

วารสารปริทัศน์

ถ่านหินและองค์ประกอบของถ่านหิน

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงแข็งธรรมชาติ ประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด เกิดจากการพื้งและการสะสมตัวของซากพืชมาเป็นเวลานาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพ แปรสภาพเป็นถ่าน ซึ่งให้ลักษณะและคุณภาพต่าง ๆ กันออกไป

ถ่านหินมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ คาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีแร่ธาตุอื่น ๆ เจือปนอยู่บ้างเช่น กำมะถันและออกซิเจน เป็นต้น การจัดแบ่งถ่านหินโดยคำนึงถึงคุณภาพการให้พลังงาน โดยนักธรณีวิทยา แบ่งได้ดังนี้ (ธีรศักดิ์ ฤกษ์สมบูรณ์, 2533)

- พีต (peat) ประกอบด้วยซากพืชบางส่วน ซึ่งได้จากการสลายตัวไปแล้ว ยังปรากฏให้เห็นร่องรอยของเนื้อไม้อยู่ ลักษณะเป็นสีน้ำตาล มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ มีปริมาณออกซิเจนและน้ำค่อนข้างสูง ให้ความร้อนน้อย เมื่อติดไฟจะมีควันมาก

- ลิกไนต์ (lignite) หรือถ่านหินสีน้ำตาล (brown coal) เป็นถ่านหินคุณภาพต่ำมาก มีวิวัฒนาการมาจากพีต และยังปรากฏร่องรอยของเนื้อไม้อยู่บ้าง มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง ความชื้นสูง ให้ความร้อนต่ำ มีโอกาสที่จะเกิดการติดไฟได้เอง (spontaneous combustion) จึงไม่สามารถขนส่งเป็นระยะทางไกล ๆ หรือกองเก็บไว้นาน ๆ ได้

- ซับบิทูมินัส (subbituminous) เป็นถ่านหินสีดำคล้ายขี้ผึ้ง ให้ความร้อนสูงกว่าลิกไนต์สามารถที่จะแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซได้ และมีโอกาสที่จะเกิดการติดไฟได้เองเช่นเดียวกับลิกไนต์

- บิทูมินัส (bituminous) เป็นถ่านหินคุณภาพสูงใช้เวลาในการแปรสภาพค่อนข้างยาวนาน เนื้อแน่นแข็งและมีสีดำ ไม่ปรากฏร่องรอยของเนื้อไม้อยู่ มีเถ้าต่ำให้ควันน้อย ให้ความร้อนสูงเหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นถ่านโค้กและใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก

- แอนทราไซต์ (anthracite) เป็นถ่านหินคุณภาพดีที่สุด มีสีดำสนิท เป็นมันวาวมีความแข็งมาก มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ความชื้นต่ำ ติดไฟยากแต่ให้ค่าความร้อนสูง ให้ระยะเวลาในการเผาไหม้นาน

การจัดถ่านหินตามศักดิ์ (rank) โดยวิธีมาตรฐาน ASTM ได้เป็น 4 ชั้นใหญ่ๆ คือ ลิกไนต์, ซับบิทูมินัส, บิทูมินัส และแอนทราไซต์ โดยเรียงจากคุณภาพต่ำถึงสูงพิจารณาจากองค์ประกอบที่สำคัญ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เช่น คาร์บอนคงตัว, สารระเหยได้, ความชื้น, เถ้า, กำมะถัน และค่าความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

สภาพการเกิดขึ้นปฐมภูมิของถ่านหินขึ้นกับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในการเกิด ซึ่งคุณสมบัติเฉพาะของถ่านหินถูกกำหนดโดย ชนิดของการสะสมตัว, ประเภทของหมู่พืชที่ให้การสะสมตัวของพืช, สภาวะแวดล้อมของการสะสมตัว, ปริมาณสารอาหารของพืช, ความเป็นกรด-ด่าง จุลินทรีย์และปริมาณซิลเฟอร์ และออกซุทมิ (สมชาย, 2534)

คาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในโครงสร้างถ่านหินโดยอยู่ในโครงสร้างของส่วนที่เป็นอินทรีย์ (organic coal matter) ซึ่งเป็นส่วนให้พลังงานของถ่านหิน ในส่วนที่เป็นอินทรีย์นี้ยังประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อย เราเรียกส่วนนี้ว่า maceral สำหรับธาตุอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอินทรีย์ซึ่งอยู่กระจัดกระจายทั่วไปในเนื้อถ่านหิน เรียกว่า mineral matter (Meyer, 1981)

เมื่อนำถ่านหินไปเผาไหม้ ส่วนที่เป็น Maceral จะกลายเป็นก๊าซ และส่วนที่เป็น mineral matter จะยังคงเหลือเป็นเถ้า แต่มีสารประกอบแร่ธาตุบางตัวไม่เปลี่ยนเป็นเถ้า เช่น ที่ออกซุทมิสูง ๆ คาร์บอนเตตจะสลายตัวกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือกำมะถันจะสลายตัวกลายเป็นก๊าซซิลเฟอร์ ไฟไรต์ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบของเถ้า

ปริมาณธาตุต่างๆที่มีในถ่านหินขึ้นอยู่กับกระบวนการเกิดถ่านหิน (Coalification) โดยเริ่มจากซากพืชจนเป็นถ่านหินดังที่กล่าวมาแล้ว พบว่า เมื่อศักดิ์ของถ่านหิน หรือคุณภาพของถ่านหินสูงขึ้นจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการเกิดถ่านหินมีการขจัด ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ไนโตรเจน ออกไปในรูปของก๊าซมีเทน (methane) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการ pyrolysis จะมีการขจัดไฮโดรเจน และออกซิเจนอย่างสมบูรณ์ แต่คาร์บอนคงตัวยังคงอยู่ ส่วนไนโตรเจนกับกำมะถันเหลืออยู่ในปริมาณน้อยมาก แม้ว่าถ่านหินจะเป็นที่รู้จักนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในระยะเวลาช้านานแล้ว

ตารางที่ 2.1 การแบ่งหินตามศักดิ์โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 388 (ASTM Standard D 388, 1992)

Class	Group	Fixed Carbon Limits, % (Dry, Mineral-Matter-Free Basis)		Volatile Matter Limits, % (Dry, Mineral-Matter-Free Basis)		Gross Calorific Value Limits, Btu/lb (Moist, ^a Mineral-Matter-Free Basis)		Agglomerating Character
		Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
I. Anthracitic	1. Meta-anthracite	98	2	} nonagglomerating
	2. Anthracite	92	98	2	8	...	...
	3. Semlanthracite ^c	86	92	8	14	...	...
II. Bituminous	1. Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	} commonly agglomerating ^d
	2. Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...
	3. High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^e	...	
	4. High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^e	14 000
	5. High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	{ 11 500 10 500	{ 13 000 11 500
III. Subbituminous	1. Subbituminous A coal	10 500	11 500	} nonagglomerating
	2. Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500
	3. Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500
IV Lignite	1. Lignite A	6 300	8 300	}
	2. Lignite B	...	...	...	...	...	6 300

^a This classification does not apply to certain coals, as discussed in Note 1.

^b Moist refers to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.

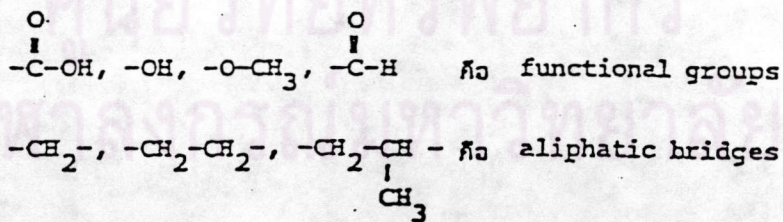
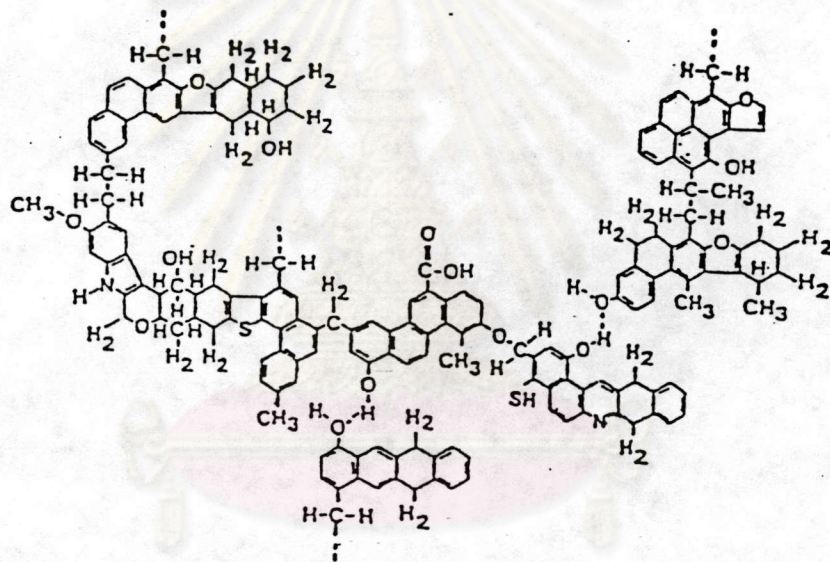
^c If agglomerating, classify in low-volatile group of the bituminous class.

^d Coals having 69% or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.

