



บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงใต้พิภพรูปหนึ่ง ซึ่งถือกำเนิดจากพืชที่ล้มตายทับถม และสะสมมานานนับร้อยล้านปี ถ่านหินที่มีอายุมากที่สุดประมาณว่ามากกว่า 250 ล้านปี ส่วนถ่านหินที่มีอายุน้อยที่สุดประมาณ 20 ล้านปี นักธรณีวิทยาจึงแบ่งยุคในประวัติศาสตร์ เป็น 2 ยุคที่รู้จักกันดีคือ

1. ยุค Carboniferous และ Permian อายุ 225 ถึง 350 ล้านปี
2. ยุค Cretaceous ตามด้วยยุค Tertiary อายุ 2 ถึง 135 ล้านปี

2.1 การเกิดถ่านหินจากการเปลี่ยนแปลงของต้นไม้

ในสมัยก่อนตั้งแต่ยุค Carboniferous บริเวณต่าง ๆ ปกคลุมไปด้วยป่าไม้นานาชนิด สัตว์ยุคก่อนประวัติศาสตร์และหนองบึงมากมาย พืชพันธุ์ต่าง ๆ ในบริเวณป่ากึ่งเมืองร้อน และหนองบึงต่าง ๆ เจริญเติบโตรวดเร็วทำให้เป็นป่าทึบส่วนใหญ่และไม่มีฤดูการ ดังนั้นต้นไม้ที่ล้มตายก็จะทับถมกันมากขึ้นตลอดเวลา ชั้นส่วนของต้นไม้ที่ล้มตายจะถูกทำลายให้ผุพังเน่าเปื่อยโดยอินทรีย์สัตว์เล็ก ๆ คือ แบคทีเรียและรา โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมี ถ้าบริเวณที่ต้นไม้ตายทับถมกันเป็นที่แห้ง การผุพังจะเกิดขึ้นรวดเร็วทำให้เศษสลักหักพังของต้นไม้ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำหมด ก็จะไม่เกิดการสะสมตัวเป็นถ่านหิน แต่ถ้าบริเวณนั้นเป็นที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ ชายฝั่งหรือหนองบึงที่มีน้ำขังเฉอะแฉะ (swamp) การผุพังทำลายจะเป็นไปอย่างช้า ๆ และปฏิกิริยาจะลุดุดหยุดลงก่อนที่ต้นไม้จะถูกทำลายหมดไป เพราะน้ำที่ขังอยู่นั้นเน่าทำให้ขาดออกซิเจน ชั้นส่วนหรือซากต้นไม้ที่เหลืออยู่นี้จะสะสมตัวต่อไปเป็น ชั้นของพีท (peat)

Macrae (8) ได้เสนอหลักการการเกิดถ่านหินจากธรรมชาติของพีทที่เป็นผลผลิตจากการผุพังของต้นไม้ว่า พืชประกอบด้วยเซลล์สาร 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ เซลลูโลส ลิกนิน และโปรตีนในพืช ดังนั้นในการถูกย่อยสลายโดยอินทรีย์สัตว์เล็ก ๆ นั้น เซลลูโลสซึ่งเป็นสารจำพวก

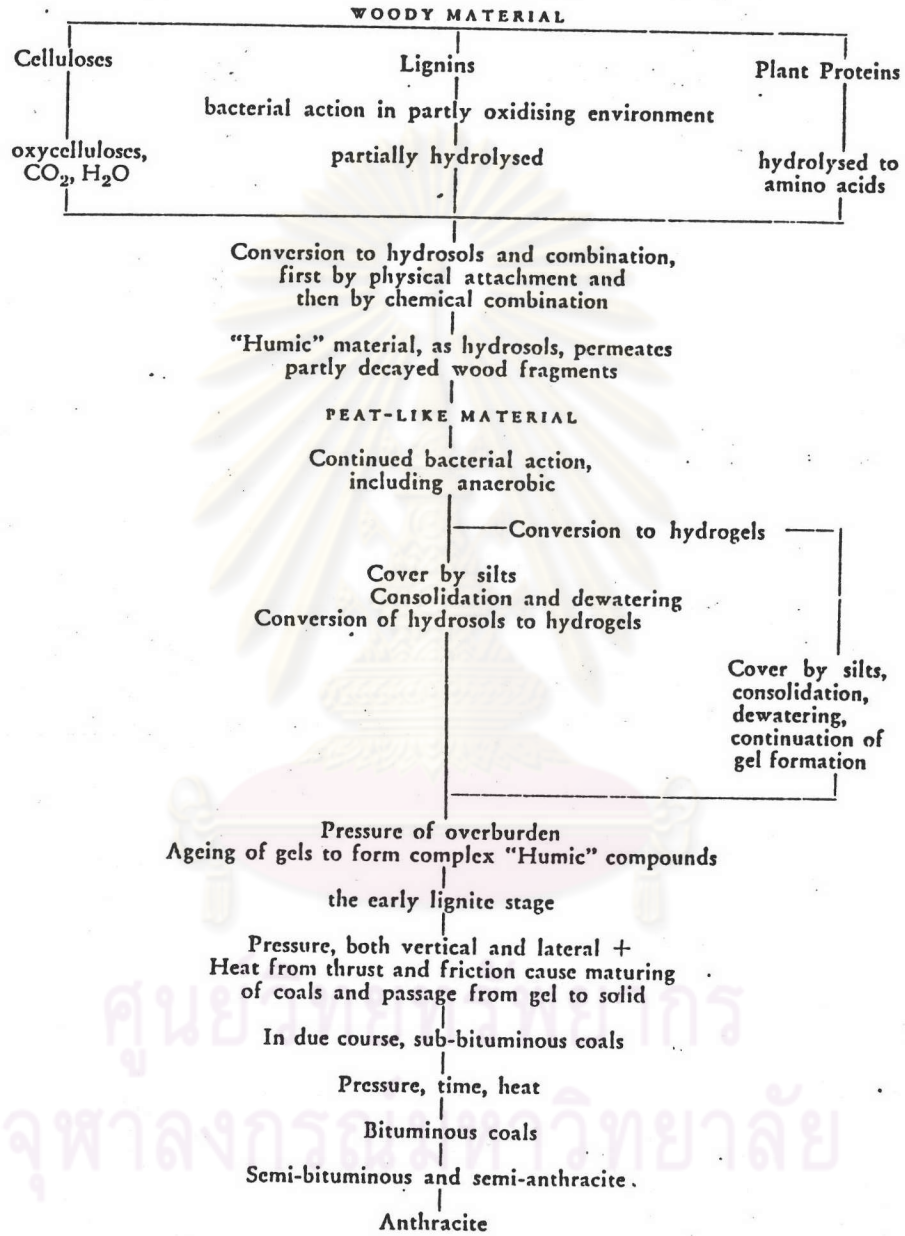
แป้งจะถูกย่อยสลาย (hydrolyse) ได้ง่ายเป็นก้ำขคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและออกซิ-
เซลลูโลส (oxycellulose) ลิกนินมีลักษณะคล้ายเซลลูโลส แต่ต่างกันที่มีโครงสร้าง
เป็น benzenoid ทำให้ย่อยสลายยากกว่า ส่วนโปรตีนในพืช ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์
ประกอบสำคัญ มีกำมะถัน และฟอสฟอรัส ปนอยู่ด้วยจะถูกย่อยสลายเป็นกรดอมิโน (amino
acid)

ขั้นตอนการย่อยสลายและการสะสมตัวเป็นถ่านหิน เกิดขึ้นเมื่อต้นไม้ล้มตายลงใน
บริเวณหนองบึงที่มีน้ำขัง ในขั้นแรกจะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ ออกซิเจน (aerobic
bacteria) และราเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงบางส่วน และไฮโดรไลซิส ย่อยสลาย
เซลลูโลส, โปรตีน และลิกนินบางส่วน กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายวุ้นหรือกาว
(colloidal product) ซึ่งจะสะสมตัวเป็นพืท โดยมีลักษณะเป็นไฮโดรซอล (hydrosol)
และเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นไฮโดรเจล (hydrogel) ผลผลิตที่จะสะสมตัวเป็นพืทนี้จะถูกฝัง
อยู่ในชั้นหนา ๆ ของโคลนตม เมื่อน้ำบริเวณนั้นเริ่มเน่าและขาดออกซิเจน ปฏิกิริยาการ
สลายตัวจะถูกยับยั้งแม้ในขั้นแรก ๆ ยังถูกทำลายได้อย่างช้า ๆ โดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน
(anaerobic bacteria) แต่ในที่สุด แบคทีเรียทั้งหมดก็จะหยุดการเจริญเติบโต และตาย

