

## การทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย CO<sub>2</sub> Emission in Thailand prediction

ทรงพล ชมชื่น<sup>1</sup>, รัชตเมธ บุญวงศ์<sup>1</sup>, กรรณิกาน์ หิรัญกุล<sup>2\*</sup>, พัฒน์ภริษา ขงทิพย์<sup>2\*</sup> และ รัชดาพร คณาวงษ์<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชา วิทยาการข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup>วิชาสถิติคณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>3</sup>ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

Emails: chomchuen\_s2@silpakorn.edu, boonwong\_r2@silpakorn.edu, hirunkasi\_k@silpakorn.edu\*,  
khongthip\_p@silpakorn.edu\*, kanawong\_r@silpakorn.edu\*

### บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ซึ่งมีตัวแปรอิสระได้แก่ ปริมาณ เชื้อเพลิงฟอสซิล, ปริมาณผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม, ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้การบริโภค, ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้บริโภครวบรวมข้อมูลเป็นรายเดือน ตั้งแต่ มกราคม 2534 ถึง ธันวาคม 2564 ข้อมูลมีรวม 360 เดือน แบ่งชุดข้อมูลเป็นชุดเรียนรู้ 288 เดือนและชุดทดสอบ 72 เดือน เพื่อใช้ในการหาความแม่นยำในการทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยจากสมการถดถอยโดยใช้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ผลการวิจัยพบว่าสมการถดถอยให้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.9817 MAE เท่ากับ 1857.12 และ MSE เท่ากับ 5887022.14

**คำสำคัญ** – การปล่อยการคาร์บอนไดออกไซด์, การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ, สหสัมพันธ์, การวิเคราะห์ส่วนเหลือ

### ABSTRACT

This article presents prediction of CO<sub>2</sub> emission in Thailand by using multiple linear regression. The independent variables consist of consumption of solid

fossil fuel, consumption of petroleum products, consumption of electricity and consumption of lignite. The data were collected from January 1991 to December 2020 separated to training dataset and test dataset as 288 months and 72 months respectively. The accuracy of prediction is Mean Absolute Error (MAE) and Mean Square Error (MSE) were applied as accuracy of prediction. R<sup>2</sup> of this model is 0.9823. MAE is 1857.12 and MSE is 5887022.14

**Keywords** - CO<sub>2</sub> Emission, Multiple linear regression, Correlation, Residual analysis

### 1. บทนำ

ปัจจุบันการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น ปัญหาใหญ่ของโลกและของประเทศไทย เนื่องจากการทำอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นและจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในปัจจุบัน จึงส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในประเทศไทยมากยิ่งขึ้นในทุก ๆ ปีและส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลกระทบต่อมลภาวะทางอากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อนตามมา ในปี 2561 พบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศอยู่ที่ 263.4 ล้านตัน CO<sub>2</sub> ซึ่งเป็นค่าที่สูงและเป็นค่าที่สูงกว่าทุก ๆ ปีที่ผ่านมาและในปีพ.ศ. 2557

ประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นลำดับที่ 20 หรือคิดเป็นร้อยละ 0.77 ของการปล่อยทั่วโลก [9] ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปัจจุบันของประเทศไทยได้ลดลงเพราะการเกิดโควิด-19 [8] โดยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปี 2563 อยู่ที่ 224.3 ล้านตัน CO<sub>2</sub> ในขณะที่หากดูจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนฯ ต่อหัว ประชากร ในปี 2563 คนไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3.77 ตัน CO<sub>2</sub>/หัวประชากร หรือถ้าดูจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการใช้พลังงาน ไทยมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 1.87 พันตัน CO<sub>2</sub>/1KTOE นับเป็นอัตราที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป ที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ 2.02 – 3.05 พันตัน CO<sub>2</sub>/1KTOE ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย

## 2. เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 Multiple Linear Regression

Multiple Linear Regression [5] คือ การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียวหรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

เพื่อศึกษาปัจจัย (ตัวแปรอิสระ) ที่ร่วมกันทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรตามการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์หรือสร้างสมการทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) หนึ่งตัว จากกลุ่มตัวแปรอิสระ (X) หลายตัวนั้น ตัวแปรอิสระที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีหลักฐาน ตามทฤษฎีหรือรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องว่าเป็นตัวแปรต้นเหตุที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม

### 2.2 Residual analysis

Residual analysis [7] คือ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับประเมินความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ตัวเดียวหรือหลายตัวคือ  $X_1, X_2,$

...,  $X_k$  กับตัวแปรตามชนิดต่อเนื่องที่มีตัวเดียว  $Y$  ใช้มากทั้งในสถานการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมตัวแปรอิสระ และในการทดลองที่สามารถควบคุมตัวแปรอิสระ ได้ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเลือดกับอายุความสูงกับน้ำหนัก ความสัมพันธ์ของตัวแปรสามารถหาได้จากการวิเคราะห์การถดถอย และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ การวิเคราะห์การถดถอยใช้สำหรับการหา

## 3. กระบวนการดำเนินงาน

### 3.1 การเก็บและรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ประเภทข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) เป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2530 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ทั้งหมด 408 ค่าสังเกต 9 ตัวแปร ได้แก่ ปี, เดือน, ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้บริโภค, ปริมาณผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมที่ใช้ในการบริโภค, ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบริโภค, ปริมาณไฟฟ้าที่สร้างจากเชื้อเพลิง, ปริมาณลิกไนต์ที่ใช้บริโภค, จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนใหม่, ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากสำนักงานนโยบายกระทรวงพลังงาน และกลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก ในรูปแบบ csv

### 3.2. วิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สร้างแผนภาพการกระจายเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ระหว่างตัวแปรใด ๆ กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในรูปแบบตัวเลข

### 3.3. คัดเลือกตัวแปร

คัดเลือกตัวแปร โดยใช้วิธี forward stepwise regression โดย คัดเลือก ตัวแปรจากตัวแบบที่มีตัวแปรทุกตัวทำนาย แล้วใช้ forward stepwise regression คัดเลือกตัวแปรทีละตัว

### 3.4 การสร้างตัวแบบ

สร้างตัวแบบที่เป็นการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพื่อวิเคราะห์ปัจจัย และทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยตัวแปรที่ใช้ทำนายได้แก่

- 1) ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้บริโภค
- 2) ปริมาณผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมที่ใช้ในการบริโภค
- 3) ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบริโภค
- 4) ปริมาณไฟฟ้าที่สร้างจากเชื้อเพลิง

5)ปริมาณลิกไนต์ที่ใช้บริโภค

6)จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนใหม่

ตัวแบบการถดถอยที่ใช้วิเคราะห์ในการศึกษานี้คือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{car} + \beta_2 \text{electricity} + \beta_3 \text{lignite} + \beta_4 \text{petroleum} + \beta_5 \text{Solid. Fuel} + \beta_6 \text{fuel. power. gen} + \varepsilon \quad (1)$$

เมื่อ Y คือปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หน่วย 1,000 ล้านตัน)

car คือ จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนใหม่

electricity คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบริโภค

lignite คือ ปริมาณลิกไนต์ที่ใช้บริโภค

petroleum คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมที่ใช้ในการบริโภค

Solid.Fuel คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้บริโภค

fuel.power.gen คือ ปริมาณไฟฟ้าที่สร้างจากเชื้อเพลิง

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_6$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ  $X_1, X_2, \dots, X_6$  ตามลำดับ  $\varepsilon$  แทนความคลาดเคลื่อนซึ่งมีข้อสมมติว่า  $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  โดยที่  $\sigma^2$  แทนความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน การทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำได้โดย แบ่งข้อมูลเป็นชุดข้อมูลฝึกฝนร้อยละ 80 ของข้อมูลทั้งหมด แล้วแบ่งเป็นชุดข้อมูลทดสอบร้อยละ 20 ของชุดข้อมูลทั้งหมดเพื่อวัดประสิทธิภาพในการทำนายของตัวแบบ

3.5 การวิเคราะห์ความเหมาะสมและประสิทธิภาพการทำนายของตัวแบบ สร้างแผนภาพเพื่อวิเคราะห์ส่วนเหลือ เพื่อให้ตรงกับข้อตกลงเบื้องต้นของการทำตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และ นำส่วนเหลือไปคำนวณค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพการทำนายของตัวแบบ

#### 4. ผลการดำเนินงานและประสิทธิภาพของตัวแบบ

##### 4.1 แผนภาพการกระจายและการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของตัวแปร

ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรตามและตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน แสดงดังรูปที่ 5 และแผนภาพการกระจาย แสดงดังรูปที่

6

#### 4.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

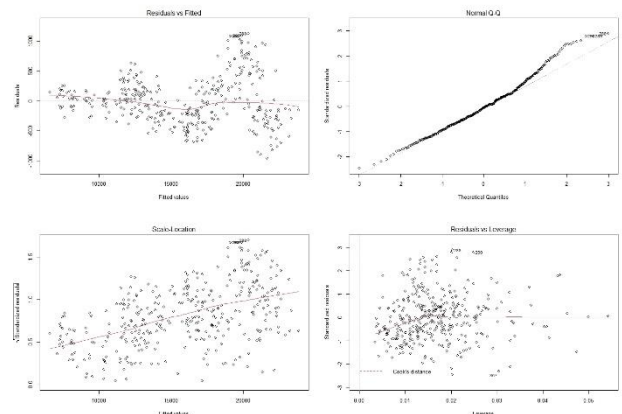
ตารางที่ 1 การถดถอยเชิงเส้นสำหรับทำนายปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Independent Variables	Estimate	Std Error	t-value	P-value
Intercept	289.3	193	1.499	0.13473
car	$1.568 \times 10^{-23}$	$4.885 \times 10^{-24}$	3.211	2.22145
electricity	0.5918	$1.951 \times 10^{-22}$	30.335	$<2 \times 10^{-16}$
lignite	$9.666 \times 10^{-24}$	$9.788 \times 10^{-25}$	10.205	$<2 \times 10^{-16}$
petroleum	2.102	$9.409 \times 10^{-24}$	23.438	$<2 \times 10^{-16}$
Solid. Fuel	1.774	0.1594	11.126	$<2 \times 10^{-16}$

$$F = 8742, P\text{-value} < 2.2e-16, R^2 = 0.992$$

จากตารางที่ 1 พบว่าสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรทำนาย 5 ตัว สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยได้ร้อยละ 0.992 และตัวแปรทำนายทุกตัวมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\hat{Y} = -289.3 + 1.568 \times 10^{-3} \text{car} + 0.5918 \text{electricity} + 9.66 \times 10^{-4} \text{lignite} + 2.102 \text{petroleum} + 1.774 \text{solid. fuel} \quad (2)$$



รูปที่ 1 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการถดถอยพบว่า การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบถดถอยผู้ศึกษา พบปัญหา multicollinearity เนื่องจากการกระจายของส่วนเหลือและความแปรปรวนนั้นมีรูปแบบและจึงทดสอบการเป็น multicollinearity ด้วย VIF พบว่าเกิดปัญหานี้ขึ้นจริง

ตารางที่ 2 การทดสอบ multicollinearity ด้วย VIF

car	electricity	lignite	petroleum	solid. Fuel
3.213654	13.56617	1.139771	9.122945	6.304284

เนื่องจากตัวแปรปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบริโภคมีค่า VIF ที่มากกว่า 10 ทางผู้ศึกษาจึงได้แปลงค่าของตัวแปรตามและวิเคราะห์ผลได้ ดังนี้

ตารางที่ 3 การถดถอยเชิงเส้นสำหรับทำนาย log ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Independent Variables	Estimate	Std Error	t-value	P-value
Intercept	8.291	2.027×10 <sup>-02</sup>	408.942	<2×10 <sup>-16</sup>
car	2.797×10 <sup>-08</sup>	5.132×10 <sup>-08</sup>	-0.545	0.585
electricity	3.878×10 <sup>-05</sup>	2.050×10 <sup>-05</sup>	18.922	<2×10 <sup>-16</sup>
lignite	1.862×10 <sup>-07</sup>	9.952×10 <sup>-08</sup>	18.704	<2×10 <sup>-16</sup>
petroleum	1.748×10 <sup>-04</sup>	9.422×10 <sup>-05</sup>	18.552	<2×10 <sup>-16</sup>
Solid. Fuel	1.173×10 <sup>-04</sup>	1.675×10 <sup>-05</sup>	7.004	1.26×10 <sup>-11</sup>

