

พลังงานจากถ่านหิน

ความหมาย

พลังงานจากถ่านหิน (Coal Energy) คือ พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้หินตะกอนชนิดหนึ่งซึ่งสามารถคิดไฟได้ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือสารประกอบของคาร์บอน กำเนิดมาจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพืชพันธุ์ไม้ต่างๆ ที่สลายตัวและสะสมอยู่ในลุ่มน้ำหรือแอ่งน้ำต่างๆ นับเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี แหล่งสะสมตัวนั้นได้รับความกดดันและความร้อนที่มีอยู่ภายในโลกทำให้ซากพืชเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นถ่านหินชนิดต่างๆ การใช้ประโยชน์ของถ่านหินในรูปของพลังงาน ได้แก่ การเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนในการทำงานและเพื่อการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

ความเป็นมา

ถ่านหินนับว่าเป็นแหล่งพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ที่มีปริมาณมากที่สุดในโลก มนุษย์มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการปรุงอาหารและให้ความร้อนเป็นเวลานานนับพันปีมาแล้ว ซึ่งการใช้พลังงานจากถ่านหินในสมัยก่อนนั้นยังมีไม่มากนัก เพราะมนุษย์ยังมีการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนซึ่งหาได้ง่าย และต่อมามีการใช้เชื้อเพลิงจาก น้ำมันเตาควบคู่กันไป เพราะมีราคาถูก แต่ตั้งแต่เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมในประเทศอังกฤษ และมีการขยายตัวไปทั่วยุโรปและอเมริกา ถ่านหินกลับเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันมากขึ้น ประกอบกับเมื่อเกิดมีวิกฤติการณ์พลังงานครั้งใหญ่ในปี พ.ศ. 2516 และ พ.ศ. 2522 ซึ่งราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นมาก ทั่วโลกจึงหันมาหาแหล่งเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทน ซึ่งในที่สุดก็มีการใช้ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานดังกล่าว อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า ถ่านหินยังคงเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีประโยชน์และยังมีเหลือพอให้มนุษย์ใช้ได้ อีกนับร้อยปี แต่การใช้ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลกด้วย

1. รูปแบบการกำเนิดถ่านหิน

ถ่านหินเกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติของโลก ที่กระทำต่อซากพืชที่ตายลงและสะสมอยู่ในลุ่มน้ำหรือแอ่งน้ำต่างๆ หรืออาจเกิดจากการที่ซากพืชเหล่านี้ถูกกระแสน้ำพัดพามาแล้วสะสมตัวอยู่ในบริเวณนั้น เมื่อเวลาผ่านไปซากพืชเหล่านี้ถูกปิดทับโดยตะกอนต่างๆ เป็นจำนวนมากขึ้นตามลำดับทำให้เกิดการบีบอัดโดยน้ำหนักของตะกอน ประกอบกับได้รับอิทธิพลของความร้อนภายในโลก ทำให้ซากพืชต่างๆ เหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จนกลายเป็นถ่านหินในที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบในการสะสมซากพืชแล้วทำให้เกิดเป็นถ่านหินนั้น มีด้วยกัน 2 รูปแบบคือ

1.1 เป็นการสะสมตัวของซากพืชที่เคยเจริญเติบโตอยู่ในบริเวณนั้น อาจจะเป็นตามลุ่มน้ำหรือแอ่งน้ำตื้นๆ เมื่อมีการร่วงโรยตายลงก็จะสะสมตัวกันอยู่ในแอ่งน้ำนั้นกลายเป็นชั้นถ่านหินที่เรียกว่าแหล่งการสะสมตัวอยู่กับที่ (autochthonous coal deposit) ถ่านหินที่เกิดขึ้นจากการสะสมตัวแบบนี้ มักพบว่ามีชั้นดินเหนียววางตัวอยู่ใต้ชั้นถ่านหิน โดยจะมีชั้นถ่านหินสม่ำเสมอเป็นบริเวณกว้างแม้ว่าจะมีชั้นหินดินดานแทรกสลับอยู่บ้างก็ตาม และไม่ค่อยมีสารอินปะปนในชั้นถ่านหิน เนื้อถ่านหินจะคงรูปซากพืชไว้อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในถ่านหินคุณภาพต่ำ (low rank coal) และคุณภาพของเนื้อถ่านหินมักไม่คงที่ตลอด ชั้นถ่านหินส่วนที่อยู่ข้างใต้จะมีลักษณะอ่อนหรือยุ่ย ส่วนกลางๆ จะเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีมีลักษณะเป็นมันวาว แต่ส่วนตอนบนจะมีคุณภาพของถ่านหินต่ำลงอีก โดยทั่วไปชั้นถ่านหินที่เกิดอยู่กับที่แบบนี้จะมีชั้นหินดินดานปิดอยู่ข้างบน แหล่งถ่านหินแบบนี้สามารถพบได้โดยทั่วไป โดยเฉพาะแหล่งขนาดใหญ่และสำคัญๆ ของโลก ที่อยู่ค่อนข้างไปทางขั้วโลกเหนือเป็นแหล่งที่มีการกำเนิดแบบนี้ทั้งสิ้น