^e It is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in high volatile C bituminous group.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่โครงสร้างทางเคมี หรือสูตรโมเลกุลนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ตามความเข้าใจของนักวิทยาศาสตร์ คิดว่าโครงสร้างทางเคมี ของด้านหินประกอบด้วย โมเลกุลของวงแหวนอะโรมาติก (aromatic) และไฮโดรอะโรมาติก (hydroaromatic) เก้ากันเป็นกลุ่ม ๆ อาจเชื่อมกันด้วยแขนของโมเลกุลอะลิฟาติก (aliphatic) ภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มยังมีวงแหวนที่มีอะตอมของธาตุออกซิเจน, กำมะถัน หรือไนโตรเจน ประกอบอยู่กับคาร์บอนรวมทั้งกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นกรด, ด่าง, อีเทอร์ หรือหมู่ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (functional group) อื่น ๆ ซึ่งแสดงเป็นโมเลกุลสมมติดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1. โมเลกุลสมมติของด้านหิน

กล่าวโดยสรุปแล้วสามารถแบ่งโครงสร้างโมเลกุลของถ่านหินแบ่งได้เป็นสองส่วนตามสมบัติทางเคมีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือส่วนโครงสร้างอินทรีย์และส่วนที่เป็นแร่ธาตุ

1. โครงสร้างอินทรีย์

โครงสร้างอินทรีย์ของถ่านหินประกอบด้วยคาร์บอนประมาณ 90-97 ส่วน ไฮโดรเจน 3-4 ส่วน ออกซิเจน 1-2 ส่วน กำมะถันและไนโตรเจน 1-2 ส่วน โดยน้ำหนักเมื่อไม่คิดความชื้น เมื่อคิดเทียบจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอมของธาตุ (atomic ratio) ไฮโดรเจนจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างถ่านหิน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอมของธาตุในถ่านหินศักดิ์ต่าง ๆ (Elliot, 1981)

ศักดิ์	อัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอม				
	C	H	O	N	S
แอนทราไซต์	100	50	2-5	1-2	1/2-1
บิทูมินัส	100	70	4-8	1-2	1/2-1
ซับบิทูมินัส	100	80	10-20	1-2	1/2-1
ลิกไนต์	100	80	20-25	1-2	1/2-1

เมื่อศักดิ์ของถ่านหินสูงขึ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมไฮโดรเจนต่อคาร์บอนและออกซิเจนต่อคาร์บอนจะลดลง

2. สารประกอบแร่ธาตุ

สารประกอบแร่ธาตุที่พบมากที่สุดภายในถ่านหิน (Elliot, 1981) คือ ซิลิกอน นอกจากนี้ในถ่านหินยังประกอบด้วยแร่ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม

โซเดียมและโปแตสเซียม เป็นต้น ชาติต่าง ๆ เหล่านี้สามารถรวมตัวกับอะตอมของชาติอื่น ๆ เกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งสามารถจัดแบ่งเป็น 5 กลุ่มได้แก่

- กลุ่มอลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) หรือดินเหนียว (clay) จัดเป็นกลุ่มแร่ชาติที่มีมากที่สุดในถ่านหินได้แก่ เคโอลิไนต์ (kaolinite) อิลไลต์ (illite) เป็นต้น
- กลุ่มซัลไฟด์ (sulfide) ได้แก่ ไพไรต์ (Pyrite) มาร์คาร์ไซต์ (marcasite)
- กลุ่มคาร์บอเนต (carbonates) ได้แก่ โดโลไมต์ (dolomite) แคลไซต์ (calcite) และแองเกอร์ไรต์ (ankerite) เป็นต้น
- กลุ่มซัลเฟต (sulfate) เป็นแร่ชาติที่พบหลังจากเกิดการออกซิไดซ์ (oxidize) ของไพไรต์
- กลุ่มซิลิกา (silica) ได้แก่ ควอตซ์ (quartz) เป็นต้น

การลุกไหม้ตัวเองของถ่านหิน (Spontaneous Combustion of Coal)

จากการที่ถ่านหินได้ถูกนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ทำให้มีการศึกษา เพื่อใช้ประโยชน์ของถ่านหินให้คุ้มค่ามากขึ้น ทั้งนี้ถ่านหินที่ขุดมาใช้งาน ต้องมีการเก็บรักษา และขนส่งไปสู่แหล่งผู้ใช้ตามที่ต่าง ๆ ระหว่างการกองเก็บรักษา และการขนส่ง พบว่ามักเกิดปัญหาจากการลุกไหม้เองของถ่านหิน ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการศึกษาถึงปัญหาการลุกไหม้เองได้ของถ่านหิน หรือที่เรียกว่า Spontaneous Combustion of Coal มากขึ้น เพื่อลดปัญหาการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติไปโดยไม่เกิดประโยชน์ และภัยอันตรายที่เกิดจากการลุกไหม้อีกด้วย เช่นเกิดไฟไหม้สถานที่ รวมถึงการสูญเสียทางเศรษฐกิจที่ตามมา

1. ความหมายของการลุกไหม้ตัวเองของถ่านหิน

ถ่านหินมักเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นเองที่อุณหภูมิปกติและเกิดความร้อนขึ้นตาม มา ถ้าความร้อนที่ผลิตขึ้นมาไม่กระจายออกไปจะทำให้อุณหภูมิของก้อนถ่านหินเพิ่มขึ้น และอัตราการเกิดออกซิเดชัน จะถูกเร่งให้เกิดมากขึ้นขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีความร้อน

สะสมมากถึงจุดที่ถ่านหินเกิดการลุกไหม้ขึ้นชบวนการนี้เรียกว่า Spontaneous Combustion สำหรับ Spontaneous Combustion จะเกิดหรือไม่นั้นจะต้องมีผลของปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมที่เกื้อหนุนให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว

2. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำให้ถ่านหินเกิดการลุกไหม้เองได้

การลุกไหม้ได้เองของถ่านหินขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้ (Kim, 1977)

- อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของอากาศเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญ เพราะว่าอากาศประกอบด้วยออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในถ่านหินและเกิดความร้อนแผ่กระจายขึ้น การให้อัตราการไหลของอากาศที่สูงมาก ๆ ถึงแม้ว่าจะให้ปริมาณออกซิเจนมาก แต่ว่าการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นก็มีสูงขึ้นด้วย ขณะเดียวกันถ้าให้อัตราการไหลของอากาศต่ำออกซิเจนที่ได้แม้จะไม่มากเกินไป แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นจะยังสะสมไว้ในถ่านหิน ดังนั้นการควบคุมการระบายอากาศระหว่างการเก็บรักษาจึงจำเป็นต้องทำโดยการกองถ่านหินไม่สูงมากนัก หรือให้มีช่องทางออกของก๊าซ เป็นต้น

- ขนาดอนุภาค ขนาดของอนุภาคจะแปรผกผันกับการเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหิน ขนาดอนุภาคเล็ก ๆ จะเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาทำให้แนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูงขึ้น พบว่าในการทดลองในห้องปฏิบัติการถ่านหินขนาดอนุภาคเล็ก ๆ จะใช้ระยะเวลาในการเกิดการลุกไหม้ได้เองน้อยลง สำหรับในเหมืองพบว่า พื้นที่ที่มีการแตกหักของถ่านหินจะมีอันตรายที่เกิดจากการลุกไหม้ได้เองสูง ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Loss of calorific value กับขนาดของถ่านหินชนิด Forest of Dean coal พบว่า ขนาดของอนุภาคจะแปรผกผันกับค่าความร้อนที่สูญเสียไป

- ศักดิ์ถ่านหิน ความสัมพันธ์ระหว่างศักดิ์ถ่านหินกับแนวโน้มการเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหินไม่สามารถระบุได้ชัดเจน แต่โดยทั่วไปพบว่าถ้าเปรียบเทียบระหว่างถ่านหินศักดิ์ต่ำคือถ่านหินลิกไนต์กับถ่านหินศักดิ์สูงคือถ่านหินบิทูมินัส ถ่านหินลิกไนต์จะมีความว่องไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูงกว่าถ่านหินลิกไนต์บิทูมินัส แต่ถ้าถ่านหินมีศักดิ์ใกล้เคียงกันจะไม่สามารถแบ่งแยกความสัมพันธ์ดังกล่าวได้

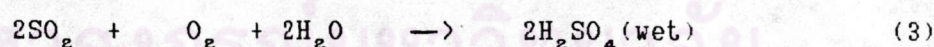
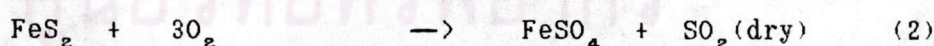
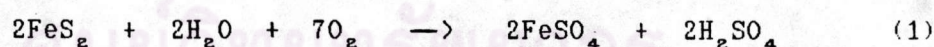
ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับค่าความร้อนที่สูญเสียไป

size of coal (in.)	Loss of calorific value (%)	
	1 year	2 years
2 - 3	0.11	0.24
0.5-0.125	0.50	1.00
0.0125-0.0084	1.00	2.10
0.0025-0	1.80	3.00

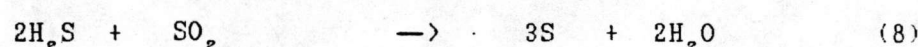
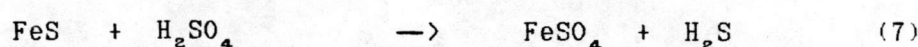
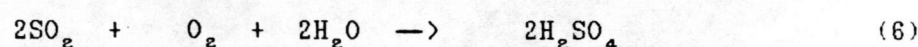
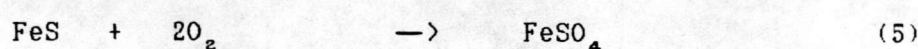
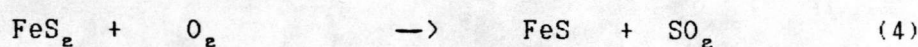
- อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในถ่านหินเป็นฟังก์ชันโดยตรงกับอุณหภูมิ โดยที่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมากขึ้น

- ปริมาณไพไรต์ ไพไรต์และมาร์คาร์ไซต์จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ถ่านหินแตกออกเป็นเม็ดเล็กลง ซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าไพไรต์แตกละเอียดและสามารถเปลี่ยนไปเป็น ferrous sulfate อย่างรวดเร็วก็จะยิ่งเพิ่มความไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองมากขึ้น

ปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของ pyrite เป็นไปดังสมการต่อไปนี้



หรืออาจเกิดปฏิกิริยาแบบ



สมการที่ 1, 2, 3 เป็นปฏิริยาอาศัยความร้อนให้พลังงานประมาณ 217 กิโลแคลอรีต่อกิโลโมล

- ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นถ่านหินเป็นปัจจัยที่ชากจะควบคุมจะขึ้นกับลักษณะของชั้น coal seam ถ้าชั้นของถ่านหินหนาและเป็น multiple coal seam อัตราการเสียดต่อการลุกไหม้จะสูง โดยเฉพาะในเขตที่สามารถให้อากาศผ่านเข้าไปในเนื้อถ่านหินได้

- การปฏิบัติในเหมือง มีด้วยกันหลายสาเหตุที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เองเช่น ลักษณะการกองเก็บถ่านหิน, เงื่อนไขการจัดการในเหมือง, อากาศรอบรอสแยกของกองถ่านหิน และวิธีการทำเหมือง เป็นต้น

คุณสมบัติของถ่านหินที่มีผลต่อการลุกไหม้ขึ้นได้เองของถ่านหินที่สำคัญ เช่น ปริมาณความชื้นของถ่านหิน ซึ่งพบว่าถ่านหินที่มีความชื้นมากจะมีแนวโน้มในการเกิดความร้อนเองขึ้นได้สูง เนื่องจากเมื่อความชื้นในถ่านหินระเหยไปจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิริยาออกซิเดชันของถ่านหินซึ่งปฏิริยานี้จะคายความร้อนออกมา

อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า การเกิดความร้อนขึ้นเองโดยมากจะขึ้นกับเหตุผลสองอย่าง คือ คุณสมบัติเฉพาะตัวของถ่านหิน และสภาพแวดล้อมภายนอกดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งต่อมาพบว่า วิธีทำเหมืองและวิธีเก็บถ่านหินมีอิทธิพลต่อการเกิดความร้อนขึ้นได้เองมากกว่า ภาสใต้สภาวะการเก็บที่ทำให้เกิดการสะสมของความร้อนจะพบว่า การเกิดความร้อนขึ้นได้เองสามารถเกิดขึ้นกับถ่านหินทุกชนิด และมีตัวอย่างหลายกรณีที่เกิดกับถ่านหินที่มีความชื้นต่ำ ปริมาณไฟไรต์และสารระเหยง่าย (volatile matter) ต่ำ ซึ่งถ่านหินพวกนี้โดยปกติจะค่อนข้างปลอดภัย ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการเก็บและการทำเหมืองจึงมีความสำคัญ และมีอิทธิพลต่อการเกิดความร้อนขึ้นได้เองอย่างมาก

3. การกองเก็บ

การกองเก็บ (storage) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การทำงานในโรงงานเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง และให้ทางโรงงานสามารถเลือกช่วงเวลาในการซื้อถ่านหินในขณะที่ถ่านหินมีราคาถูกการกองเก็บอาจจะจัดได้เป็นสองประเภท คือ กองเก็บขณะใช้งานและกองเก็บสำรอง ถ่านหินจากกองเก็บขณะใช้งานจะถูกป้อนเข้าเตาเผาโดยตรง ส่วนถ่านหินในกอง

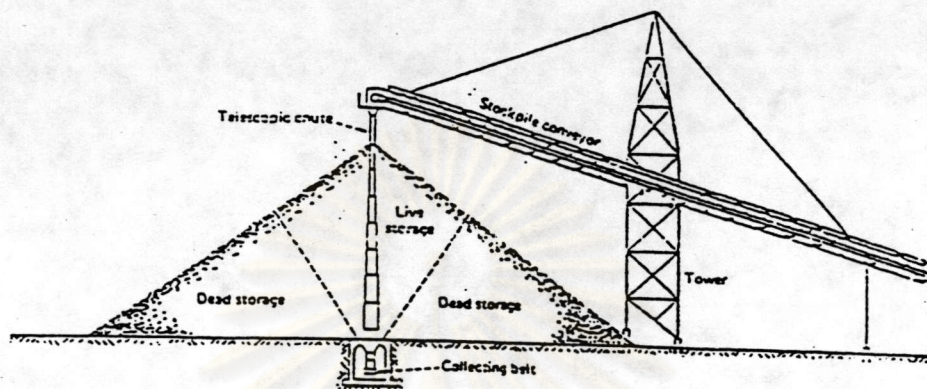
เก็บสำรองมักเรียกว่า stockpile เป็นถ่านหินสำรองไว้ใช้ในกรณีเกิดการล่าช้าในการขนส่งถ่านหินมายังโรงงาน กองเก็บขณะใช้งานและกองเก็บสำรองอาจเก็บแยกกัน หรืออาจอยู่ในที่เดียวกันก็ได้ (เกริกชัย, 2529)

การกองเก็บอาจเก็บในโรงงาน (in-plant storage) ซึ่งมักเป็นแบบกองเก็บในอาคาร ส่วนการกองเก็บกลางแจ้ง (outside storage) มักเป็นแบบกองเก็บนอกอาคาร ปริมาณถ่านหินที่กองเก็บจะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้งาน ระยะห่างจากโรงงานถึงแหล่งผลิตถ่านหิน การขนส่ง และเชื้อเพลิงทดแทนอื่น

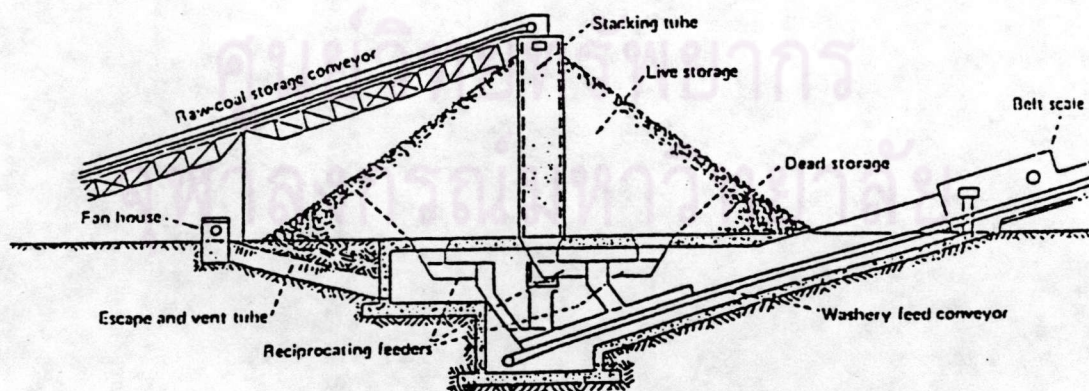
กองเก็บนอกอาคาร การจัดหรือกระจายถ่านหินในระบบกองเก็บนอกอาคาร อาจทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่นการใช้ telescopic chute และ stacking tube เป็นต้น รูปที่ 2.2 แสดงการจัดเก็บถ่านหินโดยใช้ telescopic chute ถ่านหินถูกปล่อยมายังที่กองเก็บโดยใช้ stockpile conveyor ส่งผ่าน telescopic chute ลงสู่ที่กองเก็บ telescopic chute เลื่อนขึ้นลงได้เพื่อปรับให้ปลายอยู่เหนือกองถ่านหินเล็กน้อย เวลาถ่านหินไหลลงถ่านหินจึงไม่พุ่งกระจาย ส่วนการกองเก็บถ่านหินโดยใช้ stacking tube นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 stacking tube เป็นท่อโลหะหรือคอนกรีตก็ได้ ตามระดับความสูงต่าง ๆ ของท่อจะมีประตูเปิดออกได้ เมื่อถ่านหินถูกเทจากข้างบนลงตามท่อนี้ ประตูล่างสุดของท่อจะเปิดให้ถ่านหินไหลออก เมื่อระดับถ่านหินสูงขึ้นจนถึงประตูที่อยู่สูงถัดขึ้นมาประตูนั้นจะเปิดให้ถ่านหินไหลต่อไป ได้กองเก็บนอกอาคารนี้จะมีระบบสำหรับลำเลียงถ่านหินไปใช้ในเตาเผา ระบบลำเลียงนี้ประกอบด้วยชุด hopper, feeder และ conveyor

การกองเก็บนอกอาคารควรยกระดับพื้นที่สำหรับกองเก็บให้สูงกว่าบริเวณรอบ ๆ มีความมั่นคงและความสะอาด ถ้าเป็นถ่านหินบิทูมินัสอาจกองต่อเนื่องเป็นกองใหญ่ ถ้าเป็นถ่านหินซับบิทูมินัส และ ลิกไนต์ควรกองเก็บเป็นกองเล็กหลาย ๆ กองแยกจากกัน

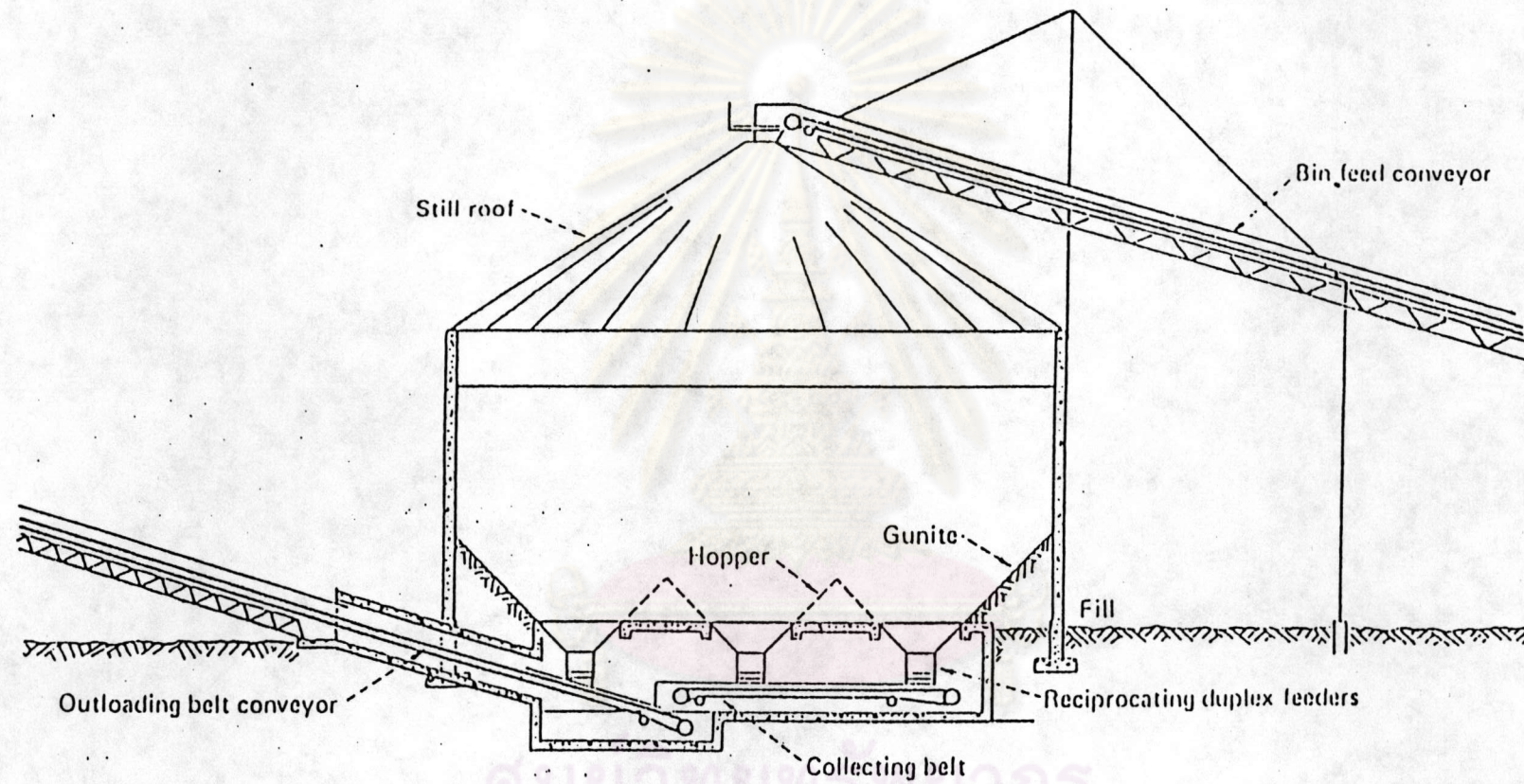
กองเก็บในอาคาร มักใช้ metal bin, concrete silo หรือ bunker metal bin ใช้เก็บถ่านหินได้ในปริมาณถึง 300-400 ตัน concrete silo (รูปที่ 2.4) ใช้เก็บถ่านหินได้ถึง 15,000 ตัน