F = 3794, P-value <2.2e-16, R<sup>2</sup> = 0.9817

จากตารางที่ 2 พบว่าสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรทำนาย 5 ตัว สามารถอธิบายความผันแปรของ log ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยได้ร้อยละ 0.981 และ ตัวแปรทำนายทุกตัวมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นจำนวนรถที่จดทะเบียน (car) ทางผู้ศึกษาจึงได้ทำการเลือกตัวแปรทำนาย 4 ตัวแปรเข้าในสมการถดถอย ซึ่งผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การถดถอยเชิงเส้นสำหรับทำนาย log ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Independent Variables	Estimate	Std Error	t-value	P-value
Intercept	8.291	2.020×10 <sup>-02</sup>	410.425	<2×10 <sup>-16</sup>
electricity	3.840×10 <sup>-05</sup>	1.922×10 <sup>-05</sup>	19.978	<2×10 <sup>-16</sup>
lignite	1.852×10 <sup>-07</sup>	9.788×10 <sup>-08</sup>	18.922	<2×10 <sup>-16</sup>
petroleum	1.750×10 <sup>-04</sup>	9.409×10 <sup>-05</sup>	18.594	<2×10 <sup>-16</sup>
Solid. Fuel	1.161×10 <sup>-04</sup>	1.657×10 <sup>-05</sup>	7.002	1.27×10 <sup>-11</sup>

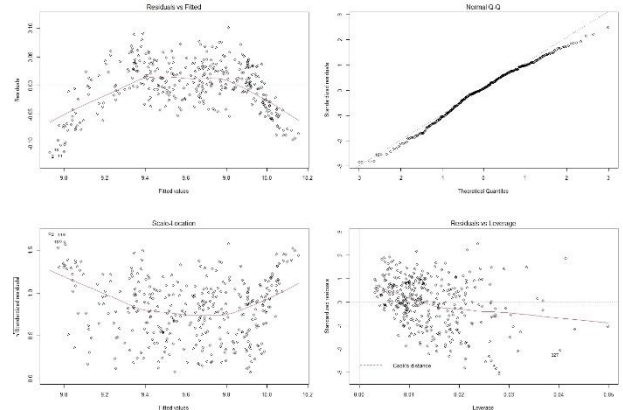
F = 4752, P-value <2.2e-16, R<sup>2</sup> = 0.9817

จากตารางที่ 3 พบว่าตัวแบบถดถอยเชิงเส้นที่มีตัวแปรทำนาย 4 ตัวแปรสามารถอธิบายความผันแปรของ log ของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยได้ร้อยละ

0.04124 สามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\hat{Y} = 8.291 + 3.84 \times 10^{-5} \text{electricity} + 1.852 \times 10^{-7} \text{lignite} + 1.752 \times 10^{-4} \text{petroleum} + 1.161 \times 10^{-4} \text{Solid. Fuel} \quad (3)$$

การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการถดถอยด้วยส่วนเหลือ ของสมการถดถอย (3) แสดงดังรูปที่ 3 และการทดสอบปัญหา multicollinearity ด้วยค่า VIF ด้วยรูปที่ 4



รูปที่ 3 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการถดถอย

ตารางที่ 4 การทดสอบ multicollinearity ด้วย VIF

car	lignite	petroleum	solid. Fuel
11.952503	1.104560	9.115302	6.185343

จากรูปที่ 3 สามารถตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบถดถอยได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนเหลือไม่เท่ากับศูนย์แต่การกระจายนั้นไม่เป็นรูปแบบ การกระจายของส่วนเหลือใกล้เคียง การแจกแจงปกติ และความแปรปรวนคงที่มากขึ้น โดยสามารถลดปัญหา multicollinearity ได้ระดับหนึ่งโดยจากรูปที่ 4 การทดสอบ multicollinearity ด้วย VIF พบว่า มีค่า VIF ที่ตัวแปร electricity มีค่าน้อยลง

#### 4.3 ผลการทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย

การทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยชุดทดสอบ ซึ่งเป็นข้อมูลร้อยละ 20 ของข้อมูลทั้งหมด ด้วยสมการ (3) ความถูกต้องในการทำนายวัดจากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error : MAE), ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean square Error : MSE) ซึ่งเป็นวิธีวัดความแตกต่างของค่าจริงและค่าที่ได้จากการทำนายที่ได้จากสมการถดถอย ดังนี้

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (4)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (5)$$

การทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทยด้วยสมการถดถอย (3) มีค่า MAE เท่ากับ 1857.12 1000 ตัน และ MSE เท่ากับ 5887022.14 1000ตัน<sup>2</sup>

## 5. สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณจาก (3) จะพบว่าปัจจัยที่ส่งผล ต่อ log ของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบริโภค, ปริมาณลีกไนต์ที่ใช้บริโภค, ปริมาณผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมที่ใช้ในการบริโภค และ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้บริโภคโดยเมื่อ

ถ้าปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการบริโภคเพิ่มขึ้น 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น  $e^{3.84 \times 10^{-5}}$  1000ตัน

ถ้าปริมาณลีกไนต์ที่ใช้บริโภคเพิ่มขึ้น 1 ตันจะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น  $e^{1.852 \times 10^{-7}}$  1000 ตัน

ถ้าปริมาณผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมที่ใช้ในการบริโภคเพิ่มขึ้น 1 ล้านลิตรจะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น  $e^{1.750 \times 10^{-4}}$  1000ตัน

ถ้าปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นของแข็งที่ถูกใช้บริโภคเพิ่มขึ้น 1 ตันจะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น  $e^{1.750 \times 10^{-4}}$  1000ตัน

โดยให้ค่าวัดการทำนาย MAE เท่ากับ 1857.12 และ MSE เท่ากับ 5887022.14

## 6.เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน. ข้อมูลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกไซด์. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 15 พฤศจิกายน 2563]. จาก <https://dmf.go.th/public/>

[2] กรมการขนส่งทางบก. ข้อมูลรถที่จดทะเบียน. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 19 พฤศจิกายน 2563]. จาก <https://www.dlt.go.th/th/>

[3] พัชร บอนคำ. ข้อมูลสาเหตุที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563]. จาก <https://www.pier.or.th/abridged/2021/15/>

[4] สถาบันวิจัยเศรษฐกิจป๋วย อึ๊งภากรณ์. การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริบทของไทย. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20

พฤศจิกายน 2563]. จาก

<https://urbancreature.co/reenindex-carbondioxide/>

[5] WEERAWIT SAPMONGKOLPORN . Linear Regression

[ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563]. จาก

<https://www.glurgeek.com/education/linearregressionmultiple/?fbclid=IwAR04Y0uYcRrOj3FfSe2lAHupcwXZXQSrtzE6uxcU-JXu9oIEjmxIXiidLSw>

[6] ICHI. Pro. Cross-Validation. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563]. จาก <https://ichi.pro/th/cross-validation-khux-xari106378280410741>

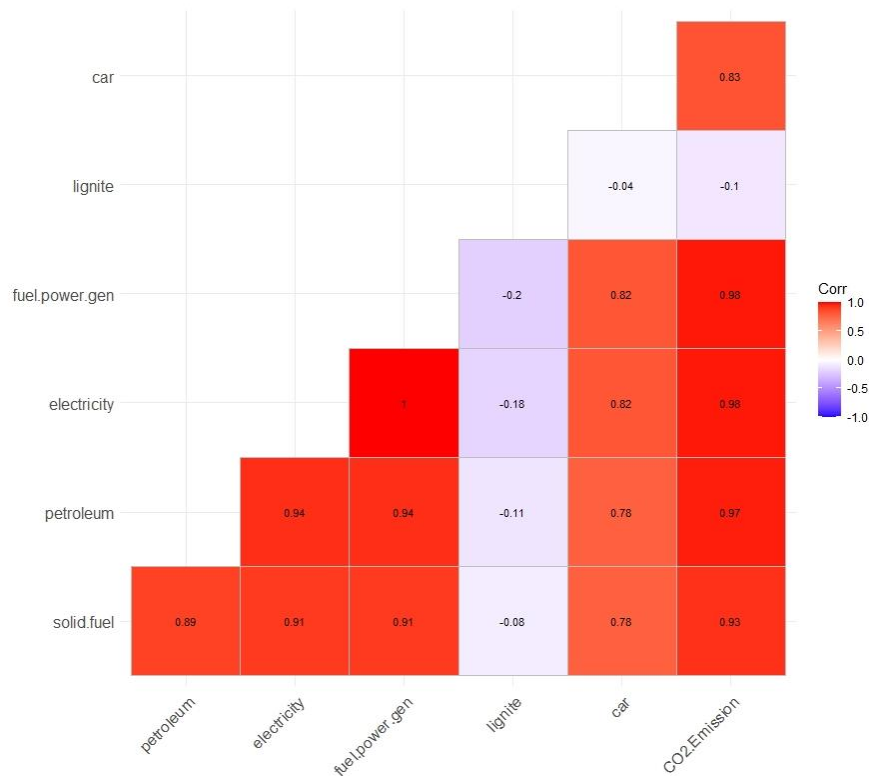
[7] David R. Anderson. Residual analysis. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563]. จาก <https://www.britannica.com/science/statistics/Residual-analysis>

