การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การคัดเลือกและออกแบบกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะสำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

A Preparation-Process Design for Mae-Moh Coal Used in Power Plant at Mae Moh

ธีรยุทธ น้อยดา[1*] , มณพิไล แห่งทรัพย์เจริญ นรสิงห์[1] และ สมศักดิ์ นรสิงห์[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร 0-29132500 ต่อ 8230, 8237 โทรสาร 0-25870024 E-mail: mhc@kmitnb.ac.th

Teerayoot Noida[1*], Monpilai H.Narasigha[1], Somsak Narasigha[2]
[1]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
[2]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
1518 Pibulsongkram Rd, Bangsue Bangkok 10800 Thailand
Tel: 0-29132500 Ext. 8230, 8237 Fax 0-25870024 E-mail: mhc@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกและออกแบบกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะ เพื่อเพิ่มค่าความร้อนและลดปริมาณความชื้น เถ้า และซัลเฟอร์ก่อนการใช้งาน ทั้งนี้รวมไปถึงการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมสำหรับเครื่องจักรกลในกระบวนการด้วย โดยถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีค่าความร้อนโดยเฉลี่ย 2235 kcal/kg ปริมาณความชื้น 30% ปริมาณเถ้า 28% และปริมาณซัลเฟอร์ 3.4% จากการศึกษาพบว่ากระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานควรใช้กระบวนการทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้ง โดยใช้แอร์เทเบิ้ล (Air Table) เป็นอุปกรณ์หลักในการทำความสะอาดถ่านหิน ลักษณะกระบวนการจะเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องประเภททำความสะอาดทั้งหมด (Total Washing Process) หลังจากผ่านกระบวนการทำความสะอาดที่ได้ออกแบบนี้แล้ว ถ่านหินจะมีค่าความร้อนโดยประมาณ 3636 kcal/kg ปริมาณความชื้นลดลงเหลือ 18% ปริมาณเถ้า 13.67% และมีปริมาณซัลเฟอร์ 2.38% โดยกำลังการผลิตที่เหมาะสมของกระบวนการคือ 1848 ตัน/ชั่วโมง

Abstract

It is the objective of the paper to design a preparation process for coal from Mae Moh mine, in order to demoisture and reduce both ash- and sulfur-forming minerals from coal before burning. The dry benefication process using air table as the main cleaning equipment has been selected and designed. The processing equipments, including their dimensions and capacities, has also been reported. Preliminary results from mass balance show that the quality of coal after passing the designed process is improved and suitable for using as an effective fuel in power plant.

1. บทนำ

ในการเตรียมถ่านหินก่อนการนำไปเผาไหม้ จะต้องมีการคัดขนาดแยกสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (incombustible matters) ออกจากถ่านหิน ทำความสะอาดโดยการขจัดเถ้าและลดปริมาณซัลเฟอร์ในรูปไพไรต์ออกก่อนนำไปเผาไหม้ ซึ่งวิธีการทำความสะอาดถ่านหินก่อนการนำไปเผาไหม้มี 2 ประเภทหลัก คือการทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้ง และการทำความสะอาดถ่านหินแบบเปียก แต่ละประเภทสามารถแบ่งย่อยวิธีการทำความสะอาดถ่านหินได้หลายวิธี การคัดเลือกวิธีการทำความสะอาดถ่านหินนั้นจะต้องคำนึงถึงหลายองค์ประกอบด้วยกัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกและออกแบบกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะก่อนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยการใช้ถ่านหินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่า และช่วยลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

*Corresponding author

2. การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งาน

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินสามารถเพิ่มคุณภาพถ่านหินที่ได้จากเหมืองเพื่อให้ได้ถ่านหินที่มีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของตลาด คุณสมบัติที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของถ่านหิน ได้แก่ ค่าความร้อน (heating value) ปริมาณเถ้า (ash content) ปริมาณความชื้น (moisture content) และปริมาณซัลเฟอร์ (sulfur content)

สำหรับการลดขนาดนั้น สามารถที่จะทำการลดขนาดสูงสุดของถ่านหินที่ได้จากเหมือง (ROM: run of mine coal) เป็นขนาดเท่าใดก็ได้ตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามยังไม่มีเทคโนโลยีใดที่ใช้ในการเพิ่มขนาดของอนุภาคถ่านหินที่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ[1]

ความชื้นของถ่านหิน (total moisture) สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยสามารถที่จะทำการลดความชื้นบริเวณพื้นผิว (surface moisture) ของถ่านหินลงสู่ระดับที่มีความเหมาะสม ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ด้วย การพิจารณาในส่วนนี้รวมถึงความเป็นไปได้ในการที่ถ่านหินจะดูดซับความชื้นจากอากาศในระหว่างการขนส่ง และระหว่างการกองเก็บในภายหลัง ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงความเป็นจริงที่ว่าการทำการลดความชื้นโดยใช้ลมร้อนนั้นจะเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการดูดซับความชื้นในภายหลัง[1]