รูปที่ 2.2 การจัดเก็บถ่านหินโดยใช้ telescopic chute



รูปที่ 2.3 การจัดเก็บถ่านหินโดยใช้ stacking tube



รูปที่ 2.4 การจัดเก็บถ่านหินโดยใช้ concrete silo



3.1 พื้นที่ที่สามารถเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหิน

- การลุกไหม้ขึ้นได้เองของถ่านหินบริเวณหน้าเหมือง

ตัวแปรเบื้องต้นที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้เองที่หน้าเหมือง คือ โครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น รอยแยกและการทรุดตัวของหน้าเหมือง ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างและก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ที่เกิดจาก coalification process ผ่านออกไปได้และทำให้ออกซิเจนจากภายนอกผ่านเข้ามาได้ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป ถ่านหินศักดิ์ต่ำจะเกิดก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าขบวนการ coalification หรือจากระเหยบบางส่วน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสะสมความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นได้เอง

- การลุกไหม้ได้เองของถ่านหินในกองเก็บถ่านหิน

การเกิดความร้อนขึ้นเองในกองของถ่านหินเริ่มจากการสะสมความร้อนซึ่งเกิดจากการดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการคายน้ำ สังเกตได้จากพื้นที่บริเวณผิวหน้าของกองถ่านหินจะมีรอยแยก ซึ่งทำให้อากาศในกองถ่านหินสามารถผ่านออกมาสู่ภายนอกได้ การผ่านเข้าออกของไอน้ำและอากาศเป็นเหตุให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และไฮเดรชันภายในกองถ่านหิน ทำให้อุณหภูมิของถ่านหินสูงขึ้นเนื่องจากการสะสมความร้อนที่ได้ จากปฏิกิริยาที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นนี้ทำให้เกิดการระเหยของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้บางตัวที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น อีเทน และมีเทน ซึ่งเป็นตัวช่วยทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ดียิ่งขึ้น

3.2 การกองเก็บถ่านหินให้ปลอดภัย

ในที่กองเก็บถ่านหินมีแนวโน้มที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ กระบวนการนี้ดำเนินไปอย่างช้ามากมักเรียกว่า weathering ถ่านหินจะสูญเสียค่าความร้อนไปส่วนหนึ่ง จึงทำให้คุณลักษณะการเผาไหม้ของถ่านหินนี้เปลี่ยนแปลงไปได้ ที่สภาวะเหมาะสม

กระบวนการที่ด้านหินรวมกับออกซิเจนนี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนออกมามากจึงเกิดการเผาไหม้ได้เองที่เรียกว่าการลุกไหม้ได้เองในที่สุด

ในการกองเก็บด้านหินมีหลักการป้องกันการเกิดการลุกไหม้ได้เอง มีสองวิธีดังนี้

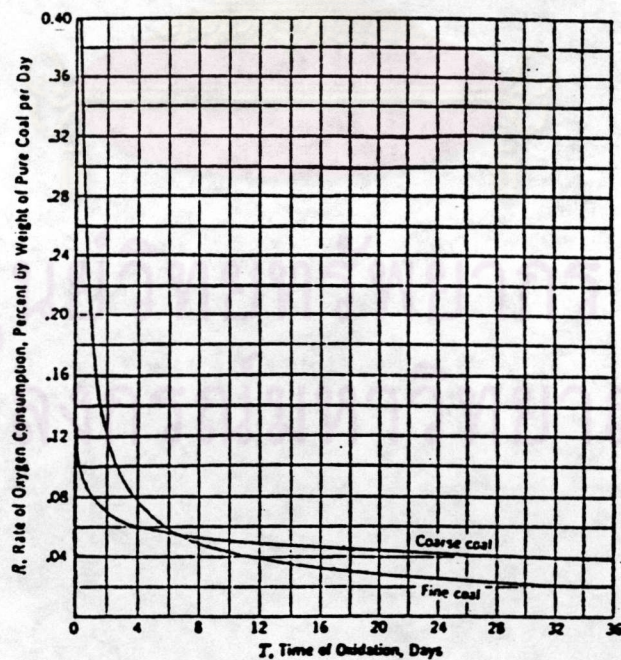
1. ให้อากาศถ่ายเทเข้าออกผ่านกองด้านหินได้สะดวกและทั่วถึง เพื่อระบายความร้อนที่อาจเกิดขึ้นจากการรวมตัวของด้านหินกับออกซิเจน วิธีนี้ใช้ได้กับโรงงานขนาดเล็กซึ่งสามารถคักขนาดด้านหินให้มีขนาดไล่เลี่ยกัน ทำให้เกิดช่องว่างทั่วกองด้านหินอย่างสม่ำเสมอ
2. ป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปในกองด้านหินเพื่อลดปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น วิธีนี้ใช้กับด้านหินที่มีทั้งขนาดเป็นผง และเป็นก้อนปะปนกันในการกองด้านหินอย่างปกติ ส่วนที่เป็นผงมักมีแนวโน้มที่จะเข้าไปอยู่ตรงกลางกอง ส่วนด้านหินที่เป็นก้อนจะอยู่รอบนอก จะเห็นว่าการแยกขนาด (segregation) จึงเกิดส่วนที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก กับส่วนที่อากาศเข้าไม่ถึงในกองด้านหินระหว่างทั้งสองส่วนนี้ย่อมมีจุดหนึ่งในกองด้านหินนี้ ที่มีสภาวะเหมาะสม ทั้งอัตราการไหลของอากาศและการเกิดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี จนเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เองขึ้น สรุปได้ว่าในการกองเก็บควรหลีกเลี่ยงการเกิด segregation การกองเก็บวิธีดังนี้ควรอัดกองด้านหินให้แน่น (compacting) เพื่อลดการถ่ายเทอากาศเข้าในกองด้านหิน ชั้นนอกสุดของกองด้านหินควรปกคลุมด้วยผงด้านหินหนาอย่างน้อย 6 นิ้ว จะช่วยกันมิให้อากาศเข้ากองด้านหินได้ ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปสภาวะการเก็บที่เหมาะสมในการกองเก็บด้านหิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 สภาวะการเก็บที่เหมาะสม (Kuchta, 1980)

ปัจจัย	สภาวะที่ปลอดภัยในการเก็บ	สภาวะที่ไม่ปลอดภัยในการเก็บ
การคิดขนาด	การนกกเอาด้านหินที่มีขนาดน้อยกว่า 1/8 นิ้ว ออกล้างให้ด้านหินไม่มีผงละเอียดเหลือ	มีนรหรือด้านหินผสมที่มีผงอยู่ตามธรรมชาติ ด้านหินสกปรกที่มีไฟไรด์ละเอียดปน
ขนาดกอง	น้อยกว่า 200 ตัน สำหรับด้านหิน สึกค้บิทูมินัสและด้านหินที่มีสึกค้สูงชัน น้อยกว่า 50 ตัน สำหรับด้านหินสึกค้ ลิกไนต์และซิปบิทูมินัส	มากกว่า 200 ตัน สำหรับด้านหินสึกค้ บิทูมินัส มากกว่า 50 ตัน สำหรับด้านหินสึกค้ลิกไนต์และซิปบิทูมินัส
ความสูงของกอง	น้อยกว่า 8 ฟุต สำหรับบิทูมินัส น้อยกว่า 3 ฟุต สำหรับลิกไนต์	มากกว่า 8 ฟุต สำหรับบิทูมินัส มากกว่า 3 ฟุต สำหรับลิกไนต์
ช่วงเวลาการเก็บ หลังจากการขุด	มากกว่า 6 เดือน	ไม่เกิน 4 เดือน สำหรับบิทูมินัส ไม่เกิน 4 สัปดาห์ สำหรับลิกไนต์
ประวัติการเก็บ	ถูกเก็บหลังจากได้มีการ treated ด้านหินด้วยวิธี heating และ cooling แล้ว	ขุดขึ้นมาใหม่
ที่ตั้งของกองเก็บ	สถานที่เปิดโล่งและสะอาด พื้นที่แน่น	สัมผัสกับท่อร้อน ผนัง หรือพื้นที่ผิวที่ร้อน สถานที่ปิดสัมผัสกับน้ำมันที่เป็นของเสีย

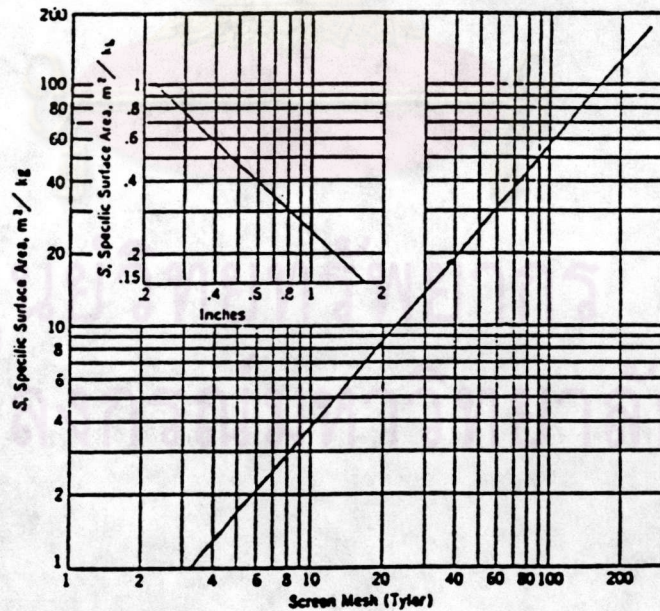
และ คาดว่าเป็นเช่นนี้เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของถ่านหิน ค่อนข้างด้านทานต่อ ออกซิเดชันและมีผลกระทบเนื่องจากการปกคลุมพื้นที่ผิวที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาของถ่านหิน ซึ่งทำให้ออกซิเจนแพร่ผ่านลงไปทำปฏิกิริยากับถ่านหินชั้นล่างได้น้อยลง และพบว่าจะเกิด สารประกอบเชิงซ้อนของถ่านหินเหมือนกันกับที่เกิดในคาร์บอน หรือในถ่านไม้ที่สัมผัสกับ ออกซิเจนและเหมือนกับสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (peroxides) ที่พบในออกซิเดชันของ ไฮโดรคาร์บอนและสารอินทรีย์อื่น ๆ ทั้งถ่านหินบดละเอียดและถ่านหินหยาบจะแสดงอัตรา ออกซิเดชันค่อนข้างสูงในช่วงแรก และอัตราออกซิเดชันของถ่านหินบดละเอียดจะลดลงค่อน ข้างรวดเร็วกว่าถ่านหินหยาบ แต่เมื่อเกิดออกซิเดชันได้ 7 วัน อัตราออกซิเดชันของถ่านหิน ทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ จุดนี้ถ่านหินบดละเอียดจะใช้ออกซิเจนปริมาณ 1.03% โดย น้ำหนักของถ่านหิน ในขณะที่ถ่านหินหยาบใช้เพียง 0.47% เมื่ออัตราออกซิเดชันดำเนินต่อ ไปอัตราออกซิเดชันของถ่านหินบดละเอียดจะตกลงไปครึ่งหนึ่งหลังออกซิเดชัน 42 วัน และ ถ่านหินทั้งสองจะใช้ปริมาณก๊าซออกซิเจนจำนวนเท่ากัน (2% โดยน้ำหนักของถ่านหิน) อัตรา ออกซิเดชันของถ่านหินทั้งสองจะลดลงไปเรื่อย ๆ แต่จะไม่ถึงศูนย์ในที่สุด