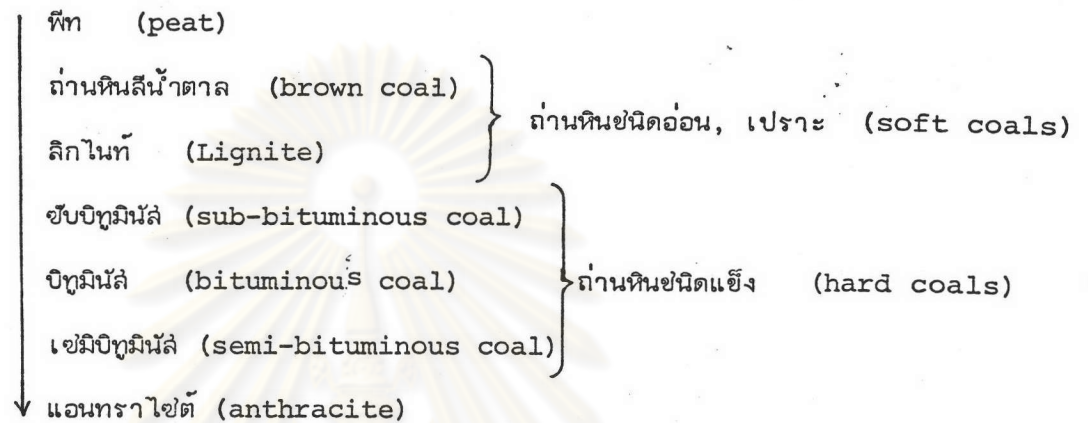
ชั้นของพืทที่สะสมตัวอยู่ใต้โคลนตมเป็นชั้นหนาๆ นี้ จะถูกทับถมต่อโดยชั้นของสารอนิน-
ทรีย์ที่สะสมมีน้ำหนักมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างช้า ๆ ทำให้เกิดความดันอัดแน่นจนไล่น้ำที่รวมตัวอยู่
กับพืทออกจนมีสภาพเป็นเจล ความดันที่กดทับเพิ่มมากขึ้นเป็นระยะเวลาาน ๆ รวมทั้งความ
ดันจากที่อื่น ๆ และอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก อันเป็นสาเหตุ
ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อพืทที่ถูกฝังอยู่ให้เปลี่ยนสภาพไปตามลำดับจากพืทเป็นลิกไนท์ ชุบ-
บิทูมินัส บิทูมินัส และแอนทราไซต์ ซึ่งมีคักดี (rank) สูงขึ้นตามลำดับ ขั้นตอนการเปลี่ยน
แปลงจากไม้ไปเป็นถ่านหินนี้ แสดงดังตารางที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 แผนผังการเกิดถ่านหิน (8)



การเปลี่ยนแปลงสภาพจากพืชไปเป็นถ่านหินที่มีศักดิ์สูงขึ้นนี้ เนื่องมาจากการละล่่มตัวไต้พื้นดิน ทำให้เกิดการละลายตัวอย่างช้า ๆ ตามธรรมชาติโดยได้รับความร้อน และไม่มีอากาศภายในไต้พื้นผิวโลก เป็นระยะเวลาานจนกระทั่งได้ถ่านหินที่มีลักษณะเกือบเป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ (pure carbon) ถ่านหินที่มีอายุมากจะมีศักดิ์สูงขึ้น ดังนั้นถ่านหินแต่ละแหล่งจึงมีอายุไม่เท่ากัน และมีคุณล่่มบัติแตกต่างกันตามถิ่นกำเนิด ล่าสามารถจัดเรียงลำดับจากศักดิ์ต่ำไปสูงดังนี้คือ



ระยะเวลาทำให้ถ่านหินเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มศักดิ์ให้สูงขึ้นดังต่อไปนี้

- (1) ล่มดุลของความชื้น (ความชื้นที่ผิว และในโครงสร้างถ่านหิน) ลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้น ถ่านหินที่มีศักดิ์สูงขึ้น ความชื้นจะยิ่งน้อยลง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ถ่านหิน เรียงลำดับจากพีท ถึงแอนทราไซต์ (8)

	ไม้	พีท	ลิกไนท์	ซับบิทูมินัล	บิทูมินัลและเซมิบิทูมินัล	แอนทราไซต์
ความชื้นที่พบ, ร้อยละ	30-60	+90	20-40	10-20	13-1	2-3.5
ความชื้นหลังจากทิ้งให้แห้งในอากาศ, ร้อยละ	10-15	20-25	15-25	10-20	13-1	2-3.5
ปริมาณธาตุไม่รวมความชื้น						
และเก็บในตัวอย่าง, ร้อยละ						
คาร์บอน	50	55-65	65-73	73-78	78-92	92-96
ไฮโดรเจน	6.0	5.5	4.5	6.0	5.3	2.5
ออกซิเจน	43	32	21	16	8	4

(2) ปริมาณไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ไนโตรเจน และกำมะถัน เกิดการสูญเสียไปเรื่อย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอน ดังตารางที่ 2.2

(3) เกิดการสูญเสียของสารระเหย (volatile matter) ไปเรื่อย ๆ

(4) ค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

(5) เกิดการพัฒนาคุณสมบัติของการเกิดโค้ก (coking properties) ในถ่านหินช่วงสกัดหนึ่ง

การเปลี่ยนแปลงในข้อ 3 ถึงข้อ 5 ดูได้จากตารางการสกัดแบ่งถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM ในตารางที่ 2.3

2.2 การวิเคราะห์ถ่านหิน

การวิเคราะห์ถ่านหินในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประยุกต์ให้เข้ากับคุณสมบัติของถ่านหินรวบรวมได้เป็น 3 กลุ่มคือ

2.2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์ในขั้นแรก เพื่อหาคุณสมบัติและชนิดของถ่านหิน ได้แก่ การวิเคราะห์หาความชื้น, สารระเหย และเถาในถ่านหิน

2.2.2 การวิเคราะห์ในขั้นสุดท้าย (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์ละเอียด เพื่อหาปริมาณธาตุคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน และกำมะถันในถ่านหิน

2.2.3 การทดลองเพิ่มเติม (Additional tests) การทดลองที่สำคัญในการตรวจสอบถ่านหินได้แก่ การหาค่าความร้อน, คุณสมบัติของการเกิดโค้ก (caking properties) และสารอินทรีย์ ที่สำคัญเช่น คลอริน ฟอสฟอรัส และสารหนู

จากการวิเคราะห์ใน 3 กลุ่มข้างต้น การวิเคราะห์แบบประมาณค่าเป็นที่สุดเพราะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของถ่านหินเหล่านั้น ๆ ทั้งยังชี้ให้เห็นถึงอายุและสกัดของถ่านหินด้วยองค์ประกอบส่วนใหญ่ในถ่านหินจากการวิเคราะห์แบบประมาณ คือ

2.2.1.1 ความชื้นในถ่านหิน พบว่าถ่านหินที่มีอายุน้อยจะมีความชื้นอยู่มากครั้งเมื่ออายุมากขึ้น แรงดันต่าง ๆ บนผิวโลกที่กดทับลงบนแนวถ่านหิน และความร้อนทำให้ความชื้นน้อยลง ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งความชื้นในถ่านหินมี 2 รูป (10) คือ

ตารางที่ 2.3 การจัดแบ่งถ่านหินตามศักดิ์ โดยวิธี ASTM D.388 (9)

Class	Group	Fixed carbon limits, % (dry m.m.f. basis)		Volatile matter limits, % (dry m.m.f. basis)		Calorific value limits, B.t.u./lb. (moist ^b m.m.f. basis)		Agglomerating character
		Equal or greater than	Less than	Greater than	Equal or less than	Equal or greater than	Less than	
Anthracitic	Meta-anthracite	98	2	} Non-agglomerating
	Anthracite	92	98	2	8	...	...
	Semianthracite ^c	86	92	8	14	...	...
Bituminous	Low-volatile bituminous coal	78	86	14	22	} Commonly agglomerating ^e
	Medium-volatile bituminous coal . .	69	78	22	31	...	...
	High-volatile A bituminous coal . .	...	69	31	...	14,000 ^d	...
	High-volatile B bituminous coal . .	...	...	...	...	13,000 ^d	14,000
	High-volatile C bituminous coal . .	...	...	...	...	11,500 10,500	13,000 11,500
Subbituminous	Subbituminous A coal	10,500	11,500	} Non-agglomerating
	Subbituminous B coal . . . . .	...	...	...	...	9,500	10,500
	Subbituminous C coal . . . . .	...	...	...	...	8,300	9,500
Lignitic	Lignite A	6,300	8,300	}
	Lignite B . . . . .	...	...	...	...	...	6,300

^a A.S.T.M. Designation D 388-36. Data from U.S. Bureau of Mines. This classification does not include a few coals, principally non-banded varieties, which have unusual physical and chemical properties and which come within the limits of fixed carbon or calorific value of the high-volatile bituminous and subbituminous ranks. All these coals either contain less than 48% dry m.m.f. fixed carbon or have more than 15,500 moist m.m.f. B.t.u./lb.

^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 m.m.f. basis are classified according to fixed carbon, regardless of calorific value.

^e There may be non-agglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and there are notable exceptions in the high-volatile C bituminous group.

2.2.1.1.1 ความชื้นที่ติดแน่นอยู่ในเนื้อถ่านหิน (inherent moisture) เกิดจากคุณสมบัติของถ่านหินในการดูดความชื้นเข้าในเนื้อถ่านหินเป็นปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุของถ่านหิน อุณหภูมิและความชื้น ณ แหล่งกำเนิด ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงตามศักดิ์ของถ่านหินดังกล่าวแล้ว

2.2.1.1.2 ความชื้นอิสระ (free or accidental moisture) เป็นความชื้นที่ถ่านหินดูดไว้ที่ผิว ซึ่งจะสูญเสียไปเมื่อกังไว้ในอากาศ

ความชื้นจะมีผลต่อถ่านหินในแง่ต่าง ๆ คือ ความชื้นทำให้ถ่านหินมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นสิ้นเปลืองค่าขนส่งโดยเปล่าประโยชน์ ในด้านการใช้งาน เมื่อนำถ่านหินมาเผาไหม้ ความชื้นจะระเหยกกลายเป็นไอโดยถึงความร้อนให้สูญเสียไปกับก๊าซเสีย (waste gas) ในรูปของความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่ม (sensible heat) และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat) แต่มีข้อดีคือ เมื่อความชื้นระเหยไป ถ่านหินถูกเปิดเป็นรู (porous) ทำให้อากาศแทรกผ่านเข้าไปเผาไหม้ได้ดี

2.2.1.2 ถ่านหิน (10,11) คือ สภาวะที่เหลือของสารอนินทรีย์เมื่อถ่านหินถูกเผาไหม้ จัดแบ่งได้เป็น 2 พวกคือ

