การสร้างสมการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดของประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

Predictive Model of Provincial Electricity Consumption in Thailand Using Multiple Linear Regression Analysis

วิชญ์วิสิฐ เกษรสิทธิ์[1*]
Witwisit Kesornsit[1]
[1]กลุ่มงานเดตาโซลูชันส์ภาครัฐ ฝ่ายเดตาโซลูชันส์ สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน)
[1]Government Data Solution Division, Department of Data Solution, Digital Government Development Agency (Public Organization)
วันที่ส่งบทความ : 25 ตุลาคม 2563 วันที่แก้ไขบทความ : 17 มกราคม 2564 วันที่ตอบรับบทความ : 13 กุมภาพันธ์ 2564
Received: 25 October 2020, Revised: 17 January 2021, Accepted: 13 February 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย และสร้างสมการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดของประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเป็นข้อมูลเปิดจากหน่วยงานเกี่ยวข้องของข้อมูลในแต่ละมิติ ซึ่งประกอบด้วย 5 มิติ คือ มิติที่ 1 ข้อมูลด้านทะเบียนผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภท มิติที่ 2 ข้อมูลด้านสภาพภูมิประเทศ มิติที่ 3 ข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ มิติที่ 4 ข้อมูลด้านอุตสาหกรรม และมิติที่ 5 ข้อมูลด้านครัวเรือน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมโอเพนซอร์ทที่เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในการคำนวณทางสถิติ ผลการวิจัยพบว่าตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดจำนวน 11 ตัวแปร โดยมิติที่มีจำนวนตัวแปรอิสระมากที่สุดคือมิติด้านสภาพภูมิอากาศและมิติด้านอุตสาหกรรม จำนวน 3 ตัวแปร รองลงมาคือมิติด้านสภาพภูมิประเทศและมิติด้านครัวเรือน จำนวน 2 ตัวแปร และน้อยที่สุดคือมิติด้านทะเบียนผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 1 ตัวแปร โดยสมการทำนายสามารถใช้ในการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดได้อย่างถูกต้องประมาณร้อยละ 95.13 โดยมีค่า R-Square เท่ากับร้อยละ 95.13 และ Adjusted R-squared เท่ากับร้อยละ 95.04 และสมการทำนายที่ได้สอดคล้องตามเงื่อนไขตามข้อสมมติพื้นฐานของเกี่ยวกับ ε_i ในการวิเคราะห์การถดถอย และไม่มีปัญหาด้านคุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนายของสมการ

คำสำคัญ : ปริมาณการใช้ไฟฟ้า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ข้อมูลเปิดภาครัฐ

[*]ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: witwisit.kes@gmail.com

Abstract

The aims of this research were to study the effecting factor in the provincial electricity consumption in Thailand and to construct the model for accurate prediction of provincial electricity consumption by using multiple linear regression analysis. The data used in this research is the secondary data from related agency open data. There are 5 dimensions that are used in model development consists of 1) electricity usage profiles, 2) topography, 3) weather atmosphere, 4) industrial information, and 5) household information. The programming language and free software environment for statistical computing is used to analyze and develop the predictive model. The results showed that the statistically significant effecting factors in provincial electricity consumption are 11 factors. Additionally, the most suitable effecting dimensions were in the weather atmosphere and industrial information, which was to have 3 factors. The second suitable effecting dimensions were in topography and household information, which was to have 2 factors. Moreover, the dimension in electricity usage profiles was affected the electricity consumption only one factor. The developed model is fit to the empirical data with R-Square in 95.13 percentage and Adjusted R-squared in 95.04 percentage. The accuracy of the model is 95.13 percentage. Finally, the multiple linear regression model is based on several key assumptions of ε_i that are fitted and did not the sample data problem.

Keywords: Electricity Consumption, Multiple Linear Regression Analysis, Open Government Data

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยต้องอาศัยไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินชีวิตประจำวันและขับเคลื่อนการดำเนินธุรกิจและอุตสาหกรรม แต่ในขณะที่ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณไฟฟ้าที่ประเทศผลิตได้ยังคงมีปริมาณเท่าเดิมและมีแนวโน้มลดลงไปเรื่อย ๆ อันเนื่องจากปริมาณก๊าซธรรมชาติและวัตถุดิบหลักในการผลิตไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง ทำให้เกิดปัญหากระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอเป็นปัญหาระดับชาติระยะยาว จากการศึกษาอนาคตพลังงานไฟฟ้าไทยพอเพียงแต่เสี่ยงภัยของ ภัทรภรณ์ หิรัญวงศ์ และ สิงหพันธุ์ สิงหเสนี [1] พบว่าในปี พ.ศ. 2579 พลังงานไฟฟ้ายังคงมีความเพียงพอและมีราคาอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่ยังคงมีความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนในด้านเชื้อเพลิง ความสามารถในการสร้างโรงไฟฟ้าและซื้อพลังงานไฟฟ้าได้ตามกำหนด ความต้องการไฟฟ้าในอนาคตที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รวมทั้งความสามารถในการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า การกำกับการผลิตไฟฟ้าให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและผลักดันในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการใช้และกำลังการผลิตจึงเป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญ เพื่อให้ประเทศไทยมีพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอ ในราคาที่เหมาะสมและมีความยั่งยืนในระยะยาว