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราออกซิเดชันกับเวลาของถ่านหินบดละเอียดและถ่านหินหยาบ (Lowry, 1963)

5. ผลของขนาดอนุภาคต่อออกซิเดชัน

การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับถ่านหินจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของถ่านหิน ดังนั้นถ้า ปริมาณพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของถ่านหินที่สัมผัสกับอากาศมาก อัตราออกซิเดชันต่อหนึ่ง หน่วยน้ำหนักของถ่านหินก็มากด้วย พื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของถ่านหินหรือพื้นที่ผิว จำเพาะของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อขนาดอนุภาคถ่านหินเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (Lowry, quoted in Winmill, 1963) เมื่อบดถ่านหินขนาด 1 นิ้ว ปริมาณ 1 กิโลกรัม เป็นถ่านหินขนาด 250 mesh พื้นที่ประมาณ 1 พันเท่า แต่จากข้อมูลที่มีปรากฏว่า การที่พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 1000 เท่าแต่ไม่ได้ทำให้อัตราออกซิเดชันเพิ่มเป็น 1000 เท่า ด้วย Winmill ได้วัดอัตราออกซิเดชันที่ 30 และ 50°C ของถ่านหิน 4 ชนิดที่มีขนาด ต่างกันได้แก่ 2-10 mesh, 10-30 mesh, 30-60 mesh และผ่าน 200 mesh พบว่า ถ่านหินหยาบจะให้อัตราออกซิเดชันต่ำซึ่งจะทำให้วัดค่าได้ยาก ดังแสดงในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.6 ปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคถ่านหิน เป็นฟังก์ชันกับขนาดอนุภาค (Lowry, 1963)

ตารางที่ 2.5 ผลของขนาดอนุภาคต่อออกซิเดชันของถ่านหินชนิด Barnley Hards ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ขนาดอนุภาค (mesh)	2-10	10-30	30-60	Minus 200
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/kg)	0.55	7.8	24	314
อัตราออกซิเดชัน (เปอร์เซ็นต์ก๊าซออกซิเจน ที่ใช้ต่อ 100 กรัมถ่านหิน ต่อวัน)	0.00718	0.0217	0.0336	0.0514

6. ออกซิเดชันที่ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิต่ำ

ตัวอย่างถ่านหินบดจะถูกเก็บที่อุณหภูมิต่ำในภาชนะปิด และสัมผัสกับอากาศที่ทราบองค์ประกอบของก๊าซและมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูง ออกซิเจนในอากาศจะรวมกับถ่านหิน อัตราการหายไปของออกซิเจนสามารถวัดได้โดยเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Chromatography) จำนวนก๊าซออกซิเจนที่หายไปต่อเวลาที่กำหนดซึ่งก็คือจำนวนออกซิเจนที่ใช้ไปจะใช้เป็นตัววัดอัตราออกซิเดชัน หรือในทางตรงกันข้ามออกซิเจนที่ใช้ไปจะเท่ากับออกซิเจนที่กลายเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ปลดปล่อยออกมา อันได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ บวกกับออกซิเจนที่ยังเหลือในถ่านหิน ดังนั้นปริมาณออกซิเดชันวัดได้จากปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Lowry, quoted in Winwill and Greham, 1963) การใช้ถ่านหินตัวอย่างที่ยังไม่ถูกออกซิไดซ์ (fresh coal) ในตอนแรก ปริมาณออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ทำให้อัตราออกซิเดชันลดลงอย่างรวดเร็วกับเวลาและในที่สุดจะมีค่าใกล้เคียงค่าคงที่ค่าหนึ่ง การคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราออกซิเดชันของถ่านหิน ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคถ่านหินที่ใช้ทดลอง และเวลาที่ใช้สัมผัส ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราออกซิเดชันของถ่านหินกับเวลา หรือปริมาณการใช้ออกซิเจนของถ่านหินจะเป็นตัวช่วยในการศึกษาปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้น

ออกซิเดชันสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$X = Ct^b \quad (10)$$

X = จำนวนออกซิเจนที่ถูกใช้ไปหน่วยเป็นกรัมออกซิเจนต่อ 100 กรัมของถ่านหินตอนเริ่มต้นโดยปราศจากความชื้นและสารอนินทรีย์ (moisture and mineral-matter-free basis) หรือต่อเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านหินที่ยังไม่ถูกออกซิไดซ์

C = ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนออกซิเจน (เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านหิน) ที่ทำปฏิกิริยากับถ่านหินตัวอย่างในวันแรกภายใต้สภาวะการทดลองที่ใช้

t = จำนวนวันที่เกิดออกซิเดชัน

b = ค่าคงที่ซึ่งเกือบเท่ากันในทุกถ่านหินที่มีขนาดเท่ากัน

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ (10) ต่อเวลาจะได้

$$\frac{dX}{dt} = bCt^{b-1} \quad (11)$$

เพื่อความสะดวกให้ $dX/dt = R$ ดังนั้น

$$R = bCt^{b-1} \quad (12)$$

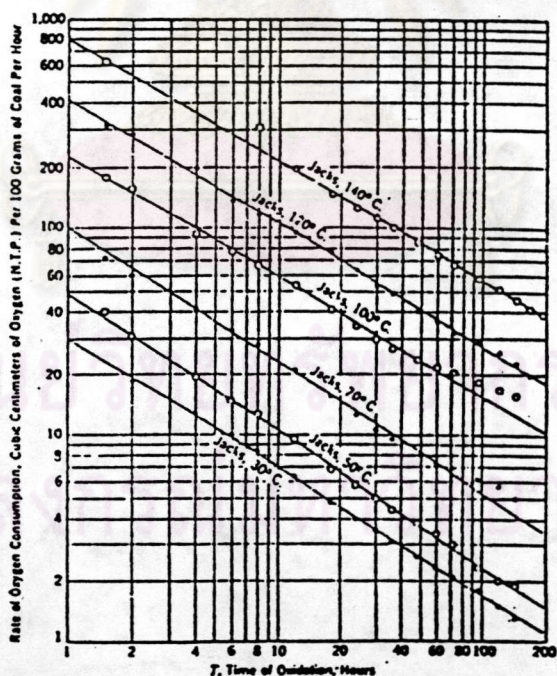
จากสมการที่ (10) และ (12) จะได้ว่า

$$R = (bC^{1/b})/X^{(1/b-1)} \quad (13)$$

สมการจะแสดงอัตราการใช้ออกซิเจนหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านหินต่อวัน

ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ตามสมการที่ (12) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวลงบนสเกล log-log จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งอัตราออกซิเดชันสามารถวัดได้โดยตรงในแต่ละช่วงของออกซิเดชัน ค่าคงที่ b หาได้จากความชันของกราฟ และค่าคงที่ C หาได้จากจุดตัดกราฟ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.6 และ 2.7

จากการทดลองของ Winmill และ Greham ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ถ่านหินตัวอย่าง 100 กรัมบดผ่านตะแกรงขนาด 200 mesh และถ่านหินนี้จะถูกออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิคงที่ในกระแสของอากาศที่สามารถวัดอัตราการไหลผ่านได้ แล้ววิเคราะห์ที่อากาศที่ไหลออกทุก ๆ ช่วงเวลาจะได้อัตราการใช้ออกซิเจน ออกซิเดชันที่ได้จะมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรของก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (N.T.P) ต่อ 100 กรัมของถ่านหินต่อชั่วโมง เมื่อทำการทดลองดังกล่าวกับถ่านหินแจ๊ค (Jack coal) จาก Barnsley seam ได้ผลแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ออกซิเจนกับเวลาของถ่านหินแจ๊คจาก Barnsley seam (Lowry, 1963)

ตารางที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยเลขชยกกำลัง b สำหรับถ่านหิน 6 ชนิด (-200 mesh) ที่อุณหภูมิ
ต่าง ๆ (Lowry, 1963)

อุณหภูมิในการทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ b ของตัวอย่างถ่านหิน						ค่าเฉลี่ยค่าคงที่ b ของถ่านหิน 6 ชนิด ที่อุณหภูมิเดียวกัน
	Hards	Jacks	Cannel	Barnsley Softs	Top Softs	Shale	
30	.373	.372	.364	.367	-	.389	.373
40	.363	-	-	-	-	-	.363
50	.305	.343	.386	.312	.323	.364	.339
70	.333	.362	.411	.278	.367	.361	.352
80	.328	-	-	-	-	-	.328
100	.368	.426	.429	.351	.422	.203*	.367
120	.376	.416	.425	.343	.403	-	.393
140	.343	.429	.434	.387	.402	-	.399
160	.237*	-	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย ค่าคงที่ b*	.340	.392	.408	.340	.384	.371	.372

* ไม่รวมในค่าเฉลี่ย

* ค่าเฉลี่ยค่าคงที่ b ของถ่านหินแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน

ตารางที่ 2.7 ค่าคงที่ C ของตัวอย่างถ่านหินที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิในการทดลอง (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่ C ของตัวอย่างถ่านหิน						
	Hards	Jacks	Cannel	Barnsley	Top Softs	Shale	ค่าเฉลี่ยค่าคงที่ C ของถ่านหิน 6 ชนิด ที่อุณหภูมิเดียวกัน*
30°C value	0.513	0.453	0.383	0.639	0.532	0.460	0.504
30°C ratio	1.017	0.899	0.760	1.268	1.056	0.914	1
100°C value	3.595	3.598	3.13	4.784	4.535		3.948
100°C ratio	0.964	0.905	0.777	1.24	1.102		1

* ยกเว้น Shale

เส้นกราฟรูปที่ 2.7 ค่อนข้างขนานกันแสดงว่าค่า b คงที่ถึงแม้อุณหภูมิในการทดลองจะต่างกันก็ตาม ค่า b จะมีค่าเดียวกันในถ่านหินทุกชนิดและขึ้นกับขนาดของถ่านหิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. วิธีในการพิจารณาแนวโน้มในการลุกไหม้ขึ้นได้เองของถ่านหิน

นักวิจัยหลายท่านได้เสนอวิธีทดสอบเพื่อที่จะอธิบายให้เห็นคุณสมบัติของถ่านหิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับควมว่องไวในการเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้เองของถ่านหิน ดังนั้นการทดลองจึงถูกออกแบบที่อุณหภูมิต่ำสุดซึ่งปฏิกิริยาคายความร้อนสามารถเกิดได้เอง และวิเคราะห์ผลการทดลองได้ วิธีในห้องทดลองที่ถูกพัฒนามาใช้ในการวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันมากคือ

- การวิเคราะห์อุณหภูมิเริ่มต้น (Determination of initial temperature)
- การวิเคราะห์ผลต่างความร้อน (Differential thermal analysis)
- การหาอุณหภูมิจุดตัด (Crossing point temperature)
- วิธีการดูดซึมออกซิเจน (Oxygen absorption method)
- วิธีออกซิเดชันแบบเปียก (Wet oxidation method)

วิธีทั้ง 5 วิธีนี้สามารถเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะการเกิดความร้อนขึ้นได้เองของถ่านหินได้อย่างถูกต้องเมื่อสามารถเลียนแบบสภาวะการทดลองได้ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมในการท่าเหมืองและการกองเก็บ

การวิเคราะห์อุณหภูมิเริ่มต้น

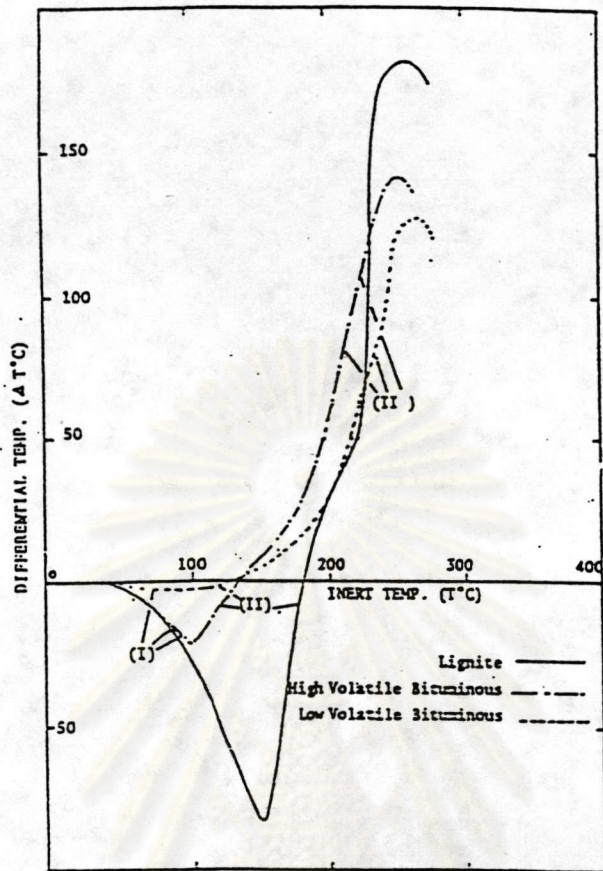
ทดลองโดยเก็บถ่านหินตัวอย่างไว้ในเตาอบที่ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นและให้อุณหภูมิคงที่ต่อจากนั้นสังเกตการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และเมื่อเวลาผ่านไปอาจทำให้ติดไฟขึ้นขึ้นเนื่องจากเกิดการลุกไหม้ขึ้นเอง สำหรับถ่านหินแต่ละชนิดที่ใช้ทดลองจะใช้อุณหภูมิเริ่มต้นต่างกันในการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ทั้งนี้เพื่อหาอุณหภูมิต่ำสุดซึ่งเร่งให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นเองและทำให้อุณหภูมิถ่านหินสูงขึ้น เรียงอุณหภูมิต่ำสุดนี้ว่าอุณหภูมิเริ่มต้น (Initial temperature) และเชื่อว่าถ่านหินที่มีความว่องไวในการเกิดการลุกไหม้ขึ้นเองจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ ส่วนถ่านหินที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดการลุกไหม้ขึ้นเองจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง โดยทั่วไปการทดลองวิธีนี้จะใช้เวลาานจึงไม่ค่อยนิยมใช้ (Chakravorty and Kar, 1986)

การวิเคราะห์ผลต่างความร้อน

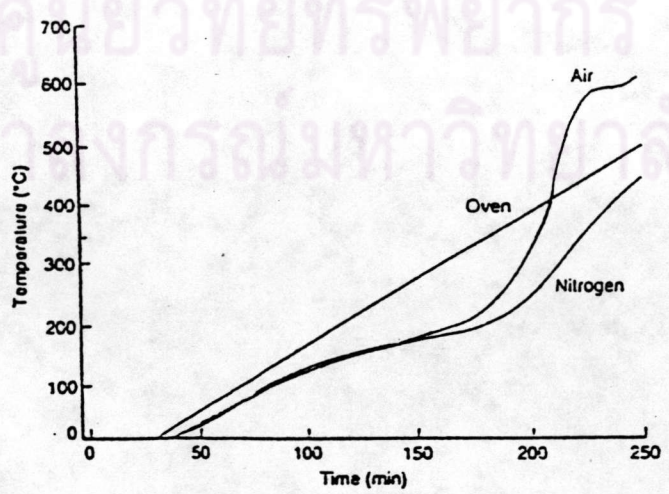
วิธีนี้จะให้ความร้อนกับถ่านหินตัวอย่างด้วยอัตราคงที่โดยใช้ Differential thermal analyser (DTA) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ และบันทึกผลต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวอย่างกับวัสดุเฉื่อยที่ใช้อ้างอิงอย่างต่อเนื่อง การทดลองนี้จะทดลองในตัวกลางเฉื่อย เทอร์โมแกรมที่ได้เรียกว่า DTA thermogram (เป็นกราฟระหว่างอุณหภูมิ, T กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง, ΔT) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละวัสดุที่ใช้ทดลอง DTA Thermogram จะมีการเปลี่ยนแปลง 2 ชั้นตอนเมื่อให้ความร้อนแก่ตัวอย่างถึง 300°C คือ ช่วงแรกของการให้ความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาคูดความร้อนเนื่องจากเกิดการปลดปล่อยความร้อนออกจากถ่านหินต่อมาจะเกิดการคายความร้อนในปริมาณที่สูงมาก เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าชั้นที่ 2 เกิดขึ้นได้เร็ว (คือเส้นกราฟเทอร์โมแกรมตัดแกนนอนเร็ว) ทำให้ถ่านหินเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนได้ในอุณหภูมิที่ต่ำ ดังนั้นการแบ่งแยกถ่านหินโดยวิธี DTA นี้สามารถทำได้โดยพิจารณาในชั้นที่ 2 ของ DTA Thermogram โดย Thermogram ที่ได้จะแสดงในรูปที่ 2.8

การหาอุณหภูมิจุดตัด

วิธีนี้ให้ความร้อนกับถ่านหินตัวอย่างและเตาเผา (oven) ในอัตราที่คงที่ วัดอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างถ่านหินกับเตาเผา ในเริ่มต้นอุณหภูมิของถ่านหินน้อยกว่าเตาเผา เมื่อถ่านหินเริ่มคายความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบ อุณหภูมิของถ่านหินจะเพิ่มขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของเตาเผาและความร้อนที่เกิดขึ้นในถ่านหินมากขึ้น จนกระทั่งทำให้อุณหภูมิของถ่านหินมากกว่าอุณหภูมิของเตาเผา ดังแสดงตัวอย่าง Thermogram ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในรูปที่ 2.9 ในการทดลองแบบนี้ประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์สองตัว ซึ่งภายในบรรจุถ่านหินตัวอย่างวางในเตาเผาที่กำหนดอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิได้ และผ่านอากาศเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ตัวหนึ่ง ส่วนอีกตัวหนึ่งผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าไปด้วยอัตราเร็วของอากาศและก๊าซไนโตรเจนเท่ากันและคงที่ ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ อุณหภูมิของเตาเผา, อุณหภูมิที่ผนังเครื่องปฏิกรณ์ที่บรรจุถ่านหิน และอุณหภูมิของถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 2.10

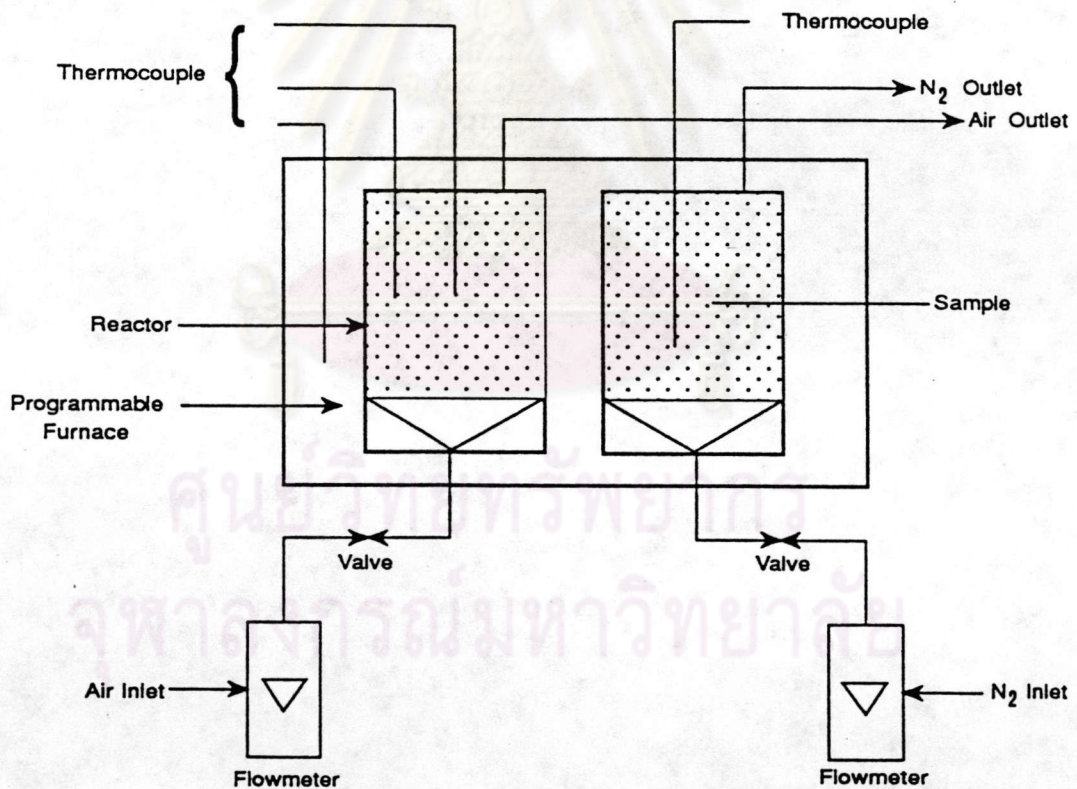


รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง Thermogram ของ DTA
(Chakravorty, 1986)



รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Thermogram ของ CPT
(Ogunsola, 1992)