ซัลเฟอร์อิสระ (free sulfur) ในถ่านหินนั้นสามารถที่จะทำการกำจัดได้โดยวิธีการทางเคมี (chemical treatment) เท่านั้น ไม่สามารถที่จะกำจัดได้โดยกระบวนการทำความสะอาดถ่านหินทางกายภาพ (physical treatment) หรือโดยการเผาไหม้ ส่วนซัลเฟอร์ประเภทไพไรต์ (pyritic sulfer) นั้นสามารถทำการกำจัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพ เหตุที่ซัลเฟอร์ประเภทไพไรต์สามารถที่จะทำความสะอาดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพเนื่องจากมันอยู่แยกกับเนื้อถ่านหิน โดยจะปนอยู่กับเถ้า (ash) สามารถที่จะทำการกำจัดไปพร้อมกับเถ้า สำหรับกระบวนการทำความสะอาดถ่านหินโดยทั่วไปสามารถกำจัดไพไรต์ได้มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามปริมาณซัลเฟอร์ประเภทไพไรต์บางส่วนไม่สามารถกำจัดได้เนื่องจากจะอยู่ติดกับเนื้อถ่านหินซึ่งไม่สามารถทำการแตกออกจากเนื้อถ่านหินเพื่อให้ไปปนอยู่กับเถ้าได้หมด[1]

3. การคัดเลือกกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งาน

เนื่องจากปัญหาความแห้งแล้งบริเวณเหมืองแม่เมาะ [2] ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำที่จะใช้สำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน การทำความสะอาดถ่านหินแบบเปียกที่กำลังการผลิตสูงจึงไม่สามารถเป็นไปได้ในหลายกรณี การทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งจึงเป็นตัวเลือกที่น่าจะนำมาใช้ เนื่องจากถ่านหินที่ผลิตจากแหล่งนี้ทั้งหมดจัดอยู่ในเกรดเทอร์มอล (thermal grade) และใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า[3] ซึ่งไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำความสะอาดถ่านหินโดยแยกอนุภาคที่ความหนาแน่นต่ำเพื่อให้ได้ถ่านหินที่มีปริมาณเถ้า (ash contents) ต่ำ อันจำเป็นสำหรับถ่านโค้ก (coking coal) กระบวนการทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งนี้สามารถผลิตเชื้อเพลิงให้ได้ค่าความร้อนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะปริมาณความชื้น (moisture contents) นั้นต่ำมาก ซึ่งสามารถเพิ่มระดับพลังงานของถ่านหินที่ผ่านกระบวนการได้อย่างดี[4,5]

หากพิจารณาถึงน้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินนั้น กระบวนการแบบเปียก (wet processing) ต้องการน้ำปริมาณมาก ประมาณ 200 ลิตร/ตัน ซึ่งความชื้นในส่วนหนึ่งนั้นจะเสียไปกับส่วนที่ต้องทิ้ง (tailing disposal) และการระเหยความชื้น (evaporation) และนอกจากนี้น้ำทิ้ง (effluent water) จากโรงปรับปรุงคุณภาพถ่านหินที่ใช้กระบวนการแบบเปียกยังประกอบด้วยเกลือ (saline) ซึ่งมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนรุนแรง โดยจะก่อให้เกิดปัญหาที่ทำให้แหล่งน้ำใต้ดินมีความเค็ม[4,5]

ความสำคัญของน้ำจากอ่างเก็บน้ำในบริเวณที่แห้งแล้งอาจถูกพิจารณานำมาใช้ แต่ค่าใช้จ่ายนั้นสูงมากและยังไม่สามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่แห้งแล้งภายในประเทศซึ่งในบางครั้งอาจจะติดต่อกันเป็นเวลาติดต่อกันหลายปี การคาดหมายที่จะทำความสะอาดถ่านหินโดยใช้กระบวนการแบบเปียกอย่างต่อเนื่องในปริมาณสูงจึงไม่สามารถเป็นที่แน่ใจได้ว่าจะสามารถใช้ได้

การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินโดยใช้กระบวนการแบบแห้งนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วเป็นอย่างดีจากประเทศจีนซึ่งเป็นประเทศที่ผลิตถ่านหินมากที่สุดในโลก[6] โดยสามารถนำมาเทียบกับสถานการณ์ที่บริเวณเหมืองแม่เมาะ จากการสำรวจพบว่าแหล่งถ่านหินนี้อยู่ในพื้นที่ขาดแคลนน้ำและมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอที่จะเลือกใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินแบบเปียกโดยทั่วไป นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายดำเนินการของการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินแบบแห้งยังถูกกว่ากระบวนการทำความสะอาดแบบเปียกด้วย ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะก่อนการใช้งานจึงควรเลือกใช้กระบวนการแบบแห้ง

4. การออกแบบกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานและการเลือกเครื่องจักรอุปกรณ์ในแต่ละกระบวนการ

4.1 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินแบบแห้ง

การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานโดยกระบวนการแบบแห้ง มีกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องจักรในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหิน ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรเป็นแบบต่อเนื่องและอัตโนมัติ ซึ่งขั้นตอนหลัก ในกระบวนการสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การป้อนถ่านหินเข้าสู่กระบวนการ
2. การลดขนาดถ่านหิน
3. การลดความชื้นของถ่านหิน
4. ทำความสะอาดถ่านหิน
5. ลำเลียงถ่านหินสู่โรงไฟฟ้า

4.2 การเลือกเครื่องจักรอุปกรณ์ในแต่ละขั้นตอน

4.2.1 ป้อนถ่านหินเข้าสู่กระบวนการ

ถ่านหินที่จะป้อนเข้าสู่กระบวนการจะส่งจากลานกองถ่าน (stock pile) ของเหมืองแม่เมาะ โดยจะทำการส่งให้กับโรงปรับปรุงคุณภาพถ่านหินด้วยอัตราสม่ำเสมอ

สำหรับการกองเก็บของเหมืองแม่เมาะนั้นจะมีการกองเก็บแบบเปิดเนื่องจากมีปริมาณถ่านหินที่จะต้องทำการกองเก็บเป็นปริมาณสูงมาก การกองเก็บแบบเปิดนี้มักจะใช้กับการกองเก็บถ่านหินสำหรับการใช้งานของโรงไฟฟ้า

ในการทำการลำเลียงถ่านหินจากลานกองเก็บสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งาน สำหรับลานกองเก็บที่มีปริมาณการกองเก็บถ่านหินในปริมาณสูงจะมีการ reload โดยใช้ระบบการโหลดแบบ rotary bucket จากนั้นถ่านหินจะถูกลำเลียงโดยสายพานลำเลียง (conveyor belt) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ลำเลียงแบบสายพานด้วยอัตราสม่ำเสมอเพื่อป้อนถ่านหินเข้าสู่กระบวนการด้วยอัตราการป้อนของถ่านหินที่คงที่ โดยถ่านหินที่ผ่านสายพานลำเลียงมาจากเหมืองแม่เมาะจะถูกป้อนเข้าสู่ถังป้อน (surge bin) ซึ่งจะเป็นตัวป้อนถ่านหินเข้าสู่กระบวนการด้วยอัตราสม่ำเสมอ

4.2.2 การลดขนาดถ่านหิน

ในปัจจุบัน ถ่านหินลิกไนต์ที่ขุดได้จากเหมืองแม่เมาะจะถูกส่งเข้ามาลดขนาดโดยเครื่องบดย่อย (crusher) ชุดแรกและผ่านออกมาในขนาดไม่เกิน 9.5 cm จากนั้นจะใช้สายพานมากองไว้ยังลานกองเพื่อย่อยถ่าน จากลานกองจะถูกส่งขึ้นไปยังโรงบดย่อยถ่านโดยมีระบบแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบตรวจสอบโลหะเพื่อแยกโลหะไม่พึงประสงค์ออกก่อนผ่านไปยังเครื่องบดถ่านชุดที่สอง ซึ่งจะบดย่อยถ่านให้มีขนาดไม่เกิน 3 cm และส่งไปเก็บไว้ยังยุ้งถ่าน (coal bunker) ในตัวโรงไฟฟ้าเพื่อเตรียมใช้งานต่อไป [7]

ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานนี้ จะต้องทำการลดขนาดถ่านหินที่ได้จากเหมืองแม่เมาะจาก 30 cm ลงเหลือ 3 cm ซึ่งเป็นขนาดปัจจุบันที่ทางโรงไฟฟ้าเตรียมเพื่อใช้งานต่อไป

สำหรับกระบวนการที่นิยมใช้ในการย่อยขนาดอนุภาคถ่านหินนั้นเริ่มที่การทำการคัดขนาดถ่านหินโดยตะแกรงแบบสั่น (vibrating screen) ถ่านหินที่ไม่ผ่านการคัดขนาด (มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าที่ต้องการ) จะถูกส่งไปทำการลดขนาดโดยเครื่องบดย่อย (crusher) ถ่านหินที่ได้หลังจากการย่อยขนาดแล้วจะส่งไปรวมกับถ่านหินที่ผ่านการคัดขนาดเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดถ่านหินต่อไป [8]

