วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา
Engineering Journal of Research and Development
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage
ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2563
Volume 31 Issue 2 April-June 2020
Received 3 April 2019
Revised 9 August 2019
Accepted 16 August 2019
Physical Sciences

# การประเมินค่าซ่อมอุปกรณ์รีเฟอร์บิชด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

# COST ESTIMATE OF REPAIRINGREFURBISH EQUIPMENT USING MULTIPLE REGRESSION MODEL

จุฑาทิพย์ ลีลาธนาพิพัฒน์[1*] และ ปิยพล ไพจิตร[2]
[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
[2] อาจารย์ประจำ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
*Corresponding Author: jutathiplee@pim.ac.th

**บทคัดย่อ**

*งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์รีเฟอร์บิชด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Regression Model) โดยปัญหาที่พบคือ ตู้แช่เปิดหน้ามีจำนวนแจ้งซ่อมสูงกว่าอุปกรณ์ทุกประเภทและอีกทั้งยังมีอายุการใช้งานมายาวนานทำให้มีจำนวนของตู้แช่เปิดหน้าเป็นจำนวนมากที่ต้องทำการรีเฟอร์บิช แล้วยังส่งผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาอุปกรณ์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการหาตัวแบบในการพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Regression Model)พร้อมทั้งได้ดำเนินการตรวจสอบทุกข้อตกลงเบื้องของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณนำมาสู่สมการถดถอยที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ3 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าซ่อมที่ระดับนัยสำคัญ0.05ได้แก่จำนวนครั้งที่ซ่อมราคาสั่งซื้ออุปกรณ์และอายุการใช้งาน โดยสมการถดถอยที่ประมาณได้ คือ Repair = -57+425.1Numofrepair + 0.00804 Price +1285.21Lifetime มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว ($R^2_{adj}$) เท่ากับ 83% และร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ของสมการตัวแบบพยากรณ์ค่าซ่อม (Repair) มีค่าเท่ากับ 25.54%*

**คำสำคัญ:** แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ค่าซ่อมอุปกรณ์รีเฟอร์บิช

**ABSTRACT**

*The objective of this research is to find a model for forecasting repair costs of refurbish equipment with the technique of Multiple Regression Model. The problem is the open-front freezers have more number of repair reports higher than all types of equipment and also has a long service life. Resulting in a large number of open-front freezers that needs to be refurbished. Due to the equipment is not being used, therefore, the research team is interested in finding a model for forecasting the repair cost of the equipment using the multiple linear regression model and examination of the agreement of the multiple regression model.*

*Along with checking all the terms of the multiple linear regression model brought to the regression equation consisting of 3 independent variables that are related to the repair cost at the significant level of 0.05 are the number of times repaired, the*

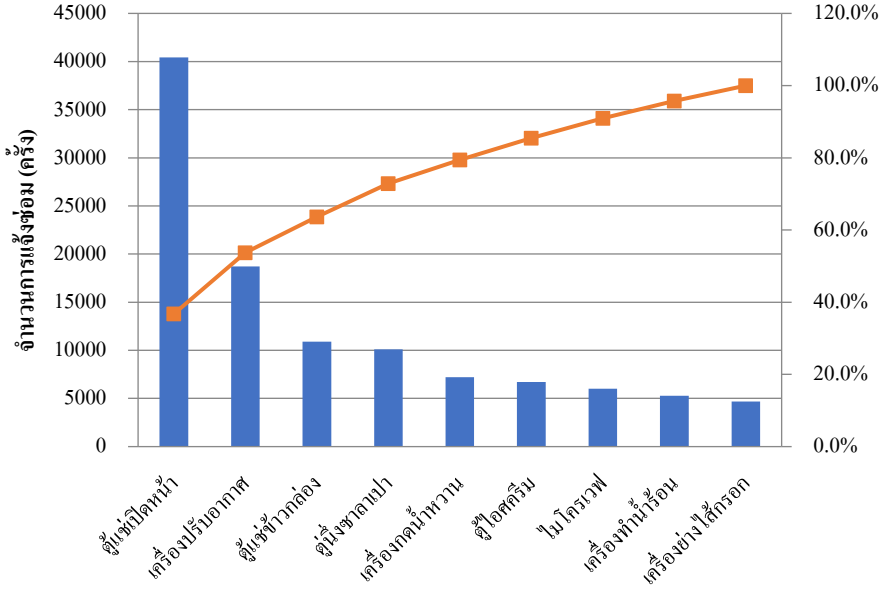
Jutathip Leelathanapipat[1*] and Piyaphon Paichit[2]
[1]Assistant Professor in Industrial Engineering Department of Industrial Engineering, Panyapiwat Institute of Management
[2]Lecturer Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University

*purchase price of the equipment, and the service life. The estimated regression equation is Repair = -57 + 425.1Numofrepair + 0.00804. Price + 1285.21Lifetime with the adjusted decision coefficient ($R^2_{adj}$) equal to 83% and the percentage of absolute average error (MAPE) of the model equation, repair forecast value is 25.54%*