1.2 เป็นการสะสมตัวของซากพืชที่เคยเจริญเติบโตในที่อื่น เมื่อมีการร่วงโรยตายลงถูกน้ำพัดพาไปพร้อมกับตะกอนอื่นๆ และเมื่อถูกพัดพามาอยู่ในบริเวณที่เหมาะสมก็จะตกตะกอนสะสมทับถมกันเป็นชั้นถ่านหินที่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดเดิม เรียกว่าแหล่งการสะสมตัวของซากพืชที่เกิดที่อื่น (allochthonous coal deposit) แหล่งถ่านหินแบบนี้ไม่ค่อยมีอยู่ทั่วไป แต่จะมีอยู่ในบางประเทศ โดยเฉพาะในบริเวณขั้วโลกทางด้านใต้ แหล่งถ่านหินแบบนี้มีอาณาบริเวณไม่ค่อยกว้างขวางและความหนาของชั้นถ่านหินไม่แน่นอน เนื่องจากมาจากบางส่วนของซากพืชที่ถูกน้ำพัดพาไปจากแหล่งเดิม ชั้นถ่านหินจะมีสารอื่นๆ ปะปนอยู่มาก โดยเฉพาะสารที่เกิดจากพวกโคลนตมซึ่งทำให้มีปริมาณขี้เถ้า (ash content) มากกว่าแบบแรก ส่วนชั้นหินที่วางอยู่บนชั้นของถ่านหินขึ้นอยู่กับชั้นหินต้นกำเนิดที่ถูกทำลายให้ผุกร่อนและพัดพาไปตามสายน้ำ โดยทั่วไปแล้วมักจะเกิดเป็นชั้นหินทรายและหินดินดาน ในกรณีที่เกิดได้ชั้นหินทรายจะทำให้ถ่านหินที่ได้ไม่มีคุณสมบัติในการอบไล่ก๊าซหรือทำให้เป็นถ่านโค้กได้เพราะก๊าซที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะมีการเล็ดลอดผ่านทางช่องว่างของหินทรายได้ ส่วนในกรณีของชั้นถ่านหินที่มีหินดินดานปิดทับอยู่ข้างบนนั้น ก๊าซที่เกิดในระหว่างกระบวนการสลายตัวของซากพืชจะไม่สามารถผ่านออกไปได้ ถ่านหินที่ได้จึงสามารถทำเป็นถ่านหินชนิดอบไล่ก๊าซและทำถ่านโค้กได้

2. องค์ประกอบในการกำเนิดถ่านหิน

องค์ประกอบหรือปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดถ่านหิน ได้แก่

2.1 ด้านสภาพอากาศต้องมีสภาพอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และพันธุ์ไม้ต่างๆ ซึ่งมีทั้งพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

2.2 พื้นที่ที่มีการทับถมกันนั้น ต้องเป็นบริเวณที่ไม่มีน้ำไหลเข้าออก หรือต้องเป็นบริเวณน้ำนิ่ง และเป็นบริเวณที่มีก๊าซออกซิเจนจำกัด เพื่อไม่ให้เกิดการเน่าสลายของซากพืชก่อนที่จะกลายเป็นถ่านหิน บริเวณ

ที่เหมาะสมในการเกิดถ่านหิน เช่น บริเวณที่ราบเชิงเขา บริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา และบริเวณแอ่งในหุบเขา

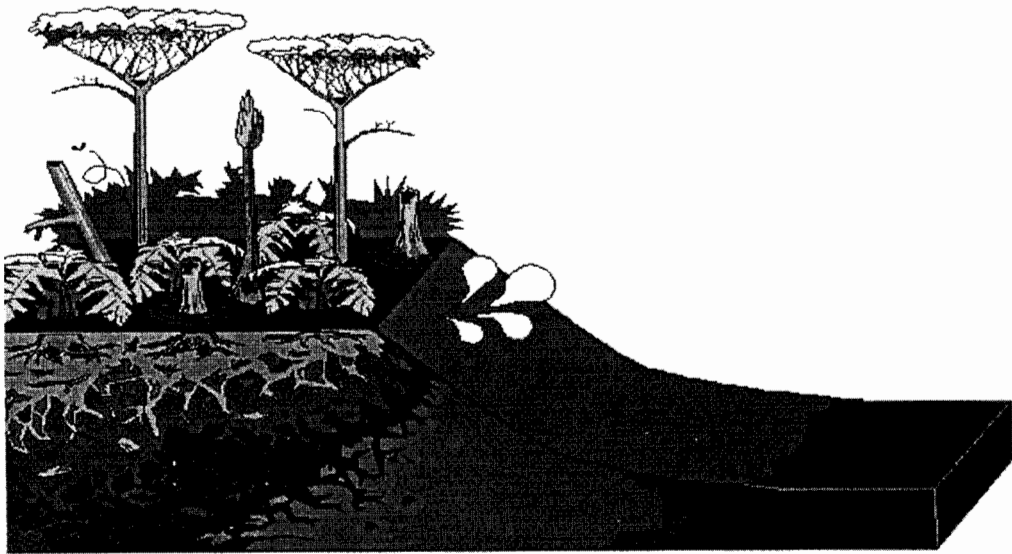
2.3 ระดับความลึกของซากพืชที่สะสมอยู่ในแอ่ง ซึ่งถ้าอยู่ในระดับลึกมากๆ จะทำให้จุลินทรีย์มาทำการย่อยสลายน้อยลง เพราะจุลินทรีย์ไม่สามารถทนความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกภายในโลกได้ หรือถ้าอยู่ในระดับตื้นเกินไป หรือโผล่ขึ้นมาออกซิเจนอาจทำให้ซากพืชเน่าเปื่อยได้