รูปแบบกระบวนการที่ใช้ในการย่อยขนาดอนุภาคถ่านหินสามารถที่จะจัดวงจรเป็นวงจรแบบปิด (closed circuit) หรือ วงจรเปิด (open circuit) การที่จะเลือกออกแบบวงจรเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของถ่านหินที่ต้องการ โดยวงจรปิดมักจะใช้กับการบดอนุภาคให้เป็นผง สำหรับวงจรเปิดจะถูกประยุกต์ใช้กับการลดขนาดถ่านหินเพื่อให้ได้อนุภาคที่มีขนาดปานกลาง (intermediate size) เนื่องจากในการลดขนาดอนุภาคถ่านหินกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานนี้ต้องการขนาดอนุภาค 3 cm ซึ่งมีขนาดปานกลางจึงเลือกใช้วงจรแบบเปิด [9]

ในการลดขนาดอนุภาคถ่านหินนั้นเนื่องจากไม่สามารถที่จะทำการลดขนาดอนุภาคถ่านหินจาก 30 cm ลงเหลือ 3 cm ได้ในขั้นตอนเดียว จึงต้องแบ่งการลดขนาดอนุภาคถ่านหินออกเป็นหลายช่วง โดยปกติ เครื่องจักรที่ใช้ในการลดขนาดถ่านหินสำหรับถ่านหินขนาดปานกลาง (intermediate size) นั้นจะใช้ครัชเชอร์ประเภทโรล (roll crusher) ซึ่งสามารถที่จะทำการลดขนาดอนุภาคลงได้ 4-6 เท่า [10]

ประเภทของครัชเชอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ single-roll crusher ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีค่าใช้จ่ายสำหรับการติดตั้งรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำสุด ส่วน double-roll crusher นั้นค่อนข้างจะทำการดูแลรักษาได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า โดย single-roll crusher, double-roll crusher และ triple-roll crusher นั้นมักจะใช้กับถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งจะสามารถเปิดดูจากคู่มือจากแต่ละบริษัทที่ทำการผลิต แต่โดยปกติแล้ว double-roll crusher สามารถย่อยถ่านหินได้ขนาดเล็กกว่า single-roll crusher[11,12]

จากข้อเท็จจริงดังกล่าวข้างต้น การลดขนาดอนุภาคของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งาน จะแบ่งการลดขนาดออกเป็น 2 ช่วง ช่วงละ 3.2 เท่า ช่วงแรกจะทำการลดขนาดอนุภาคจาก 30 cm เป็น 9.5 cm ส่วนช่วงที่สองจะทำการลดขนาดอนุภาคถ่านหินจาก 9.5 cm เป็น 3 cm single roll crusher นั้นไม่สามารถลดขนาดถ่านหินลงได้ต่ำกว่า 3.84 cm ดังนั้นในการย่อยขนาดถ่านหินช่วงแรกจึงเลือกใช้ single-roll crusher สำหรับการย่อยขนาดในช่วงที่ 2 นั้น จะใช้ double-roll crusher

4.2.3 การลดความชื้นของถ่านหิน

ขั้นตอนการลดความชื้นนั้นเป็นขั้นตอนที่ความร้อนจะถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นด้วยวิธีการระเหยโดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการลดความชื้นคือการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งในการเลือกชนิดของอุปกรณ์ลดความชื้นให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นมีความสำคัญมาก

ความชื้นของถ่านหินที่ป้อนก่อนเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดถ่านหินโดยกระบวนการแบบแห้ง โดยทั่วไปแล้วไม่มีจุดบรรทัดฐานที่แน่นอนสำหรับระดับความชื้นของถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ แต่ปกติแล้วความชื้นของถ่านหินควรจะอยู่ในระดับที่ถ่านหินนั้นไม่เกาะติดกัน โดยที่ความชื้นในที่นี้เกี่ยวข้องกับความชื้นที่พื้นผิว (surface moisture) เท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับความชื้นภายในเกรน (inherent moisture) ซึ่งไม่มีผลกระทบกับประสิทธิภาพของกระบวนการทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้ง ดังนั้น ถ่านหินที่มีศักดิ์ต่ำ (low-rank coal) เช่น ลิกไนต์ ซึ่งมีค่าความชื้นสูงกว่าปกติเล็กน้อยจะต้องทำการลดความชื้นถ่านหินลงเพื่อให้เหมาะสมกับการทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้ง [4]