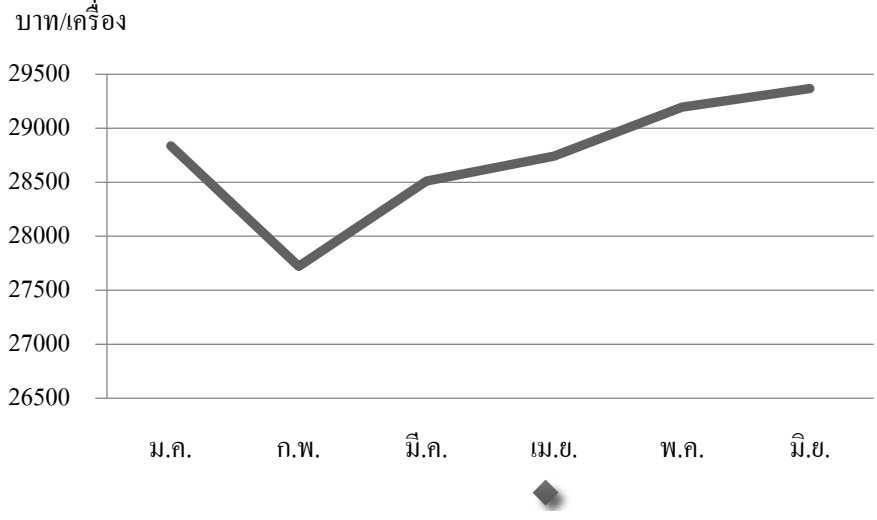
**KEYWORDS:** Multiple Regression Model, Cost of Refurbish Equipment.

## 1. บทนำ

แผนกกรณีศึกษาเป็นแผนกรับผิดชอบอุปกรณ์เครื่องร้อนและเครื่องเย็น สำหรับธุรกิจค้าปลีกประเภทร้านค้าสะดวกซื้อ โดยแผนกมีหน้าที่ตรวจเช็คและประเมินการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์รีเฟอร์บิช โดยความหมายของอุปกรณ์รีเฟอร์บิช หมายถึง อุปกรณ์ที่พบว่ามีปัญหา แล้วถูกส่งกลับคืนไปยังผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย โดยทำการปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน จากที่ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์รีเฟอร์บิชที่ถูกจัดเก็บอยู่ในคลัง ได้แก่ ตู้อุ่นซาลาเปาไมโครเวฟเครื่องย่างไส้กรอก เครื่องกดน้ำร้อนตู้ไอศครีมตู้แช่ข้าวกล่องเครื่องกดน้ำหวาน เครื่องปรับอากาศ และตู้แช่เปิดหน้า เป็นต้น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจำนวนการแจ้งซ่อมของอุปกรณ์รีเฟอร์บิชตั้งแต่เดือนมกราคม- มิถุนายน พ.ศ. 2561 พบว่าอุปกรณ์ที่มีจำนวนการแจ้งซ่อมที่สูงสุดได้แก่ ตู้แช่เปิดหน้า (Open Showcase) ซึ่งมีจำนวนแจ้งซ่อม 40,423 ครั้ง ดังรูปที่ 1 ส่งผลทำให้ค่าซ่อมอุปกรณ์มีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 อีกทั้งเมื่ออุปกรณ์ที่ถูกรีเฟอร์บิชเรียบร้อยแล้ว ไม่ได้ถูกนำกลับไปใช้งานที่ร้าน เนื่องจากแผนกรับผิดชอบอุปกรณ์ไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะตัดสินใจว่าควรจะซ่อมหากค่าซ่อมไม่แพงมากหรือไม่ควรซ่อมถ้าค่าซ่อมแพงเกินไปอาจทำให้การซ่อมแซมอุปกรณ์ไม่คุ้มกับการลงทุน ดังนั้นหากสามารถพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์ เราจะสามารถประหยัดเงินลงทุนในการจัดซื้ออุปกรณ์ใหม่ได้




**รูปที่ 1** จำนวนการแจ้งซ่อมของอุปกรณ์รีเฟอร์บิชตั้งแต่เดือนมกราคม- มิถุนายน พ.ศ. 2561




**รูปที่ 2** ค่าซ่อมของอุปกรณ์รีเฟอร์บิชตั้งแต่เดือนมกราคม- มิถุนายน พ.ศ. 2561

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีผู้ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้ เช่น งานวิจัยของประมินทร์ [1]ทำการวิจัยโดยการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ซ่อมบำรุงรถยนต์บรรทุกเททำ้าย 10 ล้อ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ อายุการใช้งาน ระยะทางที่ใช้งาน ภูมิประเทศที่ปฏิบัติงานพื้นที่ราบสูง ภูมิประเทศที่ปฏิบัติงานพื้นที่สูงชัน ดอย มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงรถยนต์บรรทุกเททำ้าย 10 ล้อ ในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนไกรวิทย์ [2] สำหรับการประเมินผลการบำรุงรักษาเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนต่างๆ นั้นควรมีวิธีการประเมินที่เข้าใจง่าย โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้ อัตราการขัดข้องของเครื่องจักรหรือจำนวนครั้งในการขัดข้อง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุง เป็นต้น ในลักษณะเดียวกันคือสุวิทย์และปารเมศ [3] ทำการศึกษาการปรับปรุงงานบำรุงรักษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการค้นหาสาเหตุของปัญหาการใช้เวลามากในงานบำรุงรักษาด้วยการระดมสมองจากทีมงานที่มีความรู้และประสบการณ์ในการทำงานแล้วพิจารณาแนวทางแก้ไขปรับปรุงที่ให้ผลเรื่องการประหยัดพลังงาน ซึ่งตัวแปรเกี่ยวข้องในการติดตามผลได้แก่ เวลาปฏิบัติงาน บำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในงานบำรุงรักษา และความน่าเชื่อถือในการผลิตของโรงงาน (%Plant Reliability)

