



การประเมินปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อ การสันดาปภายในหม้อไอน้ำเชื้อเพลิงถ่านหินบดละเอียด Appraisal of Appropriate Combustion Air in a Pulverized Coal-fired Boiler

พิริยะ ทองเขียว และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Piriya Thongchiew and Tanongkiat Kiatsiriroat

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

บทคัดย่อ

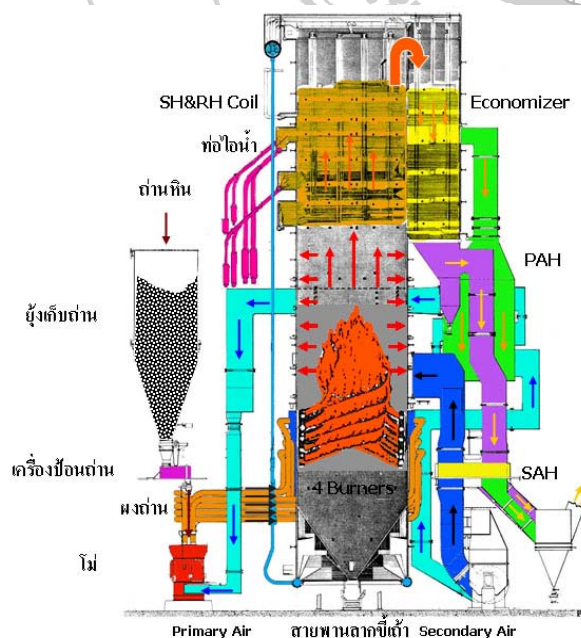
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณอากาศที่เหมาะสม ในการเผาไหม้ที่มีผลต่อการทำงานหม้อไอน้ำ ที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลิกไนต์บดละเอียด ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ เนื่องจาก คุณสมบัติถ่านหินที่แปรเปลี่ยนไปอยู่ตลอดเวลา ทำให้ระบบควบคุมการสันดาปแบบเดิมไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ก่อให้เกิดปัญหาการสะสมเถ้าและการสูญเสียพลังงานความร้อนออกจากระบบ จากการเก็บข้อมูลสภาพการทำงานของหม้อไอน้ำและคุณสมบัติทางเคมีของถ่านหิน พบว่าองค์ประกอบของถ่านหินมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับค่าความร้อนของถ่านหิน ค่าความสัมพันธ์ที่ได้ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณอากาศที่เหมาะสมทางทฤษฎีโดยใช้วิธีการดุลสมการการเผาไหม้ที่คุณภาพของถ่านหินต่างๆ ผลที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับสภาวะการสันดาปที่เกิดขึ้นจริงเพื่อปรับแต่งข้อมูลให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ผลสรุปจากการวิจัยครั้งนี้ นำไปสู่การออกแบบกราฟแสดงปริมาณอากาศที่เหมาะสมในแต่ละช่วงกำลังการผลิตและที่ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงแตกต่างกันออกไปเพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมปริมาณอากาศให้กับพนักงานควบคุมหม้อไอน้ำ โดยมีเป้าหมายให้หม้อไอน้ำมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

ABSTRACT

This objective of this study is to find out the appropriate combustion air in a pulverized coal-fired boiler using lignite as fuel at Mae Moh Power Plant. Since the coal property has a wide range quality, therefore, the existing conventional combustion air control system could not completely response to the unstable combustion condition which causes high ash deformation in the boiler and high energy losses. The study was carried out by collecting the boiler operation data from the real-time plant database and analyzing the coal properties. It was found that the coal components and the coal heating value had a linear relation. The correlation was used to estimate the theoretical air by means of the combustion equations. The results of new combustion air were adjusted in the actual practice to operate the boiler at its designed condition. The final results were taken to create the combustion air control diagram for boiler operators to keep the boiler operate at high reliable performance and high efficiency.

1. บทนำ

โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนใช้ถ่านหินลิกไนต์จากบ่อเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิง หม้อไอน้ำ(Boiler)เป็นแบบ Tangential Fire Furnace ดังแสดงในรูปที่ 1 ในสถานะที่โรงไฟฟ้าจ่ายกระแสเต็มกำลัง (300 MW) จะต้องป้อนเชื้อเพลิงถ่านหินเข้าหม้อไอน้ำประมาณ 220-300 Ton/h และป้อนอากาศเพื่อใช้ในการสันดาปประมาณ 335-355 kg/s ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของถ่านหิน สามารถผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในการหมุนชุดกังหันไอน้ำ (Turbine) ที่อุณหภูมิ 540 °C, แรงดัน 160 Bar (g) และอัตราการไหลประมาณ 240 kg/s



รูปที่ 1 หม้อไอน้ำโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 8-13

หลักการทำงานของหม้อไอน้ำจะเริ่มจาก ถ่านหินจากลานกองถ่านจะถูกลำเลียงมาตามสายพานและเคาะลงไปในถังเก็บถ่าน เพื่อใช้ในการถักเก็บและลำรองถ่านหินในระหว่างการเผาไหม้ ภายใต้ถังถ่านแต่ละถังจะติดตั้งเครื่องป้อนถ่านหินแบบสายพาน ซึ่งจะปรับเปลี่ยนปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการเผาไหม้ไปตามการสั่งการของระบบควบคุมโดยอัตโนมัติด้วยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ

สายพานให้สอดคล้องกับน้ำหนักถ่านที่ตกบนสายพาน ถ่านหินจากสายพานจะถูกส่งลงไปยังโม่บดถ่านหินแบบจานซึ่งจะทำการย่อยถ่านหินให้มีขนาดเล็กลงจนกระทั่งเป็นผงถ่าน ในขณะเดียวกันจะมีอากาศร้อน (Primary Air) ส่งเข้ามาในโม่โดยอาศัยพัดลมดูดอากาศ (PA Fan) ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (PAH) เพื่อทำน้ำที่ไถ่ความชื้นออกจากเนื้อถ่านพร้อมกับทำหน้าที่พัดพาผงถ่านไปตามท่อลำเลียงส่งไปยังหัวเผา (Burner) ทั้ง 4 มุม

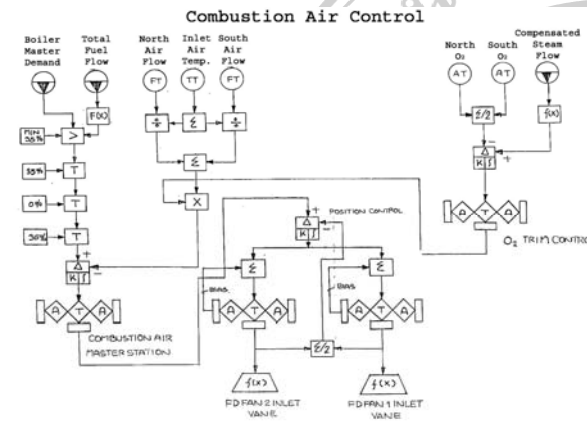
เตา อากาศร้อนอีกส่วนหนึ่ง (Secondary Air) จะถูกป้อนเข้าไปบริเวณหัวเผาแต่ละหัวโดยอาศัยพัดลมดูดอากาศ (FD Fan) ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (SAH) เพื่อช่วยให้การสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ใน