2.2.1.2.1 ถ่านที่เกิดจากสารอนินทรีย์ในถ่านหิน (intrinsic ash) เกิดจากเกลือแร่อนินทรีย์ที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชดูดซึมและดูดซับไว้ เมื่อพืชกลายมาเป็นถ่านหินสารเหล่านี้จึงติดมาด้วย และไม่สามารถแยกออกได้โดยวิธีทำความสะอาดถ่านหิน สารเหล่านี้ได้แก่ ออกไซด์ของโปแตสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม แคลเซียม และซิลิกอน เป็นต้น

2.2.1.2.2 ถ่านที่เกิดจากสารอนินทรีย์ภายนอก (extrinsic ash) เกิดจากการตกตะกอนของสารอนินทรีย์ที่ถูกน้ำพัดพามาขณะกำลังเกิดการสะสมตัวของถ่านหิน และเกิดจากเกลือแร่ เช่น ยิบซั่ม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ไพไรต์ (FeS_2) หินปูน แอนคิไรต์ (ankerites) หินเซลล์ และดิน เป็นต้น ซึ่งทับถมลงบนแนวของถ่านหิน แต่สารเหล่านี้สามารถแยกออกได้โดยวิธีทำความสะอาดแบบต่าง ๆ เช่น ใช้มือหยิบพวกหินเซลล์ออกได้ กระบวนการทางกลได้แก่ กระบวนการลอยตัว กระบวนการแห้งและเปียก กระบวนการเหล่านี้ก็ไม่สามารถแยกออกได้ทั้งหมด ดังนั้นถ่านหินขนาดเล็ก ๆ จึงมีร้อยละของถ่านสูง

ถ้าเหล่านี้เป็นปัญหาในการใช้งาน เพราะขณะเผาไหม้ถ่านหินทำปฏิกิริยากับก๊าซ ออกซิเจน สารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนรูปไปเป็นถ่าน ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกา อลูมินา แมกนีเซียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ กิตาเนียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และ ออกไซด์ของอัลคาไลน์ต่าง ๆ ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นก้อน เรียกว่า คลิงเกอร์ (Clinker) ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ในการใช้งาน นอกจากนี้สารอินทรีย์เหล่านี้จะทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินต่ำลงด้วย

2.2.1.3 สารระเหย (volatile matter) เกิดจากเมื่อถ่านหินได้รับความร้อนในที่ที่ไม่มีอากาศโมเลกุลเล็ก ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของถ่านหินที่ละลายตัวง่ายจะระเหยออกมาแล้วละลายตัวออกมาเป็น 3 องค์ประกอบที่สำคัญ คือ (11) ก๊าซ น้ำมันหยาบ และของเหลวใสที่มีแอมโมเนีย (ammonia liquor) และน้ำ จากการแตกตัวของโมเลกุลที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (hydrates) ซึ่งไม่ใช่ความชื้นอิสระ

สารระเหยได้นี้มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ถ่านหิน (12) เพราะส่วนประกอบของสารระเหยแตกต่างกันไปตามศักดิ์ของถ่านหิน โดยจะลดลงเมื่อถ่านหินมีศักดิ์สูงขึ้น เช่น แอนทราไซต์ ซึ่งมีศักดิ์สูงสุดมีสารระเขยน้อยกว่าร้อยละ 10 จึงใช้เป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการจัดแบ่งศักดิ์ และประเมินว่าถ่านหินชนิดนั้น ๆ ควรจะนำไปเผาไหม้โดยตรงหรือนำไปไล่สารระเหยออกก่อน เพราะสารระเหยเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดเขม่า และควัน เมื่อนำไปเผาไหม้ ซึ่งก็คือละอองไอของน้ำมันหยาบและคาร์บอนเล็กละเอียด อันจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ

2.2.1.4 คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) เป็นของแข็งที่เป็นคาร์บอน (solid carbonaceous) ที่เหลืออยู่ในถ่านหิน ประมาณได้จากร้อยละที่เหลือจากการวิเคราะห์แบบประมาณเมื่อหักค่าความชื้น, สารระเหยและถ่าน ดังสมการ

$$\text{คาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{สารระเหย} + \text{ถ่าน})$$

ดังนั้นถ่านหินที่มีศักดิ์สูง จะมีคาร์บอนคงตัวสูงด้วย เนื่องจากปริมาณความชื้น และสารระเหยต่ำ

2.3 การแปรรูปถ่านหิน

เนื่องจากถ่านหินเป็นของแข็งสีดำหรือน้ำตาล เป็นผลผลิตตัวกลาง (intermediate product) ของการสลายตัวของสารอินทรีย์ดังได้กล่าวมาแล้ว ถ่านหินที่ขุดพบในแต่ละแหล่ง

009589

ต่างก็มีอายุต่าง ๆ กัน ที่ยังสลายตัวไม่ถึงที่สุด จึงได้แบ่งออกเป็นคักดีสูงถึงต่ำ และนำมาใช้ งานตามลักษณะของถ่านหินนั้น ๆ และยังสามารถพัฒนาถ่านหินคักดีต่ำให้มีคุณค่าสูงขึ้นโดยการ แปรรูปจนสามารถใช้งานแทนถ่านหินคักดีสูง ๆ ได้โดยไม่ต้องรอการสลายตัวตามธรรมชาติ ซึ่ง ใช้เวลานานมาก และสามารถดึงเอาคุณค่าทางเชื้อเพลิงจากถ่านหินในรูปแบบต่าง ๆ ได้ตาม กระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น

2.3.1 กระบวนการคาร์บอนเซชัน (Carbonization) เป็นกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ถ่านโค้ก (coke) และผลผลิตพลอยได้ คือ ก๊าซถ่านหิน และ ของเหลวจากรีทอร์ท

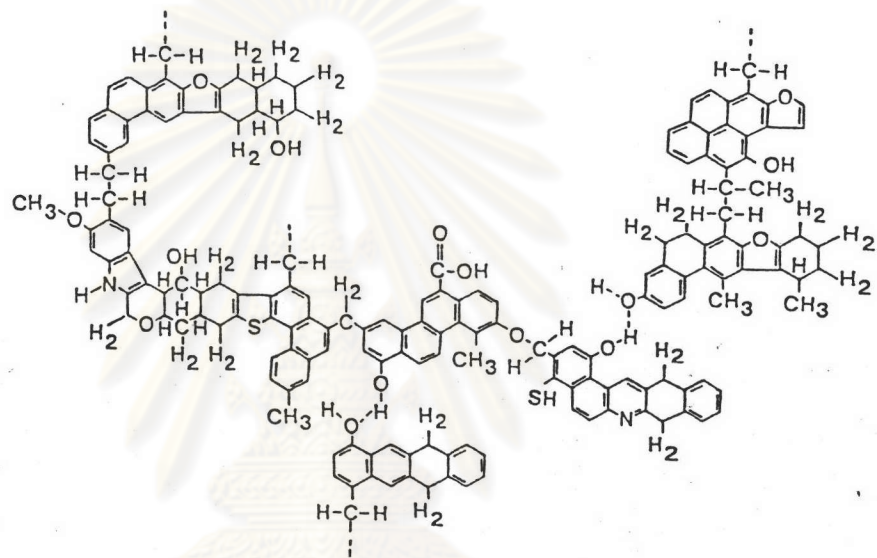
2.3.2 กระบวนการทำให้เป็นก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการผลิตก๊าซ เชื้อเพลิงจากถ่านหิน โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงบางส่วน กับอากาศและออกซิเจน และ/ หรือไอน้ำ

2.3.3 กระบวนการทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction) เป็นการผลิตเชื้อ เพลิงเหลว เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม โดยการทำให้องค์ประกอบของถ่านหินละลายลง ในตัวทำละลาย แล้วเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง และต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เข้าร่วมด้วย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคโนโลยี สูง และคาดว่าจะก้าวหน้าที่สุด

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการคาร์บอนเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่เก่าแก่ที่ ลูต ให้ผลิตภัณฑ์หลักคือถ่านโค้ก ซึ่งใช้แทนถ่านไม้ในการถลุงเหล็ก นับเป็นก้าวแรกของการ พัฒนาถ่านหินเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ใช้เทคโนโลยีต่ำที่สุด โดยการให้ความร้อนแก่ถ่านหินอย่าง เดียวในที่ที่ไม่มีอากาศหรือก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดการสลายตัว เรียก Thermal decom- position หรือ Pyrolysis หรือเรียกว่าการกลั่นทำลายถ่านหิน (destructive distillation) เพื่อให้โครงสร้างโมเลกุลของถ่านหินแตกตัว และระเหยออกมาในรูป ของสารระเหย

โครงสร้างทางเคมีของถ่านหิน หรือสูตรโมเลกุลของถ่านหินนั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ นอน ทั้ง ๆ ที่มนุษย์รู้จักนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็นเวลานาน ตามความ เข้าใจของนักวิทยาศาสตร์ (13) โครงสร้างทางเคมีของถ่านหินประกอบด้วยกลุ่มโมเลกุล

วงแหวนอะโรมาติก (aromatic) และไฮโดรอะโรมาติก (hydroaromatic) เกาะอยู่ด้วย เป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มอาจเชื่อมกันอยู่ด้วย แขนของโมเลกุลอะลิเฟติก (aliphatic) ที่อ่อนแอ ภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มยังมีวงแหวนที่มีอะตอมของธาตุออกซิเจน หรือกำมะถันหรือไนโตรเจน ประกอบอยู่กับการับอน รวมทั้งกลุ่มที่กำหนดหน้าที่ความเป็นกรด, ต่าง, อีเทอร์ หรืออื่น ๆ (functional group) ซึ่งแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวนอีกด้วย ดังแสดงเป็นโมเลกุลผสมมิติ ในรูปที่ 2.1