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถบอกได้ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงนั้น ส่วนใหญ่จะพบว่าเป็นเรื่องของจำนวนครั้งในการขัดข้อง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา และอายุการใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพยากรณ์ค่าซ่อม โดยสามารถกำหนดตัวแปรในการพยากรณ์ได้ดังนี้คือจำนวนครั้งในการซ่อม (ครั้ง)ราคาสั่งซื้ออุปกรณ์ (บาท) อายุการใช้งาน (ปี) โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อหาแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์รีเฟอร์บิชด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Regression Model)

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นวิธีการทางสถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้น(อิสระ)แล้วนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม การวิเคราะห์การถดถอยที่มีตัวแปรตาม

1 ตัว แต่มีตัวแปรต้น(อิสระ) หลายตัว เรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)แบบจำลองถดถอยเมื่อมีตัวแปรต้น(อิสระ) k ตัวแปร สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \cdots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i, \; i=1,2,...,n \quad (1)$$

โดยที่ $Y_i$ คือตัวแปรตาม $\beta_0, \beta_1, ..., \beta_k$ เป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองถดถอย $\varepsilon_i$ เป็นความคลาดเคลื่อนสุ่ม จากสมการ (1) สามารถเขียนให้อยู่ในของรูปเมตริกซ์เป็นดังนี้

$$Y_{n\times 1} = X_{n\times p}\beta_{p\times 1} + \varepsilon_{n\times 1} \quad (2)$$

โดยที่ $p = k + 1$และเนื่องจากสมการ(1) มีพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าจึงต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนั่นคือการหาค่า$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, ... \hat{\beta}_k$หรือ$\hat{\beta}_{p\times 1}$ที่ทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำสุด จะได้สมการปกติ (3) คือ

$$X^T X\hat{\beta} = X^T X \quad (3)$$

เมื่อแก้สมการปกติทำให้ได้ค่าประมาณของพารามิเตอร์ สมการ (4) คือ

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (4)$$

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทั้งหมด kตัว($\beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$)ว่ามีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้าไม่เท่ากับศูนย์แสดงว่าตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน โดยมีขั้นตอนอยู่ 2ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกทำการทดสอบสมมติฐานว่าพารามิเตอร์ทั้งหมด *k*ตัวมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดหรือไม่ โดยมีสมมติฐานหลักคือ ตัวแปรอิสระทั้งหมด *k* ตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามหรือพารามิเตอร์ทั้งหมด *k*ตัวมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด ($H_0: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0$)เทียบกับสมมติฐานรองคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามหรือมีพารามิเตอร์อย่างน้อย 1 ตัวที่ไม่เป็นศูนย์ ($H_1$:มี$\beta_j$อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับ 0 ; $j = 1,2, ..., k$)ด้วยตัวสถิติทดสอบ สมการ (5) คือ

$$F = \frac{(\hat{\beta}^T X^T Y - n\bar{Y}^2)/k}{(Y^T Y - \hat{\beta}^T X^T Y)/(n-k-1)} \quad (5)$$

โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อค่า P-valueน้อยกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ และขั้นตอนที่ *2* จะทำการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์แต่ละตัว ($\beta_j$: $j = 1,2, ..., k$)ว่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ หากเท่ากับศูนย์แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีสมมติฐานหลักในการทดสอบคือตัวแปรอิสระตัวที่ j ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามหรือพารามิเตอร์ตัวที่ *j* มีค่าเป็นศูนย์ ($H_0: \beta_j = 0; j = 1,2, ..., k$)เทียบกันสมมติฐานรองคือตัวแปรอิสระตัวที่ *j* มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามหรือพารามิเตอร์ตัวที่ j มีค่าเป็นศูนย์ ($H_1: \beta_j \neq 0; j = 1,2, ..., k$)ด้วยตัวสถิติทดสอบ สมการ (6)คือ

$$t = \frac{\hat{\beta}_j}{SE(\hat{\beta}_j)} \quad (6)$$

เมื่อ $SE(\hat{\beta}_j)$คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ$\beta_j$ โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อค่า P-value น้อยกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ)

แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณที่แสดงในสมการที่ (1) นั้นประกอบด้วยตัวแปรตาม (Y) ตัวแปรอิสระ (X) และความคลาดเคลื่อนสุ่ม($\varepsilon$)อย่างไรก็ตามหากปล่อยให้ $\varepsilon$ เคลื่อนไหวได้อย่างเสรีอาจจะทำให้ไม่สามารถบอกได้ถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีสาเหตุมาจากตัวแปรอิสระหรือไม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมการเคลื่อนไหวของ $\varepsilon$โดยการกำหนดเป็นข้อสมมุติเบื้องต้น ดังนี้ $\varepsilon$ เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่เป็น $\sigma^2(\varepsilon \sim N(0,\sigma^2))$และ $\varepsilon_i \varepsilon_j$ เป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบและแก้ไขข้อสมมุติในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในบทความนี้ มีดังนี้

1. ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยใช้สถิติทดสอบโคลโมโกรอฟ โดยมีสมมติฐานหลัก คือ ข้อมูลมีการแจกแจงปกติและสมมติฐานรองคือข้อมูลไม่มีการแจกแจงปรกติ ($H_0$.ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ เทียบกับ$H_1$:ข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ) และตัวสถิติทดสอบสมการ (7)คือ

$$D = max\ |F(x) - S(x)| \tag{7}$$

เมื่อ$F(x)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมภายใต้สมมติฐานหลัก และ $S(x)$คือความน่าจะเป็นสะสมของตัวอย่าง โดยที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อค่า P-value น้อยกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ)

2. ตรวจสอบความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนโดยสถิติโกลด์เฟรดและควอนท์ (Goldfeld and Quandt) โดยมีสมมติฐานหลักคือความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่ และสมมติฐานรองคือความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ($H_0$:ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่เทียบกับ $H_1$:ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่) มีขั้นตอนการทดสอบ มีดังนี้

2.1เรียงลำดับค่าตัวแปรอิสระ( $X_i$: i=1,2,…,n) จากสูงไปต่ำหรือจากต่ำไปสูง

2.2กำหนดจำนวนตัวอย่างตรงกลาง (Numbers of Central Observation) จะต้องนำไปตัดออกจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเพื่อแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่มีค่าต่ำและชุดที่มีค่าสูง จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมที่ต้องตัดควรอยู่ประมาณ 1 ใน 4 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

2.3หาตัวแบบจำลองถดถอยทั้งสองกลุ่ม แล้วคำนวณหาผลบวกกำลังสองของส่วนเหลือ (Sum of Squared Residual: $\sum e_i^2$) จากนั้นคำนวณสัดส่วน จากสมการ (8) คือค่าตัวสถิติ $F^*$

$$F^* = \frac{\sum e_2^2}{\sum e_1^2} \tag{8}$$

โดยที่ตัวสถิติ $F^*$ จะมีการแจกแจงแบบ F ซึ่งมีชั้นความเป็นอิสระทั้งเศษและส่วนเท่ากัน คือ [(n -c)/2] – k ถ้าค่าความแปรปรวนทั้งสองเท่ากัน$F^*$ เป็น 1 นั่นคือความคลาดเคลื่อนคงที่ แต่ถ้าความแปรปรวนแตกต่างกันจะทำให้ค่า $F^*$ มีค่าสูง (ทั้งนี้กำหนดตัวแบบทดสอบว่า $\sum e_2^2 > \sum e_1^2$) ในการตัดสินว่าจะปฏิเสธหรือยอมรับสมมติฐาน แล้วเปรียบเทียบค่า $F^*$ กับค่า F ที่ได้จากตารางสถิติ F ภายใต้ระดับความมีนัยสำคัญที่กำหนด(ค่า Fจากตารางหาได้โดยดูค่าชั้นความเป็นอิสระที่ $v_1=v_2=(n-c-2k)/2)$โดย c คือจำนวนข้อมูลที่ถูกตัดทิ้ง

การแก้ไขเมื่อความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติหรือมีความแปรปรวนไม่คงที่ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการแปลงของบ็อกและค็อกมีสูตรการแปลง สมการ (9)คือ

$$Y_i^{\lambda} = \begin{cases} \frac{Y_i^{\lambda}-1}{\lambda} & \text{ถ้า} \quad \lambda \neq 0 \\ \ln(y_i) & \text{ถ้า} \quad \lambda = 0 \end{cases} \tag{9}$$

เมื่อ $Y_i$ คือค่าของข้อมูล และ $\lambda$ คือค่าคงที่

3.ตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อนใช้การทดสอบ Durbin – Watson ซึ่งคิดโดย J.Durbin และ G.S. Watson โดยมีสมมติฐานหลักคือคือความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันและสมมติฐานรองคือความคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกัน ($H_0$: ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน เทียบกับ $H_1$:ความคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกัน) โดยตัวสถิติทดสอบ สมการ (10) คือ

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \tag{10}$$

เมื่อ$e_t = Y_t - \hat{Y}_t, t = 1,2,\dots,n$และ n เป็นจำนวนค่าสังเกต

4. ตรวจสอบภาวะร่วมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ หากเกิดภาวะร่วมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระขึ้นในแบบจำลองจะทำให้ไม่สามารถแยกอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตามในแบบจำลองได้เนื่องจากไม่สามารถประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ แยกออกจากกันได้ การตรวจสอบภาวะร่วมเชิงเส้นจะพิจารณาค่า Variance Inflation Factor (VIF) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (11)

$$VIF = \frac{1}{1 - r^2_{X_j}(X_1, \dots X_{j-1}, X_{j+1}, \dots, X_k)} \tag{11}$$

เมื่อ $r^2_{X_j}(X_1, \dots X_{j-1}, X_{j+1}, \dots, X_k)$คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ $X_j$ กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่เหลือ ถ้าหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งของ VIF เหล่านี้มีค่าสูง สามารถสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์กันสูงระหว่างตัวแปรอิสระ ซึ่งกฎคือ เมื่อ VIF มีค่ามากกว่า 10 แสดงว่าเกิดภาวะร่วมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) อย่างรุนแรง[4]

**2.2 การวัดความเหมาะสมและความแม่นยำของแบบจำลองฤดูกาล**

เป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์แตกต่างจากค่าจริงมากน้อยเพียงใด ณ ช่วงเวลา t เดียวกับใดๆ หรือทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error, MAPE) เป็นการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ แสดงดังสมการ(12)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{e_i}{Y_i}\right| \times 100\%}{n} \tag{12}$$