นอกจากนี้ไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ แต่ด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ไม่สามารถกักเก็บได้อย่างถาวร แม้ว่าปัจจุบันจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานขึ้นมาใช้งานแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีเงื่อนไขในเรื่อง ปริมาณของการเก็บและระยะเวลาที่ต้องการเก็บที่จะต้องบริหารจัดการได้อย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานบางส่วนไป ความต้องการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน หน่วยงานด้านการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา รวมทั้งหน่วยงานทางอุตสาหกรรมการผลิตโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องวางแผนการผลิตให้เหมาะสมกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งตามช่วงเวลาและพื้นที่ [2]-[4] ดังนั้นการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นต่อการวางแผนการนำจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการและการวางแผนการผลิตของอุตสาหหรรมให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการผลิตสินค้าและบริการ

จากยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561 - 2580 ในประเด็นยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้กำหนดเรื่องพลังงานไฟฟ้าเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญที่จะช่วยในการพัฒนาประเทศ โดยเน้นการพัฒนาความมั่นคงพลังงานของประเทศ และส่งเสริมการใช้พลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีการพัฒนาวิธีการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าทั้งด้านอุปทานและด้านอุปสงค์ให้มีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่น เพื่อให้สามารถรองรับพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกที่เพิ่มขึ้นในระบบได้อย่างมั่นคงและมีเสถียรภาพ พร้อมทั้งสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม และสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาคครัวเรือน [5] ซึ่งจะเห็นได้ว่าการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงเป็นภาระกิจสำคัญที่จะช่วยส่งเสริมการพัฒนาประเทศตามกรอบยุทธศาสตร์ชาติอีกด้วย

การทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศเพราะหากผลการทำนายต่ำกว่าความเป็นจริงมากเกินไปจะส่งผลให้ผลิตและนำจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ นำมาสู่ผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ที่ดีของประชาชนและขีดความสามารถทางการแข่งขันของประเทศ และหากผลการทำนายสูงกว่าความเป็นจริงมากเกินไปก็จะส่งผลให้ปริมาณไฟฟ้าเกินกว่าความต้องการใช้ นำมาสู่การสูญเสียพลังงานไปอย่างไม่เกิดประโยชน์ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิจัยเพื่อสร้างสมการการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยให้ความสำคัญกับปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดในมิติต่าง ๆ ได้แก่ มิติด้านทะเบียนผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภท มิติด้านสภาพภูมิประเทศ [6] มิติด้านสภาพภูมิอากาศ [7] มิติด้านอุตสาหกรรม [8] มิติด้านครัวเรือน [9] เพื่อประโยชน์ในการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดของประเทศไทย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยและสร้างสมการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดของประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อค้นหาปัจจัยเชิงสาเหตุที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า และดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิจัยจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิจากองค์กรที่

เกี่ยวข้อง และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามและสร้างสมการทำนาย ผู้วิจัยใช้โปรแกรมโอเพนซอร์ทที่เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในการคำนวณทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลเปิด (Open Data) ประกอบด้วย 5 มิติ จำนวน 19 ตัวแปร และตัวแปรระบุความเป็นเอกลักษณ์หรือความไม่ซ้ำซ้อนของข้อมูลจำนวน 2 ตัวแปร ผู้วิจัยดำเนินการบูรณาการข้อมูลทั้ง 5 มิติเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวแปรระบุความเป็นเอกลักษณ์ ได้แก่ จังหวัด (Province) และปี (Year) โดยข้อมูลจัดเก็บตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - 2557 จำนวน 75 จังหวัด รวมทั้งหมด 675 ระเบียน แสดงได้ดังนี้

มิติที่ 1 ข้อมูลด้านทะเบียนผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภทซึ่งให้บริการอยู่ที่ศูนย์กลางข้อมูลเปิดภาครัฐของประเทศไทย (Open Government Data of Thailand) [10] ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติผู้ใช้ไฟฟ้า และการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า จำแนกตามประเภทผู้ใช้ พ.ศ. 2549 – 2558 เผยแพร่โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ [11] ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ 1) ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม (รายครัวเรือน ธุรกิจขนาดเล็ก ธุรกิจขนาดกลาง ธุรกิจขนาดใหญ่ และด้านอื่น ๆ) (ล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 2) จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า (ล้านราย) เป็นเป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบไม่ต่อเนื่อง และ 3) การมีธุรกิจขนาดใหญ่ในจังหวัด เป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม จำนวน 2 กลุ่ม คือมีและไม่มี

มิติที่ 2 ข้อมูลด้านสภาพภูมิประเทศ ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติประชากรศาสตร์ ประชากรและเคหะ เผยแพร่โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ [12] ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ 4) จำนวนประชากร (ล้านราย) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบไม่ต่อเนื่อง 5) ขนาดพื้นที่รายจังหวัด (พันตารางกิโลเมตร) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง และ 6) สัดส่วนประชากรต่อพื้นที่ (รายต่อพันตารางกิโลเมตร) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง

มิติที่ 3 ข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นข้อมูลรายงานค่าสถิติภูมิอากาศ ค่าปกติประเทศไทย พ.ศ. 2524 - 2553 (Thailand Climate Standard Normal value 1981-2010) เผยแพร่โดยกรมอุตุนิยมวิทยา [13] ประกอบด้วย 6 ตัวแปร ได้แก่ 7) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกระเปาะแห้งต่อจังหวัด (Dry-Bulb Temperature: Celsius) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 8) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดต่อจังหวัด (Celsius) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 9) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดต่อจังหวัด (Celsius) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 10) ค่าเฉลี่ยความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลางต่อจังหวัด (MSL Pressure: mb) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 11) ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ต่อจังหวัด (Relative Humidity: %) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง และ 12) ค่าเฉลี่ยความกดอากาศในบริเวณสถานีวัดต่อจังหวัด (Station Pressure: mb) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง

มิติที่ 4 ข้อมูลด้านอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติโรงงานอุตสาหกรรม ที่จดทะเบียนไว้กับกระทรวงอุตสาหกรรม และได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535) พ.ศ. 2548 - 2557 เผยแพร่โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ [14] ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ 13) จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมรวมทั้งหมด (พันแห่ง) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบไม่ต่อเนื่อง 14) เงินทุนจดทะเบียนรวม

ทั้งหมด (หมื่นล้านบาท) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง และ 15) จำนวนคนงานรวมทั้งหมด (หมื่นราย) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบไม่ต่อเนื่อง

มิติที่ 5 ข้อมูลด้านครัวเรือน ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติรายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน จำแนกตามภาคและจังหวัด พ.ศ. 2541 - 2558 เผยแพร่โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ [15] ประกอบด้วย 4 ตัวแปร ได้แก่ 16) รายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน (หมื่นบาท) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 17) ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน (หมื่นบาท) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง 18) หนี้สินเฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน (หมื่นบาท) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง และ 19) จำนวนครัวเรือน (พันครัวเรือน) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณแบบไม่ต่อเนื่อง

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเรียกว่าตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง แทนด้วย y_i และอีกกลุ่มเรียกว่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรควบคุมหรือตัวแปรที่ใช้ในการทำนายแทนด้วย x_i ซึ่งตัวแปรอิสระ x_i มีมากกว่า 1 ตัวแปร [16] สำหรับการวิจัยครั้งนี้ x_i มีจำนวน 19 ตัวแปร ($k = 19$)

2.2.1 ตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอย ตัวแปรตามที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีมาตรวัดของตัวแปรแบบช่วงหรือแบบอัตราส่วน และต้องมีลักษณะเป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง สำหรับตัวแปรอิสระอาจเป็นตัวแปรต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องและมีมาตรวัดของตัวแปรในลักษณะใดก็ได้ แต่ตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยกันสูงมากนัก มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดปัญหาพหุสัมพันธ์เชิงเส้น (Multicollinearity) ซึ่งตัวแบบการถดถอยคือ

$$y_i = \sum_{j=0}^{k} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \; ; x_{i0} = 1 \qquad (1)$$

เมื่อ y_i เป็นตัวแปรสุ่มและเป็นค่าสังเกตของตัวแปรตามของหน่วยที่ i, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ เป็นพารามิเตอร์ของตัวแบบ, x_{ij} เป็นค่าสังเกตของตัวแปรอิสระที่ j ของหน่วยที่ i ถือว่าเป็นตัวแปรทางคณิตศาสตร์ และตัวแปรอิสระเหล่านี้ต้องไม่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นที่สมบูรณ์ต่อกัน $r_{x_i x_j} \neq \pm 1 \, , i, j = 1,2, \dots, k$ โดย k คือจำนวนตัวแปรอิสระ และ ε_i เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่มของหน่วยที่ i มีการแจกแจงแบบปรกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนคงตัวเท่ากับ σ^2 [16] สำหรับการวิจัยครั้งนี้ตัวแปรที่มีนัยสำคัญประกอบด้วย 11 ตัวแปรสามารถแสดงตัวแบบการถดถอยได้คือ $y_i = \sum_{j=0}^{11} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \; ; x_{i0} = 1$ และค่าประมาณพารามิเตอร์ประกอบด้วย $b_0, b_1, \dots, b_{12}$ โดย b_i คือค่าประมาณพารามิเตอร์ของ β_i และ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 675

2.2.2 ข้อสมมุติพื้นฐานเกี่ยวกับ ε_i ในการวิเคราะห์การถดถอย

ประกอบด้วย (1) ε_i มีการแจกแจงแบบปรกติ (2) ε_i มีค่าคาดหมาย (Expected Value) เป็น 0 นั่นคือ $E(\varepsilon_i) = 0$ (3) ε_i มีภาวะความแปรปรวนเอกพันธุ์ (Homoscedasticity) นั่นคือ $E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2$ ซึ่งหมายถึงความแปรปรวนไม่เปลี่ยนแปลงตลอดพิสัยของตัวแปรอิสระ ไม่ว่าค่าของตัวแปรอิสระจะมีค่า

มากหรือน้อยก็ตาม (4) ε_i และ ε_j เป็นอิสระต่อกันทำให้ความแปรปรวนร่วม (Covariance) เป็น 0 นั่นคือ $E(\varepsilon_i\varepsilon_j) = 0$ สำหรับ $i \neq j$ ดังนั้นจะได้ว่า [16]-[18]

$$E(y_i|x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2}, \dots, \beta_k x_{ik} \quad (2)$$

หรือ $\mu_i(y|x) = \sum_{j=0}^{k} \beta_j x_{ij}\ ; x_{i0} = 1$ (3)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะสามารถแสดงค่าประมาณพารามิเตอร์ของตัวแบบได้ว่า

$$E(y_i|x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2}, \dots, \beta_{11} x_{i11} \quad (4)$$