สำหรับขั้นตอนการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปัจจุบันนั้น ถ่านหินลิกไนต์จากยุ้งเก็บถ่านจะถูกส่งเข้าเครื่องบดโดยเครื่องป้อนถ่าน (coal feeder) ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณถ่านที่จะเข้าเครื่องบดถ่าน ขณะเดียวกันจะมีลมร้อนจากเครื่องอุ่นอากาศเป่าเข้าไปในเครื่อง ดังนั้นถ่านจะถูกบดโดยมีลมร้อนเป็นตัวช่วยให้การบดมีประสิทธิภาพดีและไล่ความชื้นบางส่วนออกจากถ่าน ถ่านที่บดแล้วจะมีขนาด 0.074 mm และอุณหภูมิประมาณ 60°C จากนั้นลมร้อนจะเป็นตัวพาถ่านหินขึ้นไปตามท่อส่งถ่านไปยังหัวฉีดถ่าน (coal burner) หัวฉีดถ่านจะทำหน้าที่ควบคุมให้ถ่านกระจายเข้าไปในเตาอย่างเป็นระเบียบ เมื่อผงถ่านปะทะกับ light oil ที่กำลังลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูง

ผงถ่านจะติดไฟและเกิดการเผาไหม้ขึ้น ในช่วงนี้จะหยุดใช้ light oil และใช้ถ่านเพียงอย่างเดียว [7]

จากการทำการไล่ความชื้นโดยการเป่าด้วยลมร้อนของกระบวนการในโรงไฟฟ้าแม่เมาะก่อนการทำการเผาไหม้ ถ่านหินที่ป้อนซึ่งมีความชื้นประมาณ 30% (as received) เมื่อถูกเป่าด้วยลมร้อน ความชื้นที่ผิว (surface moisture) จะระเหยออกหมดเหลือประมาณ 10% (air dried) ซึ่งเป็นค่าความชื้นภายในอนุภาค (inherent moisture) เท่านั้น [7]

การรายงานคุณภาพถ่านหินโดยปกติจะขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน โดยการรายงานคุณภาพถ่านหินแบบ as received (ar) จะแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของถ่านหินที่รวมค่าความชื้นทั้งพื้นผิวและภายในเกรน และขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่ได้มา ส่วนการรายงานแบบ air dried (ad) จะแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความชื้นถ่านหินที่ผ่านการระเหยความชื้นพื้นผิวออกแล้ว และเปอร์เซนต์ความชื้นที่รายงานคือค่าความชื้นในภายในเกรนเท่านั้น[13]

สำหรับอุปกรณ์ทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งนั้นสามารถใช้กับอนุภาคถ่านหินที่มีค่าความชื้นที่ผิว (surface moisture) ได้ถึง 8% [14] ในขณะที่ถ่านหินที่เหมืองแม่เมาะมีค่าความชื้นในเกรน 10% ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นทั้งหมดของถ่านหินสำหรับถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดถ่านหินจึงต้องไม่เกิน 18% ดังนั้น จึงต้องทำการลดความชื้นถ่านหินจาก 30% เป็น 18% เสียก่อน

โดยปกติแล้วเครื่องอบแห้งหรือลดความชื้น (dryer) ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินมีอยู่ 3 ประเภท [15] คือ

1. rotary dryer
2. pneumatic conveying dryer
3. fluidized bed dryer

แต่จากการพิจารณาถึงคุณสมบัติของถ่านหินที่ต้องการลดความชื้นและความเหมาะสมในกระบวนการ พบว่า gas-fired rotary dryer มีความเหมาะสมที่จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ลดความชื้นของถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะเพื่อให้ได้เปอร์เซนต์ความชื้นตามที่ต้องการ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติเด่นของ rotary dryer ดังนี้

1) สามารถอบแห้งหรือลดความชื้นวัสดุปริมาณมากอย่างต่อ เนื่องได้

2) ใช้ง่ายเพราะมีโครงสร้างง่าย โดยโครงสร้างหลักประกอบด้วยกระบอกที่หมุนรอบแกนกลางสามารถทำมุมเอียงที่เหมาะสมกับแนวระดับ

3) สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของวัสดุอบแห้งได้ง่าย นอกจากนี้ เครื่องอบแห้งแบบหมุนยังสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและขนาดอนุภาคของวัสดุที่ป้อนเข้าได้ในช่วงที่กว้าง

4) สามารถใช้กระแสลมร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ถึงหลายร้อยองศาเซนติเกรด โดยจะกินกำลังน้อยกว่าเครื่องอบแห้งประเภทอื่น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงเกิน 70% ได้ด้วยถ้าหมุนเวียนอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้แล้วกลับมาใช้งานอีก

อย่างไรก็ตาม การลดความชื้นโดยใช้กระแสลมร้อนนั้นต้องการไซโคลน (cyclones) และถุงกรอง (bag filter) เพื่อดักจับอนุภาคที่ถูกดักติดกับกระแสลมก่อนที่จะปล่อยสู่อากาศต่อไป ส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดลมร้อนในการลดความชื้นของถ่านหินนั้นจะใช้ก๊าซธรรมชาติ