โดย $Y_i$ หมายถึง ค่าข้อมูลจริงค่าที่ i, i=1,2,…,n

$\hat{Y}_i$ หมายถึง ค่าข้อมูลพยากรณ์ค่าที่ i, i=1,2,…,n

$e_i$ หมายถึง ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ค่าที่ i, i=1,2,…,n

$e_i = Y_i - \hat{Y}_i$; i=1,2,…,n

n หมายถึง จำนวนข้อมูล

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุและสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุที่ปรับแล้ว ($R^2$, $R^2_{adj}$)เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ สำหรับ$R^2$สามารถคำนวณได้จากสมการ(13)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}^T X^T Y - n\bar{Y}^2}{Y^T Y - \hat{\beta}^T X^T Y} \quad (13)$$

โดยที่ $0 \leq R^2 \leq 1$ แต่หากเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในแบบจำลองถดถอยจะทำให้ $R^2$มีค่ามากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปอาจไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเลย จึงควรมีการปรับค่า$R^2$ให้ถูกต้อง เรียกว่า $R^2_{adj}$คำนวณได้จากสมการ(14)

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{Y^T Y - \hat{\beta}^T X^T Y/(n-k-1)}{Y^T Y - n\bar{Y}^2} \quad (14)$$

โดยที่ $0 \leq R^2_{adj} \leq 1$

**3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**

**3.1 การรวบรวมและเก็บข้อมูล**

การรวบรวมและเก็บข้อมูลเป็นรายวันตั้งแต่ช่วงเดือนมกราคม– มิถุนายน พ.ศ. 2561 โดยข้อมูลที่ใช้มาจากการสุ่มข้อมูลอุปกรณ์ตู้แช่เปิดหน้า จำนวน 104 ตู้ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลค่าซ่อมอุปกรณ์ ราคาสั่งซื้อของอุปกรณ์ จำนวนครั้งในการซ่อมอุปกรณ์ และอายุการใช้งาน

**3.2 การกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง**

ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ค่าซ่อมอุปกรณ์หมายถึงค่าใช้จ่ายของอะไหล่อุปกรณ์ที่เกิดจากการชำรุดเสียหาย

ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่ ราคาสั่งซื้ออุปกรณ์ หมายถึง ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์รวมถึงค่าติดตั้งอุปกรณ์จำนวนครั้งในการซ่อมอุปกรณ์ หมายถึง จำนวนครั้งของการซ่อมชำรุดเสียหาย อุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ และอายุการใช้งาน หมายถึง อายุการใช้งานของตู้แช่เปิดหน้าที่ผ่านมา

**3.3 สร้างตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณ**

การศึกษาการสร้างแบบจำลองถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์มีตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณ ดังสมการที่ (15)

$$Repair_i = \beta_0 + \beta_1 Numofrepair_i + \beta_2 Price_i + \beta_3 Lifetime_i + \varepsilon_i \quad (15)$$

เมื่อตัวแปรตาม คือ $Repair_i$= ค่าสังเกตที่ i ของค่าซ่อมอุปกรณ์ (บาท)

ตัวแปรอิสระ ได้แก่$Numofrepair_i$= ค่าสังเกตที่ i ของจำนวนครั้งในการซ่อม (ครั้ง), $Price_i$= ค่าสังเกตที่ i ของราคาสั่งซื้ออุปกรณ์ (บาท), $Lifetime_i$= ค่าสังเกตที่ i ของอายุการใช้งาน(ปี)

**3.4 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องของตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณ**

การตรวจสอบตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นหรือไม่ เพื่อให้เกิดความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง มีดังนี้

3.4.1 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยใช้สถิติทดสอบโคลโมโกรอฟ สมการ (7)

3.4.2 การตรวจสอบความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน โดยใช้สถิติ The Goldfeld and Quandt test สมการ (8)

3.4.3 ถ้าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติและ/หรือมีความแปรปรวนไม่คงที่ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการแปลงของบ็อกและค็อกดังสมการที่(9)

3.4.4 การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อนใช้การทดสอบ Durbin – Watsonด้วยสมการที่ (10)

3.4.5การตรวจสอบภาวะร่วมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ (Multicollinearity) ซึ่งตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระกัน โดยพิจารณาจากค่า Variance Inflation Factor (VIF) ด้วยสมการที่ (11)

3.4.6การวัดความเหมาะสมและความแม่นยำของแบบจำลองถดถอยพิจารณาจากค่า MAPE, $R^2$และ$R_{adj}$ด้วยสมการที่ (12) (13) และ (14)

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการสร้างตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณ

จากการนำข้อมูลทั้งหมดของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมาสร้างตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณเพื่อพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์ (Repair) และเมื่อทำการทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระทั้งหมด 3ตัวว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่โดยมีสมมติฐานหลักคือ ตัวแปรอิสระทั้ง3 ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ($H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$) เทียบกับสมมติฐานรองคือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม($H_1$:มี$\beta_j$อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับ $0\ ; j = 1,2,3$)ด้วยตัวสถิติทดสอบ $F$ได้ผลดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การวิเคราะห์ความแปรปรวน

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 3 | 11694967817 | 3898322606 | 171.26 | 0.000 |
| Residual Error | 100 | 2276216651 | 22762167 | | |
| Total | 103 | 13971184468 | | | |

