บทความวิจัย

การจำแนกและการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร

ธันวา เจริญศิริ จตุภัทร เมฆพายัพ และ กิดาการ สายธนู*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกและกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะโดยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 ถึงปี ค.ศ. 2014 โดยใช้ตัวแปรค่าความร้อนสูงเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มคุณภาพของถ่านหินออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน และกลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี แล้วสร้างตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ด้วยการวิเคราะห์การจำแนก ผลการวิจัยเมื่อใช้การวิเคราะห์ปัจจัยพบว่าสามารถรวมกลุ่มตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินได้เป็น 6 ปัจจัย ได้แก่ ออกไซด์ที่ทำให้เกิดตะกรัน ค่าความร้อน ความชื้น โพแทสเซียมออกไซด์ ไททาเนียมไดออกไซด์ และแมงกานีสไดออกไซด์ สำหรับการประเมินค่าตัวแบบที่ใช้ทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกของเมทริกซ์ Confusion มีค่าเท่ากับ 92.81% และ 95.45% เมื่อเป็นชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบและชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ถ่านหินลิกไนต์ เหมืองแม่เมาะ การวิเคราะห์ปัจจัย การวิเคราะห์การจำแนก

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: ksaithan@buu.ac.th

Classification and Identification of Lignite Quality Characteristics of Mae Moh Mine with Multivariate Analysis

Thanva Charoensiri, Jatupat Mekparyup and Kidakan Sithanu*

ABSTRACT

The purpose of this research is to classify and identify the lignite quality characteristics of Mae Moh Mine by collecting data of chemical lignite composition from Mae Moh power plant, Lampang since 2007 to 2014. The High Heating Value (HHV) was utilized as the criterion to divide the lignite qualities into 2 groups, standard and desirable groups, and then built the model to predict the quality groups of lignite with discriminant analysis. The results of research indicated that factor analysis was able to combine the correlated variables influenced to lignite quality with 6 factors, slag, heat, moisture, K_2O, TiO_2 and MnO_2. For model evaluation to predict the group of lignite quality, the correction percentage in classification of Confusion matrix were 92.81 and 95.45 in the training and validation sets, respectively.

Keywords: Lignite, Mae Moh Mine, Factor Analysis, Discriminant Analysis

Department of Mathematics, Faculty of Science, Burapha University

*Corresponding author, e-mail: ksaithan@buu.ac.th

บทนำ

ต้นกำเนิดพลังงานที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์เป็นระยะเวลานานมาแล้วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันคือ เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ เชื้อเพลิงจากธรรมชาติหมายถึง เชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถมของซากพืช หรือซากสัตว์เป็นเวลานับหลายล้านปี เช่น หินน้ำมัน ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น แต่เนื่องจากทรัพยากรซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติที่จะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานนั้นมีอยู่น้อยและจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการค้นหาแหล่งพลังงานเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้เพียงพอต่อการนำมาผลิตไฟฟ้าในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งในปัจจุบันนี้มีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นมากประกอบกับสามารถผลิตไฟฟ้าได้จากแหล่งพลังงานในหลายรูปแบบ เช่น ก๊าซธรรมชาติ พลังงานทดแทน พลังงานนิวเคลียร์ และถ่านหิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป กล่าวคือก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย และสามารถผลิตได้เองในประเทศ ซึ่งก๊าซธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบันถึงร้อยละ 70 แต่แหล่งสำรองก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยมีอยู่อย่างจำกัด โดยคาดการณ์ว่าสามารถสำรองใช้ได้ต่อไปอีกเพียงไม่กี่สิบปี ส่วนพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ตามธรรมชาติจึงเป็นพลังงานสะอาด ปล่อยมลพิษค่อนข้างต่ำและใช้ได้อย่างยั่งยืน แต่ต้นทุนในการผลิตสูงและไม่มีเสถียรภาพในด้านการผลิตและราคา ในขณะที่พลังงานนิวเคลียร์เป็นพลังงานที่สามารถผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้ามหาศาล มีความมั่นคงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ใช้เชื้อเพลิงน้อย มีเสถียรภาพในการจัดหาเชื้อเพลิง ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรือนกระจก แต่มีข้อจำกัดคือ แหล่งพลังงานมีน้อยและต้องการเทคโนโลยีขั้นสูงในการพัฒนาโครงการเพื่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จึงต้องใช้ระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการกำจัดกากของเสียกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น