จากรูปที่ 2.9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาเผา (Oven-curve), อุณหภูมิของถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์ที่ผ่านอากาศเข้าไป (Air-curve) และอุณหภูมิของถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์ที่ผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าไป (Nitrogen-curve) ซึ่งพบว่า Nitrogen-curve ไม่ตัดกับ Oven-curve แต่ส่วน Air-curve ตัดกับ Oven-curve ซึ่งจุดตัดนี้เรียกว่า Crossing point temperature (CPT) และมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส จากค่า CPT ที่ได้สามารถนำไปหาค่าดัชนีที่เป็นตัวบอกแนวโน้มในการลุกไหม้ได้เองของถ่านหินหรือที่เรียกว่า Liability Index การที่ Air-curve ตัดกับ Oven-curve นี้เนื่องจากถ่านหินได้รับออกซิเจนจากอากาศเข้าไปออกซิไดซ์ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและในที่สุดจะสูงกว่าอุณหภูมิของเตาเผา



รูปที่ 2.10 แผนผังเครื่องมือในการหาจุด Crossing point temperature

Liability Index แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ Liability Index (I_u) และ Liability Index (I_n)

- Liability Index (I_u) มาจากอัตราส่วนของ CPT กับอัตราการให้ความร้อน (Q , มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสต่อนาที) ระหว่าง 10 นาที ก่อนจุด CPT และ 10 นาที หลังจุด CPT

$$I_u = \frac{Q}{CPT}$$

$$\text{โดยที่ } Q = \frac{T_2 - T_1}{20}$$

T_1 = อุณหภูมิของถ่านหินที่เวลา 10 นาที ก่อนจุด CPT

T_2 = อุณหภูมิของถ่านหินที่เวลา 10 นาที หลังจุด CPT

- Liability Index (I_n) คือค่าความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง Air-curve กับ Nitrogen-curve ที่ 10 นาที ก่อนจุด CPT และ 10 นาที หลังจุด CPT

ค่า I_u และ I_n เป็นตัวบอกแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหิน โดยพิจารณาที่ ถ้าค่า I_u สูงแสดงว่าถ่านหินมีความว่องไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูงและถ้าค่า I_u ลดลงถ่านหินจะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองลดลง ส่วนค่า I_n นั้นพิจารณาเช่นเดียวกัน คือถ้าค่า I_n สูงแสดงว่าถ่านหินมีความว่องไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูง และถ้าค่า I_n ลดลงถ่านหินจะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองลดลง

ได้มีการใช้เทคนิคในการทดลองหลาย ๆ อย่างรวมทั้งการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหลายชนิดเพื่อใช้วิเคราะห์จุด CPT ซึ่งพบว่าค่า CPT สำหรับถ่านหินตัวอย่างที่ได้ขึ้นขึ้นกับขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองด้วย

วิธีการดูดซึมออกซิเจน

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายซึ่งพัฒนามาใช้ในห้องทดลอง ทดลองโดยเก็บถ่านหินใหม่ไว้ในถังปฏิกรณ์ระบบปิดมีสภาวะการทดลองที่ความดันปกติและอุณหภูมิคงที่ บรรจุก๊าซที่ทราบองค์ประกอบเริ่มต้นเข้าไป ซึ่งประกอบด้วยก๊าซออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่และที่เหลือเป็นก๊าซในโตรเจน ทั้งระยะเวลาในการทดลองไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ แล้วทำการวิเคราะห์ก๊าซที่อยู่เหนือถ่านหินตามระยะเวลาที่กำหนด โดยวิเคราะห์หาก๊าซออกซิเจน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทน ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ จากนั้นทำการแปลผลในรูปของ CO index หรืออัตราการดูดซึมออกซิเจนของถ่านหิน โดยที่ CO index คืออัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซออกซิเจนที่ใช้ไป

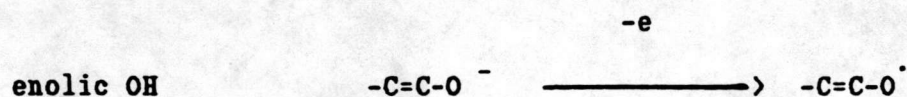
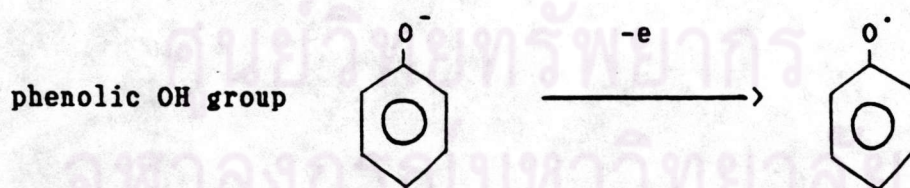
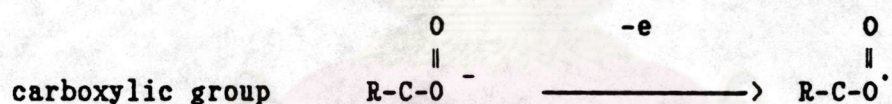
ค่า CO index เป็นตัวบ่งชี้ถึงแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหิน (Kuchta, Rowe and Burgess, 1980) ถ้าค่า CO index สูงแสดงว่าแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูง ถ้าค่า CO index ลดลงแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองจะลดลงด้วย ส่วนการพิจารณาอัตราการดูดซึมออกซิเจนของถ่านหินนั้นพบว่า ถ่านหินมีอัตราการดูดซึมออกซิเจนสูงถ่านหินจะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูง ในทางตรงกันข้ามถ่านหินมีอัตราการดูดซึมออกซิเจนต่ำถ่านหินจะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองต่ำ โดยทั่วไปจะใช้อัตราการดูดซึมออกซิเจนของถ่านหินในการพิจารณาหาแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหินมากกว่าการใช้ CO index

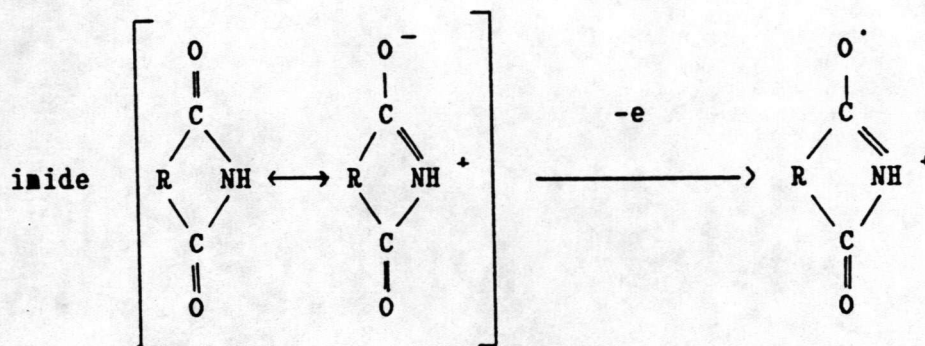
จากการศึกษาถ่านหินชนิด British Coal (Chakravorty และ Kar, 1986) ด้วยวิธีนี้พบว่า ถ่านหินที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดการลุกไหม้ขึ้นเองจะดูดซึมออกซิเจนน้อยกว่า 200 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมของถ่านหินในเวลา 96 ชั่วโมงที่ 30°C แต่ถ่านหินที่ไวต่อการเกิดการลุกไหม้ขึ้นเองจะดูดซึมออกซิเจนมากกว่า 300 มิลลิลิตรในช่วงเวลาเดียวกัน วิธีนี้ถูกปรับปรุงเพื่อให้การทดสอบดำเนินต่อไปได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นคือในช่วง 40-60°C และพยายามจะแปลผลการทดลองโดยดูจากการดูดซึมออกซิเจนและก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิธีนี้เป็นวิธีที่นำไปใช้ได้ดีและมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความว่องไวในการเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้เองของถ่านหิน

วิธีออกซิเดชันแบบเปียก

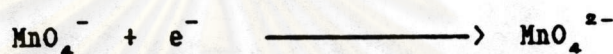
วิธีออกซิเดชันแบบเปียกนี้เป็นวิธีทางเคมีวิเคราะห์ที่อาศัยหลักการที่ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับถ่านหินตัวอย่างจะถูกวัดออกมาในรูปการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ที่มีอิเล็กโทรดชนิดคาโบลเมอรัมตัวกับอิเล็กโทรดชนิดคาร์บอนจุ่มในของผสมระหว่างถ่านหินตัวอย่างกับสารละลายอัลคาไลน์เปอร์แมงกาเนต (coal-oxidant mixture) โดยที่สารละลายอัลคาไลน์เปอร์แมงกาเนตทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างหมู่ฟังก์ชันนอลซึ่งได้แก่กลุ่ม carboxylic (-COOH), phenolic OH, enolic OH และ imide (=NH) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของถ่านหินทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเขียนในรูปครึ่งปฏิกิริยา (Half-reaction) ได้ดังนี้

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน





ปฏิกิริยารีดักชัน



สามารถพิจารณาแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองของถ่านหินได้จากการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันนอลต่าง ๆ ในถ่านหินแสดงถึงปริมาณออกซิเจนในถ่านหินซึ่งจากการศึกษาของ Ogunsole (1992) พบว่า ถ่านหินที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนมาก จะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูงกว่าถ่านหินที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ ดังนั้นถ่านหินที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลมากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางศักย์ไฟฟ้าในทางที่ลดลงเร็วกว่า เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันนอลที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ได้มากกว่า จึงสรุปได้ว่าถ่านหินที่มีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูง จะมีการลดลงของความต่างศักย์ไฟฟ้าได้เร็วกว่าถ่านหินที่มีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองต่ำ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kuchta, Rowe และ Burgess (1980) ได้ศึกษาแนวโน้มการเกิด spontaneous combustion ถ่านหินของประเทศสหรัฐอเมริกา 29 ชนิด โดยทำการทดลองแบบดูดซึมก๊าซออกซิเจน ตามปกติแล้วที่อุณหภูมิห้องถ่านหินมีคุณสมบัติที่จะปลดปล่อยก๊าซต่าง ๆ อยู่ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นจึงเก็บตัวอย่างถ่านหินในบรรยากาศของไนโตรเจนจนกว่าจะใช้งาน ในการเตรียมตัวอย่างได้ทำการบดถ่านหินให้มีขนาด

0.085-0.2 เซนติเมตร เริ่มทำการทดลองจากนำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วมา 50 กรัม ใส่ในภาชนะระบบปิดทรงกระบอกขนาด 250 มิลลิเมตร แล้วผ่านก๊าซที่ทราบองค์ประกอบ ลงไป หลังจากนั้น 7 วัน คูดก๊าซด้วย hypodermic syringe เพื่อมาวิเคราะห์หาก๊าซ CO, CO₂ และ CH₄ ที่ปลดปล่อยออกมาและ O₂ ที่เหลือโดยวิธี Gas chromatography ผลการทดลองที่ได้ ค่าผลออกมาในรูปของ CO index จากผลการทดลองพบว่า ใน ถ่านหินศักดิ์ต่ำ ๆ จะมีการปล่อยก๊าซ CO ออกมา และมีการดูดซึม O₂ มากกว่าถ่านหินศักดิ์ สูง โดยที่ถ่านหินศักดิ์ลิไนต์และซิปทิทูนีสไม่สามารถบอกได้ว่าศักดิ์ไหนมีการปล่อยก๊าซ CO หรือมีการดูดซึมก๊าซ O₂ มากกว่ากัน แต่สรุปได้ว่าถ่านหินศักดิ์ซิปทิทูนีสมีค่า CO index น้อย กว่าถ่านหินศักดิ์ลิไนต์และซิปทิทูนีส แสดงว่าถ่านหินศักดิ์ซิปทิทูนีสเกิดปฏิกิริยาความวร้อน แบบออกซิเดชันน้อยกว่า