การควบคุมปริมาณอากาศทั้งหมดนั้นจะถูกควบคุมแบบอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2 สัญญาณหลักที่นำเข้ามาใช้ในการสั่งการมีอยู่ 3 ตัวคือ 1. Boiler Master Command(BMC) เป็นสัญญาณความต้องการที่ออกมา

จากศูนย์กลางการประมวลผลทางด้านหม้อไอน้ำ 2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำในขณะนั้น 3. ปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำในขณะนั้น การควบคุมจะเริ่มจากการนำเอาสัญญาณ BMC มาเปรียบเทียบกับปริมาณถ่านที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำแล้วเลือกตัวเลขที่มีค่ามากกว่าผ่านสัญญาณไปเปรียบเทียบกับปริมาณอากาศ

ผลต่างที่ได้จะถูกส่งต่อไปยัง Combustion Air Master Station ซึ่งเป็นศูนย์กลางการประมวลผลทางด้านการควบคุมปริมาณอากาศ สัญญาณที่ออกไปจากจุดนี้จะนำไปใช้ในการควบคุมตำแหน่ง FD Fan Inlet Vane เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการอากาศของระบบ ส่วนระบบย่อยอีกระบบหนึ่งที่มีความสำคัญในการเติมเต็มระบบให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น คือ การนำเอาค่าปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการสันดาป(Excess O₂) ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณจากปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ ผลต่างที่ได้จะวิ่งเข้าไปสู่ระบบ O₂ Trim Control แล้วส่งสัญญาณไปรวมกับสัญญาณจากปริมาณอากาศรวมต่อไป ซึ่งตามแนวคิดของการออกแบบในส่วนนี้เพื่อให้

การควบคุมปริมาณอากาศสอดคล้องไปตามการสันดาปที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 ระบบควบคุมปริมาณอากาศ

แต่ในสภาพการเดินเครื่องที่ผ่านมาพบว่าไม่สามารถนำเอาระบบ Excess O₂ เข้าใช้งานแบบอัตโนมัติได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทางโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้นำเอาระบบ Governor Free และ Automatic Generation Control เข้ามาใช้งานเพื่อช่วยรักษาความมั่นคงของระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าของ กฟผ. ทำให้กำลังผลิตเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และความต้องการของระบบ โดยระบบจ่ายกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วในขณะที่ระบบควบคุมปริมาณอากาศมีการตอบสนองช้าเนื่องจากเป็นระบบที่ใหญ่และซับซ้อนจึงนำเอาระบบ Excess O₂ เข้าใช้งานแบบอัตโนมัติได้เป็นช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้นเพราะพบว่าระบบควบคุมตอบสนองการสั่งการไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงทำให้เกิดความไม่มั่นคงต่อโรงไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดก๊าซชุดเฟอร์ ระบบ Excess O₂ Control จึงต้องเปลี่ยนไปอยู่ใน Manual Mode ตลอดเวลา ทำให้ขาดความสมบูรณ์ในการควบคุมการสันดาป

ด้วยเหตุดังกล่าว จึงได้ทำการเก็บข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำจากระบบฐานข้อมูลโรงไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์สภาพการทำงานของหม้อไอน้ำและศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านหิน เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาปริมาณอากาศที่เหมาะสมทางทฤษฎีโดยใช้วิธีการดุลสมการการเผาไหม้ที่คุณภาพหินต่างๆ ทำให้สามารถคำนวณปริมาณอากาศที่

ควรจะเป็นไปตามค่าการออกแบบของหม้อไอน้ำ เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมปริมาณอากาศให้กับพนักงานควบคุมหม้อไอน้ำ โดยมีเป้าหมายให้หม้อไอน้ำมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 เชื้อเพลิงถ่านหิน [1]

2.1.1 จุดกำเนิดของถ่านหิน

ถ่านหินคือ หินตะกอนชนิดหนึ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ และมีส่วนประกอบที่เป็น สารประกอบของคาร์บอนไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักหรือร้อยละ 70 โดยปริมาณ ถ่านหินมีกำเนิดมาจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพืชพันธุ์ไม้ต่างๆ ที่ สลายตัวและสะสมอยู่ในหนองบึงนับเป็นสิบล้านปี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก เช่น เกิดแผ่นดินไหว, ภูเขาไฟระเบิด หรือมีการทับถมของตะกอนมากขึ้น ทำให้แหล่งสะสมตัวนั้นได้รับความกดดันและความร้อนที่มีอยู่ภายในโลกเพิ่มขึ้น ซากพืชเหล่านั้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นถ่านตามลำดับขั้นต่างๆ คือ พีต, ลิกไนต์, ซับบิทูมินัส, บิทูมินัส และ แอนทราไซด์ ถ่านหินเกิดขึ้นมาจากขบวนการทางเคมีตามธรรมชาติซึ่งจุดกำเนิดแรกสุดคือขบวนการที่พืชดูดซับเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง หลังจากนั้นแสงแดด, ความชื้น และ ตัวแปรต่างๆ จะทำการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่รูปของสารประกอบของคาร์บอน, ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน เช่น น้ำตาล, แป้ง, เซลลูโลส, ลิกนิน และ สารประกอบต่างๆ ที่มีความซับซ้อนซึ่งทั้งหมดนี้ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างของพืช ภายใต้สภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมพืชเหล่านี้ก็จะปรับเปลี่ยนสภาพอยู่ในรูปของถ่านหินอย่างที่เราเห็น แหล่งถ่านหินแต่ละแห่งจะมีการสะสมตัวแตกต่างกันไป จากการศึกษาทางธรณีวิทยาพบว่าบริเวณที่เหมาะสมในการเกิดถ่านหินมี 6 บริเวณคือ บริเวณที่ลุ่มชายฝั่ง, บริเวณดินดอนสามเหลี่ยม, บริเวณทะเลสาบและปากอ่าว, บริเวณที่ราบเชิงเขา, บริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา และ บริเวณแอ่งในหุบเขา