ดังนั้นถ่านหินจึงเป็นพลังงานอีกทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่เป็นปริมาณมากสามารถใช้ได้อีกมากกว่า 200 ปี [1] เป็นแหล่งพลังงานที่หาได้ง่าย มีเสถียรภาพในด้านราคา ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนถ่านหิน อีกทั้งยังสามารถเลือกคุณภาพถ่านหินได้ตามต้องการ นอกจากนี้ยังมีความปลอดภัยในการขนส่งและจัดเก็บง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติ แต่การใช้ถ่านหินก็ยังมีข้อจำกัดคือ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และกำมะถันในปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทอื่น ถึงแม้ว่าการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจะมีความสะอาดน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดมลภาวะ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (Clean coal technology) มาใช้เพื่อกำจัดสารมลพิษที่ปล่อยออกมาในกระบวนการผลิตและการใช้ถ่านหินซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเหมืองถ่านหินและจัดการถ่านหินก่อนนำมาใช้ รวมถึงการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากฝุ่นละอองและของเสียจากการเผาไหม้ เช่น เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้ (Pre-Combustion) เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะการเผาไหม้ (Combustion) เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้ (Post-Combustion) และเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ด้วยการแปรสภาพถ่านหิน (Coal conversion) ดังนั้นการสนับสนุนนโยบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีเหล่านี้ จึงเป็นการสร้างความมั่นคงในด้านพลังงาน และสร้างความมั่นใจและทัศนคติที่ดีเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าถ่านหินให้กับประชาชนในชุมชน จึงมีการสำรวจแหล่งถ่านหินเพิ่มเติมพร้อมทั้งทำการปรับปรุงคุณภาพของถ่านหินให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหิน

โดยการศึกษาจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินจะทำให้ทราบถึงประเภทและคุณภาพของถ่านหิน ซึ่งเป็นการนำถ่านหินไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด และยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาในด้านสุขภาพต่อประชาชนในชุมชนอีกด้วย งานวิจัยที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินทั้งในประเทศและต่างประเทศแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน ดังนี้

1. งานวิจัยที่ใช้วิธีการทางเคมี เช่น กิตินันต์ แสงมณี และคณะ [2] ใช้วิธีการส่องผ่านด้วยรังสีแกมมา อรวรรณ ชัยลภากุล [3] ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) การวิเคราะห์โดยละเอียด (Ultimate analysis) และวิเคราะห์เถ้าถ่านหินด้วยเทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic absorption Spectrophotometry) การตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงรังสีขาว (UV-Vis Absorption Spectrophotometry) และการเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectrometry)

2. งานวิจัยที่ใช้วิธีการเชิงสถิติเพื่อสร้างตัวแบบในการจำแนกกลุ่มของถ่านหินแล้วตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ เช่น ธงชัย แก้วอุด [4] ใช้เทคนิคต้นไม้สำหรับการตัดสินใจ (Decision tree) การวิเคราะห์การจำแนก (Discriminant analysis) และข่ายงานระบบประสาทเทียม (Artificial Neuron Network: ANN) Chao et al. [5] ใช้วิธีการจำแนกเบส์เชียน (Bayesian discriminant analysis) และข่ายงานระบบประสาท (Neural network) ด้วยวิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation: BP) และ Eskanazy et al. [6] ใช้วิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster analysis)

3. งานวิจัยที่ใช้วิธีการทางเคมีควบคู่กับวิธีการเชิงสถิติ เช่น Ogala, Akaegbobi, Omo-Irabor and Finkelman [7] ใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) ควบคู่กับเทคนิค ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Mass Spectrometry) และ Smolinski [8] ใช้การจัดกลุ่มตามลำดับขั้น (Hierarchical Cluster Analysis: HCA) ควบคู่กับการใช้แผนภาพสี (Colour data map)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยเห็นว่าการศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะนั้นมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่เป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์การวิเคราะห์หลายตัวแปร (Multivariate analysis) โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ซึ่งมีการถอดปัจจัย (Factor extraction) ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหิน จากนั้นจึงนำปัจจัยเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างตัวแบบเพื่อทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ด้วยการวิเคราะห์การจำแนก (Discriminant analysis) ซึ่งตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะที่ได้นี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับใช้เป็นแนวทางในการกำหนดคุณภาพของถ่านหินจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าของถ่านหิน เพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาในด้านสุขภาพของประชาชนในชุมชนหากต้องมีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำแนกและกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะ โดยรวบรวมข้อมูลจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เครื่องที่ 4-13 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 ถึงปี ค.ศ. 2014 จากแผนกเคมีการผลิต กองการผลิต 1 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมเหล่านี้อยู่ในรูปปริมาณหรือค่าความเข้มข้นของตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินทั้งหมดจำนวน 16 ตัว ได้แก่ เถ้า (Ash) ความชื้น (Moisture) สารระเหย (Volatile) ค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) ค่าความร้อนสูง (High Heating Value: HHV) โซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ฟอสฟอรัสเพนออกไซด์ (P_2O_5) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) โพแทสเซียมไดออกไซด์ (K_2O) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ไอออนออกไซด์ (Fe_2O_3) และแคลเซียมอิสระ (CaO free SO_3)