จากตารางที่ 1 ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (ปฏิเสธ $H_0$) ดังนั้น มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าซ่อมอุปกรณ์ (Repair)

จากนั้นจึงทำการทดสอบสมมติฐาน $\beta_j: j = 1,2,3$ ทีละตัวว่าเท่ากับ 0 หรือไม่ หากเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีสมมติฐานหลัก คือตัวแปรอิสระตัวที่ j ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ($H_0: \beta_j = 0$)เทียบกับสมมติฐานรองคือตัวแปรอิสระตัวที่ jมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม ($H_1: \beta_j \neq 0\ ; j = 1,2,3$)ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P | VIF |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | -1071 | 1667 | -0.64 | 0.522 | |
| NUMOFREPAIR | 2390.2 | 237.8 | 10.05 | 0.000 | 1.9 |
| PRICE | 0.01418 | 0.01659 | 0.85 | 0.395 | 1.8 |
| LIFETIME | 2090.7 | 142.5 | 14.68 | 0.000 | 1.1 |

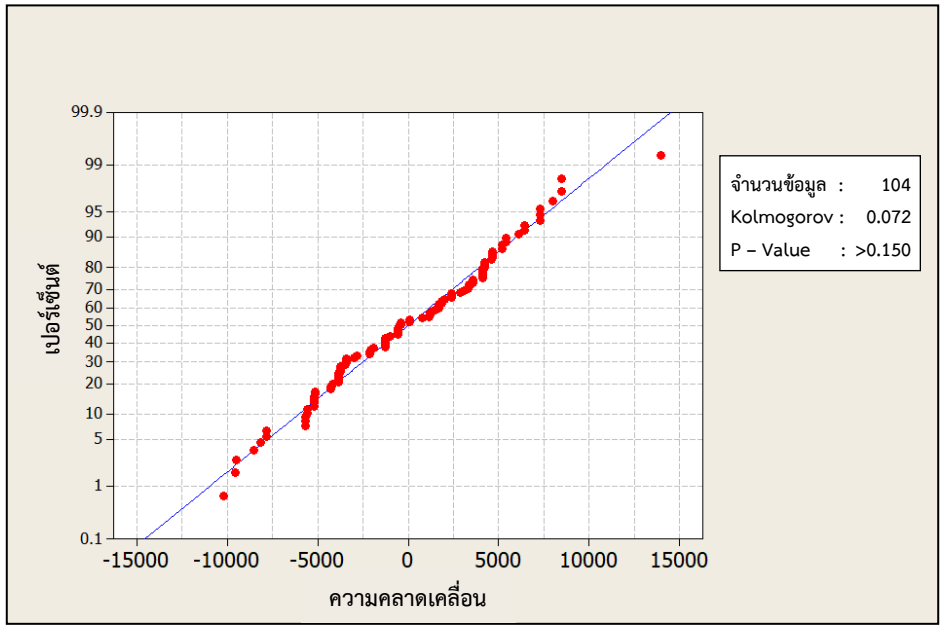
จากตารางที่ 2 สามารถเขียนสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณได้ดังนี้ Repair = -1071+ 2390.2 Numofrepair+ 0.01418Price+ 2090.7Lifetime และเมื่อพิจารณาค่า VIF จะพบว่ามีค่าต่ำกว่า 5 นั้นแสดงว่าไม่เกิดปัญหาภาวะร่วมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ (Multicollinearity)

นอกจากนี้สามารถคำนวณค่า $R^2_{adj}$เท่ากับ 83.22หมายความว่า 83.22% ของความแปรผันของค่าซ่อมอุปกรณ์ (Repair) อธิบายได้ด้วยจำนวนครั้งที่ซ่อม (Numofrepair) ราคาสั่งซื้อ (Price) และอายุการใช้งาน (Lifetime)

**4.2 ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอย**

4.2.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบจากแผนภาพความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าความคลาดเคลื่อน ดังรูปที่ 3และจากการทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติโคลโมโกรอฟ โดยมีสมมติฐาน คือ $H_0$: ประชากรมีการแจกแจงปกติ เทียบกับ $H_1$: ประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ พบว่า ค่า P-value มากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ $H_0$ได้ ดังนั้น ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ




**รูปที่ 3** ความน่าจะเป็นของค่าความคลาดเคลื่อน

4.2.2 การตรวจสอบความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

จากการเรียงข้อมูลราคาสั่งซื้อ (Price) และแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่มแล้ว กำหนดสมมติฐานการทดสอบมีดังนี้

$H_0$: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างแรกเท่ากับกลุ่มตัวอย่างที่สอง (Homoscedasticity)

$H_1$: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างแรกไม่เท่ากับกลุ่มตัวอย่างที่สอง (Heteroscedasticity)

การทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของแบบจำลองถดถอยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ค่าผลบวกกำลังสองของตัวรบกวนกลุ่มที่ 1 ($\sum e_1^2$) มีค่าเท่ากับ 172544880 และค่าผลบวกกำลังสองของตัวรบกวนกลุ่มที่ 2 ($\sum e_2^2$) มีค่าเท่ากับ612984032ค่าสัดส่วน (F-statistic) มีค่าเท่ากับ 3.55