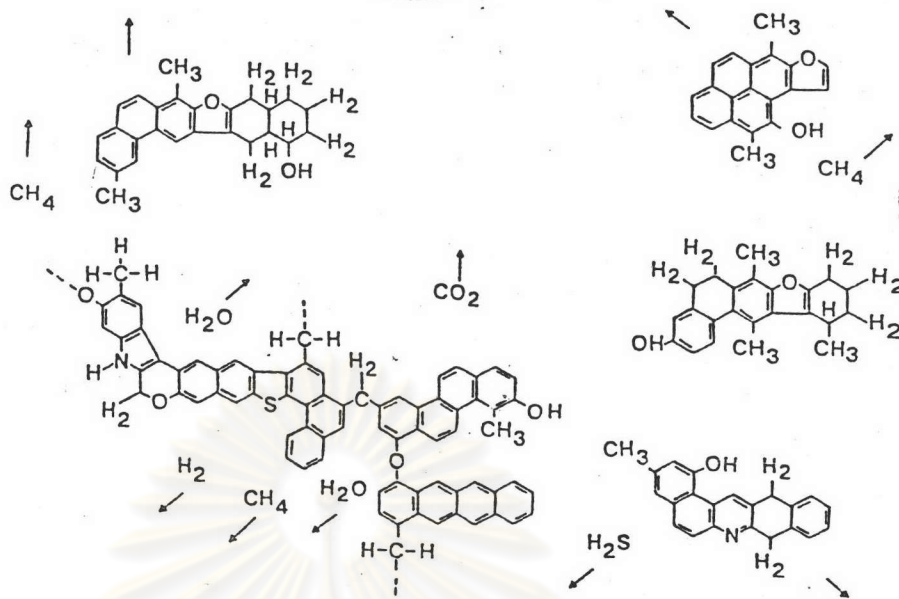


$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$, $-\text{OH}$, $-\text{O}-\text{CH}_3$, $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$ คือ functional groups



$-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$ คือ aliphatic bridges

รูปที่ 2.1 โมเลกุลผสมมิติของถ่านหิน (13)

เมื่อโมเลกุลของถ่านหินได้รับความร้อน จะเกิดการสลายตัวซึ่งแฟคเตอร์ที่สำคัญคือ จำนวนไฮโดรเจนที่มีอยู่ในโมเลกุลวงแหวน ไฮโดรอะโรมาติก และแขนอะลิเฟติก ซึ่งแตกตัวออกง่ายที่สุด ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่ม ๆ จำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแตกตัวของโมเลกุลลุ่มมติดของถ่านหิน ขณะเกิดการสลายตัว เมื่อได้รับความร้อน (13)

กลุ่มโมเลกุลย่อยเหล่านี้ก็คือน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะมีการแตกตัวของกลุ่มที่เกาะอยู่กับวงแหวน และโครงสร้างที่เป็นอะลิฟาติก ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการสลายตัวของกลุ่มคาร์บอกซิล (-C(=O)-OH), น้ำ (H₂O) จากกลุ่ม -OH, ก๊าซมีเทน (CH₄) จากกลุ่มอะลิฟาติก (-CH₂-CH₂-), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) จากกลุ่ม -SH และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากกลุ่มอีเทอร์ (-C(=O)-H) ที่อุณหภูมิสูงขึ้น โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกในน้ำมันที่ระเหิดจะแตกตัวและสลายตัวใหม่ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) จากวงแหวนไทโอเฟน  ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) จากวงแหวนที่มีไนโตรเจน เช่น  และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากกลุ่มอีเทอร์ที่เกาะตัวกันแน่น ในขณะที่ถ่านหินที่ผ่านการแปรสภาพแล้วจะกลายเป็นกราไฟต์มากขึ้น และยังพบอัตราเร็วในการปลดปล่อยสารชนิดหนึ่ง ๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ตาม จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันไม่ว่าแตกตัวจากถ่านหินชนิดใด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารชนิดหนึ่ง ๆ แตกตัวมาจากกลุ่มที่ทำหน้าที่ (functional group) กลุ่มเดียวกัน

จากการสลายตัวของโครงสร้างโมเลกุลของถ่านหิน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในรูปของของเหลวคือ น้ำมันทาร์ น้ำมันเบา น้ำ และก๊าซถ่านหิน ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

- ก๊าซถ่านหิน (coal gas) ประกอบด้วย ก๊าซไฮโดรเจน มีเทน และคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ออกซิเจน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นก๊าซที่เผาไหม้ได้ นอกจากนี้ยังมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย ซึ่งต้องกำจัดออกก่อนนำกลับไปใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงในกระบวนการ หรือจำหน่าย

- น้ำมันทาร์ (tar) เป็นน้ำมันที่กลั่นตัวแยกออกจากก๊าซถ่านหินจากรีทอร์ท เป็นของผสมที่ซับซ้อนของสารไฮโดรคาร์บอนหลายร้อยชนิด และสารอินทรีย์อื่น ๆ รวมถึงน้ำมันเบา (light oil) ซึ่งเรียกว่า น้ำมันเบนโซลดิบ (crude benzole) ประกอบด้วย เบนซีน (benzene) เป็นส่วนใหญ่ และมีทอลูอิน (toluene) และไซลีน (xylene) ส่วนที่เป็นน้ำมันหนักนี้จะผ่านการกลั่นลำดับส่วนแยก เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ น้ำมันเตา และสารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันครีโโซท (creosote oil) แนพทาซีน (naphthalene) แอนทราซีน (anthracene) ฟีนอล (phenol) ซายลอล (xylol) พิริดีน (pyridine) เป็นต้น หรือเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมีในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกมาก ส่วนที่เหลือจากการกลั่นเรียกว่า พิตช์ (pitch) คุณค่าของน้ำมันทาร์ขึ้นกับกระบวนการผลิต เช่น ถ้าผลิตที่อุณหภูมิสูง จะกลั่นได้ผลิตภัณฑ์สำคัญคือ แนพทาซีน และแอนทราซีน และสามารถแยกกันเป็นส่วนต่าง ๆ เหมาะสมที่จะนำไปจำหน่ายได้ ส่วนการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันเบาและหนักจะเป็นของผสมอิมัลชัน (emulsion) ไม่เหมาะที่จะนำไปกลั่นแยกให้บริสุทธิ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาด

ของแข็งที่เหลือจากการคาร์บอนไนซ์ จะมีคุณสมบัติและลักษณะต่างกันไปตามชนิดของถ่านหิน เช่น ถ่านหินชนิดบิทูมินัส เป็นถ่านหินที่มีคุณสมบัติในการเยิ้ม และพองตัวเกาะเป็นเค้ก (caking หรือ coking properties) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสขึ้นไป จากคุณสมบัตินี้ตลอดจนการที่ไอระเหยของน้ำมัน และก๊าซต้นออกสู่ผิวถ่านตลอดเวลา ทำให้ถ่านหินกลายเป็นถ่านโค้กที่มีรูพรุน มีปริมาณคาร์บอนสูง และมีความแข็งแรงสูง เรียกว่า ถ่านโค้กแข็ง (hard coke หรือ metallurgical coke) การเกิดถ่านโค้กนี้จะสมบูรณ์ในช่วงอุณหภูมิ 900 - 1,200 องศาเซลเซียส ส่วนถ่านหินชนิดที่ไม่เกาะตัวเป็นเค้กจะเกิดการระเหย

และการสลายตัวของโครงสร้างโมเลกุลให้ผลผลิตมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และจะลุ่มบวมในขั้วอุณหภูมิ 500 - 900 องศาเซลเซียส ของแข็งที่ได้คือ ถ่านโค้กอ่อน (soft coke หรือ semicoke) หรือถ่านชาร์ (Char) หรือถ่านอบ ซึ่งนำมาใช้ผลิตถ่านไร้ควัน (smokeless fuel) ได้แก่ถ่านหินที่มีคักดีต่ำ ตั้งแต่ซบ-ปิทูนีล จนถึงลิกันท์ ถ่านไร้ควันนี้ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในบ้านเรือน และอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือปานกลางได้ดี เพราะไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะจากกลิ่นหรือควันจากพวกสารระเหยในถ่านหินและสารประกอบพวกไนโตรเจน และกำมะถัน และอาจนำมาผลิตเป็นถ่านโค้กเทียม (formcoke) หรือถ่านสังเคราะห์ โดยใช้เทคนิคการอัดก้อน (briquetting) เข้าร่วมในการผลิต

เนื่องจากอุณหภูมิที่คาร์บอนมีผลต่อผลิตภัณฑ์ในแง่ต่าง ๆ จึงแบ่งการคาร์บอนออกเป็นช่วงอุณหภูมิ ดังนี้คือ (14)

ก. กระบวนการคาร์บอนเข้ชั้นที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสุดท้ายที่คาร์บอนข้อยู่ในช่วง 450 ถึง 700 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ถ่านโค้ก และน้ำมันทาร์สูง โดยถ่านโค้กเป็นชนิดถ่านไร้ควันขายเป็นเชื้อเพลิงในบ้านเรือน อาจผลิตเป็นก้อนหรือเป็นผงแล้วนำมาอัดก้อน ซึ่งทั้งสองแบบจะมีสีดำ และเป็นรุกรุน มีสารระเหยร้อยละ 8 ถึง 20 ให้ไขมันทาร์เป็นร้อยละของถ่านไม่รวมความชื้นเท่ากับ 7 ถึง 10