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เหมาะสมและมีความต่อเนื่อง จะทำให้การย่อยสลายซากพืช ทำให้กลายเป็นสารเนื้อเดียวกัน โดยอยู่ในรูปของสารที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ ในที่สุดซากพืชที่ตกตะกอนสะสมกันอยู่นั้นจะกลายเป็นพีต (peat) ซึ่งสิ่งสำคัญที่สุดในกระบวนการนี้คือสภาพแวดล้อมของแอ่งที่สะสมตะกอน ถ้าซากพืชจมอยู่ใต้น้ำลึกเกินไปจุลินทรีย์จะไม่สามารถทำการย่อยสลายได้ หรือถ้าตื้นเกินไปออกซิเจนในอากาศจะทำให้ซากพืชเกิดการเน่าเปื่อยได้

2.5 การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดความกดดันและความร้อนที่เหมาะสมจะทำให้ซากพืชแปรสภาพเป็นถ่านหินได้ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจากกระบวนการข้างต้น ซึ่งในกระบวนการนี้พีตที่เกิดขึ้นจะแปรสภาพไปเป็นถ่านหิน โดยเมื่อชั้นพีตถูกปิดทับด้วยตะกอนมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ชั้นพีตจมลึกลงไปเรื่อยๆ ในระดับความลึกที่เหมาะสม ความร้อนจากภายในโลกที่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกจะเป็นตัวหยุดกระบวนการก่อตัวใหม่ และจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความร้อนขึ้นแทน ทำให้พีตมีการแปรสภาพไปเป็นถ่านหิน เรียกกระบวนการนี้ว่า การแปรสภาพเป็นถ่านหิน

3. ตัวอย่างขั้นตอนการกำเนิดถ่านหิน

ตัวอย่างของขั้นตอนการกำเนิดถ่านหินของแหล่งที่มีการสะสมตัวอยู่กับที่แสดงไว้ในภาพประกอบ 1



ลำดับแรก

การทับถมของซากพืช

ลำดับที่สอง

การแปรสภาพเป็นพีต

ลำดับที่สาม

การแปรสภาพเป็นถ่านหิน

ภาพประกอบ 1 ลำดับการเกิดถ่านหิน

ที่มา <http://www.uky.edu/KGS/coal/images/peatcoal.gif>

จากภาพประกอบ 1 แสดงลำดับการกำเนิดถ่านหินได้ดังนี้

ลำดับแรก บริเวณที่เป็น หนอง บึง แอ่งน้ำ หรือที่ชื้นแฉะ ริมแม่น้ำ ริมทะเล ที่มีระดับต่ำกว่าบริเวณรอบข้างซึ่งเกิดการยุบตัวลง หรือบริเวณรอบข้างมีการยกตัวสูงขึ้น มีสภาพแวดล้อมที่อำนวยให้มีพืชเกิดขึ้นและอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีวงจรชีวิตหลายครั้ง มีทั้งเกิดขึ้นและล้มตายลง ติดต่อกันเป็นช่วงๆ ทำให้มีซากพืชต่างๆ สะสมทับถมกันเป็นจำนวนมาก

ลำดับที่สอง เมื่อบริเวณนี้มีการผุพังเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก ทำให้มีตะกอนดินมาทับถมซากพืชและซากสิ่งมีชีวิตอื่น รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วม การผุพังทำลาย การเคลื่อนไหวของผิวโลก การแตกแยกของแผ่นดิน เป็นต้น ทำให้ซากพืชต่างๆ ที่สะสมอยู่ได้รับแรงกดดันและได้รับความร้อนจากภายในโลก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ ในบริเวณดังกล่าวซากเหล่านี้จึงแปรสภาพไปเป็นพีต

ลำดับที่สาม อิทธิพลจากทั้งแรงกดดันและความร้อนภายในโลกเป็นเวลานานๆ ทำให้ถ่านพีตถูกอัดตัว

กลายเป็นถ่านหิน ซึ่งมีคุณลักษณะแตกต่างกันในแต่ละแห่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของพืชพันธุ์ไม้

4. การจำแนกถ่านหิน

การจำแนกถ่านหินใช้เกณฑ์ค่าความร้อน (calorific value) และผลวิเคราะห์ทางเคมีอื่นๆ เช่น ปริมาณคาร์บอน (fixed carbon) ค่าความชื้น (moisture content) และความสามารถในการระเหย (volatile matter) สำหรับระบบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันได้แก่ ระบบของสมาคมทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials, ASTM) โดยได้จำแนกถ่านหินเป็น 4 ลำดับชั้น โดยเรียงจากประเภทที่มีคาร์บอนมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ แอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ สรุปได้ดังนี้คือ