ในช่วงเริ่มแรกซากพืชที่ถูกทับถมจะกลายสภาพเป็น “พีท” ซึ่งเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะสังเกตเห็นลักษณะของพีท อยู่คือเห็นลักษณะของกิ่งก้าน, ราก และเปลือกไม้ เมื่อพีท ถูกทับถมแบบที่เรียกว่าใช้ในการย่อยสลายจะขาดออกซิเจน ทำให้ขบวนการเน่าเปื่อยผุพังช้าลงเรื่อยๆ และเมื่อมีการทับถมของพีทมามากขึ้นยิ่งทำให้แรงกดทับมากเพิ่มขึ้นและบีบอัดให้พีทแข็งตัวมากขึ้น จึงมักจะพบพีทเกิดขึ้นที่ได้ท้อง หนองน้ำหรือทะเลเพราะถูกแรงกดจากน้ำหนักของน้ำ บางครั้งตะกอนแร่ที่เกิดมาจากพัดพาของโคลนเลนจะมา สะสมในบริเวณที่เกิดพีททำให้เราสามารถสังเกตเห็นชั้น ของหินชนวนแทรกอยู่ในบางชั้นของถ่านหิน ในช่วง สุดท้ายของขบวนการการเกิดพีท หนองน้ำที่มีพีทถูกทับถมอยู่ด้านล่างจะยังคงถูกน้ำท่วมอยู่ตลอดระยะเวลาหลาย ล้านปี ในขณะที่ตะกอนต่างๆจะทับถมเป็นชั้นหนามากขึ้นเรื่อยๆแรงอัดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนทำให้เกิดขบวนการแปรสภาพพีทไปเป็นเป็นถ่านหินซึ่งเราเรียกขบวนการ เหล่านี้ว่า “Coalification”

ลิกไนต์จัดเป็นถ่านหินที่มีค่าความร้อนต่ำที่สุดใน กลุ่ม คำว่า ลิกไนต์ เป็นชื่อที่นำมาจากภาษาละตินคือ “Lignum” แปลว่า “ไม้” ลิกไนต์เกิดจากการทับถม ของพืชประเภทที่มีน้ำภายในเนื้อไม้สูงเช่น ไม้สน เนื่องจาก มีอายุในการทับถมน้อยเมื่อเทียบกับถ่านหินตัวอื่นดังนั้น องค์ประกอบจึงยังคงลักษณะคล้ายกับไม้คือเกาะกันเป็น ชั้นๆ แยกย่อยได้ง่าย บางครั้งจะสังเกตเห็นลายไม้ในเนื้อ ถ่านหรือสีของลิกไนต์เป็นสีน้ำตาลเข้ม ลิกไนต์จะมี ความชื้นสูงคือประมาณ 30 % มีสารวาปไฟสูงและมีค่า ความร้อนต่ำ ทำให้ไม่นิยมในการซื้อขายระหว่างระยะ ทางไกลๆเพราะมักไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มักจะ นำมาใช้งานบริเวณที่จุดพบเป็นส่วนใหญ่ คุณสมบัติอีก ประการหนึ่งของถ่านลิกไนต์ที่เป็นจุดเด่นคือ การติดไฟได้ เองและการแตกเป็นก้อนเล็กละเอียดเมื่อเก็บทิ้งไว้นานๆ สาเหตุที่ทำให้ถ่านติดไฟได้เองเพราะปฏิกิริยาระหว่าง ออกซิเจนกับสารประกอบบางอย่างในลิกไนต์ การติดไฟ มักเกิดจากการเก็บถ่านเป็นเวลานาน ทำให้ถ่านสูญเสีย

ความชื้นในตัวเรื่อยๆและแตกออกเป็นก้อนเล็กๆ ใน ระหว่างนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรุนแรงและคาย ความร้อนออกมา สำหรับลิกไนต์ของบ่อเหมืองแม่เมาะจะ เกิดขึ้นตั้งแต่ยุคเทอร์เชียรีมีอายุประมาณ 80-100 ล้านปีมี การสะสมตัวในลักษณะเป็นแอ่งกระทะซึ่งอาจจะเป็น ทะเลสาบขนาดใหญ่เนื่องจากพบซากสิ่งมีชีวิตจำพวกสัตว์ น้ำจืด เช่น เต่า, ปลาและหอย เป็นต้น

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพถ่านหิน [1]

การวิเคราะห์คุณภาพถ่านหินที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบคือ Proximate และ Ultimate Analysis ซึ่งจะแสดงผล การวิเคราะห์อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

2.2.1 Proximate Analysis จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ พฤติกรรมของถ่านหินเมื่อถูกให้ความร้อน ผลการทำ Proximate Analysis ยังมีประโยชน์ในการคัดแยกถ่าน หินที่จะนำเข้ามาเผาไหม้ในเตา มาตรฐานที่ใช้ในการ วิเคราะห์คือ ANSI/ASTM D 3172 ผลจากการวิเคราะห์ จะประกอบไปด้วย

• ความชื้น (Moisture)

คือ ความชื้นของถ่านซึ่งจะมีอยู่ 4 ลักษณะด้วยกัน ได้แก่

1. ความชื้นที่ผิวหน้าถ่านหิน (Surface Moisture, Free Moisture, Extraneous Water) คือความชื้นที่อยู่ บนผิวหน้าของถ่านหิน ซึ่งเกิดจากการพ่นน้ำ เพื่อป้องกันการ ถูกไหม้ด้วยตนเอง (Spontaneous Combustion) หรือน้ำจากน้ำฝนและน้ำใต้ดิน ความชื้นที่ผิวหน้าถ่านหิน สามารถระเหยออกได้โดย การผึ่งถ่านหิน ไว้ในบรรยากาศ จนน้ำหนักคงที่ ซึ่งแสดงว่าความชื้นของถ่านหินสมดุลกับ ความชื้นของบรรยากาศแล้ว เรียกว่า Air Drying
2. ความชื้นภายในเนื้อถ่านหิน (Inherent Moisture) คือ ความชื้นที่อยู่ภายในรูเล็กๆของโครงสร้าง ถ่านหิน
3. ความชื้นที่เกิดจากการระเหยของสารพวกแร่ธาตุ ในถ่านหิน (Water of Hydration) เป็นความชื้นที่อยู่

ภายในรูปของถ่านหินหรือพวกดินเหนียว หรือสารพวกแร่ธาตุอื่น ๆ ที่สามารถระเหยออกมาได้ ความชื้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของสารอินทรีย์ของแร่ธาตุในถ่านหิน เช่น ส่วนประกอบของดินเหนียว และหินดินดาน เป็นต้น การหาความชื้นชนิดนี้ต้องใช้ความร้อนสูง

4. ความชื้นที่เกิดจากการสลายตัว (Decomposition Moisture) คือ ความชื้นที่เกิดจากการสลายตัวของพวกสารอินทรีย์ เช่น Hydroxyl ที่จะระเหยเมื่อถูกความร้อนประมาณ $200 - 250^{\circ}\text{C}$ ความชื้นที่เกิดจากการสลายตัวเป็นส่วนหนึ่งของสารวาวไฟ และจะวิเคราะห์แยกต่างหากจากการวิเคราะห์ หาปริมาณความชื้นอื่น ๆ

- สารวาวไฟ (Volatile Matter)