ข. กระบวนการคาร์บอนเข้ชั้นที่อุณหภูมิปานกลาง อุณหภูมิสุดท้ายที่คาร์บอนข้อยู่ในช่วง 700 ถึง 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณก๊าซสูง และให้ถ่านโค้กที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา (reactive coke) มีสารระเหยร้อยละ 2 ถึง 8 (ถ่านหินไม่รวมความชื้นและเถ้า) สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในบ้านเรือน และในอุตสาหกรรมบางประเภท ให้ไขมันทาร์ร้อยละ 4.5 ถึง 5.5 สามารถดึงแอมโมเนียออกจากก๊าซและของเหลวไล้ (Liquor) เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต

ค. กระบวนการคาร์บอนเข้ชั้นที่อุณหภูมิสูง ใช้ในการผลิตถ่านโค้กแข็งที่อุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการถลุงเหล็กในเตาแบบพ่นลม (blast furnace) และเตาหลอมโลหะแบบคิวโปลา (Cupola-furnace) มีสารระเหยน้อยกว่าร้อยละ 1 ให้ไขมันทาร์ร้อยละ 2.5 สามารถแยกแอมโมเนียมซัลเฟตและน้ำมันเบนโซลออกได้

อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญมากในการหาปริมาณและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แรก (primary product) จากการคาร์บอนซ์ แล่ดงได้ตั้งตัวอย่าง (15) ถ่านหินชนิดบิทูมัสที่มีสารระเหยปานกลางและต่ำ (Pratt) คาร์บอนซ์ในรีทอร์ทเดี่ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 นิ้ว สูง 26 นิ้ว โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่ 500 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ดังในตารางที่ 2.4

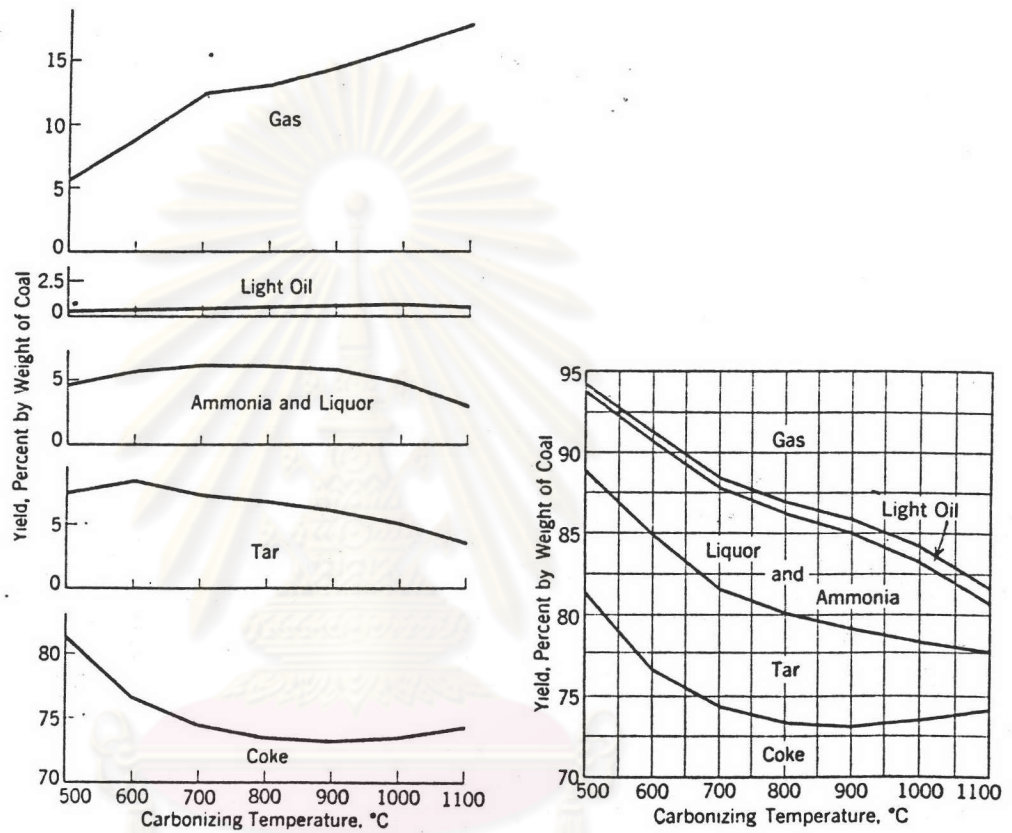
ตารางที่ 2.4 ปริมาณผลิตภัณฑ์แรกและองค์ประกอบเป็นร้อยละ ต่อน้ำหนักของถ่านหิน

ซึ่งเป็นผลจากการคาร์บอนซ์ ถ่านหิน Pratt ที่อุณหภูมิ 500 ถึง 1,100

องศาเซลเซียส (15)

Carbonization Temperature	500°	600°	700°	800°	900°	1,000°	1,100°	
Gas	Carbon dioxide	0.65	0.96	1.36	0.75	0.97	1.18	0.88
	Illuminants	0.47	0.76	1.74	2.02	2.41	2.16	2.41
	Oxygen	0.14	0.14	0.17	0.15	0.25	0.20	0.29
	Hydrogen	0.12	0.34	0.79	1.19	1.41	1.83	2.29
	Carbon monoxide	0.19	0.55	1.14	1.60	2.13	2.99	4.81
	Methane	2.52	4.35	5.38	5.87	6.31	6.99	6.15
	Ethane	1.34	1.32	1.26	0.97	0.31	0.14	0.06
	Nitrogen	0.27	0.38	0.56	0.45	0.61	0.61	0.91
Total	5.70	8.80	12.40	13.00	14.40	16.10	17.80	
Light oil	Olefins	0.05	0.08	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
	Naphthalene	Trace	0.0005	0.00	0.001	0.0008	0.0009	0.002
	Benzene	0.02	0.03	0.10	0.26	0.51	0.63	0.56
	Toluene	0.02	0.04	0.10	0.19	0.16	0.14	0.10
	Paraffins	0.18	0.17	0.07	0.06	0.02	0.02	0.01
	Solvent naphtha	0.11	0.14	0.15	0.11	0.09	0.07	0.05
Total	0.38	0.46	0.51	0.69	0.83	0.90	0.75	
Liquor and ammonia	Ammonia	0.01	0.06	0.20	0.20	0.17	0.16	0.11
	Liquor	4.80	5.70	6.00	5.90	5.70	4.70	2.90
	Total	4.81	5.76	6.20	6.10	5.87	4.86	3.01
Tar	Acids	1.30	1.36	1.11	0.62	0.34	0.18	0.08
	Bases	0.11	0.11	0.12	0.11	0.105	0.06	0.04
	Olefins	0.32	0.40	0.28	0.26	0.25	0.18	0.17
	Aromatics	1.53	1.71	1.77	1.76	1.71	1.26	0.82
	Paraffins and naphthenes	1.43	1.22	0.45	0.15	0.105	0.06	0.03
	Residue above 350° C	2.91	3.60	3.57	3.90	3.59	3.26	2.46
Total	7.60	8.40	7.30	6.80	6.10	5.00	3.60	
Coke	Ash	9.20	8.20	8.60	9.00	9.20	9.50	9.30
	Hydrogen	2.50	1.80	1.20	0.80	0.50	0.30	0.20
	Carbon	64.90	63.00	61.70	61.40	61.60	62.10	63.30
	Nitrogen	1.50	1.30	1.10	1.00	1.10	1.00	0.60
	Oxygen	2.60	1.80	1.10	0.70	0.10	0.00	0.20
	Sulfur	0.60	0.50	0.70	0.50	0.60	0.50	0.50
Total	81.30	76.60	74.40	73.40	73.10	73.40	74.10	

จากตารางที่ 2.4 ทำเป็นกราฟในรูปที่ 2.3 แสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แรกแต่ละตัว และรูปที่ 2.4 รวบรวมผลิตภัณฑ์ไว้ในรูปเดียวกัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แรกแต่ละตัว

ในการคาร์บอนซ์ ถ่านหิน Pratt (15)

รูปที่ 2.4 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์แรกรวมในรูปเดียวกัน

ในการคาร์บอนซ์ ถ่านหิน Pratt (15)

สรุปได้ว่าปริมาณถ่านโค้กจะมากที่สุดที่อุณหภูมิแรกคือ 500 องศาเซลเซียส น้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันทาร์มากที่สุดที่ 600 องศาเซลเซียส แล้วลดลงอย่างช้า ๆ แต่ถ้าเป็นถ่านหินชนิดลาร์ระเหยสูง ถ่านหินให้ก๊าซและไอน้ำด้วยอัตราสูงเช่นกันทำให้น้ำมันทาร์แตกตัวไปเป็นก๊าซและโค้กมากขึ้น ดังนั้นถ่านหินชนิดนี้จะให้ น้ำมันทาร์ที่ 500 องศาเซลเซียสสูงกว่าที่ 600 องศาเซลเซียส ปริมาณของเหลวรวมกับแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นจนถึง 700 องศาเซลเซียส และคงที่ในช่วง 700 ถึง 900 องศาเซลเซียสจากนั้นจะลดลง น้ำมันเบาจะไม่แตกต่างกันมากแต่ได้มากที่สุดที่ 1000 องศาเซลเซียส และผลิตภัณฑ์ก๊าซจะเพิ่มขึ้นตลอดช่วงอุณหภูมิ

กระบวนการคาร์บอนในเขชนมีตัวแปรอื่น ๆ นอกจากอุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ และในด้านการผลิตเพื่อการประหยัดอีกมาก เช่นขนาดของเตาหรือรีทอร์ท อัตราการให้ความร้อน และวิธีการให้ความร้อนในกระบวนการต่าง ๆ จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนากระบวนการผลิตขึ้นในหลาย ๆ รูปแบบ (16) รวบรวมได้ดังในตารางที่ 2.5 ซึ่งแบ่งกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การให้ความร้อนทางตรง (direct heat transfer) และการให้ความร้อนทางอ้อม (indirect heat transfer)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 กระบวนการคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิต่ำ และการผลิตโค้กจากถ่านหิน (16)