4.1 ถ่านหินแอนทราไซต์ (anthracite) เป็นถ่านหินที่ถูกจัดอยู่ในลำดับสูงสุด ถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดีที่สุด มีลักษณะดำเป็นเงามัน มีความวาวสูง มีปริมาณคาร์บอนสูงถึงร้อยละ 90 ขึ้นไป มีปริมาณความชื้นต่ำมากและมีค่าความร้อนสูง มีวันน้อยแต่จุดไฟติดยาก ส่วนใหญ่มักใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนภายในบ้านและในอุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

4.2. ถ่านหินบิทูมินัส (bituminous) เป็นถ่านหินเนื้อแน่น มีลักษณะแข็ง และมักจะประกอบด้วยชั้นถ่านหินสีดำสนิทที่มีลักษณะเป็นมันวาว มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 80-90 และมีความชื้นร้อยละ 2-7 ถ่านหินประเภทนี้สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถในการระเหย คือประเภทที่มีความสามารถในการระเหยสูง กลาง ต่ำ ถ่านหินชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้เป็นถ่านหินเพื่อการถลุงโลหะ หรืออาจใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าได้ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและความสามารถในการระเหย

4.3 ถ่านหินซับบิทูมินัส (sub-bituminous) มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เนื้อถ่านหินจะมีความอ่อนตัวคล้ายขี้ผึ้ง ไม่แข็งมาก มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 71-77 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-20 ถ่านหินประเภทนี้มีส่วนมากใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ในอุตสาหกรรม

4.4 ถ่านหินลิกไนต์ (lignite) เป็นถ่านหินที่ยังพอมีซากพืชเหลือปรากฏให้เห็นอยู่เล็กน้อย มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ มีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างน้อยและมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 30-70 ส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงและถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ

5 การทำเหมืองถ่านหิน

การทำเหมืองถ่านหินในโลกเกิดขึ้นมานานแล้ว แต่ที่เริ่มมีการพัฒนาการทำเหมืองถ่านหินขนาดใหญ่ก็เมื่อในราวศตวรรษที่ 18 โดยทั่วไปการทำเหมืองถ่านหินจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือการทำเหมืองแบบเหมืองเปิด (surface mining) และการทำเหมืองแบบเหมืองใต้ดิน (underground mining) ในการพิจารณาเลือกรูปแบบการทำเหมืองในแต่ละแบบนี้มีข้อจำกัด ข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะต้องยึดเอาลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งถ่านหิน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลักในการพิจารณา การทำเหมืองถ่านหินในแต่ละแบบพอสรุปได้ดังนี้

5.1 การทำเหมืองถ่านหินแบบเหมืองเปิด เมื่อทำการสำรวจทางด้านธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์จนได้ข้อมูลของแหล่งถ่านหินทั้งทางด้านลักษณะ โครงสร้างของชั้นหินต่างๆ ตลอดจนปริมาณถ่านหินที่มีอยู่แล้ว

จะต้องนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการศึกษาความเหมาะสมว่าการลงทุนทำเหมืองถ่านหินในบริเวณนี้นั้นจะคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่ และควรทำเหมืองในรูปแบบใด การทำเหมืองถ่านหินแบบเหมืองเปิดจะเหมาะสมที่สุดในกรณีที่แหล่งถ่านหินนั้นอยู่ไม่ลึกจากผิวดินมากนัก โดยทั่วไปเหมืองประเภทนี้มีตั้งแต่ระดับผิวดินจนถึงระดับความลึกประมาณ 500 เมตร

5.2 การทำเหมืองถ่านหินใต้ดิน การทำเหมืองใต้ดินเป็นการตัดสินใจภายใต้ข้อจำกัดหลักๆ คือแหล่งถ่านหิน ซึ่งในกรณีที่แหล่งถ่านหินอยู่ลึกจากผิวดินมาก การทำเหมืองแบบเหมืองเปิดอาจทำให้ไม่คุ้มค่าเพราะต้องมีค่าใช้จ่ายในการขุดเปิดหน้าดินและหินออกเป็นจำนวนมากก่อนที่จะถึงชั้นถ่านหิน ซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายในการขุดและขนดินจากบริเวณเหมืองสูงกว่าราคาถ่านหินที่จะขุดได้นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดอื่นๆ ที่อาจต้องทำเป็นเหมืองใต้ดิน เช่น แหล่งถ่านหินอยู่ใกล้แหล่งชุมชน หรืออยู่ใกล้บริเวณที่มีการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างเข้มงวด เป็นต้น การทำเหมืองใต้ดินค่อนข้างอันตรายเนื่องจากในชั้นของถ่านหินจะมีการสะสมตัวของก๊าซที่ไวต่อการติดไฟ เช่น ก๊าซมีเทน เมื่อทำการขุดถ่านหิน ก๊าซดังกล่าวจะถูกระบายออกมาสะสมในบริเวณหน้างาน ซึ่งอาจทำให้มีการลุกติดไฟของก๊าซดังกล่าวได้ นอกจากนี้ยังมีปัญหาการฟุ้งกระจายของฝุ่นผงของถ่านหินในการขนย้ายถ่านหินออกมาจากแหล่ง ซึ่งถ้าความหนาแน่นของฝุ่นนี้สะสมตัวถึงจุดที่เหมาะสม ประกอบกับอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงได้