[8] พัชร บอนคำ. โควิด-19 สาเหตุที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนฯ ของไทยลดลง?. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563].

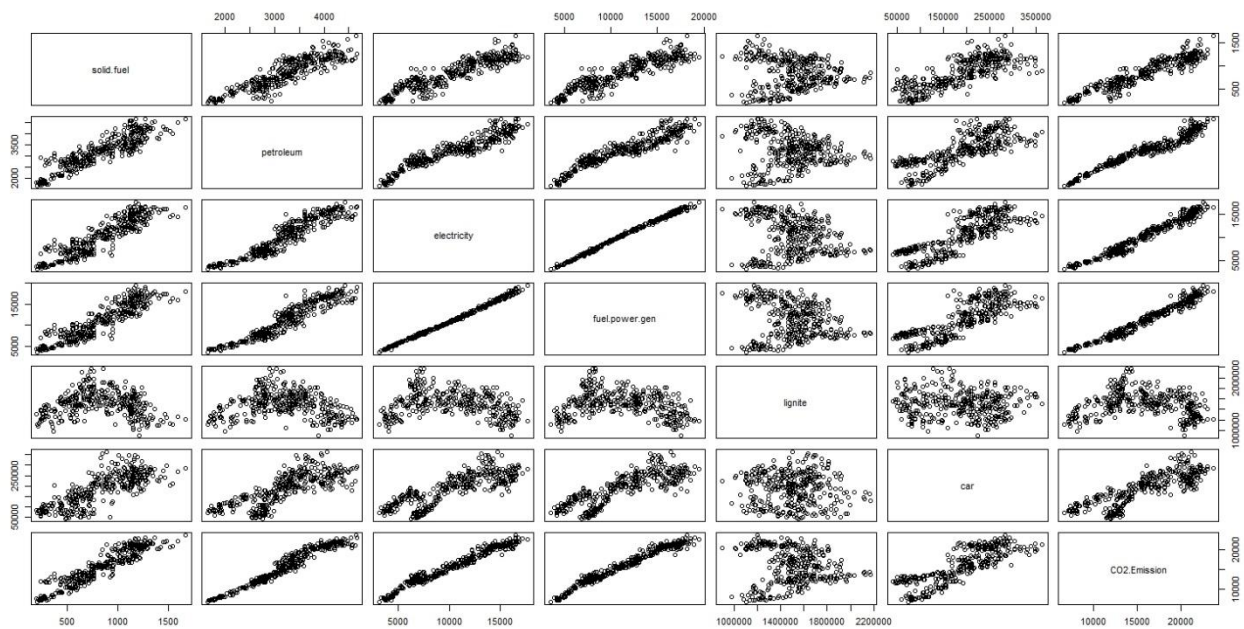
จาก

<https://urbancreature.co/reenindexcarbondioxide/>

[9] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ก๊าซเรือนกระจก. [ออนไลน์]. [สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563]. จาก <https://www.onep.go.th/%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%88%E0%B8%81/>



รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันของตัวแปรอิสระ



รูปที่ 6 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