การให้ความร้อนแก่ถ่านหิน ในระหว่างการคาร์บอน	เบตอยู่นิ่ง (Fixed Bed)	ฟลูอิดไรซ์เบต (Fluidized bed)	เบตแขวนลอย (Suspended bed)
การให้ความร้อนทางอ้อม:			
ผ่านผนัง	เตาแบบนอน, เอียง และ เตาแบบตั้งตรง, การผลิตที่อุณหภูมิ ต่ำของ Krupp-Lurgi เตาคาร์บอนเซชัน (Oven)		กระบวนการ Steinmüller predegasification
ผ่านของแข็งเป็นตัว แลกเปลี่ยนความร้อน	Sandkoker (Bergbau- Forschung) กระบวนการ Lurgi และ Ruhrgas กระบวนการ Toscoal	เตาที่ใช้ทรายเป็นเบต	กระบวนการ Garret โดย บริษัทวิจัยและพัฒนาของ Garret
ผ่านก๊าซเป็นตัวแลกเปลี่ยน ความร้อน	เตา Spülgas (Lurgi) รีออร์ท Spülgas (Otto)		
การให้ความร้อนทางตรง:			
ผ่านฟลูอิด			เครื่องปฏิกรณ์แบบไหล (Flow reactor) การผลิตโค้ก (Blast coking)
ผ่านการเผาไหม้บางส่วน	Travelling grate เตาไฟแบบหมุน (Rotary hearth furnace)	การคาร์บอนเซชันถ่านหินที่ อุณหภูมิต่ำโดยใช้ฟลูอิดไรซ์ เบตเช่น FMC, Cerchar	

2.4 การอัดก้อน (briquetting)

เนื่องจากถ่านหินปิทภูมิษฐ์เท่านั้นที่มีการเอี่ยมและพองตัวเป็นถ่านโค้ก ในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา หลาย ๆ ประเทศ โดยเฉพาะประเทศในทวีปยุโรปและเอเชีย ซึ่งมีแหล่งถ่านหินอุดมสมบูรณ์ ได้เริ่มพัฒนากระบวนการผลิตถ่านโค้กอัดก้อนขึ้น เพื่อพัฒนาเป็นถ่านโค้กแข็ง (metallurgical coke) หรือผลิตถ่านไร้ควัน

หลักการในการอัดก้อนก็คือ การใช้แรงกดต่อถ่านหินเล็ก ๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมกันเป็นก้อน โดย Kegel (17) ได้สรุปหลักการไว้ว่า สสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (attractive force) ความแข็งแรง (strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม, โมเลกุล และสารแขวนลอย (colloid) เป็นการเชื่อมต่อที่สำคัญเป็นพิเศษ กับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดเข้าด้วยกัน ตามหลักการนี้ แบบของการเชื่อมติดกัน (cohesion) เป็นไปได้ 2 แบบ คือ การเชื่อมติดกันจริง ๆ (true cohesion) และการเชื่อมติดกันแบบปรากฏ (apparent cohesion) การเชื่อมติดกันจริง ๆ ก็คืออนุภาคจะรวมติดเข้าด้วยกันโดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น เกลืออัดก้อน ส่วนการเชื่อมติดกันแบบปรากฏเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคเปียกถูกกดเข้าด้วยกันเกิดแรงแคปิลลารี (capillary forces) เพราะฟิล์มบนอนุภาคจะกั้นการสัมผัสกันจริง ๆ การเชื่อมติดกันแบบปรากฏนี้จึงใช้ในการอัดก้อนถ่านหินมากกว่าการเชื่อมติดกันจริง ๆ ดังนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาคือ ความเปียก (wettability) ความใกล้เคียงกันของแคปิลลารี และแรงดึงดูด วัฏภาคของก๊าซ (gas phase) จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะถ้ามีของเหลวมากเกินไป แคปิลลารีจะขยายออกไล่วัฏภาคของก๊าซ ทำให้แรงประสานกัน (binding forces) ต่ำลง Fritsche ได้แสดงการอัดก้อนลิกไนท์โดยใช้ความดัน ไม่ใช่ตัวประสาน และความชื้นพอเหมาะ ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงผลของความชื้นในการอัดก้อนถ่านลิกไนท์ ตามการทดลองของ Fritsche (17)

น้ำ, ร้อยละ	5.9	11.7	16.1	33.8
การขยายตัวโดยปริมาตร, ร้อยละ				
(volume expansion)	18.8	17.2	15.9	18.8
ความแข็งแรง, ก.ก.ต่อ ตร.ซม.				
(binding strength)	8.0	16.7	18.9	5.5

จะเห็นได้ว่า การอัดก้อนที่ปริมาณความชื้นพอเหมาะที่ร้อยละ 16.1 เพราะให้ความแข็งแรงสูงสุด และการขยายตัวโดยปริมาตรต่ำสุด ซึ่งก็คือแรงเชื่อมติดกันมากที่สุดด้วย อย่างไรก็ตามความเปียกของถ่านหินในการอัดก้อนขึ้นอยู่กับศักย์ของถ่านหินและตัวประสาน เช่นการใช้น้ำมันห่านและพิทช์ เป็นตัวประสานกับถ่านหินศักดิ์สูง ๆ เช่นแอนทราไซต์ ตัวประสานจะทำให้ถ่านหินเปียกเอง แต่ถ้าใช้กับถ่านลิกไนท์ ต้องทำให้ลิกไนท์แห้ง เพื่อให้ตัวประสานทำงานได้ดี นอกจากนี้ยังมีวิธีการอีกหลายวิธีที่ใช้และมีผลต่อความเปียก เช่น การให้ความร้อน, ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือรีดักชัน, การทิ้งไว้ในบรรยากาศของก๊าซหรือไอ และการใช้สารเคมีปรับสภาพผิว เป็นต้น

กระบวนการผลิตโดยอัดก้อนแล้วจึงคาร์บอนไนซ์ (briquette carbonization) หรือคาร์บอนไนซ์ก่อนแล้ว อัดก้อนขณะร้อน (hot briquetting) ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วย เพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปถ่านหินมีปริมาณสารระเหยสูงกว่าร้อยละ 14 มักใช้การคาร์บอนไนซ์ส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดแล้วจึงอัดก้อน ซึ่งขั้นตอนนี้แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนในการผลิตคือ

1. การให้ความร้อนเตรียมถ่านหินก่อนป้อนเข้ากระบวนการ (thermal pretreatment of coal feed)
2. การอัดเป็นรูปก้อน (shaping)
3. การให้ความร้อนในขั้นตอนสุดท้าย (thermal after-treatment)

ขั้นตอนที่ 1 และ 3 ก็คือการคาร์บอนไนซ์ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 กระบวนการผลิตถ่านโค้กเทียมมีหลายร้อยกระบวนการ ยกตัวอย่างในตารางที่ 2.7 ซึ่งแบ่งเป็นการอัดก้อนขณะร้อน ใช้อุณหภูมิในช่วง 450-520 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ถ่านหินแข็ง (hard coal) เริ่มอ่อนตัว ถ่านหินจะปลดปล่อยก๊าซออกมาและแข็งตัวทันทีในช่วงเวลาอันสั้น มักใช้กับถ่านหินที่มีคุณสมบัติเยิ้มตัวผสมกับถ่านหินชนิดไม่เยิ้มตัว เพื่อช่วยประสานตัวกัน โดยอาจจะคาร์บอนไนซ์รวมกันหรือแยกกันแล้วแต่กระบวนการ หรือการอัดก้อนก่อน แล้วจึงให้ความร้อนในขั้นสุดท้าย (cold briquetting) การให้ความร้อนเป็นไปในรูปของการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ออบในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจน หรืออากาศ หรือกระบวนการที่ใช้ทั้ง 3 ขั้นตอนข้างต้นร่วมกัน

ตารางที่ 2.7 กระบวนการผลิตถ่านอัดก้อน หลาย ๆ กระบวนการในแต่ละประเทศ (16,18)

Briquette carbonization		ชนิดของถ่านหิน	วิธีการคาร์บอนไนซ์/วิธีการอัดก้อน	ผลผลิต	กำลังการผลิต
ชื่อกระบวนการ	ประเทศ				
Anthracine	ฝรั่งเศส	Anthracite fines	อัดก้อนโดยใช้พิทช์เป็นตัวประสานแล้วอบในเตาที่ 350-380 °C ในบรรยากาศที่มีอากาศ	ถ่านไร้ควัน	ล้านตัน/ปี
Synthracite	เนเธอร์แลนด์		อัดก้อนแล้วอบในเตา inclined kiln ที่ 300-350 °C ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน	ถ่านไร้ควัน	
INICHAR	เบลเยียม	all coals	อัดก้อนแล้วอบในเตา sand-bed ที่ 300-400 °C ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน โดยใช้พิทช์เป็นตัวประสาน	ถ่านไร้ควัน	
INTEX	เบลเยียม	Anthracitic และ low-volatile coals	อัดก้อนโดยใช้พิทช์เป็นตัวประสานแล้วคาร์บอนไนซ์ใน sand-bed kiln ที่ 500 °C แล้วอบให้เป็นถ่านโค้กที่ 1000 °C	ถ่านโค้ก-เทียม	100 ตัน/วัน
ICHPW	โปแลนด์	degassed coals หรือ noncaking coals	คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 800 °C บดให้เล็กลงถึง 3-4 มม. แล้วอัดก้อน; ออกซิไดซ์ถ่านอัดก้อนที่ 200-300 °C	ถ่านโค้ก-เทียม	หลายโรงงาน
FMC	สหรัฐอเมริกา	high-volatile coals และ other coals	ออกซิไดซ์ถ่านผงแล้วคาร์บอนไนซ์ในฟลูอิดไต์เบดที่อุณหภูมิต่ำและแคลไซน์ที่ 800 °C ในเตา Shaft kiln	ถ่านโค้ก	250 ตัน/วัน