หรือ $\mu_i(y|x) = \sum_{j=0}^{11} \beta_j x_{ij}\ ; x_{i0} = 1$ (5)

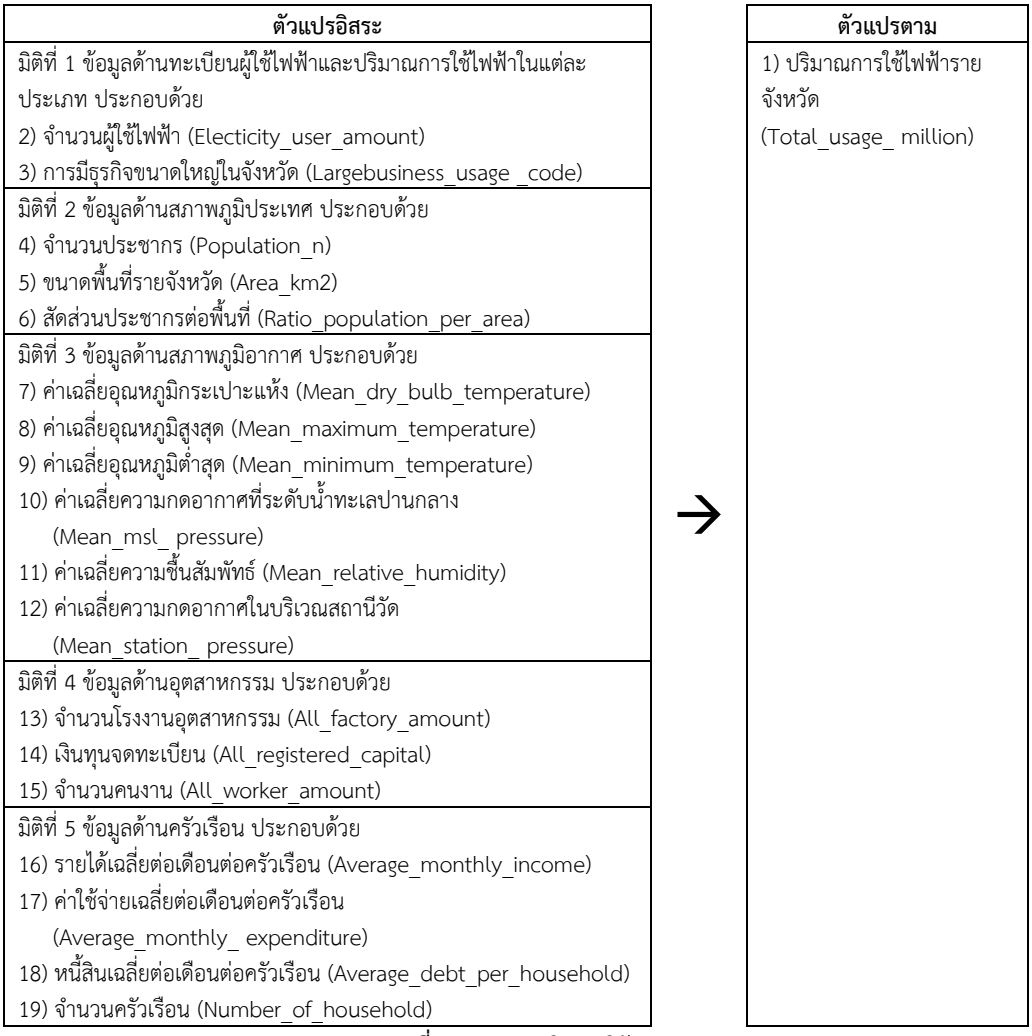
2.2.3 การคัดเลือกตัวแปรทำนายเข้าสู่สมการแบบขั้นบันได (Stepwise Method)

เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่ในแต่ละขั้นตอนที่มีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการถดถอยทีละตัวจะมีการคำนวณเอฟบางส่วน (Partial F-Test) ของตัวแปรอิสระอื่น ๆ ที่มีอยู่ในสมการซึ่งได้มีการนำตัวแปรอิสระเข้ามาก่อนหน้านี้ โดยถือว่าตัวแปรอิสระนั้น ๆ ที่อยู่ในสมการก่อนหน้าเข้ามาใส่สมการเป็นตัวสุดท้าย การที่ต้องตรวจสอบค่าเอฟบางส่วนของตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในสมการถดถอยเดิมนั้น เนื่องจากตัวแปรอิสระเดิมที่อยู่ในสมการบางตัวอาจไม่เหมาะสมที่จะอยู่ในสมการอีกต่อไป เพราะตัวแปรอิสระตัวเดิมที่อยู่ในสมการอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่เข้ามาใหม่ [16]

3. ผลการวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัยโดยแบ่งตัวแปรเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรควบคุมหรือตัวแปรที่ใช้ในการทำนายจำนวน 19 ตัวแปร และอีกกลุ่มเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนองจำนวน 1 ตัวแปร แสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. กรอบแนวคิดการวิจัย