คือ สารระเหิดหรือจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่ติดไฟง่าย เช่น มีเทน(CH_4), ไฮโดรเจน(H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) และไฮโดรคาร์บอนของ Tar ถ้าถ่านมีอายุน้อยจะทำให้สารวาวไฟมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินต่ำ สารวาวไฟมาจากการสลายตัวของพวกสารอินทรีย์ ร่วมกับส่วนประกอบบางตัวของพวกแร่ธาตุที่สามารถสลายตัวได้เมื่อถูกความร้อน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาจากสารประกอบคาร์บอนเป็นต้น ปริมาณสารวาวไฟใช้เป็นตัวแปรในการแยกประเภทของถ่านหิน วิธีการหาปริมาณสารวาวไฟจะหาได้โดยการนำถ่านหินปริมาณ 1 กรัมไปให้ความร้อนภายใต้ภาวะสูญญากาศ(ตะเกียงบนเช่น) ที่อุณหภูมิ 954.4°C เป็นเวลา 7 นาทีจนทำให้เกิดการกลั่นตัวและรวมตัวของก๊าซชนิดต่างๆ แล้วนำถ่านหินมาชั่งหาผลต่างน้ำหนัก

- เถ้า (Ash)

คือ เกลืออนินทรีย์ที่มีอยู่ในถ่านหรือถ่านที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ เถ้าเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของพวกแร่ธาตุและอินทรีย์สาร แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

Extraneous หรือ Adventitious Mineral Matter จะประกอบด้วยสารพวกดินเหนียว (Clay),

หินดินดาน (Shale), แคลไซต์ (Calcite), ไพไรต์ (Pyrite), มาร์คาไซต์ (Marcasite) หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปของ Inorganic Sulphate, Chlorides และ Fluorides

Inherent Ash จะประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่รวมตัวอยู่กับสารอินทรีย์ ที่เป็นส่วนประกอบของถ่านหินซึ่งเกิดจาก พวกพืช

- ปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)

คือ ปริมาณของธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในถ่านหรือเป็นส่วนที่หลงเหลือของถ่านก่อนที่จะนำไปเผาไหม้ เป็นค่าที่วัดปริมาณสารที่สามารถเผาได้ที่เหลืออยู่ในอุปกรณ์ทดสอบการเผาไหม้ซึ่งสามารถหาได้โดยการคำนวณเท่านั้น ถ่านที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณคาร์บอนสูงถ่านจะหนัก มีความแข็งแรงสูง ลูกคิดไฟได้ยากแต่ถ้าลูกคิดแล้วจะเผาไหม้ได้นานเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการเผาไหม้ด้วย

2.2.2 Ultimate Analysis

เป็นผลวิเคราะห์อย่างละเอียดซึ่งจะให้ผลคือเปอร์เซ็นต์มวลขององค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในถ่าน ซึ่งประกอบไปด้วย คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ออกซิเจน และ ซัลเฟอร์ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในขบวนการเผาไหม้และนำหนักของก๊าซเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบขนาดของอุปกรณ์ป้อนอากาศรวมไปถึงใช้ในการคำนวณความสูญเสียความร้อนอีกด้วย มาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ANSI/ASTM D 3176 ผลการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย

- คาร์บอน

ปริมาณคาร์บอนจะประกอบด้วยคาร์บอนที่มีอยู่ในคาร์บอนคงที่และในสารวาวไฟ เมื่อถ่านหินถูกเผาไหม้แล้วผลลัพธ์ที่ออกมาคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนจะปรากฏอยู่ 2 รูปแบบคือ

Organic Compound ได้แก่ Aromatic และ Aliphatic และสารประกอบคาร์บอนของธาตุต่าง ๆ

Inorganic Carbonate ได้แก่ Calcite และ Siderite

• ไฮโดรเจน

เกิดจากองค์ประกอบอินทรีย์สารและจากความชื้นในถ่านหิน สำหรับการวิเคราะห์ไฮโดรเจนทำโดยเผาถ่านหินให้ไฮโดรเจนถูกเปลี่ยนเป็นน้ำ ภายใต้การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกดูดซับด้วยสารที่เหมาะสมแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนโดยการชั่งน้ำหนักของตัวสารดูดซับนั้น ๆ ในทางทฤษฎี น้ำที่เกิดขึ้นจากขบวนการเผาไหม้จะมีมวลเป็น 9 เท่าของมวลไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง สำหรับคาร์บอนและไฮโดรเจนจะใช้เป็นตัวแปรในการแยกประเภทของถ่านหิน, ใช้ในการคำนวณค่าความร้อนและใช้ในการคำนวณผลการทดสอบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

• ซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์ในถ่านหินเกิดได้จากทั้ง อินทรีย์สาร และอนินทรีย์สารซึ่งอยู่ในรูป Pyrite, Marcasite และ Sulphate โดยทั่วไปซัลเฟอร์จะแบ่งเป็น 3 แบบคือ Pyretic Sulphur, Sulphate Sulphur และ Organic Sulphur ซึ่ง Pyretic Sulphur ($\text{FeS}_2 \cdot \text{FeS}$) และ Sulphate Sulphur นี้เราสามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้เมื่อนำค่าที่ได้ไปลบออกจากค่าซัลเฟอร์รวม เราจะได้ปริมาณ Organic Sulphur ในการวิเคราะห์ซัลเฟอร์แยกออกได้เป็น การวิเคราะห์หาปริมาณ และการวิเคราะห์รูปแบบการรวมตัว

• ไนโตรเจน

เป็นธาตุตัวเดียวที่เกิดในถ่านหินในลักษณะที่เป็นอินทรีย์สาร สารประกอบของไนโตรเจนจะเสถียรในลักษณะเป็น Heterocyclic และ Complex Non Cyclic Compound ส่วนมากไนโตรเจนจะเกิดจากซากพืช ซากสัตว์ และโปรตีนของสัตว์ ส่วน Inorganic Nitrogen จะเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของหินแอส

• ออกซิเจน

เกิดจาก Organic Compound, Inorganic Compound, Moisture และ Mineral Matter เช่น ดินเหนียว, สารประกอบคาร์บอนเนต และซัลเฟต ในสารประกอบอินทรีย์ ออกซิเจนจะรวมอยู่ในรูป Silicates, Carbonates, Oxides, Sulphate Compound และจากน้ำ สำหรับ Silicates จะอยู่ในรูป Aluminum Silicates ซึ่งพบในหินดินดานที่ปะปนอยู่ในถ่านหิน ส่วน Carbonates ส่วนมากจะเป็นพวก Calcium Carbonate (CaCO_3) และ Iron Carbonate (Fe_2CO_3) สำหรับ Oxides จะรวมถึง Oxide ของเหล็กและ Oxide ของ ซัลเฟอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Calcium Sulphate (CaSO_4) และ Iron Sulphate (Fe_2SO_4)

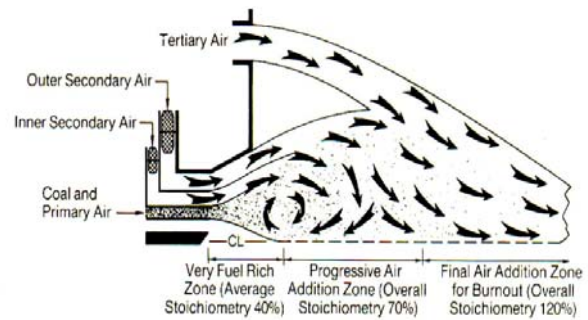
2.2.3 Heating Value คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมาภายหลังจากการสันดาปจนสมบูรณ์ของตัวอย่างถ่านหินแต่ละชนิดกับอากาศ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ภาวะปกติ สามารถหาได้จาก ASTM Standards D2015 ด้วยการใช้ออมมิเตอร์แคลอรีมิเตอร์ สำหรับค่าความร้อนนั้นจะแยกออกเป็น