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

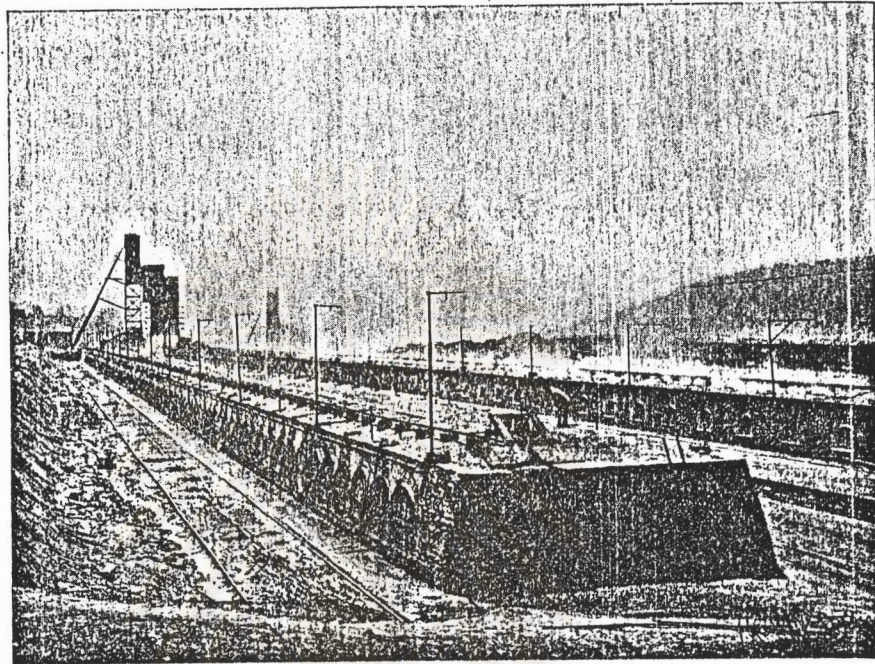
ชื่อกระบวนการ	ประเทศ	ชนิดของถ่านหิน	วิธีการคาร์บอนซ์/วิธีการอัดก้อน	ผลผลิต	กำลังการผลิต
ICEM	รומาเนีย	degassed coals	อัดก้อนโดยใช้ถ่านเป็นตัวประสาน อบใน tunnel kiln ที่ 247-270 ^o ซ ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน	ถ่านอัดก้อน คุณภาพ ต่าง ๆ ขึ้น อยู่กับวิธี และตัว ประสาน	
AUSCOKE	ออสเตรเลีย		อัดก้อนแล้วอบในฟลูอิดไธซ์เบดแล้วคาร์บอนซ์ในเตา Shaft furnace ที่ 1050 ^o ซ	ถ่านโค้ก	100ตัน/วัน
H.B.N.P.C.	ฝรั่งเศส	Anthracite หรือ low-volatile briquettes	อัดก้อนแล้วคาร์บอนซ์ใน flushing-gas Kiln ใช้ถ่านระเหยเป็นเชื้อเพลิง	ถ่านไร้ควัน	150ตัน/วัน
DKS	ญี่ปุ่น	noncaking coals	อัดก้อนโดยใช้ถ่านหรือปีโตรเลียมเป็นตัวประสาน, คาร์บอนซ์ในเตา inclined-floor horizontal chamber oven	ถ่านโค้ก- เทียม	140ตัน/วัน
<u>Hot Briquetting</u>					
IGI (Sapozhnikov)	รัสเซีย		อบถ่านหินบดอบแห้งให้ร้อนจนถึงจุดอ่อนตัว 420-450 ^o ซ ในฟลูอิดไธซ์เบด; อัดด้วย roll press ที่ความดัน 0.5 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร	ถ่านไร้ควัน ถ่านโค้ก- เทียม (ถ้าคาร์บอนซ์ต่อ)	400ตัน/วัน

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ชื่อกระบวนการ	ประเทศ	ชนิดของถ่านหิน	วิธีการคาร์บอนไนซ์/วิธีการอัดก้อน	ผลผลิต	กำลังการผลิต
NCB	อังกฤษ	high volatile coal	คาร์บอนไนซ์ถ่านหินชนิดที่ 420 ^o ช ในฟลูอิดไธด์เบดแล้ว อัดก้อนขณะร้อน	ถ่านไร้ควัน	2 โรงงาน 1 ล้านตัน/ปี และ 2.5 ล้าน ตัน/ปี
BFL	เยอรมันนี	all coals & caking			
	ตะวันตก	bituminous coals	คาร์บอนไนซ์ถ่านหินชนิดแรกในฟลูอิดไธด์เบดที่ 750 ^o ช	ถ่านโค้กเทียม	300ตัน/วัน
	อังกฤษ		ผสมกับถ่านหินชนิดที่สองที่ 420-480 ^o ช แล้วอัดก้อน	ถ่านไร้ควัน	650ตัน/วัน
Ancit	เยอรมันนี	noncaking coals และ	อบถ่านหินชนิดแรก (70 %) ที่ 600 ^o ช ผสมกับถ่าน	ถ่านไร้ควัน	250ตัน/วัน
	ตะวันตก	caking coals	หินชนิดที่สองที่ 460-520 ^o ช แล้วอัดก้อน; อาจอบ ถ่านอัดก้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงทำให้เป็นถ่านโค้ก เทียม	ถ่านโค้กเทียม	
CRIJ	ญี่ปุ่น	noncaking และ caking coal	อบในฟลูอิดไธด์เบดที่อุณหภูมิต่างกัน แล้วนำมาผสมกัน ; อัดก้อนแล้วคาร์บอนไนซ์ใน circular furnace	ถ่านโค้กเทียม	2 ตัน/ชม.
NIPR	ญี่ปุ่น	noncaking และ caking coals	คล้ายกับกระบวนการ CRIJ แต่ใช้ shaft furnace	ถ่านโค้กเทียม	2ตัน/วัน
UKHIN	รัสเซีย		คาร์บอนไนซ์บางส่วน, อัดก้อนแล้วอบเป็นถ่านโค้ก	ถ่านโค้กเทียม	300ตัน/วัน
CCC-BNR	อเมริกา		ทำให้ร้อนอัดก้อนแล้วคาร์บอนไนซ์	ถ่านโค้กเทียม	450ตัน/วัน

2.5 สำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่ผ่านมา

การปรับปรุงคุณภาพถ่านหินในระยะแรกเป็นการคาร์บอนไอซ์ที่อุณหภูมิสูง เพื่อผลิตถ่าน
โค้กแข็งจากถ่านหินบิทูมินัสในเตาแบบ Beehive oven ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เตาแบบ Beehive oven ที่ Isabella plant ของบริษัท
Hecla Coal and Coke (11)

เตาแบบนี้ให้ถ่านโค้กแข็งคุณภาพดี แต่ไม่ได้นำผลิตภัณฑ์อื่นมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ซึ่ง
ได้มีการพัฒนาเตาแบบใหม่ ๆ ที่ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เช่น นำก๊าซถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อ
เพลิงในการผลิต และใช้เวลาในการผลิตให้น้อยลงเป็นต้น มีกระบวนการเกิดขึ้นมากมาย
แตกต่างกันตามลักษณะรีทอร์ทของผู้คิดค้น มีทั้งแบบตั้งตรงในแนวตั้ง (vertical retort)
และแบบวางในแนวนอน (horizontal retort) ซึ่งลักษณะการทำงานก็แตกต่างกันเป็น
2 ลักษณะ คือ ทำงานแบบต่อเนื่อง และแบบเป็นช่วง ๆ นอกจากนี้อาจแตกต่างกันตามลักษณะ
ของการให้ความร้อน คือ ทางตรงและทางอ้อม ดังตารางที่ 2.5 และอาจใช้เทคนิคฟลูอิดไอเซ-
ชันเข้าร่วมในการคาร์บอนไอซ์ และยังมีกระบวนการคาร์บอนไอซ์ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อเน้นการผลิต
น้ำมันทาร์ และถ่านไร้ควัน ได้แก่กระบวนการของ Lurgi, Coalite และ Rexco
เป็นต้น (19) ซึ่งก็เนื่องมาจากถ่านหินที่สามารถผลิตถ่านโค้กแข็งได้มีอยู่น้อย โดยเฉพาะใน

ประเทศไทย ไม่พบถ่านหินชนิดนี้เลย จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตถ่านโค้กเทียม โดยใช้เทคนิคการอัดก้อนเข้าร่วม มีประเทศที่ประสบความสำเร็จในการผลิตขั้นอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน เช่น สหรัฐอเมริกา โดยบริษัท FMC Corporation, สหสาธารณรัฐเยอรมันโดยบริษัท Bergbau-Forschung and Lurgi, สหราชอาณาจักรอังกฤษโดยบริษัท British steel ด้วยกรรมวิธีเดียวกันของประเทศเยอรมัน และประเทศญี่ปุ่นก็เป็นผู้ผลิตถ่านโค้กเทียมได้มากเกือบเท่าสหรัฐอเมริกา ทั้ง ๆ ที่ต้องสั่งซื้อถ่านหินจากประเทศอื่นด้วย

