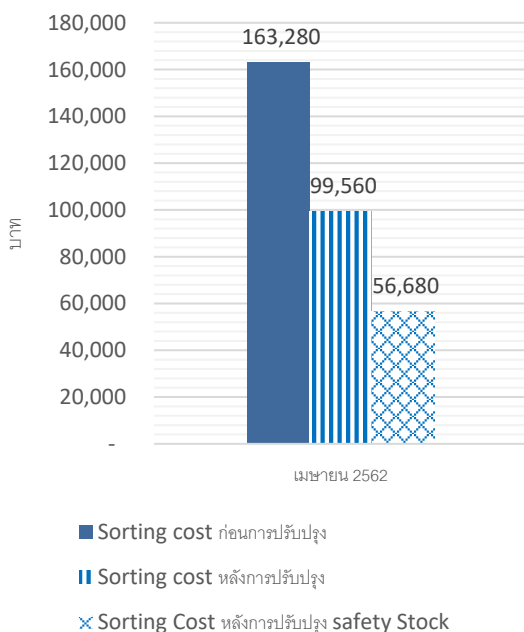
ได้จุดออกคำสั่งเบิกเงินสดชนิดธนบัตร 1,000 บาท อยู่ที่108,574,467 บาท ธนบัตร 500 บาท อยู่ที่ 9,606,123 บาท ธนบัตร 100 บาท อยู่ที่ 5,443,629 บาท เมื่อเงินสดคงเหลือสิ้นวันน้อยกว่าจำนวนนี้ให้หาคำสั่งเบิกเงินสดเข้าสู่ศูนย์เงินสดโดยเพิ่มเงื่อนไขดังสมการ(10) เข้าไปในแบบจำลองคณิตศาสตร์

$$EB(t, d) \geq ROP(d) \quad \forall d = 1, 2, 3 \quad (10)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองทำให้จำนวนรอบการขนส่งจากเฉลี่ย 19 ครั้งต่อเดือนลดลงเหลือ 13 ครั้งต่อเดือน และจำนวนมัดเงินสดที่ออกคำสั่งเบิกส่งแต่ละครั้งลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดดังรูปที่ 7 ที่เกิดขึ้นหลังจากการเพิ่มจุด Reorder Point ลดลง ร้อยละ 24 จากค่าใช้จ่ายก่อนการปรับปรุง โดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 412,853 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสด ลดลงร้อยละ 65 อยู่ที่ 56,680 บาท ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมด ก่อนและหลังการปรับปรุงในเดือนเมษายน 2562



รูปที่ 8 ค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสด ก่อนและหลังการปรับปรุงในเดือนเมษายน 2562

4.4 การทดสอบความไวต่อตัวแปรตัดสินใจ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดนี้เมื่อทำการทดสอบความไวต่อตัวแปรตัดสินใจพบว่าเมื่อจำนวนมัดเงินสดที่นำฝากหรือส่งธนาคารแห่งประเทศไทยเพิ่มโดยอัตราดอกเบี้ยนโยบายคงที่ค่าใช้จ่ายจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน และหากอัตราดอกเบี้ยเพิ่มในขณะที่จำนวนมัดเงินสดคงที่ค่าใช้จ่ายรวมก็จะเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบค่าความไวต่อตัวแปรตัดสินใจ

จำนวนมัดเงินสด	อัตราดอกเบี้ย				
	1.00%	1.25%	1.50%	1.75%	2.00%
50	10,267	11,733	13,200	14,667	16,133
100	12,637	14,446	16,255	18,064	19,873
150	15,006	17,158	19,310	21,461	23,613
200	17,376	19,870	22,364	24,859	27,353

5. สรุปผลและเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจฝาก และถอนเงินสดจากธนาคารแห่งประเทศไทย รวมถึงการพัฒนาค่าพยากรณ์การฝาก-ถอนเงินสด เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดหลังจากพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ระบุตัวแปรต่าง ที่ใช้ในการตัดสินใจเข้าไปเพิ่มจุด Reorder Point รวมถึงการพัฒนาค่าพยากรณ์ในการฝากเงิน และถอนเงินสดจากศูนย์เงินสดด้วยโปรแกรมเสริม The AAA version of the Exponential Smoothing ให้กับตัวแบบทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขนส่งนั้นลดลงร้อยละ 24 และค่าใช้จ่ายในการคั่นเงินสดลดลงร้อยละ 65 ทำให้สามารถคุมค่าใช้จ่ายได้ตามงบประมาณที่ตั้งไว้

เนื่องจากการพยากรณ์ปริมาณเงินสดนั้นมีตัวแปรที่ไม่แน่นอนอยู่มาก เช่น ฤดูกาล วันหยุด หรือเทศกาลต่างๆ ที่แต่ละปีจะมีความแตกต่างกันตามช่วงของเวลา ทำให้ค่าพยากรณ์จำเป็นต้องมีการถูกนำมาพยากรณ์ใหม่เพื่อพัฒนาความแม่นยำในอนาคต และเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจเบิก และส่งเงินสดควรทำการประมวลผลซ้ำในทุกวัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการใช้งานแต่ละวัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพนักงานบริษัทธนาคีรศึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ขอขอบคุณผศ.ดร.วรวิทย์ หวังวัชรกุลและผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำในการนำเสนอการแก้ไขปัญหา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, ทฤษฎีการจัดการพัสดุคงคลัง และการประยุกต์ใช้สำหรับตัวแบบพัสดุคงคลังดีเทอมินิสติกแบบต่อเนื่อง, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559.
- [2] B. L. Bowerman, R. T. O'Connell, and A. B. Koehler, *Forecasting, Time Series, and Regression : an Applied Approach*, Belmont, CA : Thomson Brooks/Cole, 2005.
- [3] พรชัยพร ไตรวิเศษ และ วรวิทย์ หวังวัชรกุล, "แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์และพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานีรถไฟฟ้า," in *The Conference of Industrial Engineering Network (IE NETWORK 2020)*, 2563.
- [4] L. Cardona and L. A. Moreno, "Cash management cost reduction using data mining to forecast cash demand and LP to optimize resources," *Memetic Computing.*, vol. 4, no. 2, pp. 127-134, 2012.
- [5] Y. Diao, R. Sarkar, and E.-E. Jan, "Optimizing ATM Cash Flow Network Management," in *NOMS 2016-2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 2016.
- [6] J. L. Lázaro, Á. B. Jiménez, and A. Takeda, "Improving cash logistics in bank branches by coupling machine learning and robust optimization," *Expert Systems With Applications.*, vol. 92, pp. 236-255, 2018.
- [7] S. Cheusheva, "How to forecast in Excel: linear and non-linear forecasting methods," [Online]. Available: <https://www.ablebits.com/office-addins-blog/2019/03/20/forecast-excel-linear-exponential-smoothing-forecasting-models/#:~:text=Exponential%20smoothing%20forecasting%20in%20Excel,seasonality%20p>atterns%20and%20confidence%20intervals. [Accessed 9 October 2020].
- [8] A. Ongkicynthia and J. Rahardjo, "Replenishment Strategy Based on Historical Data and Forecast of Safety Stock," in *2017 International Conference on Soft Computing, Intelligent System and Information Technology (ICSIT)*, 2017.
- [9] D. A. Efrilianda and R. R. Isnanto, "Inventory Control Systems with Safety Stock and Reorder Point Approach," in *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 2018.