4.2.4 ทำความสะอาดถ่านหิน

การทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งนั้นมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดถ่านหินแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ อุปกรณ์ที่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วง (gravity-dependent) และอุปกรณ์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วง (nongravity-dependent) โดยอุปกรณ์ที่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงที่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์ประกอบด้วย air table หรือ pneumatic table, pneumatic jig, และ dry dense-medium separator ส่วนอุปกรณ์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงที่มีการผลิตเชิงพานิชย์ประกอบด้วย magnetic separator, electrostatic separator โดยสองประเภทหลังนี้จะใช้ในการแยกอนุภาคถ่านหินที่ละเอียด, -60 หรือ -100 mesh (-0.25 หรือ -0.15 mm)[13]

สำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะก่อนการใช้งานนั้น เนื่องจากอนุภาคถ่านหินที่ต้องการทำความสะอาดมีขนาดอยู่ที่ประมาณ 3 cm ดังนั้น อุปกรณ์ทำความสะอาดถ่านหินประเภทที่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงจึงมีความเหมาะสมมากกว่า

อุปกรณ์ประเภทขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงนั้นจะอาศัยลมเพื่อทำให้เกิดการแยกชั้นของอนุภาคถ่านหิน อนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) สูงกว่าซึ่งก็คือเถ้าจะอยู่ในชั้นล่าง ส่วนอนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำซึ่งก็คือเนื้อถ่านหินจะอยู่ชั้นบนสุด จากหลักการดังกล่าวจะทำให้สามารถแยกเถ้าและเนื้อถ่านออกจากกันได้

จากการพิจารณาในกลุ่มของอุปกรณ์ที่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงพบว่า dry dense-medium separator นั้นจะใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินที่มีอัตราการผลิตไม่มากนัก เนื่องจากมักพบปัญหาในการควบคุมและการปรับสัดส่วนสารแขวนลอยระหว่างอากาศและของแข็ง (air/solid suspension) ส่วน pneumatic jig จะใช้ในโรงปรับปรุงคุณภาพถ่านหินที่มีหลายกระบวนการซึ่งแต่ละกระบวนการก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน[4] สำหรับ pneumatic table นั้นได้รับการพิสูจน์แล้วเป็นอย่างดีถึงประสิทธิภาพโดยเฉพาะในการทำความสะอาดถ่านหินศักดิ์ต่ำ มีรายงานการใช้ในประเทศออสเตรเลียพบว่าเหมาะสมกับการกำจัดเถ้าที่ค่าความถ่วงจำเพาะสูงและอัตราการผลิตสูง [4]

จากเหตุผลข้างต้นประกอบกับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินนี้มีกำลังการผลิตสูงและต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเดียวกัน air table หรือ pneumatic table จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นอุปกรณ์ในการทำความสะอาดถ่านหินสำหรับกระบวนการที่ออกแบบเพื่อปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะ

4.2.5 ลำเลียงถ่านหินสู่โรงไฟฟ้า

ในการลำเลียงถ่านหินสำหรับส่งเข้าสู่โรงไฟฟ้านั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้ การขนส่งทางรถไฟ (railroads delivered) การขนส่งทางน้ำ (water) ขนส่งโดยใช้รถบรรทุก (truck) การใช้สายพานลำเลียง (conveyer belts) การขนส่งโดยท่อ (slurry

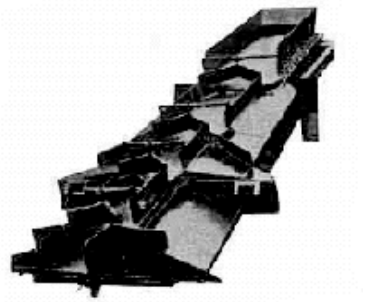
pipeline) และโดยรถรางเหมือง (tramways) สำหรับการขนส่งถ่านหินในระยะทางสั้น ๆ (ระยะทางต่ำกว่า 10 ก.ม.) นั้นพบว่าการใช้สายพานลำเลียงมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน[4]

ดังนั้น หากการลำเลียงถ่านหินจากโรงปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานสู่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีระยะทางในการขนส่งต่ำกว่า 10 กิโลเมตร การใช้สายพานลำเลียงในการขนส่งถ่านหินจึงมีความเหมาะสมมากที่สุด