งานค้นคว้าและวิจัยที่เป็นผลงานในประเทศไทยทั้งภายในมหาวิทยาลัย และจากสถาบันของรัฐ เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพถ่านหินในประเทศได้แก่ งานวิจัยวิทยานิพนธ์ ของ ผศ.กามาศ (20) ทดลองคาร์บอนไนซ์ถ่านหิน 3 แหล่งคือ แหล่งลี่ แม่เมาะ และบางปูตาขนาด เล็กกว่า 4.76 มิลลิเมตร ในช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 900 องศาเซลเซียส ทุกระดับ 100 องศาเซลเซียส ศึกษาปริมาณของผลิตภัณฑ์จากการคาร์บอนไนซ์ และคุณสมบัติของถ่านชาร์ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ผลจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ได้ปริมาณถ่านชาร์ลดลง ก๊าซเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำมันทาร์และน้ำมันเบาใกล้เคียงกันเพราะปริมาณของเหลว จากการสลายตัวยังขึ้นกับตัวแปรอื่น ๆ อีก ผลการวิเคราะห์ถ่านชาร์แบบประมาณพบว่ามีค่าถ่านคงตัว และถ่านสูงตามอุณหภูมิ ถ่านหินแหล่งลี่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ ถ่านและกัมมะถันต่ำ ส่วนค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวสูง เมื่อคาร์บอนไนซ์แล้ว ถ่านชาร์จากแหล่งลี่ จึงมีคุณสมบัติที่ดูตรงลงมาคือ แม่เมาะ และบางปูตา ดังนั้นถ่านหินแหล่งลี่จึงเหมาะที่จะนำไปผลิตถ่านโค้กเทียม ส่วนแหล่งบางปูตามีค่าสารระเหยสูง จึงเหมาะที่จะผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (21) วิจัยการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากลิกไนท์ แหล่งแม่เมาะ และบางปูตา ขนาดเดียวกับงานวิจัยแรก แต่ทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และแคลไซน์ (calcine) ที่ 900 องศาเซลเซียส บดถ่านชาร์ที่ได้ให้มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ผลลัมกับตัวประสานคือ แอลพีลที่อัดก้อนเป็นถ่านโค้กเทียม มีคุณภาพดีเท่าเทียมกับถ่านโค้กเทียมจากต่างประเทศ สำนักงานพลังงานแห่งชาติ (22) พัฒนาถ่านหินแหล่งลี่ ซึ่งมีคุณภาพดี ให้ใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่ากว่าการเผาไหม้โดยตรง เช่น การพัฒนาถ่านโค้กจากถ่านลิกไนท์ ให้ผลเทียบเท่ากับถ่านโค้กเทียมจากญี่ปุ่น เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหนัก การอัดก้อนถ่านลิกไนท์ผง ซึ่งเหลือใช้จากการผลิตและขนส่งด้วยเครื่อง Ring roll โดยไม่ใช้ตัวประสาน ได้ผลดีพอสมควร

งานวิจัยคาร์บอนไอซ์ถ่านก้อนเป็นถ่านอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ถ่านอบมีคุณสมบัติคล้ายถ่านไม้ ทั้งยังดีกว่าในแง่ของการติดไฟได้นานกว่า และเผาไม่ฟุ้ง และทดลองนำถ่านอบผงที่เกิดขึ้นมาอัดก้อนด้วยเครื่องเดิม แต่ใช้ตัวประสาน คือ แป้งเปียก และกากน้ำตาล พบว่าตัวประสานที่เป็นกากน้ำตาลให้ค่าความร้อนของถ่านอบอัดก้อนสูงกว่า และเผาต่ำกว่าแป้งเปียก แต่ต้องใช้ตัวประสานมากถึง 5 ส่วนต่อถ่าน 3 ส่วน ทั้งยังติดแบบอัดทำให้ผลผลิตต่ำลง ส่วนแป้งเปียก (แป้ง 3 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน) ใช้เพียง 1 ส่วน ต่อถ่าน 2 ส่วน นอกจากนี้มีงานวิจัยการคาร์บอนไอซ์ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อผลิตถ่านไร้ควัน และน้ำมัน (23) โดยคาร์บอนไอซ์ถ่านหินแหล่งลี และแม่เมาะขนาด 2 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส ทูกระดับ 50 องศาเซลเซียส ในรีทอร์ทแบบพีชเชอร์ ศึกษาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ วิเคราะห์ถ่านหินและถ่านชาร์ และวิเคราะห์น้ำมันถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM ผลการทดลองถ่านหินแหล่งลีดีกว่าแม่เมาะ และให้น้ำมันที่ร่งกว่า ถ่านชาร์ที่ได้จุดไฟได้เปลวไม่มีเขม่าเมาะที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน และอุตสาหกรรมบางประเภทที่ใช้เตาแบบเตาเปิด แต่มีกัมมะถันสูงกว่าถ่านหินก่อนคาร์บอนไอซ์

งานวิจัยในต่างประเทศนั้น เนื่องจากกระบวนการคาร์บอนไอซ์เช่น ถูกพัฒนาจนเป็นการผลิตในขั้นอุตสาหกรรมแล้ว งานวิจัยจึงเป็นไปในด้านการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น ตลอดจนใช้เทคนิคอื่น ๆ เข้าช่วย เช่น ฟลูอิดเซชัน, flash pyrolysis หรือ rapid pyrolysis เพื่อเพิ่มผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงก๊าซ และของเหลว (24,25,26) และ hydrolysis เป็นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วเช่นกันในก๊าซไฮโดรเจน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย น้ำมันนาร์ และของเหลวเบา รวมทั้งอะโรเมติกวงเดี่ยว ๆ และก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นมีเทน เป็นส่วนใหญ่หรือเรียกว่า hydrogasification ในงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการมีการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่ เวลา อัตราการให้ความร้อน ความดัน ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจน และขนาดของถ่านหิน งานวิจัยเพื่อผลิตถ่านชาร์จากการไพโรไลซ์ถ่านหินที่อุณหภูมิต่ำ (27) ด้วยกระบวนการ TOSCOAL ซึ่งมาจากกระบวนการ TOSCO II ที่ใช้รีทอร์ทหินน้ำมัน ให้ความร้อนทางอ้อมผ่านลูกบอลเซรามิค ซึ่งได้รับความร้อนจากฟลูก๊าซ ทำให้ถ่านหินเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 482 องศาเซลเซียส ได้ถ่านชาร์ที่มีคุณภาพดีมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซ ในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการใช้งานกับถ่านหินชนิดต่าง ๆ ผลของอุณหภูมิของรีทอร์ท ขนาดของถ่านหิน และพารามิเตอร์อื่น ๆ

เพื่อพัฒนากระบวนการด้วย

งานวิจัยการวัดค่าความร้อนในการคาร์บอนไนซ์ (28) โดยแคลอริมิเตอร์แบบอะเดียเบติก (Adiabatic coking calorimeter) เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการใช้ความร้อนสำหรับคาร์บอนไนซ์ และหาเวลาที่ใช้ (Coking time) ของถ่านหินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีสารระเหยต่างกันพบว่าค่าความร้อนดังกล่าวไม่แตกต่างกัน แต่ช่วงเวลาที่ใช้ในการเกิดโค้กที่ 982 องศาเซลเซียสต่างกัน คือพวกถ่านหินที่มีสารระเหยน้อยจะใช้เวลามากกว่า นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยผลิตถ่านโค้กจากถ่านหินที่ไม่เกาะตัวเป็นเค้ก โดยผสมกับถ่านหินที่เกาะตัวเป็นเค้ก (29) คาร์บอนไนซ์ในเตาขนาด 7 กิโลกรัม ในปริมาณร้อยละ 15-40 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ความแข็งแรงของโค้กเพิ่มขึ้นเท่า ๆ กับถ่านโค้ก ที่ใช้ในเตาแบบพ่นลมใหญ่ ๆ แม้รพุนจะลดลงบ้างร้อยละ 1 ถึง 8 ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยายังคงเดิม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ประสบความสำเร็จในขั้นจดทะเบียนสิทธิบัตร (Patent) มากมาย เช่น การสร้างรีทอร์ทเดี่ยว เพื่อผลิตถ่านชาร์ที่มีค่า และก๊าซ (30) จากถ่านหินชนิดไม่เกาะตัวเป็นเค้ก ด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ คาร์บอนไนซ์ถ่านหิน ขนาดครึ่งนิ้วที่อุณหภูมิ 482 องศาเซลเซียส เพื่อไล่สารระเหย และแคลไซน์ถ่านชาร์ในบรรยากาศก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 760-815 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มคุณค่าของก๊าซและไต่ฮาร์ที่ถูกแคลไซน์แล้วมีค่าสารระเหยต่ำกว่าร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ส่วนการอัดก้อนก็ได้พัฒนา ทั้งถ่านหินอัดก้อน และถ่านชาร์อัดก้อนที่อุณหภูมิต่ำ และการคิดค้นตัวประสานใหม่ ๆ เพื่อให้การอัดก้อนดี และช่วยในการเผาไหม้ด้วย เช่น สิทธิบัตรการผลิตถ่านหินอัดก้อน (31) โดยใช้หินปูน (CaCO_3), ปูนขาว (CaO) หรือ โดโลไมต์ (dolomite) ซึ่งเป็นส่วนผสมของหินปูนและเกลือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) เพื่อช่วยลดกำมะถันในก๊าซจากการเผาไหม้เพราะเกลือเหล่านี้ จะจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของกำมะถันคงอยู่ในถ้ำ ทั้งตัวประสานเหล่านี้ช่วยในการอัดก้อนได้ง่าย, มีราคาถูก นอกจากนี้ก็เป็นการพัฒนากระบวนการในการอัดก้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ให้ดีและคุ้มค่ากับการลงทุน