• **Lower Heating Value (LHV) or Net Heating Value (NHV)** คือ ค่าความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อภายหลังจากการเผาไหม้จนสมบูรณ์แล้วได้น้ำที่อยู่ในสภาพเป็นไอน้ำหรือเป็นไอ ($\text{H}_2\text{O}_{(g)}$) เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้จากขบวนการ

• **Higher Heating Value (HHV) or Gross Heating Value (GHV)** คือ ค่าความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นเมื่อภายหลังจากการเผาไหม้จนสมบูรณ์แล้วได้น้ำที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$) เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้จากขบวนการ ซึ่งก็คือค่าความร้อนขั้นต้นบวกกับค่าความร้อนแฝงที่ใช้ในการควบแน่นไอน้ำให้กลายเป็นน้ำนั่นเอง

2.3 กระบวนการเผาไหม้ของถ่านหิน [2], [3]

ถ่านหินเมื่อได้รับความร้อนจะไม่ระเหิดหรือหลอมละลายแต่จะเกิดการแยกสลายด้วยความร้อน กล่าวคือจะเกิดการปลดปล่อยสารวาบไฟที่ติดไฟได้ในรูปของก๊าซ แล้วเกิดการเผาไหม้จนกระทั่งกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนสิ้นสุดลงและสารวาบไฟที่ติดไฟได้เหล่านั้นถูกปลดปล่อยออกมาจนหมดการเผาไหม้ในขั้นตอนนี้เรียกว่า การเผาไหม้ของสารวาบไฟ (Volatile Combustion) จากนั้นจึงตามด้วยการเผาไหม้ของคาร์บอนแข็งที่เหลืออันเนื่องมาจากการแพร่ของออกซิเจนเข้าหาผิวคาร์บอนจนทำให้คาร์บอนเกิดการเผาไหม้ร้อนแดงที่ผิว การเผาไหม้ในขั้นตอนนี้เรียกว่า การเผาไหม้ของคาร์บอน (Carbon หรือ Char Combustion) การเผาไหม้แบบถ่านหินบดละเอียดเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด ในอุตสาหกรรมการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้อากาศนำพาผงถ่าน เข้าไปในห้องเผาไหม้ในสภาวะปั่นป่วน ผงถ่านหินในมวลปั่นป่วนของอากาศจะได้รับความร้อนทันทีจากการแผ่รังสีของเปลวไฟ และผนังเตาทำให้สารวาบไฟเกิด pyrolysis แล้วลุกติดไฟ หลังจากนั้นคาร์บอนที่เหลือจึงเกิดการเผาไหม้ต่อไป ทั้งหมดนี้ใช้เวลา 1 – 125 วินาที ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำ ในช่วงแรกที่สารวาบไฟเกิดการเผาไหม้เป็นเปลวไฟทรงกลมชนิดแพร่ โดยรอบอนุภาค ในช่วงที่สองอนุภาคของคาร์บอนที่เหลือจะเกิดการเผาไหม้ต่อไปที่พื้นผิว การเผาไหม้ของคาร์บอนถูกควบคุมโดยการแพร่ของออกซิเจนไปยังโครงสร้างที่มีรูพรุน แต่ถ้าเป็นคาร์บอนขนาดใหญ่จะถูกควบคุมโดยการถ่ายโอนมวล การเผาไหม้มวลผงถ่านหินในสภาวะปั่นป่วนของอากาศเรียกว่า การเผาไหม้ของกลุ่มผง (dust clouds combustion)



รูปที่ 3 กระบวนการสันดาป

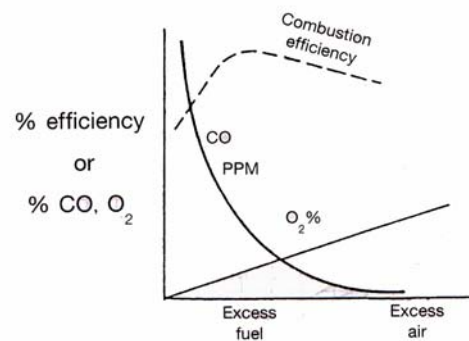
อัตราเร็วของเปลวไฟมีค่าสูงสุดเมื่อความหนาแน่นของผงถ่านสูงประมาณ 3-6 เท่าของความหนาแน่นของผงถ่าน ณ จุดสมมูลทางเคมี ดังนั้นเพื่อให้ปริมาณของห้องเผาไหม้ไม่ใหญ่เกินไป จำเป็นต้องใช้อัตราส่วนสมมูลที่สูง จึงต้องจัดให้กระแสอากาศเข้าสู่มวลเชื้อเพลิงเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3

2.4 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาป

ระบบการเผาไหม้ทั่วไปจะใช้อากาศเกินพอเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในกรณีของก๊าซเชื้อเพลิง มวลของก๊าซและอากาศผสมเป็นเนื้อเดียวกันอยู่แล้ว จึงไม่ต้องใช้อากาศเกินพอ หรือใช้เพียงเล็กน้อย (ระหว่าง 0 – 10 %) ในกรณีของเชื้อเพลิงเหลว หยดน้ำมันจะเกิดการระเหยเป็นไอพร้อมๆกับการเผาไหม้ จำเป็นต้องใช้อากาศเกินพอสูงกว่าในกรณีของก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อให้ทันกับการระเหย (ระหว่าง 5 – 20 %) ในกรณีเชื้อเพลิงแข็ง นอกจากต้องแบ่งการป้อนอากาศออกเป็น 2 ส่วนแล้ว ยังต้องใช้อากาศเกินพอสูงมาก (ระหว่าง 15 – 60 %) ทั้ง Primary Air เพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในกากของแข็งและ Secondary Air เพื่อทำปฏิกิริยากับสารระเหยที่ถูกไล่ออกจากพื้นผิวด้านหน้าอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นกับระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ด้วย ปริมาณอากาศเกินพอสำหรับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Excess Air สำหรับเชื้อเพลิงและห้องเผาไหม้แต่ละประเภท

Fuel	Type of Furnace or Burners	Excess Air % by Weight
Pulverized coal	Completely water-cooled furnace for slag-tap or dry-ash-removal	15-20
	Partially water-cooled furnace for dry-ash-removal	15-40
Crushed coal	Cyclone Furnace—pressure or suction	10-15
	Spreader stoker	30-60
Coal	Water-cooled vibrating-grate stoker	30-60
	Chain-grate and traveling-grate stokers	15-50
	Underfeed stoker	20-50
Fuel oil	Oil burners, register-type	5-10
	Multifuel burners and flat-flame	10-20
Acid sludge	Cone and flat-flame type burners, steam-atomized	10-15
Natural, coke-oven, and refinery gas	Register-type burners	5-10
	Multifuel burners	7-12
Blast-furnace gas	Intertube nozzle-type burners	15-18
Wood	Dutch oven (10–23% through grates) and Hoff-type	20-25
		25-35
Bagasse	All furnaces	25-35
Black liquor	Recovery furnaces for kraft and soda-pulping processes	5-7