การใช้ประโยชน์จากถ่านหิน

การใช้ถ่านหินเป็นที่นิยมนักมากหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรมในประเทศอังกฤษ และยิ่งเพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัวเมื่อวิกฤตราคาน้ำมันในปี พ.ศ. 2516 ทำให้มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันมากขึ้น ทั้งการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและในอุตสาหกรรมต่างๆ ปริมาณการใช้พลังงานจากถ่านหินทั่วโลกเมื่อปี พ.ศ. 2544 อยู่ที่ประมาณร้อยละ 28 ของการใช้พลังงานทั้งหมด การใช้ประโยชน์จากถ่านหินอาจแบ่งได้หลักๆ เป็น 2 ประเภท คือ

1. การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตพลังงาน

ถ่านหินส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยตรงคือ การใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการถลุงโลหะ การผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น จากข้อมูลการรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานเมื่อปีพ.ศ. 2546 พบว่าในประเทศไทยใช้ถ่านหินลิกไนต์ในการผลิตไฟฟ้าถึงร้อยละ 86 ส่วนที่เหลือร้อยละ 14 ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ในขณะที่ภาพรวมทั่วโลกพบว่ามีการใช้ถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณร้อยละ 64 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณของถ่านหินที่ขุดขึ้นมาได้นั้นจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะการผลิตพลังงานไฟฟ้า

2. การใช้ถ่านหินเพื่อวัตถุประสงค์อื่น

นอกจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมต่างๆ แล้ว ยังมีการใช้ถ่านหินเป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกหลายอย่าง เช่น การนำมาผลิตเป็นถ่านโค้กเทียม ถ่านกัมมันต์ ปิวยูเรีย หรือการนำมาสกัดเป็นน้ำมันดิบ เป็นต้น

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ถ่านหิน

นับตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการทำเหมืองถ่านหิน ตลอดจนการนำถ่านหินไปใช้ประโยชน์ ทุกขั้นตอนของกิจกรรมเหล่านี้จะมีการทำลายสภาพแวดล้อมตลอดเวลา ซึ่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการของถ่านหินนั้นเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นคือ การเตรียมพื้นที่ทำเหมือง การเปิดหน้าดิน การขุดถ่านหิน การขนถ่ายและลำเลียงถ่านหิน ตลอดจนการนำถ่านหินไปใช้ประโยชน์ ทุกขั้นตอนล้วนแล้วแต่มีการทำลายสภาพแวดล้อมและปลดปล่อยสารมลพิษออกมา ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการได้มาและการใช้ถ่านหินดังต่อไปนี้

1. ผลกระทบจากขั้นตอนการทำเหมือง

กระบวนการเริ่มต้นของการทำเหมืองถ่านหินหลังจากที่มีการสำรวจทั้งทางธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ และ

การเจาะสำรวจจนเป็นที่แน่ชัดแล้วว่า ได้มีการพบแหล่งถ่านหินและคุ้มค่าต่อการลงทุน คือการเตรียมพื้นที่และการเปิดหน้าดินเพื่อทำเหมืองถ่านหิน โดยเฉพาะการทำเหมืองแบบเปิดซึ่งใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก นั้นหมายถึงปริมาณของป่าไม้ที่จะต้องถูกทำลายก็มากตามไปด้วย ผลที่ติดตามมาคือความเสียหายของระบบนิเวศวิทยาทั้งในด้านความหลากหลายของพืชพรรณไม้ รวมถึงที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่างๆ ในพื้นที่บริเวณนั้นก็จะถูกทำลายไปด้วย เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเปิดหน้าดินปริมาณเนื้อดินมหาศาลจากพื้นผิวโลกลงไปตามระดับความลึกถึงแหล่งถ่านหิน ซึ่งจะถูกรูดและถูกเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น ผลที่ตามมาคือมลพิษจากฝุ่นที่เกิดขึ้น ทั้งในช่วงของการขุดและการขนย้าย ส่วนพื้นที่บริเวณที่ถูกขุด และพื้นที่บริเวณที่นำหน้าดินมากองถมไว้ อาจเกิดการพังทลายของดิน (erosion of soil) ได้ อันเนื่องมาจากความหนาแน่นของดินในพื้นที่นั้นๆ เปลี่ยนไป หรืออาจเกิดจากพลังธรรมชาติ เช่น ลมพายุ พายุฝน เป็นต้น นอกจากนี้ในระหว่างการทำเหมืองถ่านหินยังมีปัญหาในเรื่องของน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยออกมาจากเหมืองถ่านหิน (acid mine drainage) ซึ่งน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยออกมามีส่วนผสมของสารโลหะหนักจำพวกทองแดง ตะกั่ว พรอท ออกมาด้วย อันจะทำให้เกิดการแพร่กระจายและการปนเปื้อนทั้งในบริเวณพื้นดินและแหล่งน้ำต่างๆ ในบริเวณใกล้เคียง