2. การจัดการข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแปรค่าความร้อนสูงเป็นเกณฑ์ในการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดได้แก่ ชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ (Training data set) เป็นข้อมูลในปี ค.ศ. 2007 ถึงปี ค.ศ. 2012 และชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Validation data set) เป็นข้อมูลในปี ค.ศ. 2013 และปี ค.ศ. 2014

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปมินิแทบ (Minitab) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะทั่วไปของตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินซึ่งใช้จำแนกประเภทของถ่านหินและใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพของถ่านหิน ด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)

2. หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์โดย

2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินด้วยการทดสอบสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation)

2.2 ใช้การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ซึ่งมีการถอดปัจจัย (Factor extraction) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) เพื่อรวมตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินที่มีความสัมพันธ์กันเข้าไว้เป็นปัจจัยเดียวกันแล้วนำมาสร้างเป็นตัวแปรใหม่ในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ต่อไป

3. สร้างตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ ด้วยการวิเคราะห์การจำแนก (Discriminant analysis) ดังนี้

3.1 สร้างสมการจำแนกกลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์จากชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ

3.2 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบที่ใช้ทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ด้วยชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ โดยการนำตัวแปรใหม่ที่ได้จากการรวมปัจจัยจากขั้นตอนที่ 2.2 มาแทนค่าลงในสมการจำแนกกลุ่มคุณภาพของถ่านหินจากขั้นตอนที่ 3.1

ผลการวิจัย

ในการจำแนกและการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปรมีผลการทดลอง ดังนี้

1. การศึกษาลักษณะทั่วไปของตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน

เมื่อใช้สถิติพรรณนาคือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตรวจสอบลักษณะทั่วไปของตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะ พบว่า เปอร์เซ็นต์ของเถ้ามีค่าเฉลี่ย 39.5080 ± 3.4660 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นมีค่าเฉลี่ย 13.09000 ± 3.2940 เปอร์เซ็นต์ของสารระเหยมีค่าเฉลี่ย 37.1480 ± 2.1100 เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงที่มีค่าเฉลี่ย 16.1720 ± 1.8770 และค่าความร้อนสูงมีค่าเฉลี่ย 3,937.2000 ± 265.0000 (KCal/Kg)

เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของถ่านหินตามหลักเกณฑ์การจำแนกประเภทของถ่านหินของมาตรฐานระบบระหว่างประเทศ [9] และเกณฑ์กำหนดคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ [10] แล้วพบว่ามีเพียงค่าเฉลี่ยของค่าความร้อนสูงที่อยู่ในช่วงเกณฑ์การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศและเกณฑ์กำหนดคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ผู้วิจัยจึงใช้ค่าความร้อนสูงเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มคุณภาพของถ่านหินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน เป็นถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูงอยู่ในช่วง 2,200-4,000 KCal/Kg และกลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี เป็นถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูงมากกว่า 4,000 KCal/Kg

2. การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์

ผลการหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์เป็นดังนี้

2.1 p-value ของการทดสอบสหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างตัวแปรรายคู่ที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าถ่านหินทั้ง 16 ตัวมีค่าน้อยมากๆ (≈ 0) ซึ่งหมายความว่าตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน ส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กัน ยกเว้นตัวแปร 3 คู่ที่มี p-value ของการทดสอบสหสัมพันธ์ของเพียร์สันมาก ได้แก่ (1) ความชื้นและโพแทสเซียมออกไซด์มี p-value = 0.523 (2) โซเดียมไดออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์มี p-value = 0.053 (3) ไททาเนียมไดออกไซด์และแมงกานีสไดออกไซด์มี p-value = 0.076 ดังนั้นการประยุกต์การวิเคราะห์หลายตัวแปรเพื่อจำแนกและกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะจึงมีความเหมาะสม เนื่องจากช่วยลดจำนวนตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินที่มีความสัมพันธ์กันและมีอยู่เป็นจำนวนมากลงได้