3.2 ผลการคัดเลือกตัวแปรและค่าประมาณพารามิเตอร์

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสมการทำนายโดยใช้เกณฑ์ AIC (Akaike's Information Criterion) ในการคัดเลือกตัวแปร แสดงผลการคัดเลือกตัวแปรและค่าประมาณพารามิเตอร์ ตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าตัวแปรที่ถูกคัดเข้าสู่สมการทำนายประกอบด้วย 11 ตัวแปร คือ มิติด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย 1) จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า (Electicity_user_amount) มิติด้านสภาพภูมิประเทศ ประกอบด้วย 2) จำนวนประชากร (Population_n) 3) ขนาดพื้นที่รายจังหวัด (Area_km2) มิติด้านสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย 4) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด (Mean maximum_temperature) 5) ค่าเฉลี่ยความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean_msl_pressure) 6) ค่าเฉลี่ยความกดอากาศในบริเวณสถานีวัด (Mean_station_pressure) มิติด้านอุตสาหกรรม ประกอบด้วย 7) จำนวนโรงงานอุตสาหกรรม (All_factory_amount) 8) เงินทุนจด

ทะเบียน (All_registered_capital) 9) จำนวนคนงาน (All_worker_amount) และมิติด้านครัวเรือน ประกอบด้วย 10) รายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน (Average_monthly_income) 11) หนี้สินเฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน (Average_debt_per_household)

ตารางที่ 1. ผลการคัดเลือกตัวแปรและค่าประมาณพารามิเตอร์

ตัวแปร	มิติ	ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอย	ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่า t	ค่า Sig	ค่า VIF
Intercept	-	635525.09	106803.67	5.95	0.00	-
Electicity_user_amount	1	12574.02	407.43	30.86	0.00	8.71
Population_n	2	-88.72	52.67	-2.69	0.03	1.29
Area_km2	2	-46.92	9.15	-5.13	0.00	1.09
Mean_maximum_temperature	3	-134.61	64.94	-2.07	0.04	1.95
Mean_msl_pressure	3	-683.77	107.41	-6.37	0.00	1.41
Mean_station_pressure	3	57.35	6.02	9.52	0.00	2.74
All_factory_amount	4	-465.35	55.26	-8.42	0.00	4.09
All_registered_capital	4	37.15	3.50	10.62	0.00	2.06
All_worker_amount	4	171.99	9.22	18.65	0.00	6.70
Average_monthly_income	5	378.09	97.76	3.87	0.00	2.79
Average_debt_per_household	5	-29.26	9.72	-3.01	0.00	1.64

สำหรับผลการคัดเลือกตัวแปรและค่าประมาณพารามิเตอร์พบว่าสมการทำนายหรือตัวแบบที่ได้จากการคำนวณมีนัยสำคัญในการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัด โดยมีค่าเอฟ (F Value) เท่ากับ 1097.00 ที่องศาเสรี (Degrees of freedom: df) เท่ากับ 11 และ 618 และค่าความน่าจะเป็นของระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig) เท่ากับ 0.00 นอกจากนั้นสมการทำนายมีค่า R-Square เท่ากับร้อยละ 95.13 และ Adjusted R-squared เท่ากับร้อยละ 95.04 ซึ่งแสดงว่าสมการทำนายสามารถใช้ในการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดได้อย่างถูกต้องประมาณร้อยละ 95.13

3.3 ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการทำนาย

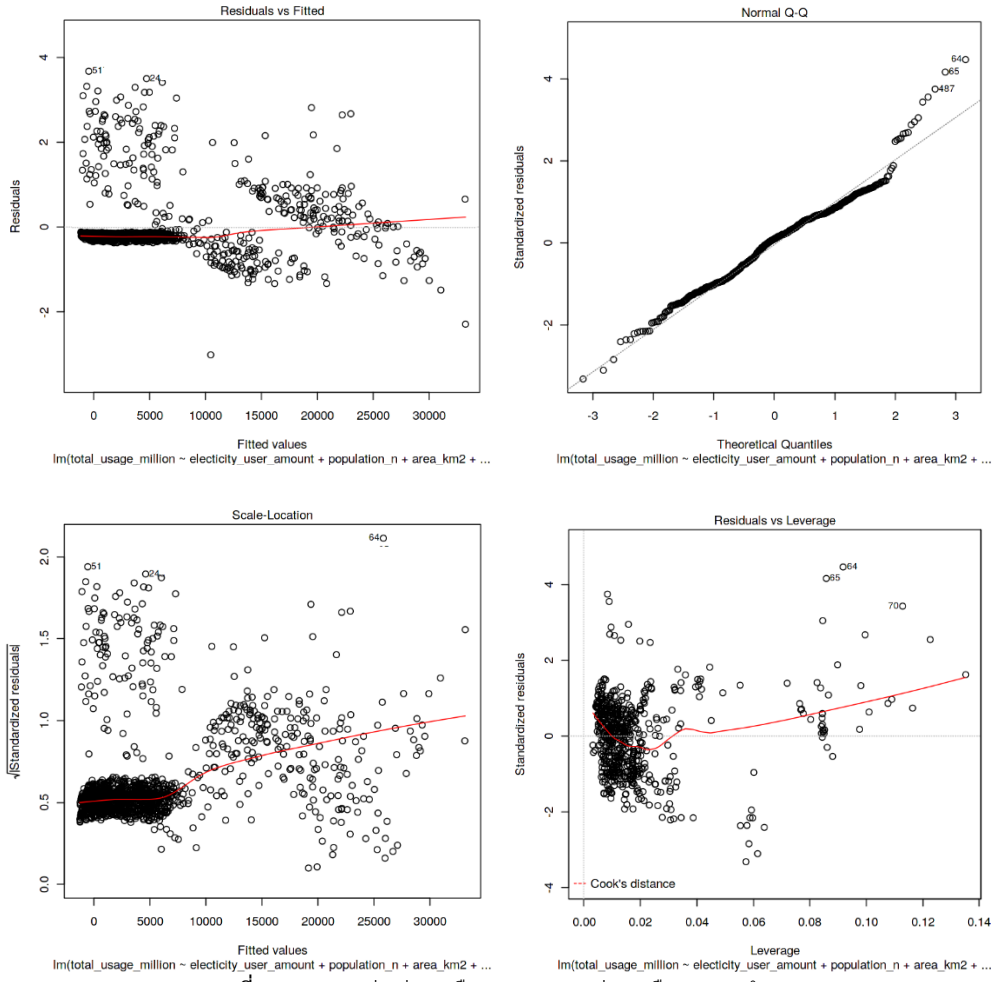
ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบความเหมาะสมของสมการทำนายจากการทดสอบคุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยและตรวจสอบเงื่อนไขตามข้อสมมติพื้นฐานของเกี่ยวกับ ε_i ในการวิเคราะห์การถดถอย โดยผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบค่าผิดปกติและค่าที่มีอิทธิผล (Outliers and Influential cases) ต่อสมการถดถอยโดยใช้ระยะทางของคุก (Cook's Distance) และส่วนเหลือมาตรฐาน (Standardized Residual) [19]-[20] ซึ่งไม่พบความผิดปกติจากข้อมูล การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันโดยใช้สถิติทดสอบของเคอร์บินวัตสัน (Durbin-Watson: D-W Statistic) [21] ซึ่งไม่พบความผิดปกติจากข้อมูล โดยค่า D-W Statistic เท่ากับ 0.30 และค่า Sig เท่ากับ 0.00 และการทดสอบปัญหาพหุสัมพันธ์เชิงเส้นโดยการพิจารณาจากองค์ประกอบการขยายความแปรปรวน (Variance Inflation Factor: VIF) [22]-[23] ซึ่งพบว่าค่า VIF