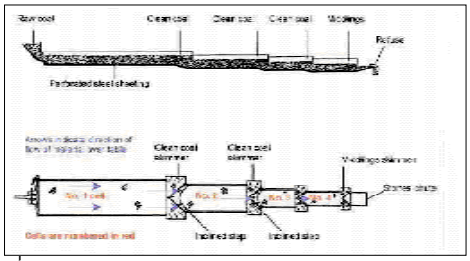
4.3 การทำงานของ air table

การทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งจะใช้ลมเป็นสื่อในการแยกสิ่งเจือปนออกจากถ่านหิน ซึ่งอุปกรณ์ทำความสะอาดถ่านหินดังกล่าวเรียกว่า air table หรือ pneumatic table โดยมักประยุกต์ใช้กับอนุภาคถ่านหินขนาดปานกลาง ในอุปกรณ์นี้จะมีกระแสลมไหลผ่านเพลตที่มีรูพรุนซึ่งอยู่ด้านล่างโดยกระแสลมจะสัมผัสกับถ่านหินทั่วทั้งชั้น อนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จะติดไปกับกระแสลมซึ่งจะต้องถูกดักจับโดยไซโคลน (cyclone) และถุงกรอง (bag filter) ก่อนที่จะปล่อยกระแสลมสู่บรรยากาศ สำหรับถ่านหินที่ได้จากการดักจับโดยไซโคลนและถุงกรองจะนำกลับมารวมกับถ่านหินที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพแต่อย่างใด ถ่านหินที่อยู่บริเวณส่วนปลายของ table นั้นเป็นส่วนที่หนักมากที่สุด (มีปริมาณเถ้าเจือปนสูง) ถ่านหินในส่วนกลาง (middlings) จะมีน้ำหนักปานกลางและจะมีบางส่วนที่มีปริมาณเถ้าสูง (high ash) ซึ่งจะต้องกำจัดออก ส่วนชั้นบนสุดของอนุภาคถ่านหินที่ผ่านเข้า air table นั้นคือเนื้อถ่านหิน (ปริมาณเถ้าต่ำ)

อุปกรณ์ทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งชนิด air table ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1 และภาพตัดขวางแสดงให้เห็นการแยกอนุภาคของถ่านหินและสิ่งเจือปนใน air table แสดงไว้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 pneumatic cleaning oscillating dry cleaning table

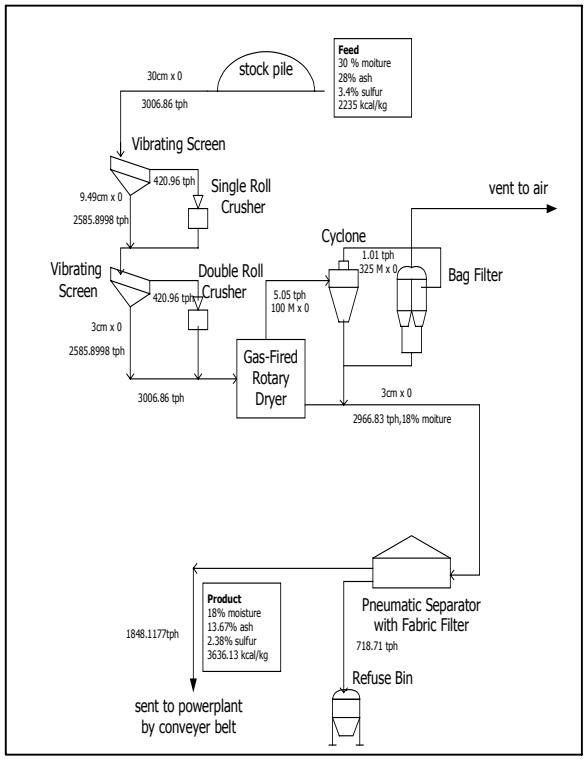


รูปที่ 2 diagrammatic views of dry cleaning table

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้งนั้น โดยทั่วไปต่ำกว่าอุปกรณ์ทำความสะอาดแบบเปียก อุปกรณ์ทำความสะอาดถ่านหินประเภทนี้มีต้นทุนในการลงทุนและค่าใช้จ่ายดำเนินงานต่ำกว่าอุปกรณ์ทำความสะอาดประเภทอื่น ๆ และยังไม่นำมาซึ่งปัญหาเรื่องการจัดหาแหล่งน้ำ (water supply) รวมทั้งการจัดการกับของเสียจากกระบวนการ

4.4 ผังแสดงรายการเครื่องจักรและอุปกรณ์

รูปที่ 3 เป็นผังแสดงรายการเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินก่อนการใช้งานที่ได้ออกแบบสำหรับปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะพร้อมกับแสดงผลการดุลมวลสารในผังด้วย สำหรับการคัดเลือกขนาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการนั้น ได้อาศัยข้อมูลจากความต้องการปริมาณการใช้ถ่านหินลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ [7] และข้อมูลกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งผลการคัดเลือกขนาดและจำนวนเครื่องจักรและอุปกรณ์แสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 3 แผนผังแสดงรายการเครื่องจักรและอุปกรณ์และการดุลมวลสารในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะก่อนการใช้งาน

ผลจากการดุลมวลสารดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะหลังจากผ่านกระบวนการแล้ว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้ เนื่องจากค่าความร้อนของถ่านหินเพิ่มขึ้น 62.7% ค่าความชื้นลดลง 35.7% ปริมาณเถ้าลดลง 51.1% นอกจากนี้การลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ 29.4% เมื่อถ่านหินผ่านกระบวนการแล้วยังช่วยลดความเสี่ยงในการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเป็นผลมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 1 แสดงรายการเครื่องจักรและอุปกรณ์พร้อมจำนวนเครื่องและกำลังการผลิตต่อเครื่อง สำหรับโรงปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะก่อนการใช้งานในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

เครื่องจักร	จำนวนเครื่อง	กำลังการผลิต/เครื่อง(ตัน/ชม.)
1. Incline Vibrating Screen 2.4m x 6m, single deck	3	-
Electric Motor 20 HP	3	-
2. Single Roll Crusher ขนาด 91.44cm x 121.92cm feed opening	2	235.91
Electric Motor, AC Crusher Duty 250 HP	2	-
3. Incline Vibrating Screen 2.1m x 6m, single deck	5	-
Electric Motor 20 HP	5	-
4. Double Roll Crusher ขนาด 137.16cm x 76.20cm feed opening	2	215.37
Electric Motor 125 HP	2	-
5. Gas-Fired Rotary Dryer 14' diameter, 100' length	8	
Electric Motor 500HP Include		
6. Pneumatic Separator (Air Table)	52	50
7. Cyclone ขนาด 177.80cm X 180.34cm	1	12.75
Electric Motor 50 Hp Include		
8. Bag Filter Diameter(1.71m) x height(2.67m)	1	-
Electric Motor 15 HP	1	-

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของถ่านหินหลังจากผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินแบบแห้ง

คุณสมบัติของถ่านหิน	วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์	ความเปลี่ยนแปลง(%)
ค่าความร้อน (kcal/kg)	2235	3636	เพิ่มขึ้น 62.7
ปริมาณความชื้น(%)	30.0	18.0	ลดลง 35.7
ปริมาณเถ้า (%)	28.0	13.7	ลดลง 51.1
ปริมาณซัลเฟอร์ (%)	3.4	2.4	ลดลง 29.4

5. บทสรุป

จากการศึกษาเบื้องต้นถึงกระบวนการที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่ากระบวนการที่เหมาะสมคือ กระบวนการทำความสะอาดถ่านหินแบบแห้ง ลักษณะกระบวนการเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องประเภททำความสะอาดทั้งหมด (total washing process) โดยใช้ air table เป็นอุปกรณ์หลักในการทำความสะอาดถ่านหิน ผลจากการดุลมวลสารจะเห็นว่าถ่านหินที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าและช่วยลดความเสี่ยงในการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากฝ่ายวิจัยและพัฒนา เหมืองแม่เมาะ และฝ่ายธุรกิจผลิตไฟฟ้าโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Inspector's Guidance Manual., Coal Preparation Plants 40 CFR Part 60 Subpart Y., Stationary Sources Branch., Air Pollution Control Division., Denver.,Colorado

[2] Mae Moh Lignite Mine,ICEM A/P Energy Conference. December 11-12, 1997 Hanoi, Vietnam. Available online at http://www.icemap.org/rs-en-c10.htm

[3] คุณสมบัติแหล่งถ่านหินในประเทศไทย, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย Available online at http://www.egat.or.th/fb/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=7#Lignite

[4] Jim Donnelly., Potential Revival of Dry Cleaning of Coal . The Australian Coal Review, October 1999

[5] Lockhart N C, 1984. Dry Beneficiation of Coal, Powder Technology Vol 40 No 1-3, p215

[6] Chen Qingru and Yang Yufen, 1998. Advanced Dry Beneficiation of Coal, Proceedings of the 13th International Coal Preparation Congress, Brisbane.

[7] โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. Available online http://www.egat.or.th/thai/power_plans/meamoh.html

[8] G.H.Luttrell. Coal sizing and classification. Coal Preparation. Available online at http://www.courseware.vt.edu/users/luttrell/mine4074

[9] B.A.Wills. Mineral Processing Technology. Pergamon Press Ltd. Headington Hill Hall, Oxford, England 5th ed.

[10] เอกสารเรื่องครัชเชอร์. ภาตวิชาวิศวกรรมเคมี. สจพ.

[11] Single Roll crusher. McLanahan Corporation. Available online at http://www.mclanahan.xcom

[12] Double Roll crusher. McLanahan Corporation. Available online at http://www.mclanahan.xcom

[13] Joseph W.Leonard. Coal Preparation. SME. Littleton, Colorado 5th ed.

[14] Pneumatic Separator. Available online at http://lep.lg.ua/~gmuo/

[15] G.H.Luttrell. Coal Dewatering. coal Preparation. Available online at http://www.courseware.vt.edu/users/luttrell/mine4074