รูปที่ 4 Excess Air กับการสูญเสียความร้อน [1]

จากภาพจะเห็นว่าเส้นโค้งสมรรถนะการเผาไหม้ ณ จุดที่ Excess O_2 น้อยจะมีความชันเส้นกราฟมากกว่า จุดที่ Excess O_2 มีค่าสูง ดังนั้นในการเดินเครื่องจริง การควบคุมอากาศเผาไหม้ให้ได้คงที่อยู่ตลอดเวลา นั้นทำได้ยากจึงมักยอมให้อากาศเกินพอมากกว่าค่าที่เหมาะสมเล็กน้อย

3. วิธีการวิจัย

ปริมาณอากาศเกินพอที่เหมาะสมนั้นนอกจากจะหมายถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แล้ว ยังมิใช่ทำให้การสูญเสียความร้อนต่ำที่สุดด้วย ทั้งนี้เนื่องจากถ้าให้อากาศเกินพอ น้อยเกินไปจนเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนในรูปขององค์ประกอบก๊าซและของแข็งที่ยังเผาไหม้ไม่หมดถูกดึงออกไปจากระบบ เรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (Potential heat loss) แต่ถ้าให้อากาศเกินพอมากเกินไป ปริมาตรอากาศส่วนที่เกินพอที่เข้าจะออกไปจากระบบโดยไม่ได้อำนาจปฏิกิริยาทำให้ปริมาตรรวมของก๊าซร้อนเพิ่มมากขึ้น ความร้อนสัมผัสที่สูญเสียออกไปจากระบบนี้เรียกว่า การสูญเสียความร้อนสัมผัส (Sensible heat loss) ดังนั้นจะมีจุดที่เหมาะสมที่ทำให้การสูญเสียต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำรายนาที โดยอาศัยอุปกรณ์ของตัวโรงไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายข้อมูลโรงไฟฟ้า และถูกบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลโรงไฟฟ้า ส่วนข้อมูลคุณสมบัติถ่านหินและเถาถ่านหินนำมาจากผลการวิเคราะห์รายวันจากห้องปฏิบัติการเคมีของโรงไฟฟ้า เมื่อเก็บข้อมูลแล้วจะนำมาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านหิน

ถ่านหินที่ส่งให้กับโรงไฟฟ้าจะถูกลำเลียงผ่านมาตามสายพาน ซึ่งจะติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างถ่านหินไว้เพื่อนำเอาตัวอย่างถ่านหินมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ในห้องปฏิบัติการเคมีของโรงไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์จะรายงานผลรายวันผ่านระบบฐานข้อมูลโรงไฟฟ้าซึ่งได้แก่

3.1.1 การวิเคราะห์ถ่านหินแบบ Proximate Analysis

ประกอบด้วย ค่าความชื้น (Moisture), ปริมาณเถ้า (Ash), สารวาวไฟ (Volatile Matter), ปริมาณ

คาร์บอน (Fixed Carbon), ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur) และ ค่าความร้อนของถ่านหินชั้นสูง (High Heating Value) นำผลการวิเคราะห์ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบกับค่าความร้อนของถ่านหิน

3.1.2 การวิเคราะห์ถ่านหินแบบ Ultimate Analysis

ประกอบด้วย คาร์บอน(C), ไฮโดรเจน(H), ไนโตรเจน(N), ออกซิเจน(O) และ ซัลเฟอร์(S) นำผลการวิเคราะห์ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบกับค่าความร้อนของถ่านหิน

3.2 การคำนวณหาปริมาณอากาศในการสันดาป

วิธีการคำนวณหาปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปจะเริ่มต้นจากการนำเอาผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบถ่านหินต่าง ๆ มาตัดแยกออกเป็นคุณสมบัติถ่านหิน ณ ค่าความร้อนที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 2,400 – 3,200 kcal/kg เมื่อได้องค์ประกอบของถ่านหินในแต่ละค่าความร้อนถ่านหินแล้วจึงนำเอาไปคูณสมการการสันดาปทางเคมีซึ่งองค์ประกอบที่ต้องการอากาศในการสันดาปได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์ สมการการเผาไหม้ คือ



จากสมการจะเห็นได้ว่า By Product ที่เกิดขึ้นได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และก๊าซซัลเฟอร์ นอกจากนี้ยังจะมีปริมาณก๊าซออกซิเจนเกินพอใน By Product ด้วย เมื่อคูณสมการเหล่านี้โดยกำหนดให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเกินพอมีค่าอยู่ที่ 3 % (Wet Basis) ตามค่าการออกแบบหม้อไอน้ำซึ่งถือว่าเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมปริมาณอากาศ (Optimum) ผลที่ได้จากการคูณสมการ คือมวลอากาศแห้งต่อมวลเชื้อเพลิงที่ต้องป้อนเข้าหม้อไอน้ำ (kg.Dry Air/kg.Fuel) ในส่วน

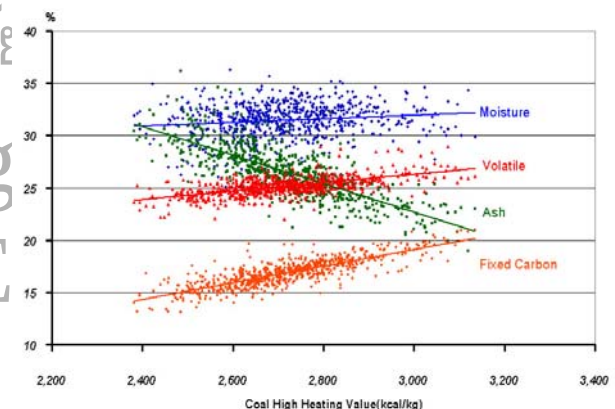
ถัดไปคือการคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องป้อนเข้าหม้อไอน้ำที่กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 250 – 300 MW ณ ค่าความร้อนถ่านหินต่างๆ เมื่อได้ปริมาณเชื้อเพลิงแต่ละจุดแล้วนำไปคูณกับมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิงก็จะทำให้ได้ปริมาณอากาศในทางทฤษฎีที่ต้องใช้ในการสันดาปถ่านหิน หลังจากนั้นจึงนำเอาปริมาณอากาศที่ได้ไปคูณกับสัดส่วนของความชื้นในอากาศ ทำให้ได้ปริมาณอากาศจริง นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการสันดาปจริงเพื่อหาค่าแก้ไขเนื่องจาก Air Leakage ในระบบทำให้ปริมาณอากาศที่คำนวณได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น แล้วจึงนำผลคำนวณที่ได้ในทุกช่วงคุณภาพถ่านหินไปออกแบบเป็นกราฟเพื่อสะดวกแก่การใช้งาน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาคูสมบัติทางเคมีของถ่านหินและถ่าน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบ Proximate Analysis

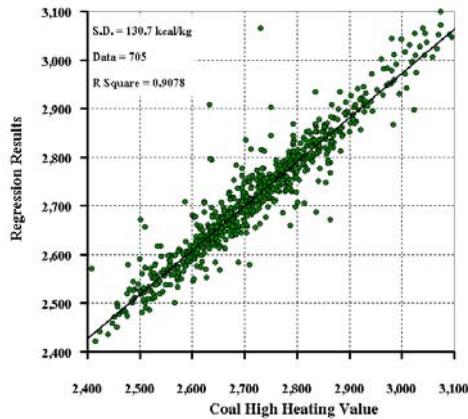
จากการนำเอาข้อมูล ค่าความชื้น, ปริมาณเถ้า, สารวาวไฟ และ ปริมาณคาร์บอนคงที่ มาหาความสัมพันธ์กับค่าความร้อนของถ่านหิน พบว่ามีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่า Proximate Analysis

กับค่าความร้อนถ่านหิน

จากแนวโน้มที่ได้จึงได้นำไปสร้างความสัมพันธ์แบบถดถอยพหุเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านหินที่ได้จากการสร้างสมการถดถอยพหุเชิงเส้น กับค่าความร้อนของถ่านหินจากการวิเคราะห์

สมการที่ได้คือ

$$\text{Coal HHV} = 209.87M^{-0.033571} \times A^{-0.097386} \times V^{0.56875} \times C^{0.41112} \quad (4)$$

เมื่อ

M = ค่าความชื้น, A = ปริมาณเถ้า, V = สารวาปไฟ และ C = ปริมาณคาร์บอนคงที่

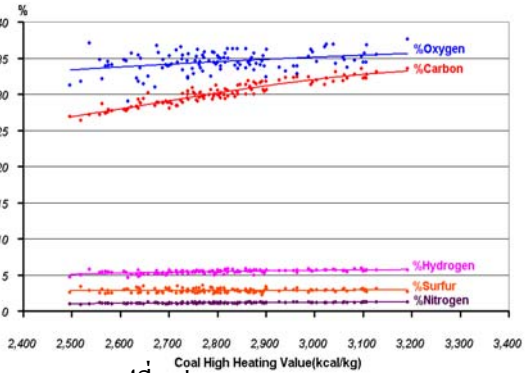
ช่วงของข้อมูลที่นำมาพิจารณา

M = 25.13 – 36.26 %, A = 18.98 – 36.15 %, V = 22.02 – 28.97 % และ C = 13.11 – 20.98 %

จากรูปที่ 6 อธิบายได้ว่า องค์ประกอบของถ่านหินแบบ Proximate Analysis มีความสัมพันธ์แบบถดถอยพหุเชิงเส้น กับค่าความร้อนของถ่านหิน จากข้อมูลที่น่ามาพิจารณาทั้งหมดจำนวน 705 ค่า มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 130.7 kcal/kg

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบ Ultimate Analysis

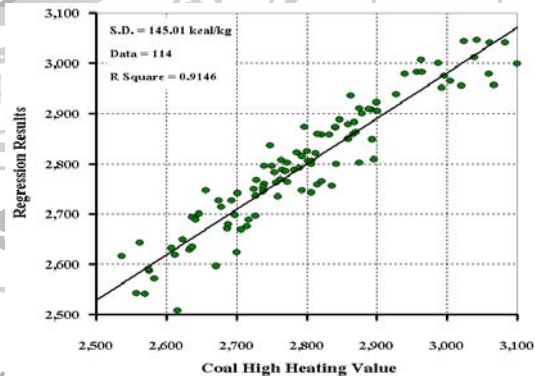
จากการนำเอาข้อมูล คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ออกซิเจน และ ซัลเฟอร์ มาหาความสัมพันธ์กับ ค่าความร้อนของถ่านหิน พบว่ามีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่า Ultimate Analysis

กับค่าความร้อนถ่านหิน

จากแนวโน้มที่ได้จึงได้นำไปสร้างความสัมพันธ์แบบถดถอยพหุเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านหินที่ได้จากการสร้างสมการถดถอยพหุเชิงเส้น กับค่าความร้อนของถ่านหินจากการวิเคราะห์

สมการที่ได้คือ

$$\text{Coal HHV} = 44.434C^{0.9017} \times H^{0.0020061} \times N^{0.0015384} \times O^{0.28531} \times S^{0.059429} \quad (5)$$

เมื่อ

C = % คาร์บอน, H = % ไฮโดรเจน, N = % ไนโตรเจน, O = % ออกซิเจน และ S = % ซัลเฟอร์

ช่วงของข้อมูลที่นำมาพิจารณา

C = 26.37 – 33.55 %, H = 4.58 – 5.95 %, N = 0.91 – 1.28 %, O = 28.99 – 37.61 % และ S = 2.22 – 3.51 %

จากรูปที่ 8 อธิบายได้ว่า องค์ประกอบของถ่านหินแบบ Ultimate Analysis มีความสัมพันธ์แบบคลอชเพนเจอร์เส้น กับค่าความร้อนของถ่านหิน จากข้อมูลที่มาพิจารณาทั้งหมดจำนวน 114 ค่า มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 145.01 kcal/kg

4.2 ผลการคำนวณหาปริมาณอากาศในการสันดาป

จากความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของถ่านหินกับค่าความร้อนของถ่านหินที่ค้นพบได้นำไปใช้คำนวณหาปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการเผาไหม้ ณ คุณสมบัติถ่านหินที่แตกต่างกันออกไป วิธีการที่ใช้คือการคูณสมการการเผาไหม้ทางเคมี โดยอาศัยการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากตารางแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบต่างๆในถ่านหินที่ต้องใช้อากาศในการสันดาป ได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ส่วนผลที่ได้จากการสันดาปคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ก๊าซไนโตรเจน, น้ำ และก๊าซออกซิเจนที่เกินพอ ซึ่งในการออกแบบหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้กำหนดค่าปริมาณออกซิเจนที่เกินพอไว้ที่ 3 % เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด มีความสมดุลทั้งความสมบูรณ์การสันดาปและพลังความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอยู่ในจุดสูงสุด