เฉลี่ยเท่ากับ 4.06 ซึ่งไม่เกิน 10 และการพิจารณาจากค่าการยอมรับ (Tolerance) พบว่าค่าจากการคำนวณของตัวแปรทุกตัวมีค่ามากกว่า 0.3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือมีค่าเข้าใกล้ 1 [24]

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบภาวะความแปรปรวนเอกพันธุ์และความเป็นเส้นตรง (Linearity) จากรูปที่ 2 (ก) เป็นการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนเหลือ (Observed Residual) กับค่าประมาณหรือค่าทำนาย (Fitted Value) โดยจุดบนกราฟจะต้องกระจายตัวแบบสุ่มรอบเส้นค่าศูนย์ในแนวนอนหรือแนวแกน x หากสมการทำนายหรือแบบจำลองไม่เป็นไปตามข้อสมมติเรื่องความเป็นเส้นตรงจะพบว่าส่วนเหลือมีค่ามากคือมีค่าบวกมากหรือค่าลบมากโดยค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 2 และการประเมินภาวะความแปรปรวนเอกพันธุ์จะต้องตรวจสอบว่ากราฟไม่มีรูปแบบ (Pattern) ในส่วนเหลือและกระจายเท่า ๆ กันเส้นค่าศูนย์ [25] จากกราฟพบว่าจุดบนกราฟค่อนข้างกระจายตัวแบบสุ่มรอบเส้นค่าศูนย์และมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน จึงสามารถประเมินได้ว่าสมการทำนายเป็นไปตามข้อสมมติ

สำหรับรูปที่ 2 (ข) แสดง Scale-Location Plot เป็นการพล็อตกราฟระหว่างรากที่สองของส่วนเหลือมาตรฐานกับค่าทำนาย ใช้ในการตรวจสอบภาวะความแปรปรวนเอกพันธุ์ โดยกราฟจะต้องเส้นสีแดงจะต้องอยู่ในระนาบแนวนอน และการกระจายรอบเส้นสีแดงไม่แปรผันตามค่าที่กำหนด ซึ่งขนาดความแปรปรวนจะไม่แตกต่างกันมากนักตลอดฟังก์ชันของค่าทำนาย จากกราฟพบว่าจุดบนกราฟมีการกระจายตัวไม่แตกต่างกันมากนักตลอดฟังก์ชันของค่าทำนาย รวมทั้งได้ทำการทดสอบภาวะความแปรปรวนเอกพันธุ์ด้วยการทดสอบทางสถิติโดยใช้ Studentized Breusch-Pagan Test [26] ซึ่งพบว่าค่าสถิติ BP เท่ากับ 260.99 ที่ df เท่ากับ 11 และค่า Sig เท่ากับ < 0.00 ซึ่งปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ความแปรปรวนมีความเป็นเอกพันธุ์ ซึ่งสามารถประเมินได้ว่าสมการทำนายเป็นไปตามข้อสมมติ

สำหรับรูปที่ 2 (ค) แสดง Normal Q-Q Plot จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่เก็บได้จริงกับค่าที่คาดหวัง โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคือจุดต้องอยู่ใกล้กับเส้นตรง จากภาพสรุปได้ว่าตัวแปรทดสอบมีการแจกแจงแบบโค้งปกติเพราะสังเกตจากจุดที่เกิดขึ้นกระจายตัวอยู่ใกล้กับเส้นตรง ซึ่งสามารถประเมินได้ว่าสมการทำนายเป็นไปตามข้อสมมติที่ ε_i มีการแจกแจงแบบปรกติ และรูปที่ 2 (ง) เป็นกราฟที่ใช้ในการพิจารณาจุดที่มีอิทธิพลต่อสมการทำนาย ซึ่งจากการพิจารณากราฟพบว่าจุดบนกราฟค่อนข้างกระจายตัวในแนวระนาบเดียว ซึ่งสรุปได้ว่าไม่มีปัญหาค่าผิดปกติและค่าที่มีอิทธิผลซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบระยะทางของคุกตามที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ



รูปที่ 2. กราฟระหว่างส่วนเหลือมาตรฐานและส่วนเหลือจากการทำนาย

(ก) Residuals vs Fitted (ค) Normal Q-Q Plot

(ข) Scale-Location Plot (ง) Residuals vs Leverage

4. สรุปผลการวิจัย

การทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดของประเทศไทยด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้ข้อมูลเปิดจากหน่วยงานเกี่ยวข้องของข้อมูลในแต่ละมิติ ซึ่งประกอบด้วย 5 มิติ คือ มิติที่ 1 ข้อมูลด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภท มิติที่ 2 ข้อมูลด้านสภาพภูมิประเทศ มิติที่ 3 ข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ มิติที่ 4 ข้อมูลด้านอุตสาหกรรม และมิติที่ 5 ข้อมูลด้านครัวเรือน โดยดำเนินการบูรณาการข้อมูลทั้ง 5 มิติเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวแปรระบุความเป็นเอกลักษณ์ ได้แก่ จังหวัดและปี โดยข้อมูลจัดเก็บตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 – 2557 จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจำนวน 11 ตัวแปร โดยมิติที่มีจำนวนตัวแปรอิสระมากที่สุดในการ

อธิบายตัวแปรตามคือมิติด้านสภาพภูมิอากาศเนื่องจากเมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจะทำให้พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกัน [27] และมิติด้านอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต [28]

ปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละมิติ ประกอบด้วย มิติด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวน 1 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า มิติด้านสภาพภูมิประเทศจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนประชากร และขนาดพื้นที่รายจังหวัด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kipping และ Trømborg [6] มิติด้านสภาพภูมิอากาศจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด ค่าเฉลี่ยความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง และค่าเฉลี่ยความกดอากาศในบริเวณสถานีวัด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kavousian และคณะ [7] มิติด้านอุตสาหกรรมจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนโรงงานอุตสาหกรรม เงินทุนจดทะเบียน และจำนวนคนงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin และ Ouyang [8] และมิติด้านครัวเรือน จำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ รายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน หนี้สินเฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou และคณะ [9] ซึ่งสามารถเขียนสมการทำนายได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\widehat{\text{Total_usage_million}} &= 635525.09 + 12574.02\ \text{Electicity_user_amount} \\ &- 88.72\ \text{Population_n} - 46.92\ \text{Area_km2} \\ &- 134.61\ \text{Mean_maximum_temperature} \\ &- 683.77\ \text{Mean_msl_pressure} \\ &+ 57.35\ \text{Mean_station_pressure} \\ &- 465.35\ \text{All_factory_amount} \\ &+ 37.15\ \text{All_registered_capital} \\ &+ 171.99\ \text{All_worker_amount} \\ &+ 378.09\ \text{Average_monthly_income} \\ &- 29.26\ \text{Average_debt_per_household}\end{aligned} \quad (6)$$

โดยสมการทำนายสามารถใช้ในการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายจังหวัดได้อย่างถูกต้องประมาณร้อยละ 95.13 โดยมีค่า R-Square เท่ากับร้อยละ 95.13 และ Adjusted R-squared เท่ากับร้อยละ 95.04 และสมการทำนายที่ได้สอดคล้องตามเงื่อนไขตามข้อสมมติพื้นฐานของเกี่ยวกับ ε_i ในการวิเคราะห์การถดถอย และไม่มีปัญหาด้านคุณลักษณะของข้อมูลที่ใช้เป็นตัวอย่างการวิจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนายของสมการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มงานเดตาโซลูชันส์ภาครัฐ ฝ่ายเดตาโซลูชันส์ สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน) สำหรับความช่วยเหลือในการรวบรวมข้อมูลและการแปลงข้อมูลให้เป็นดิจิทัล (Digitization) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณสิรินารถ อินทรชูฤทธิ์ และคุณวศินี ศิริปุณย์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] ภัทรภรณ์ หิรัญวงศ์ และสิงหพันธุ์ สิงหเสนี. 2015. อนาคตพลังงานไฟฟ้าไทยพอเพียงแต่เสี่ยงภัย, Focused and Quick (FAQ) Bank of Thailand, 102, 1-7 [Pattharaporn Hirunwong and Singhapan Singhaseni. 2015. The future of Thai electricity is self-sufficient, but risky, Focused and Quick (FAQ) Bank of Thailand, 102, 1-7. (in Thai)]

[2] เผด็จ ไชยมงคล, วิชัย สุระพัฒน์, และคมสันต์ หงษ์สมบัติ. 2557. การจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบสมาร์ทกริดอย่างมีประสิทธิภาพ. วิศวกรรมสาร มก., 27(88), 81-92. [Phadet Chaimongkol, Wichai Surapat, and Khomsan Hongsombat. 2014. Effective Energy Management in Smart Grid Distribution System. Kasetsart Engineering Journal, 27(88), 81-92. (in Thai)]