ค่าจากตารางF-Critical มีค่าเท่ากับ 1.74[4] ที่ระดับความอิสระของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ($df_1$) เท่ากับ 36 และระดับความอิสระของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ($df_2$) เท่ากับ 36 มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งค่าสัดส่วน (F-statistic) ที่ได้จากการคำนวณ 3.55 > F(36,36) = 1.74 จึงปฏิเสธ $H_0$ ดังนั้น ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างแรกไม่เท่ากับกลุ่มตัวอย่างที่สอง (Heteroscedasticity)

เนื่องจากความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองมีค่าไม่คงที่ (Heteroscedasticity) ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอย จึงต้องแก้ปัญหาดังกล่าว ด้วยการแปลงค่าซ่อมอุปกรณ์โดยใช้สถิติ Box-Cox Transformation ซึ่งค่า $\lambda = 0.5$ (Rounded Value) หลังจากนั้นผู้วิจัยได้การทดสอบสมมติฐาน$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$เทียบกับ$H_1$:มี $\beta_j$อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับ 0 ; $j = 1,2,3$ด้วยตัวสถิติทดสอบF อีกครั้งดังแสดงตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** การวิเคราะห์ความแปรปรวน

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 3 | 4312457149 | 1437485716 | 169.09 | 0.000 |
| Residual Error | 100 | 850134897 | 8501349 | | |
| Total | 103 | 5162592045 | | | |

จากตารางที่ 3 ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (ปฏิเสธ $H_0$) ดังนั้น มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าซ่อมอุปกรณ์ (Repair)

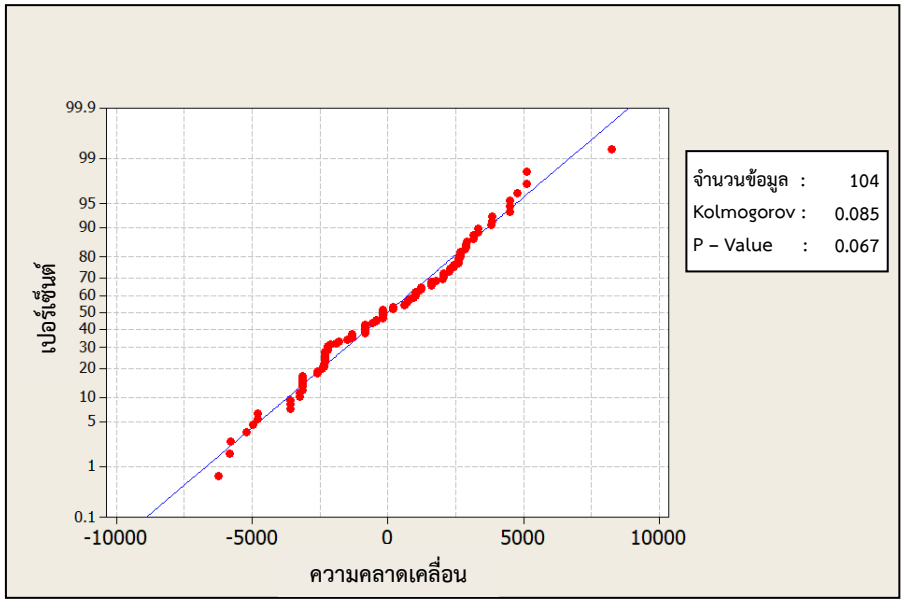
การทดสอบสมมติฐาน $\beta_j: j = 1,2,3$ทีละตัวว่าเท่ากับ 0 หรือไม่ หากเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม โดยมีสมมติฐานคือ $H_0: \beta_j = 0$ เทียบกับ$H_1: \beta_j \neq 0$ ; $j = 1,2,3$อีกครั้งดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P | VIF |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | -57 | 1019 | -0.06 | 0.956 | |
| NUMOFREPAIR | 1425.1 | 145.3 | 9.81 | 0.000 | 1.9 |
| PRICE | 0.00804 | 0.01014 | 0.79 | 0.430 | 1.8 |
| LIFETIME | 1285.21 | 87.06 | 14.76 | 0.000 | 1.1 |

จากตารางที่ 4 สามารถเขียนตัวแบบจำลองได้ดังนี้ Repair = -57+425.1Numofrepair + 0.00804Price +1285.21Lifetimeและเมื่อพิจารณาค่า VIF จะพบว่ามีค่าต่ำกว่า 5 นั้นแสดงว่าไม่เกิดปัญหาภาวะร่วมเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ (Multicollinearity)นอกจากนี้สามารถคำนวณค่า $R^2_{adj}$เท่ากับ 83.0 หมายความว่า 83.0 % ของความแปรผันของค่าซ่อมอุปกรณ์ (Repair) อธิบายได้ด้วยจำนวนครั้งที่ซ่อม (Numofrepair) และอายุการใช้งาน (Lifetime)ผู้วิจัยได้ดำเนินการการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบการถดถอยซ้ำอีกครั้งดังวิธีการในหัวข้อ 4.2.1 ได้ผลการตรวจสอบดังรูปที่ 4

เมื่อพิจารณารูปที่ 4 จะเห็นว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.067 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ $H_0$ ได้ ดังนั้นข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ




**รูปที่ 4** ความน่าจะเป็นของค่าความคลาดเคลื่อน

4.2.5 การตรวจสอบความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเหมือนในหัวข้อที่ 4.2.3 แล้วคำนวณค่าต่างๆจากแบบจำลองถดถอยของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ซึ่งค่าผลบวกกำลังสองของตัวรบกวนกลุ่มที่ 1 ($\sum e_1^2$) มีค่าเท่ากับ 295132001 และค่าผลบวกกำลังสองของตัวรบกวนกลุ่มที่ 2 ($\sum e_2^2$) มีค่าเท่ากับ121458366ค่าสัดส่วน (F-statistic) มีค่าเท่ากับ 0.41

ค่าจากตาราง F-Critical มีค่าเท่ากับ 1.74 ที่ระดับความอิสระของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ($df_1$) เท่ากับ 36 และระดับความอิสระของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ($df_2$) เท่ากับ 36 มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งค่าสัดส่วน (F-statistic) ที่ได้จากการคำนวณ $0.41 < F_{(36,36)} = 1.74$ จึงยอมรับ $H_0$ดังนั้น ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างแรกเท่ากับกลุ่มตัวอย่างที่สอง (Homoscedasticity)

4.2.6 การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน ด้วยสถิติทดสอบ Durbin – Watson ดังสมการที่(10)ได้ค่าสถิติทดสอบ Durbin-Watson มีค่าเท่ากับ 2.05ซึ่งค่าสถิติทดสอบ Durbin-Watson มีค่าใกล้เคียง 2 และจากตาราง Durbin-Watson ที่ n = 104 และ k= 3 ค่า dL = 1.61และค่า dU= 1.74 เมื่อเทียบค่าสถิติทดสอบ Durbin-Watson มีค่าเท่ากับ 2.05กับค่า dL ที่มีค่าเท่ากับ 1.61 พบว่าค่าสถิติทดสอบ Durbin-Watson มีค่ามากกว่าค่า dLดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

### 4.3 ผลการวัดความเหมาะสมและความแม่นยำของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

จากตัวแบบจำลอง Repair =-57+1425.1Numofrepair + 0.00804Price+ 1285.21Lifetimeสามารถคำนวณความเหมาะสมของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้การคำนวณ$R^2_{adj}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 83.0% และส่วนของความแม่นยำของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจากสมการ (12)

สรุปผลของการคำนวณร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ของแบบจำลองตัวแบบพยากรณ์ค่าซ่อม (Repair) พบว่ามีค่าเท่ากับ 25.54% หมายความว่า มีแบบจำลองตัวแบบพยากรณ์ค่าซ่อม (Repair) มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 74.46%

## 5. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าซ่อมอุปกรณ์รีเฟอร์บิชด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Regression Model) โดยปัญหาที่พบคือ ตู้แช่เปิดหน้ามีจำนวนแจ้งซ่อมสูงกว่าอุปกรณ์ทุกประเภทและอีกทั้งยังมีอายุการใช้งานมายาวนานส่งผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมอุปกรณ์มีแนวโน้มสูงขึ้น อีกทั้งเมื่ออุปกรณ์ที่ถูกรีเฟอร์บิชเรียบร้อยแล้ว ไม่ได้ถูกนำกลับไปใช้งานที่ร้าน เนื่องจากแผนกรับผิดชอบอุปกรณ์ไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะตัดสินใจว่าควรจะซ่อมหากค่าซ่อมไม่แพงมากหรือไม่ควรซ่อมถ้าค่าซ่อมแพงเกินไป อาจทำให้การซ่อมแซมอุปกรณ์ไม่คุ้มกับการลงทุน

โดยแบบจำลองถดถอยเชิงพหุคูณที่ได้จากการเก็บข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้คือ Repair = -57+425.1Numofrepair + 0.00804Price +1285.21Lifetimeมีค่า$R^2_{adj}$เท่ากับ 83% อาจเป็นไปได้ผู้วิจัยระบุตัวแปรอิสระไม่ครบถ้วนหรือสมการที่ได้อาจยังไม่เหมาะสม จึงอาจต้องพิจารณาแบบจำลองการถดถอยในรูปแบบอื่นๆ ประกอบด้วยเพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] Pramin Thummanittayakul. *Factors Effect on the Maintenance Time of Ten-Wheel Dumb Trucks of the Armed Forces Development Command.* Master thesis, Faculty Of Business Administration, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2015

[2] Kraiwit Sethewanit, *Practical Maintenance Engineering Management,* Edition 1, Publishing House, 2007

[3] Suwit Phuli and Parames Chutima, Improvement of maintenance work to increase energy efficiency in production process, *Journal of Energy Research.* January-April 2012. Vol 9 No 1 (2012).

[4] Gujarati, D.N. and D.C. Portor, *Basic Econometrics,*5thSingapore, McGraw-Hill,2009.

[5] Nwakuya1, T.M. and Nwabueze, C.J. Application of Box-Cox Transformation as a Corrective Measure to Heteroscedasticity Using an Economic Data. *American Journal of Mathematics and Statistics,*2018, 8(1), pp 8

[6] Montgomery, D. C., and E. A. Peck. *Introduction to linear regression analysis*, New York: John Wiley and Sons, 1982.

[7] Prachuab Klomjit. *Productivity Improvement: Principle and Practice.* Bangkok, Se-Education,2014.

[8] Kosol Deemasam, *Industrial Maintenance Management*, Bangkok: M&E Company Limited, 2004

[9] VirachPanichwong. *Regression Analysis*, 3rd. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok,2004

[10] Tomlingson, P. D., *Effective Maintenance: The key to profitability*, First Edition, New York: Van Nostrand, 1992.