2. ผลกระทบจากการใช้ถ่านหิน

การนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์ ดังที่กล่าวไปแล้วว่าส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าและในอุตสาหกรรมต่างๆ ถ่านหินเมื่อถูกทำให้เกิดการเผาไหม้จะปล่อยก๊าซต่างๆ ที่เป็นมลพิษทางอากาศ ทั้งที่อยู่ในรูปของละอองธุลี (particulate matters) และอยู่ในรูปของออกไซด์ของก๊าซต่างๆ มากมาย เช่น ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) เป็นต้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลโดยตรงต่อมนุษย์และบรรยากาศของโลก เช่น การเกิดฝนกรด ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น

2.1 ภาวะฝนกรด (acid rain) เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ทุกชนิดรวมทั้งถ่านหิน เมื่อมีการเผาไหม้จะปล่อยก๊าซจำพวกซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ออกสู่ชั้นบรรยากาศ เมื่อก๊าซเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาเคมีกับโมเลกุลของไอน้ำและออกซิเจนในอากาศจะกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งจะเกาะตัวเข้ากับโมเลกุลของฝน ผุ่่นหรือหิมะ แล้วตกลงสู่พื้นโลก

2.2 ปปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse effect) การเผาไหม้ของพวกเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ทุกชนิด นอกจากจะมีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์แล้วยังมีก๊าซจำพวกคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และโอโซน ถูกปล่อยออกมาด้วย ซึ่งก๊าซเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อน (global warming) ผ่านทางปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศโลกประมาณ 6 พันล้านตันต่อปี ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นเพราะเมื่อแสงจากดวงอาทิตย์แผ่รังสีลงมายังโลก ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นคลื่นสั้นจะสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศของโลกมาได้ ทำให้พื้นผิวทุกส่วนของโลกดูดซับเอาพลังงานจากการแผ่รังสีนี้ไว้ แต่ในขณะที่พื้นผิวของโลกมีการคายความร้อนออกมาจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนซึ่งเป็นคลื่นยาว ทำให้โมเลกุลของก๊าซต่างๆ รวมถึงโมเลกุลของไอน้ำซึ่งมีอยู่ใน ชั้นบรรยากาศ จะดูดซับเอาพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาไว้ ทำให้ความร้อนไม่สามารถออกไปสู่นอก ชั้นบรรยากาศของโลกได้ จึงทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น

2.3 หมอกควัน (smog) เป็นปัญหาทางด้านสภาพอากาศที่มักเกิดขึ้นในแหล่งชุมชน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษต่างๆ ที่มีอยู่ในอากาศกับแสงอาทิตย์ก่อให้เกิดเป็นลักษณะของหมอกควัน

กรณีตัวอย่างของผลกระทบของการใช้ถ่านหินในประเทศไทย เช่น ในจังหวัดสมุทรสาคร ประชาชนได้ไปยื่นฟ้องต่อศาลปกครองให้คุ้มครองชั่วคราวห้ามขนถ่านหินทั้งจังหวัดเนื่องจากมีความเดือดร้อนจากการขนถ่ายถ่านหิน ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียในแม่น้ำท่าจีน สภาพ

แวดล้อมถูกทำลาย ทั้งนี้ จังหวัดสมุทรสาครมีโรงงานมากกว่า 5,700 แห่ง ในจำนวนดังกล่าวมีโรงงานอุตสาหกรรมกว่า 10% ที่ใช้พลังงานถ่านหินทดแทนน้ำมันที่มีราคาแพงเพื่อประหยัดต้นทุน หรือกรณีที่บ้านคำบลดบ่อนอก อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ออกมาคัดค้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินเนื่องจากค้ำนึ่งถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น เช่น มลพิษจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กลิ่นกำมะถัน ผุ่่นจากถ่านหิน และขี้เถ้า การทำลายระบบนิเวศวิทยาของทะเล ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการค้ารังสีของสัตว์น้ำ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทำให้ปริมาณของสัตว์น้ำลดลงเนื่องจากการอพยพย้ายถิ่นและการเสียชีวิต ผลกระทบเหล่านี้ส่งผลต่อชุมชนที่อยู่อาศัย การประกอบอาชีพ การทำลายสภาพแวดล้อม เป็นต้น และอีกกรณีหนึ่งคือโรงไฟฟ้าถ่านหินที่แม่เมาะจังหวัดลำปาง เนื่องจากบริเวณพื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นแอ่ง กระทั่งทำให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สะสมอยู่ในบริเวณพื้นที่โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจกับประชาชนในพื้นที่ แม้โรงไฟฟ้าแม่เมาะจะพยายามแก้ปัญหาโดยติดตั้งเครื่องดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แต่ปัญหายังคงมีอยู่