[3] นิฉา แก้วหาวงษ์. 2558. การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบการถดถอยที่มีความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแบบ ARMA. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4(1), 24-36. [Nicha Kaewhawong. 2015. Forecasting Electricity Consumption of Thailand by Using SARIMA and Regression Models with ARMA Errors). Thai Journal of Science and Technology, 4(1), 24-36. (in Thai)]

[4] ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์ และสุฑารัตน์ ทองรอง. 2555. ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคใต้. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, 28(2), 13-29. [Preedaporn Kanjanasamranwong and Sutarat Thongrong. 2012. Forecasting Model in Electrical Power Consumption of the Provincial Electricity Authority in Southern Area 2. Srinakharinwirot Science Journal, 28(2), 13-29. (in Thai)]

[5] ประกาศ เรื่อง ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561 - 2580). 2018. (2561, 13 ตุลาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 135. [The National Strategy Act B.E. 2561 - 2580 (2018 - 2037C.E.). 2018. (2561, 13 October). Royal Thai Government Gazette. Volume 135. (in Thai)]

[6] Kipping, A. and Trømborg, E. 2015. Hourly electricity consumption in Norwegian households–Assessing the impacts of different heating systems. *Energy*, 93, 655-671.

[7] Kavousian, A., Rajagopal, R. and Fischer, M.J.E. 2013. Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194.

[8] Lin, B. and Ouyang, X. 2014. Electricity demand and conservation potential in the Chinese nonmetallic mineral products industry. *Energy Policy*, 68, 243-253.

[9] Zhou, K., Yang, S. and Shao, Z. 2017. Household monthly electricity consumption pattern mining: A fuzzy clustering-based model and a case study. *Journal of cleaner production*, 141, 900-908.

[10] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล. 2563. ศูนย์กลางข้อมูลเปิดภาครัฐ (Open Government Data). สำนักนายกรัฐมนตรี, แหล่งข้อมูล: https://data.go.th. ค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2563.

[11] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2563. สถิติผู้ใช้น้ำ ปริมาณการผลิต และการจำหน่ายน้ำประปา ปีงบประมาณ 2549 - 2558 สถิติผู้ใช้ไฟฟ้า และการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า จำแนกตามประเภทผู้ใช้ พ.ศ. 2549 - 2558. แหล่งข้อมูล: https://data.go.th/dataset/statseries18. ค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2563.

[12] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2562. สถิติประชากรศาสตร์ ประชากรและเคหะ. แหล่งข้อมูล: http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx. ค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2563.

[13] กรมอุตุนิยมวิทยา. 2561. รายงานค่าสถิติภูมิอากาศ ค่าปกติ ประเทศไทย 2524-2553. แหล่งข้อมูล: https://data.tmd.go.th/api/index1.php. ค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2563.

[14] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2557. สถิติโรงงานอุตสาหกรรม ที่จดทะเบียนไว้กับกระทรวงอุตสาหกรรมและได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535) พ.ศ. 2548 - 2557. แหล่งข้อมูล: http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries16.html. ค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2563.

[15] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2558. รายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่อครัวเรือน จำแนกตามภาค และจังหวัด พ.ศ. 2541 - 2558. แหล่งข้อมูล: http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries11.html. ค้นเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2563.

[16] จิราวัลย์ จิตรถเวช. 2558. การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 1, โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ, กรุงเทพมหานคร. [Jirawan Jitthavech. 2015. Regression Analysis. 1st ed. National Institute of Development Administration, Bangkok. (in Thai)]

[17] Aiken, L.S., West, S.G., Pitts, S.C., Baraldi, A.N. and Wurpts, I.C. 2012. Multiple linear regression. Handbook of Psychology. 2nd ed.

[18] Seber, G.A.F. and Lee, A.J. 2012. Linear regression analysis (Vol. 329): John Wiley & Sons.

[19] Ghorbani, H. 2019. Mahalanobis distance and its application for detecting multivariate outliers. *Facta Univ Ser Math Inform*, 34(3), 583-95.

[20] Stevens, J.P. 1984. Outliers and influential data points in regression analysis. Psychological bulletin, 95(2), 334.

[21] Savin, N.E. and White, K.J. 1977. The Durbin-Watson test for serial correlation with extreme sample sizes or many regressors. *Econometrica*, 1989-1996.

[22] Mansfield, E.R. and Helms, B.P. 1982. Detecting multicollinearity. *The American Statistician*, 36(3a), 158-160.

[23] Craney, T.A. and Surles, J.G. 2002. Model-dependent variance inflation factor cutoff values. *Quality Engineering*, 14(3), 391-403.

[24] Berk, K.N. 1977. Tolerance and condition in regression computations. *Journal of the American Statistical Association*, 72(360), 863-866.

[25] Quesenberry, C.P. and Quesenberry Jr, C. 1982. On the distribution of residuals form fitted parametric models. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 15(2-3), 129-140.

[26] Waldman, D.M. 1983. A note on algebraic equivalence of White's test and a variation of the Godfrey/Breusch-Pagan test for heteroscedasticity. *Economics Letters*, 13(2-3), 197-200.

[27] Li, Y., Pizer, W. A. and Wu, L. 2019. Climate change and residential electricity consumption in the Yangtze River Delta, China. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(2), 472-477.

[28] Yu, M., Zhao, X. and Gao, Y. 2019. Factor decomposition of China’s industrial electricity consumption using structural decomposition analysis. *Structural Change and Economic Dynamics*, 51, 67-76.