2.2 เมื่อใช้การวิเคราะห์ปัจจัยซึ่งมีการถอดปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก พบว่าค่าเฉพาะ (Eigenvalue) ของส่วนประกอบหลักที่ 1 ถึงส่วนประกอบหลักที่ 6 (PC1-PC6) ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 มีค่ามากกว่าหรือใกล้เคียงกับ 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้ส่วนประกอบหลักจำนวน 6 ส่วนประกอบ ซึ่งส่วนประกอบหลักทั้ง 6 ส่วนประกอบนี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ถึง 79.90%

ตารางที่ 1 ค่าเฉพาะ สัดส่วนความแปรผัน และสัดส่วนความแปรผันสะสมของแต่ละส่วนประกอบหลัก

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
ค่าเฉพาะ	5.9626	2.6416	1.3182	1.0278	0.9270	0.9020	0.7293	0.7155
สัดส่วนความแปรผัน	0.3730	0.1650	0.0820	0.0640	0.0580	0.0560	0.0460	0.0450
สัดส่วนความแปรผันสะสม	0.3730	0.5380	0.6200	0.6840	0.7420	0.7990	0.8440	0.8890
	PC9	**PC10**	**PC11**	**PC12**	**PC13**	**PC14**	**PC15**	**PC16**
ค่าเฉพาะ	0.5329	0.3708	0.3192	0.2978	0.1591	0.0552	0.0281	0.0130
สัดส่วนความแปรผัน	0.0330	0.0230	0.0200	0.0190	0.0100	0.0030	0.0020	0.0010
สัดส่วนความแปรผันสะสม	0.9220	0.9450	0.9650	0.9840	0.9940	0.9970	0.9990	1.0000

เมื่อทำการถอดปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักจะมีการลดจำนวนตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินจาก 16 ตัวให้เหลือเพียงแค่ 6 ตัวแล้ว ต่อจากนั้นจะทำการหมุนปัจจัย (Factor rotation) ด้วยวิธีแวริแมกซ์ (Varimax) เพื่อรวมกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินเป็น 6 ปัจจัย โดยพิจารณาจากค่าถ่วงปัจจัย (Factor loading) ของข้อมูลซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สามารถอธิบายความหมายของปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยที่เป็นตัวแปรตัวใหม่ได้ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 เป็นกลุ่มออกไซด์ที่ทำให้เกิดตะกรัน (Slag)

ปัจจัยที่ 2 เป็นกลุ่มค่าความร้อน (Heat)

ปัจจัยที่ 3 เป็นกลุ่มความชื้น (Moisture)

ปัจจัยที่ 4 เป็นกลุ่มโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)

ปัจจัยที่ 5 เป็นกลุ่มไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ปัจจัยที่ 6 เป็นกลุ่มแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2)

ตารางที่ 2 ค่าถ่วงปัจจัยหลังจากหมุนปัจจัยด้วยวิธีแวริแมกซ์

ปัจจัย	ตัวแปร	ค่าการให้น้ำหนัก	กลุ่มตัวแปรใหม่
ปัจจัยที่ 1	Al_2O_3	- 0.844	ออกไซด์ที่ทำให้เกิดตะกรัน(Slag)
	SiO_2	- 0.884	
	SO_3	0.805	
ปัจจัยที่ 2	Fixed Carbon	0.830	ค่าความร้อน (Heat)
	HHV	0.934	
ปัจจัยที่ 3	Moisture	0.815	ความชื้น (Moisture)
ปัจจัยที่ 4	K_2O	- 0.841	โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)
ปัจจัยที่ 5	TiO_2	0.973	ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
ปัจจัยที่ 6	MnO_2	- 0.952	แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2)

3. การสร้างตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์

เมื่อใช้การวิเคราะห์การจำแนกด้วยการจำแนกเชิงเส้น (Linear Discrimination) เพื่อสร้างตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์จากปัจจัย 6 ปัจจัยซึ่งมีอิทธิพลต่อการกำหนดคุณภาพของถ่านหินที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.2 จะได้สมการจำแนกกลุ่มคุณภาพของถ่านหินดังนี้

กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน

$$\hat{Y}_0 = -0.4281 - 0.5454Slag - 1.3263Heat - 0.0331Moisture - 0.0055K_2O + 0.0286TiO_2 + 0.0350MnO_2$$

กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี

$$\hat{Y}_1 = -1.1145 + 0.4990Slag + 2.2855Heat - 0.5517K_2O - 0.0990TiO_2 - 0.0247MnO_2$$

โดยที่ $\hat{Y}_0$ เป็นค่าทำนายหรือค่าพยากรณ์ของคะแนนจำแนกกลุ่มสำหรับกลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน

$\hat{Y}_1$ เป็นค่าทำนายหรือค่าพยากรณ์ของคะแนนจำแนกกลุ่มสำหรับกลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี

$Heat$ เป็นค่าความร้อน

$Moisture$ เป็นความชื้น

K_2O เป็นโพแทสเซียมออกไซด์

TiO_2 เป็นไททาเนียมไดออกไซด์

MnO_2 เป็นแมงกานีสไดออกไซด์

สำหรับการประเมินความถูกต้องของตัวแบบที่ได้ เพื่อใช้ทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์พิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกของเมทริกซ์ Confusion ทั้งจากชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบและชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกของเมทริกซ์ Confusion

	ชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ (Training set)		**ชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Validation set)**	
ถ่านหินถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม	**กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน**	**กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี**	**กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน**	**กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี**
กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน	2,144	93	834	32
กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี	204	1,688	24	341
จำนวนข้อมูลถ่านหินทั้งหมด	2,348	1,781	858	373
สัดส่วนของการจัดกลุ่มถูกต้อง	0.9131	0.9478	0.9720	0.9142
สัดส่วนความถูกต้องของตัวแบบ	**0.9281**		**0.9545**	

จากตารางที่ 3 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกของเมทริกซ์ Confusion ของตัวแบบที่ได้ เมื่อทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์เป็น 92.81% สำหรับชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ และ 95.45% สำหรับชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจำแนกและกำหนดลักษณะคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะ โดยพิจารณาจากตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าของถ่านหินทั้งหมดจำนวน 16 ตัว ได้แก่ เถ้า (Ash) ความชื้น (Moisture) สารระเหย (Volatile) ค่าคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) ค่าความร้อนสูง (High Heating Value: HHV) โซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ฟอสฟอรัสเพนออกไซด์ (P_2O_5) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) โพแทสเซียมไดออกไซด์ (K_2O) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ไอออนออกไซด์ (Fe_2O_3) และแคลเซียมอิสระ (CaO free SO_3) ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณลักษณะของถ่านหินตามหลักเกณฑ์การจำแนกประเภทของถ่านหินของมาตรฐานระบบระหว่างประเทศและเกณฑ์กำหนดคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของ

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่ามีเพียงค่าเฉลี่ยของค่าความร้อนสูงที่อยู่ในช่วงเกณฑ์การจำแนกประเภทของถ่านหินตามมาตรฐานระบบระหว่างประเทศและเกณฑ์กำหนดคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ เสกสรร แสงดาว และฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ [11] ที่มีค่าความร้อนสูงอยู่ในช่วง 2,100-6,000 KCal/Kg ดังนั้นค่าความร้อนสูงจึงถูกใช้กำหนดเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน เป็นถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูงอยู่ในช่วง 2,200-4,000 KCal/Kg และกลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี เป็นถ่านหินที่มีค่าความร้อนสูงมากกว่า 4,000 KCal/Kg

เมื่อใช้การวิเคราะห์ปัจจัยซึ่งมีการถอดปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก พบว่าสามารถลดจำนวนตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินจาก 16 ตัว ให้เหลือเพียงแค่ 6 ตัว ต่อจากนั้นจะทำการหมุนปัจจัยด้วยวิธีแวริแมกซ์ เพื่อรวมกลุ่มของตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าของถ่านหินเป็น 6 ปัจจัย โดยพิจารณาจากค่าถ่วงปัจจัย ซึ่งสามารถอธิบายความหมายของกลุ่มตัวแปรใหม่ได้ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 เป็นกลุ่มออกไซด์ที่ทำให้เกิดตะกรัน (Slag)
ปัจจัยที่ 2 เป็นกลุ่มค่าความร้อน (Heat)
ปัจจัยที่ 3 เป็นกลุ่มความชื้น (Moisture)
ปัจจัยที่ 4 เป็นกลุ่มโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)
ปัจจัยที่ 5 เป็นกลุ่มไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
ปัจจัยที่ 6 เป็นกลุ่มแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2)