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดเพื่อการแก้ปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ถ่านหินเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ใช้กันมากและมีปริมาณมากพอให้ใช้กันอีกนับร้อยปี ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาการเกิดมลพิษจากถ่านหิน จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ถ่านหิน โดยให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งเทคโนโลยีนี้เรียกว่าเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด (clean coal technology) กระบวนการของเทคโนโลยีนี้สามารถทำได้ทั้ง 3 ขั้นตอนคือ ก่อนเผาไหม้ ขณะเผา และหลังการเผา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดก่อนการเผาไหม้ เป็นการทำความสะอาดถ่านหินในขั้นตอนก่อนการเผาไหม้ เพื่อลดปริมาณขี้เถ้าและกำมะถันที่ปะปนอยู่ในถ่านหิน ในขณะเดียวกันจะเป็นการเพิ่มค่าความร้อนของถ่านหิน

ด้วย การทำความสะอาดก่อนการเผาไหม้สามารถดำเนินการได้ทั้งทางกายภาพ เช่น กำจัดสิ่งเจือปนประเภทฝุ่นละออง ดิน หิน และสารประกอบพวกกำมะถัน อนินทรีย์ การทำความสะอาดโดยวิธีทางเคมี ซึ่งสารเคมีดังกล่าวมี คุณสมบัติในการกำจัดพวกสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ไม่สามารถกำจัดโดยวิธีทางกายภาพได้ และการทำความสะอาดโดยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้สิ่งมีชีวิตเล็กๆ จำพวกแบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด ในการกำจัดกำมะถันในถ่านหิน

2. เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะเผาไหม้หรือเมื่อนำไปใช้ประโยชน์

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดขณะเผาไหม้ เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบการเผาไหม้ถ่านหิน โดยการปรับปรุงเตาเผาและหม้อไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการเผาไหม้ถ่านหินและลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เช่นเทคโนโลยีการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นผง เทคโนโลยีการเผาสภาพของไหล (fluidized bed combustion, FBC) หรือ เทคโนโลยีการเผาสภาพของไหลภายใต้ความกดดัน ซึ่งสามารถลดปริมาณกำมะถันที่จะถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ได้มากขึ้น

นอกจากนี้ยังสามารถแปรรูปถ่านหินให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง (coal gasification) ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จะถูกนำมาทำให้สะอาดโดยการกำจัดมลพิษก่อนที่นำไปใช้ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้นั้นนอกจากนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้ว อาจนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แอมโมเนีย เมทานอล หรือก๊าซไฮโดรเจนได้ หรือเชื้อเพลิงเหลว (coal liquefaction) เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากถ่านหินสามารถนำมากลั่นในกระบวนการกลั่นน้ำมันจะได้ น้ำมันสำหรับรถยนต์และผลิตภัณฑ์อื่นๆ จำพวกพลาสติก และสารละลายต่างๆ

3. เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้

เทคโนโลยีถ่านหินสะอาดหลังการเผาไหม้ (post-combustion) นี้เป็นการกำจัดมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถ่านหิน ก่อนที่จะถูกปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม

ซึ่งมีทั้งที่อยู่ในรูปของฝุ่นละอองต่างๆ และก๊าซ เทคโนโลยีที่นำมาใช้แก้ปัญหาในขั้นตอนนี้ได้แก่ การกำจัดฝุ่นละอองหลังการเผาไหม้ การกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ที่ถูกปล่อยออกมาพร้อมก๊าซทิ้งหลังการเผาไหม้

ประเทศไทยกับการใช้ประโยชน์จากถ่านหิน

การสำรวจถ่านหินในประเทศไทยได้ดำเนินการเป็นครั้งแรกเมื่อประมาณปีพ.ศ. 2440 เป็นการสำรวจแหล่งถ่านหินที่บริเวณบ้านปุดา อำเภอนือคลอง จังหวัดกระบี่ โดยบริษัทถ่านหินศิลากระบี่ ซึ่งในขณะนั้นการพัฒนา ด้านเทคโนโลยีและความต้องการใช้ถ่านหินยังไม่มากนัก การทำเหมืองถ่านหินจึงยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร จนกระทั่งรัฐบาลมีการจัดตั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2510 ทำให้มีการใช้ถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

ถ่านหินที่มีการสำรวจพบมากในประเทศไทย ประมาณร้อยละ 99 เป็นถ่านหินประเภทลิกไนต์ซึ่งมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ โดยมีถ่านหินประเภทซับบิทูมินัส และบิทูมินัสอยู่บ้าง ยกเว้นที่พบที่เหมืองนาควัง จังหวัดเลย และเหมืองนากลาง จังหวัดอุดรธานี เป็นถ่านหิน ประเภทแอนทราไซต์ซึ่งมีคุณภาพสูง แต่มีปริมาณไม่มากนัก