ตารางที่ 2 การคูณสมการการเผาไหม้

Coal Analysis (%)	Theoretical Required		Combustion Products	21.9 % Excess Air				Dry Air Required = 4.57271 kg/kg F			
	O ₂	Dry Air		Wet Flue Gas				Dry Flue Gas			
	kg/kg F	kg/kg F		kg/kg F (w)	%wt (w)	kmol (1700)	%vol (w)	kg/kg F (d)	%wt (d)	kmol/kg F	%vol (d)
Moisture (%)	30.8	-	H ₂ O	0.3080	5.3955	0.8373	8.4015	-	-	-	-
Carbon (%)	29.0	0.7733	CO ₂	1.0633	18.6378	0.9000	11.8658	1.0633	21.6507	0.5413	15.1462
Hydrogen (%)	5.4	0.4320	H ₂ O	0.4880	8.5184	1.0056	13.2570	-	-	-	-
Nitrogen (%)	1.1	-	N ₂	3.5943	62.9998	4.7809	63.0289	3.5943	73.1848	2.8755	80.4540
Oxygen (%)	34.1	(0.34100)	O ₂	0.1958	3.4291	0.2277	3.0018	0.1958	3.9835	0.1389	3.6317
Sulphur (%)	2.9	0.0290	SO ₂	0.0580	1.0166	0.0338	0.4450	0.0580	1.1809	0.0203	0.5680
Ash (%)	27.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (%)	100.0	0.8933	Total	5.7053	100	7.5852	100	4.9113	100	3.5740	100
HHV (kcal/kg)	2,700	2,708	Prinys Equiv	0.7940	16.9887	1.6428	21.6585	-	-	-	-
Ar.HHV (kg/MJ)	0.3392	0.3381	Molecular Wt.	-	-	-	28.0129	-	-	30.7811	-
Density				0.7522 (actual at 170 degree C)	1.3742 (at NTP)						

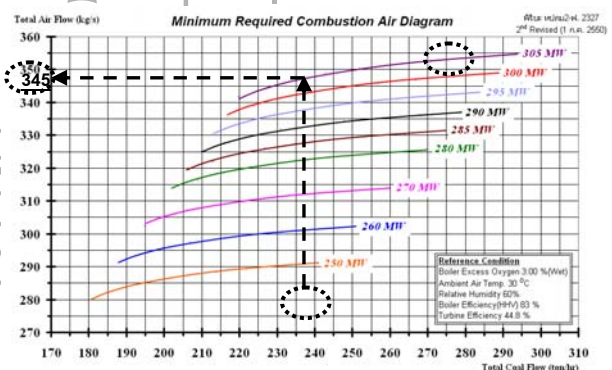
เมื่อทำการคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องป้อนเข้าหม้อไอน้ำที่กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าค่าตั้งแต่ 200 – 300 MW ณ ค่าความร้อนถ่านหินต่างๆ เมื่อได้ปริมาณ

เชื้อเพลิงแต่ละจุดแล้วนำไปคูณกับมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิงก็จะทำให้ได้ปริมาณอากาศในทางทฤษฎีที่ต้องใช้ในการสันดาปถ่านหิน หลังจากนั้นจึงนำเอาปริมาณอากาศที่ได้ไปคูณกับสัดส่วนของความชื้นในอากาศ ทำให้ได้ปริมาณอากาศจริง นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการสันดาปจริงเพื่อหาค่าแก้ไขเนื่องจาก Air Leakage ในระบบทำให้ปริมาณอากาศที่คำนวณได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณปริมาณอากาศในการสันดาป

HHV	2,400		2,500		2,600		2,700	
A/F Ratio	4.18		4.34		4.5		4.66	
Load MW	Coal flow ton/h	Air flow kg/s	Coal flow ton/h	Air flow kg/s	Coal flow ton/h	Air flow kg/s	Coal flow ton/h	Air flow kg/s
200	193	232.6	185	231.8	178	231.1	171	230.5
210	202	244.2	194	243.4	187	242.7	180	242.0
220	212	255.8	203	255.0	196	254.2	188	253.5
230	222	267.4	213	266.6	205	265.8	197	265.0
240	231	279.1	222	278.2	213	277.3	206	276.6
250	241	290.7	231	289.8	222	288.9	214	288.1
260	251	302.3	240	301.3	231	300.4	223	299.6
270	260	314.0	250	312.9	240	312.0	231	311.1
280	270	325.6	259	324.5	249	323.5	240	322.6
285	275	331.4	264	330.3	253	329.3	244	328.4
290	279	337.2	268	336.1	258	335.1	248	334.2
295	284	343.0	273	341.9	262	340.9	253	339.9
300	289	348.8	277	347.7	267	346.7	257	345.7
305	294	354.7	282	353.5	271	352.4	261	351.5

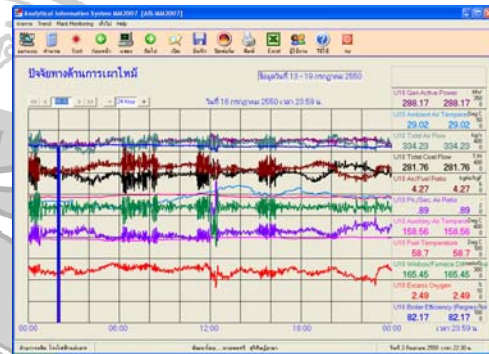
จากตารางได้นำไปออกไปเป็นกราฟเพื่อสะดวกในการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการสันดาป

วิธีการใช้งานพนักงานเดินเครื่องจะต้องทราบข้อมูลที่สำคัญ 2 ค่า คือ กำลังการผลิต (MW) และ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าหม้อไอน้ำ (Ton/h) จากกราฟแนวแกน X คือ

ค่า อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าหม้อไอน้ำ ส่วนเส้นกราฟจะเป็นกำลังการผลิต เมื่อลากเส้นไปตัดกันแล้วให้อ่านค่าปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการสันดาปในแนวแกน Y ทางด้านซ้าย ยกตัวอย่างเช่นที่กำลังการผลิต 300 MW และ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าหม้อไอน้ำ 250 Ton/h จะต้องใช้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการสันดาปประมาณ 345 kg/s และเมื่อนำไปใช้งานภายใต้สภาพการใช้งานจริงผลที่เกิดขึ้นจะแสดงออกมาในรูปของประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งติดตามผลกระทบที่เกิดขึ้นได้แบบ Real Time ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลโรงไฟฟ้าแม่เมาะดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เทคนิคที่นำเสนอสามารถช่วยพนักงานเดินเครื่อง เลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสม



รูปที่ 10 โปรแกรมวิเคราะห์หับปัจจัยทางการเผาไหม้

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านหินแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบของถ่านหินมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าความร้อนของถ่านหิน จากความสัมพันธ์ที่ได้นำไปสู่การออกแบบกราฟแสดงปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการสันดาปให้กับพนักงานควบคุมหม้อไอน้ำเพื่อควบคุมการสันดาปให้เป็นไปตามค่าการออกแบบ โดยผลของการควบคุมการสันดาปสามารถติดตามได้อย่างต่อเนื่องผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลโรงไฟฟ้าแม่เมาะทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เอกสารอ้างอิง

- [1] Joseph G. Singer, *Combustion Fossil Power 4th Edition* : Combustion Engineering Inc., 1991.
- [2] กัญญา บุญเกียรติ. “การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็ง”. ใน *เชื้อเพลิงและการเผาไหม้*. หน้า 179 - 199. : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [3] สำเริง จักรใจ. “การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง” ใน *การเผาไหม้*. หน้า 310 - 343. : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Rights Reserved