เมื่อทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะกลุ่มคุณภาพของถ่านหินแล้ว จึงนำตัวแปรดังกล่าวมาสร้างตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ด้วยการวิเคราะห์การจำแนก ซึ่งจะได้สมการจำแนกกลุ่มคุณภาพของถ่านหินดังนี้

กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน

$$\hat{Y}_0 = -0.4281 - 0.5454Slag - 1.3263Heat - 0.0331Moisture - 0.0055K_2O + 0.0286TiO_2 + 0.0350MnO_2$$

กลุ่มถ่านหินที่มีคุณภาพดี

$$\hat{Y}_1 = -1.1145 + 0.4990Slag + 2.2855Heat - 0.0584Moisture - 0.5517K_2O - 0.0990TiO_2 - 0.0247MnO_2$$

สำหรับการประเมินความถูกต้องในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ที่ได้นี้พบว่าสำหรับชุดของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มคุณภาพของถ่านหินเป็น 92.81% และสำหรับชุดของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มคุณภาพของถ่านหินเป็น 95.45%

ดังนั้นจึงสามารถใช้ตัวแบบในการทำนายค่าหรือพยากรณ์กลุ่มคุณภาพของถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะนี้เป็นเครื่องมือในการกำหนดคุณภาพของถ่านหินได้ เนื่องจากให้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกันกับการตรวจสอบด้วยวิธีการทางเคมีของ ธงชัย แก้วอุด [4] และยังช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการ

ดำเนินการศึกษาในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาในด้านสุขภาพของประชาชนในชุมชนและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยผู้ว่าการผลิตไฟฟ้า 2 และนายเฉลิมพล ดวงแข หัวหน้าแผนกเคมีการผลิต กองการผลิต 1 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นอย่างสูงที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน

เอกสารอ้างอิง

1. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, ณัฏฐณิชา ตระการจินดานันท์ และ เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2555. ถ่านหินกับการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย. *วารสารราชบัณฑิตยสถาน.* 37(4): 22-40.
2. กิตินันต์ แสงมณี, จิตพันธุ์ อินทร์เอียด, ศศิพันธุ์ คะวีรัตน์, วิเชียร รตนธงชัย, วันชัย ธรรมวานิช และ สมพร จองคำ 2544. การวิเคราะห์ถ่านหินโดยวิธีการส่องผ่านด้วยรังสีแกมมา. การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 8. 20-21 มิถุนายน 2544 ณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. กรุงเทพมหานคร. หน้า 745-754.
3. อรวรรณ ชัยลภากุล. 2529. การวิเคราะห์ถ่านหินจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. ธงชัย แก้วอุด. 2553. การวิเคราะห์องค์ประกอบของขี้เถ้าถ่านหินที่มีความสัมพันธ์กับแคลเซียมออกไซด์ ใน ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
5. Chao, W.A.N.G., Enyuan, W.A.N.G., Jiankun, X.U., Xiaofei, L.I.U., and Li, L.I.N.G. 2010. Bayesian discriminant analysis for prediction of coal and gas outbursts and application. *Mining Science and Technology (China).* 20(4): 520-523.
6. Eskanazy, G., Finkelman, R. B., and Chattarjee, S. 2010. Some considerations concerning the use of correlation coefficients and cluster analysis in interpreting coal geochemistry data. *International Journal of Coal Geology.* 83(4): 491-493.
7. Ogala, J.E., Akaegbobi, I., Omo-Irabor, O.O., and Finkelman, R. B. 2009. Statistical analysis of geochemical distribution of major and trace elements of the maastrichtian coal measures in the Anambra Basin, *Nigeria. Petroleum and coal.* 54(4): 261-270.
8. Smolinski, A. 2014. Analysis of the impact of physicochemical parameters characterizing coal mine waste on the initialization of self-ignition process with application of Cluster Analysis. *Journal of Sustainable Mining.* 13(3): 36-40.

9. สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และส่งเสริมเทคโนโลยี. 2555. แหล่งเรียนรู้เหมืองถ่านหินแม่เมาะ. ได้จาก http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=2&content_folder_id=5. 24 มิถุนายน 2558.
10. โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. 2558. ประวัติความเป็นมาโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. ได้จาก http://maemoh.egat.com/index_maemoh/index.php?content=history. 24 มิถุนายน 2558.
11. เสกสรร แสงดาว และฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์. (2556). คุณภาพถ่านหินสำหรับโรงไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานอากาศ. *วารสารวิจัยพลังงาน.* 10(3): 29-42.

ได้รับบทความวันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2559
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 28 มีนาคม 2559