แหล่งถ่านหินในประเทศไทย

แหล่งถ่านหินในประเทศไทยที่สำรวจพบโดยกรมทรัพยากรธรณี ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือและในภาคใต้บางส่วน แหล่งถ่านหินที่ใหญ่ที่สุดและมีการผลิตมากที่สุดคือ เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีปริมาณสำรองกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณถ่านหินสำรองทั้งประเทศ ซึ่งถ่านหินทั้งหมดถูกนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แหล่งถ่านหินในประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แหล่งถ่านหินที่ถูกเปิดเป็นเหมืองแล้ว และแหล่งถ่านหินที่ยังไม่ถูกพัฒนา โดยสรุปในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณสำรองถ่านหินรวมทั้งสิ้นประมาณ 2,139 ล้านตัน

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ

โรงไฟฟ้าแม่เมาะมีโรงไฟฟ้าทั้งหมด 13 เครื่อง กำลังการผลิตรวมทั้งหมด 2,635 เมกวัตต์ ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 15,450 ล้านหน่วยต่อปี ส่งผ่านระบบไฟฟ้าเชื่อมโยงบริเวณภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โรงไฟฟ้าแม่เมาะได้ติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่น ติดตั้งจุดตรวจวัดค่าความ

เข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฉีดพ่นน้ำเพื่อลดฝุ่น และพรมน้ำลงบนวัสดุที่มีการฟุ้งกระจายขณะขนถ่ายน้ำจากกระบวนการผลิตในโรงไฟฟ้าจะผ่านกระบวนการบำบัด ทางชีวภาพ ตรวจวัดแหล่งกำเนิดเสียงภายในโรงไฟฟ้า และติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศให้ดีขึ้น



ภาพประกอบ 2 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ที่มา <http://www.egat.co.th>

บทสรุปพลังงานจากถ่านหินกับอุตสาหกรรมศึกษา

การใช้พลังงานจากถ่านหินซึ่งเป็นเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ชนิดหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมนั้น จำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญและถือเป็นนโยบายต่อการให้ความรู้สำหรับเยาวชนและบุคคลทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเยาวชน ทั้งนี้เยาวชนเป็นทรัพยากรที่สำคัญของประเทศในอนาคต หากเยาวชนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์และผลกระทบจากการใช้ถ่านหินแล้ว เยาวชนก็จะสามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่าและคำนึงถึงผลกระทบจากการใช้พลังงานให้น้อยที่สุด สามารถกระตุ้นให้เกิดความตระหนักต่อการใช้พลังงานและเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการใช้พลังงานชนิดอื่นเพื่อมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์เช่นถ่านหินได้

การจัดการศึกษาทางอุตสาหกรรมซึ่งเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีในด้านต่างๆ รวมทั้งเทคโนโลยีพลังงาน

ด้วยการศึกษาทางด้านการใช้พลังงานชนิดต่างๆ ส่งเสริมให้เกิดความรู้ความเข้าใจในบทบาทของพลังงานแต่ละชนิด ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อดีและผลกระทบของการใช้พลังงานและเรียนรู้ที่จะพัฒนาเทคโนโลยีให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบจากการใช้พลังงานต่อไป ผลกระทบจากการใช้พลังงานทั้งพลังงานจากถ่านหินและพลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ อีกมากมายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังคงส่งผลกระทบต่อสังคมความเป็นอยู่ การประกอบอาชีพ หรือความมั่นคงทางสังคม ดังนั้นจึงเป็นบทบาทที่สำคัญของการจัดการศึกษาทางอุตสาหกรรมที่ต้องตระหนักและถือเป็นภารกิจหลักที่จะต้องให้การศึกษานำไปใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานและแรงดันจากผลกระทบอย่างมีคุณภาพต่อกัน

โอภาส สุขหวาน

บรรณานุกรม

กรมเชื้อเพลิงพลังงาน. ถ่านหิน. สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2552 จาก

http://www2.dmf.go.th/petro_focus/coal.th.history.asp

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. เทคโนโลยีการทำเหมือง. สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2552 จาก

http://www2.egat.co.th/fuel/index.php?option=com_content&task=view&id=34&itemid=28

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2554 จาก

http://www.egat.co.th/wwwthai/index.php?option=com_content&view=article&id=86&itemid=444

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ชวสมุทราสารฟอสซิล ปค. สังกัดจันทันหินทั้งจังหวัด.

สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2554 จาก http://www.en.mahidol.ac.th/thai/news/envi_news_fullv2.php?id=1142

เสมอชน ธนพัช. แม่เมาะ เมืองในหมอกมลพิษ. สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2554 จาก

<http://www.greenworld.or.th/library/environment-popular/410>

เหตุผลในการคัดค้านโรงไฟฟ้าถ่านหินของชาว ต.บ่อนอก อ.เมือง จ.ประจวบฯ สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2554 จาก

<http://www.fortunecity.com/greenfield/profit/928/lichen/energy5.htm>

อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์. (2543). **พลังงานเบื้องต้น = Introduction to energy**. ชลบุรี : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

National Energy Education Development. "Coal". Curriculum Guides and Activities. Secondary Energy Infobook.

Retrives July 10, (2004). from

http://www.need.org/info_act.html

Schwaller, Anthony E. and Gilberti, Anthony F. (1996). **Energy Technology : sources of power**. 2nd ed.

International Thomson Publishing Co., USA.