Benjavan Ratanasthien (1984) ศึกษาการติดไฟเองของถ่านลิไนต์ใน ภาคเหนือบริเวณหน้าเหมืองและในกองถ่าน พบว่าการติดไฟบริเวณหน้าเหมืองสาเหตุส่วนใหญ่มาจากโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีรอยแตก (fault zones) ซึ่งรอยแตกนี้เป็นทางให้ก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับถ่านหิน ขึ้นใน ความร้อนจากปฏิกิริยาทำให้อุณหภูมิของถ่านหินสูงขึ้น เมื่อความร้อนสะสมถึงจุดจุดหนึ่ง ถ่านหินจะเกิดการติดไฟขึ้น การติดไฟในกองถ่านเกิดจากการสะสมความร้อนจนอุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดที่ถ่านหินสามารถติดไฟได้ โดยทำการทดลองนำตัวอย่างถ่านหินขนาดต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร บรรจุในถังสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 25x40 เซนติเมตร ใช้หลอดไฟขนาด 500 วัตต์ เป็นตัวส่องให้ความร้อน โดยให้ระยะห่างระหว่างหลอดไฟกับถ่านหินเท่ากับ 30 เซนติเมตร บันทึกอุณหภูมิที่ผิวกองถ่านและในกองถ่านที่ความลึก 3 เซนติเมตร ผลการทดลองได้อุณหภูมิวิกฤติที่ถ่านหินเกิดติดไฟ คือ ถ่านหินลิไนต์จากแหล่งแม่เมาะอยู่ในช่วง อุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส แหล่งป่าคา 150-172 องศาเซลเซียส แหล่งบ้านบุ 166-170 องศาเซลเซียส แหล่งแม่ตึบ 245-250 องศาเซลเซียส แหล่งแม่ทูนและแหล่ง แม่ระมัด 250-255 องศาเซลเซียส

Tarafdar และ Guba (1989) ได้ทำการศึกษาออกซิเดชันแบบเป็อกของ ถ่านหิน โดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เปอร์มันกาเนต (alkaline permanganate solution) และแบ่งการทดลองออกเป็นสองชุด โดยกำหนดให้ถ่านหินมีขนาดอนุภาค 212 ไมโครเมตร ถ่านหิน 4 ตัวอย่างมีความไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูง มีค่า CPT อยู่

ระหว่าง 132-137 องศาเซลเซียส ส่วนอีก 3 ตัวอย่างมีความไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองต่ำ มีค่า CPT อยู่ระหว่าง 162-168 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์แบบประมาณ ถ่านหินทั้ง 7 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 2.8

จากผลการทดลองตารางที่ 2.9 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขึ้นกับความร้อนที่ปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาคายความร้อน สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็นสองกลุ่มตามค่า CPT, ความต่างศักย์ไฟฟ้า และอุณหภูมิสูงสุดของกราฟ (peak temperature) คือ

กลุ่มที่ 1 ถ่านหิน No. 1, 2 และ 7 ซึ่งมีความไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูงพบว่ามีค่า CPT อยู่ระหว่าง 162-168°C , ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 11-14 mV และความสูงของกราฟอยู่ระหว่าง 55-57°C

กลุ่มที่ 2 ถ่านหิน No.3, 4, 5 และ 6 ซึ่งมีความไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองต่ำกว่าพบว่ามีค่า CPT อยู่ระหว่าง 132-137°C, ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 162-180 mV และความสูงของกราฟอยู่ระหว่าง 38-43°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 ผลการวิเคราะห์ถ่านหิน (Tarafdar and Guha, 1989)

Sample no.	Proximate analysis (%)				VM (%daf)	CPT (°C)
	Moisture	Ash	VM	FC		
1	1.5	17.5	28	53	34.6	164
2	1.0	16.0	29	54	35.0	168
3	5.6	10.5	33	50.9	40.0	137
4	6.5	10.4	40	43.1	48.2	135
5	7.0	9.0	37	48	43.6	132
6	7.6	17	39	36.4	51.8	133
7	2.5	15	28	54.5	34.0	162

CPT at temperature rise of 1°C/min

ตารางที่ 2.9 ผลการทดลองชุดที่ 1 และ 2 (Tarafdar and Guha, 1989)

Sample no.	EMF before coal added (mV)	EMF after coal treated (after 10 min, mV)	ΔE (difference) (mV)	Area under peak	Peak temp. (°C)
1	344	327	17	62	55
2	357	346	11	79	57
3	342	173	169	46	38
4	340	160	180	48	38
5	352	190	162	67	43
6	342	177	165	56	38
7	354	340	14	60	56

Clemens, Matheson และ Rogers (1990) ได้นำเทคนิค DTA หรือ differential thermal analysis มาใช้ประกอบในการพิจารณาหาแนวโน้มที่จะเกิดการลุกไหม้ได้เอง เพราะความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาคายความร้อนใช้ในการทำนาคได้ Clemens และคณะ ได้ศึกษากำหนดหินศักดิ์ลิกไนต์และรับปริมาณนี้ของประเทศนิวซีแลนด์อย่างละ 2 ตัวอย่าง เก็บกำหนดหินตัวอย่างจากเหมืองไว้ในบรรยากาศไนโตรเจน จากนั้นนำมาบดและร่อนให้ได้ขนาด 200 mesh การปฏิบัติการทำอย่างทำได้บรรยากาศไนโตรเจน การทดลองใช้เครื่อง DTA โดยตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นไว้ที่ 30, 60, 90, 120, 150 หรือ 180°C ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.10 และวัดความแตกต่างความร้อนในรูปของสัญญาณไฟฟ้าเป็นไมโครโวลต์ (uV)

ตารางที่ 2.10 ผล DTA (in uV) ที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่างๆ (Clemens and et al., 1990)

Sample	DTA (in uV)					
	Appro. starting temperature (°C)					
	30	60	90	120	150	180
Newvale	0.7	1.2	6.0	16	60	335
Kai Point	0.8	1.3	5.0	9.0	52	130
Kopuku	0.8	2.0	3.5	25	55	260
Ohai	0.8	1.4	9.0	15	42	95

ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 30°C เมื่อพิจารณาจากผล DTA ที่ได้ ๗ อุณหภูมินี้ กำหนดหินทุกชนิดมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองน้อย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พบว่าความร้อนที่วัดได้เพิ่มขึ้น ซึ่งความร้อนที่วัดได้นี้มาจากปฏิกิริยาคายความร้อนนั่นเอง เมื่อพิจารณาค่า DTA (in uV) พบว่ากำหนดหินที่มีค่า DTA (in uV) ต่ำ จะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้

ได้เองต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า DTA (in uV) สูงขึ้นถ่านหินจะมีแนวโน้มในการเกิดการลุกไหม้ได้เองสูง

Ogunsola และ Mikula (1991) ศึกษาการลุกไหม้ได้เองของถ่านหินจากประเทศไนจีเรีย 4 ตัวอย่างคือ Coal A (ลิกไนต์), Coal B (ซับบิทูมินัส), Coal C และ D (บิทูมินัส) เก็บวัตถุดิบจากเหมืองไว้ในภาชนะที่บรรยากาศเป็นไนโตรเจนเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน จากนั้นทำการบดให้มีขนาด $-60+200$ mesh และเก็บไว้ในบรรยากาศไนโตรเจนจนกว่าจะใช้งาน ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินแบบประมาธและแบบแยกธาตุ, หาค่า CPT และ Liability index ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.11 จากผลการทดลองที่ได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ในการศึกษาถ่านหินจากประเทศไนจีเรีย เมื่อพิจารณาจากค่า Liability index พบว่าถ่านหินชนิด D มีแนวโน้มการลุกไหม้ได้เองน้อยที่สุดและตามด้วย A, C, B ตามลำดับ

ตารางที่ 2.11 ค่า CPT, I_u , I_m และ heating rate (Ogunsola and Mikula, 1991)

	Coal A	Coal B	Coal C	Coal D
CPT(C)	163.5	146.5	145.0	140.0
Liability index (I_u)* 10^{-3}	10.3	15.9	13.8	8.5
Liability index (I_m)	1.1	2.7	1.7	1.2
heating rate ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	1.7	2.3	2.0	1.2

Ogunsola และ Mikula (1992) ได้ศึกษาโดยใช้เครื่องมือทดลองเดิมแต่เปลี่ยนมาใช้ถ่านหินศักดิ์ต่ำจากแคนาดาตะวันตก (Western Canadian low rank coals) 2 ตัวอย่าง คือ coal A (ลิกไนต์) และ coal B (ซับบิทูมินัส) โดยใช้เงื่อนไขการทดลองเดิมแต่เพิ่มการทำ thermal treatment ถ่านหินเข้าไป การทำ thermal treatment ทำโดยนำถ่านหิน 4 กิโลกรัม ใส่ลงใน stainless steel reactor (บรรยากาศ N_2) แล้วทำ thermal treating ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 200, 300, 400 และ $500^\circ C$ หลังจากนั้นนำไปบดให้ได้ขนาด 0.25 มิลลิเมตร แล้วเก็บในภาชนะที่บรรยากาศไนโตรเจนจนกว่าจะใช้งาน

ผลการทดลองแสดงเป็น profile ของอุณหภูมิและเวลา จากจุด CPT ที่ได้นำไปหา Liability index I_u และ I_n ตามวิธีที่กล่าวมาแล้วดังแสดงในตารางที่ 2.11 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการทำ thermal treatment จะทำให้ค่า heating rate ลดลงรวมทั้งค่า CPT และ Liability index (I_u , I_n) ลดลงด้วยซึ่งมีผลทำให้ความไวในการเกิดการลุกไหม้ได้เองลดลงด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.12 ผลการทดลองเมื่อผ่านการทำ Thermal treatment
(Ogunsola and Mikula, 1992)

Coal	Treatment temperature (°C)	Q Heating rate (°C/min)	CPT (°C)	Liability index	
				$I_1 \times 10^{-3}$	I_2
A	Feed	3.64	176.5	20.6	3.2
	200	2.37	157.0	15.1	1.8
	300	1.72	149.0	11.5	1.6
	400	1.22	138.5	8.8	1.3
	500	0.67	129.0	6.7	1.2
B	Feed	2.14	154.0	13.9	2.8
	200	1.13	143.5	7.9	1.7
	300	0.90	135.0	6.7	1.6
	400	0.72	122.5	5.9	1.3
	500	0.61	112.5	5.4	1.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย