



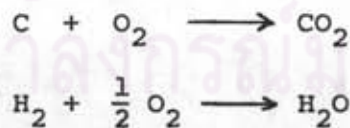
2.1 แหล่งพลังงาน

แหล่งพลังงานที่มนุษย์นำมาใช้ตั้งแต่ในอดีตจนถึงในปัจจุบันนั้น ส่วนใหญ่ได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งความจริงแล้วมีแหล่งพลังงานอื่น ๆ อีกมากมายหลายชนิดด้วยกัน Macrae (8) ได้แบ่งแหล่งพลังงานทั้งหมดออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. แหล่งพลังงานที่ได้จากแรงทางธรรมชาติ เช่นจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งให้ผ่านตัวกลางเช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานจากแสงอาทิตย์
2. แหล่งพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งอาจเป็นไต้หังของแข็ง ของเหลวและก๊าซ
3. แหล่งพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์

2.2 เชื้อเพลิง

Macrae ได้ให้คำจำกัดความคำว่าเชื้อเพลิงคือสารใด ๆ ก็ตามที่สามารถปลดปล่อยความร้อนออกมา โดยปกติเป็นสารพวกที่ประกอบด้วยคาร์บอน ซึ่งเผาไหม้ได้ง่ายในอากาศและควบคุมการปลดปล่อยความร้อนได้ง่าย เชื้อเพลิงที่สำคัญ คือสารประกอบคาร์บอนและอาจกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาพื้นฐานในการเผาไหม้เชื้อเพลิงคือ



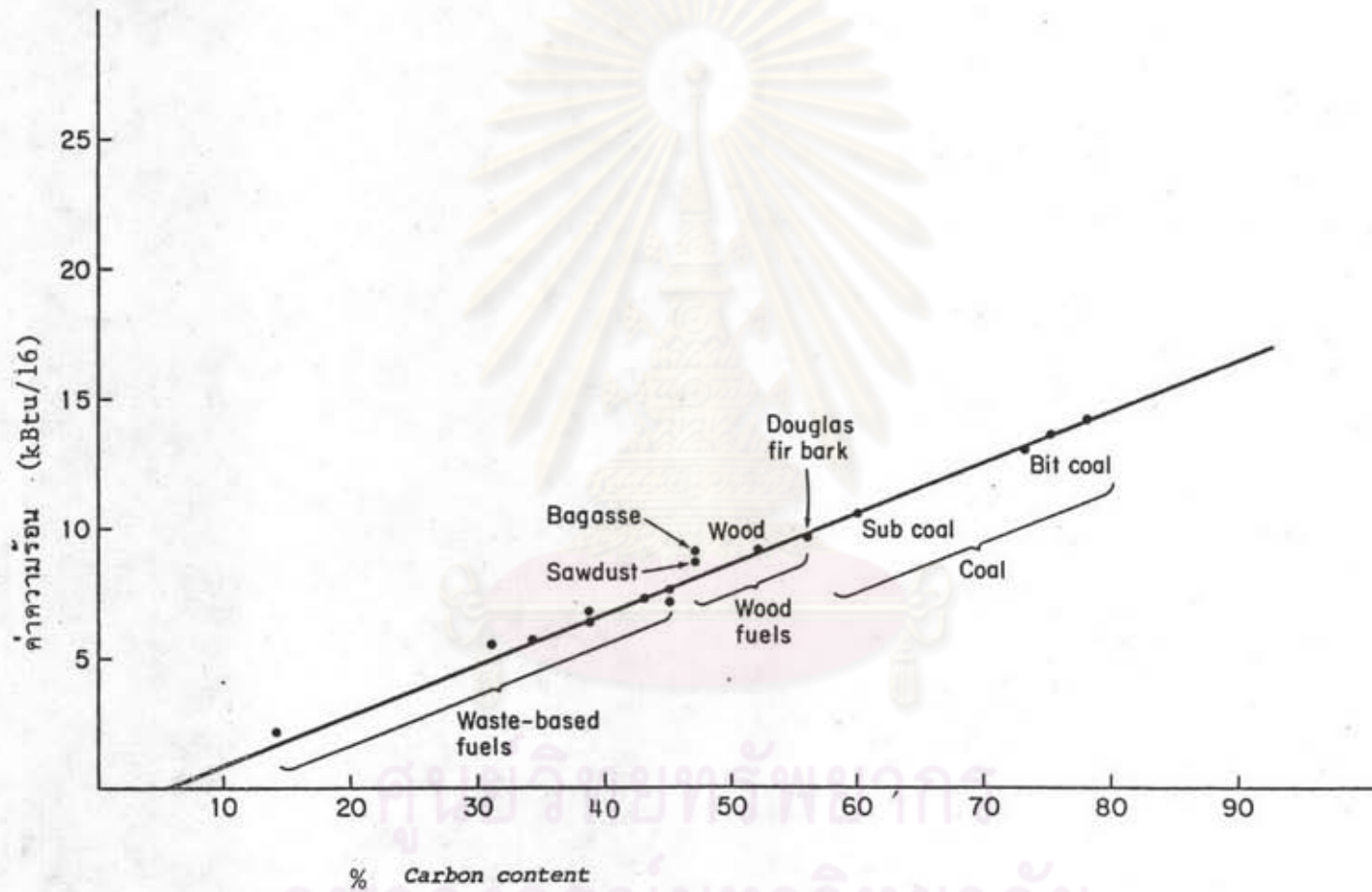
ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองเป็นแบบคายความร้อน (exothermic) (9) หรือคือพลังงานในรูปความร้อนที่เรานำไปใช้ประโยชน์นั่นเอง ดังนั้นจะเห็นว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน (carbon content) และไฮโดรเจนที่มีอยู่ แต่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าไฮโดรเจนอยู่มาก ดังตารางที่ 2.1 ปริมาณคาร์บอน จึงเป็นตรรกะที่ให้ให้เห็นถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น ๆ ดังรูปที่ 2.1 (10)

ตารางที่ 2.1

ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ (10)

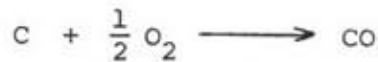
Fuel material	Ultimate Analysis (dry wt basis)						Btu/ lb
	C	H	O	N	S	Ash	
Utah coal	77.9	6.0	9.9	1.5	0.6	4.1	14,170
Pittsburgh coal #1	75.5	5.0	4.9	1.2	3.1	10.3	13,650
Pittsburgh coal #2	73.3	5.3	10.2	0.7	2.8	7.6	13,097
Wyoming coal	70.0	4.3	20.2	0.7	1.0	13.8	14,410
Douglas fir bark	56.2	5.9	36.7	0.0	0.0	1.2	9,500
Wood	52.0	6.3	40.5	0.1	0.0	1.0	9,000
Pine bark	52.3	5.8	38.8	0.2	0.0	2.9	8,780
Bagasse	47.3	5.1	35.3	0.0	0.0	11.3	9,140
Raw sewage	45.5	6.8	25.8	2.4	0.5	19.0	7,080
Bovine waste	42.7	5.5	31.3	2.4	0.3	17.8	7,380
Rice hulls	38.5	5.7	39.8	0.5	0.0	15.5	6,610
Rice straw	39.2	5.1	35.8	0.6	0.1	19.2	6,540
MSW	33.9	4.6	22.4	0.7	0.4	38.0	5,645
Paper mill sludge	30.9	7.2	51.2	0.5	0.2	10.2	5,350
Sewage sludge	14.2	2.1	10.5	1.1	0.7	71.4	2,040

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ (10)

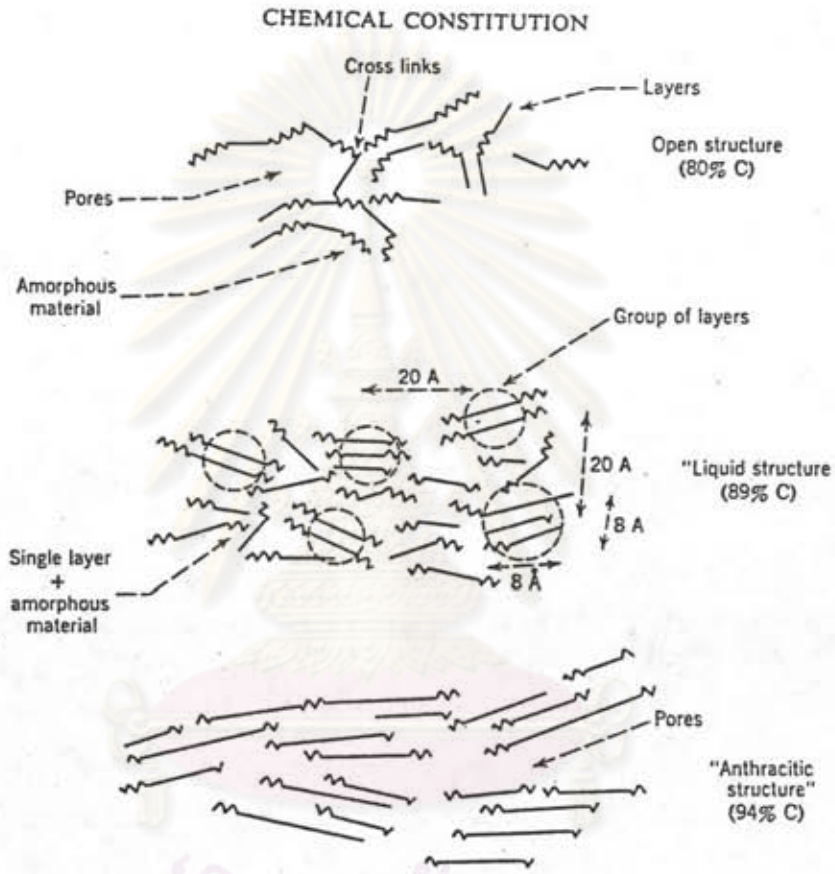
ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนได้เกิดเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น แต่จะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ด้วย ดังนี้



ส่วนจะเกิดปฏิกิริยาใดมากกว่ากันนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยที่ปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการก็คือคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะว่าปฏิกิริยานี้จะให้ความร้อนออกมามากกว่า ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนและออกซิเจนนั้นจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการแพร่ของออกซิเจน (11)

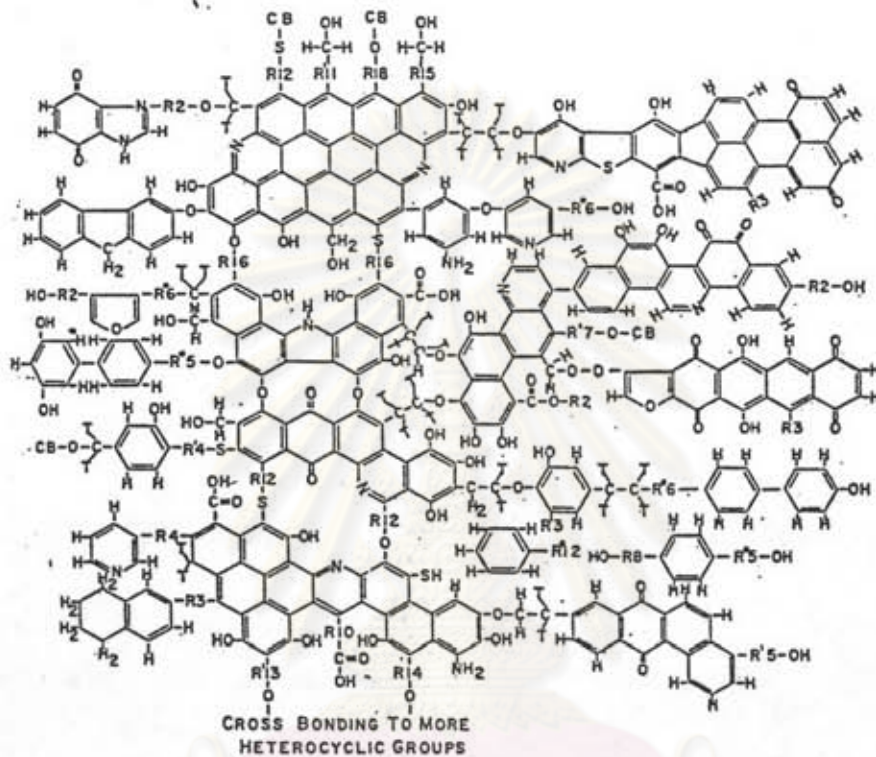
2.3 ถ่านหิน

ถ่านหินเป็น เชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากพืชที่ล้มตายทับถมกันเป็นเวลานานนับร้อยล้านปี ถ่านหินที่มีอายุมากที่สุดประมาณว่ามากกว่า 250 ล้านปี ส่วนที่มีอายุน้อยที่สุดประมาณ 20 ล้านปี โดยที่อินทรีย์สัต์ว์เล็ก ๆ (microorganism) ทำการย่อยสลายชิ้นส่วนของต้นไม้ที่ล้มตายลง ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในสภาวะที่ไม่มีอากาศ (anaerobic condition) และบริเวณนั้นเป็นน้ำขังนิ่ง (stagnant water) ก็จะเกิดเป็นชั้นของฟิทชัน และเมื่อชั้นฟิทชันถูกฝังทำให้อัดแน่นจนไล่ไอน้ำที่รวมอยู่กับฟิท ประกอบกับความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งใช้เวลานานนับล้าน ๆ ปี ฟิทก็จะเปลี่ยนเป็นลิกไนท์และมิกค์กดี (rank) สูงขึ้นจนถึงแอนทราไซต์ ส่วนประกอบของถ่านหินคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์และไนโตรเจน ซึ่งรวมกันเป็น functional groups เช่น OH, CO, COOH, NH₂, CN, S, SH ฯลฯ (12) ส่วนโครงสร้างทางเคมีของถ่านหิน หรือสูตรโมเลกุลของถ่านหินนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน แต่ได้มีความพยายามศึกษาถึงโครงสร้างทางเคมีของถ่านหินนานมาแล้ว เช่นในปี 1954 Hirsh ได้ศึกษาโดยวิธี X-ray diffraction ได้ให้ โมเดล ของถ่านหินดังรูปที่ 2.2 (13) ต่อมาในปี 1966 M.G. Huntington ได้ให้ตัวอย่างของโครงสร้างของถ่านหินที่มีสารระเหยสูง (high volatile coal) ดังรูปที่ 2.3 และในปี 1981 ตามความเข้าใจของนักวิทยาศาสตร์ โครงสร้างของถ่านหินจะเป็นดังรูปที่ 2.4 (14) อย่างไรก็ตามแม้ว่าโครงสร้างของถ่านหินยังไม่ทราบเป็นที่แน่นอนก็ตาม ความเชื่อที่มีมานานแล้วก็คือโครงสร้างของถ่านหินประกอบด้วยกลุ่มโมเลกุลวงแหวนอะโรมาติก (aromatic) (12,13,14)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.2 โมเดลของถ่านหินตามแบบของ Hirsh (13)



$R^{\circ}N$ = Alicyclic rings of N carbons.

RN = Alkyl side chain of N carbons.

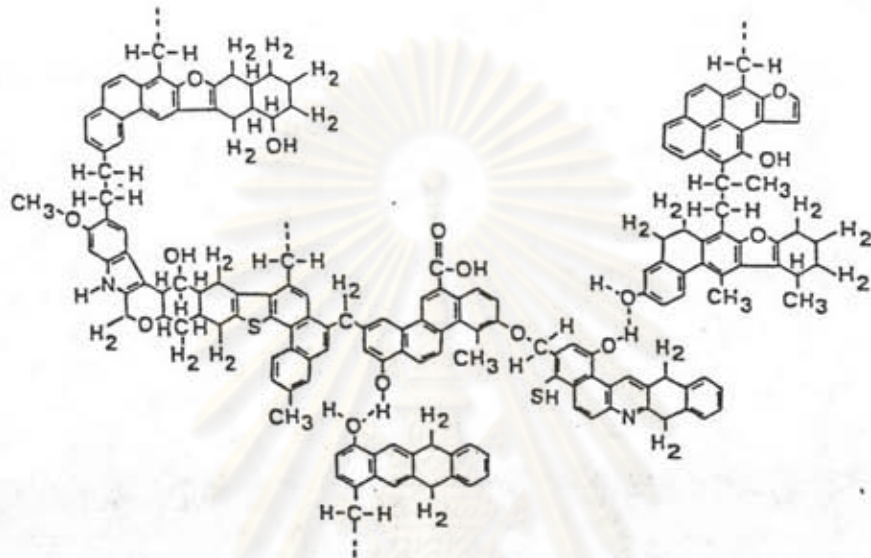
$R'N$ = Unsaturated alkyl side chain of N carbons.

CB = Cross bonding by O or S to new heterocyclic groups with side chains.

T = Tetrahedral 3 dimensional C-C bonds, C-O bonds and C-S bonds.

รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของถ่านหินที่มีล้าระเหยมากตามแบบของ

M.G. Huntington (12)



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

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 รูปที่ 2.4 โมเลกุลสมบูรณ์ของถ่านหิน (14)

2.3.1 การแบ่งชนิดถ่านหิน

ถ่านหินมีความแตกต่างกันในทางกายภาพและเคมี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารต้นกำเนิด อัตราการเปลี่ยนแปลงและปริมาณเท่า การแบ่งแยกถ่านหินสามารถพิจารณาได้ 2 กรณีคือ ตามคุณสมบัติทางกายภาพ ศึกษาในรายละเอียดโดยกล้องจุลทรรศน์ และในด้านองค์ประกอบทางเคมี โดยการวิเคราะห์

การศึกษาด้านกายภาพ อาศัยคุณสมบัติเกี่ยวกับแสง เช่นการใช้เทคนิคการสะท้อนแสง หรือการทะลุผ่านของแสง สามารถแบ่งมาเชอรอล (maceral) ซึ่งประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็น 3 กลุ่มคือ วิตริไนท์ (Vitrinite) เอ็กซีไนท์ (Exinite) อีเนอร์ติไนท์ (Enertinite) (5)

การศึกษาทางด้านองค์ประกอบทางเคมีแบ่งได้ 2 แบบคือ วิเคราะห์หาปริมาณธาตุทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในถ่านหินและวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มชั้นคุณภาพของถ่านหิน วิธีนี้เป็นการหาค่ากลุ่มองค์ประกอบสำคัญ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเช่นคาร์บอนคงที่ สารระเหย ความชื้น เถ้า กำมะถัน และค่าความร้อน ค่าต่าง ๆ ที่ได้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาชั้นคุณภาพของถ่านหินซึ่งแบ่งได้ 4 ชั้นใหญ่ ๆ ดังนี้คือ ลิกไนท์ ซับบิทูมินัส บิทูมินัส แอนทราไซต์ เรียงจากคุณภาพต่ำถึงสูง ดังตารางที่ 2.2 (15)

2.3.2 มลภาวะจากถ่านหิน

มลสารในอากาศปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ ประมาณ 90 % ของมลสารเหล่านี้มี 5 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนตริกออกไซด์ อนุภาคมลสาร (particulate) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเฉพาะ 3 อย่างสุดท้ายที่เกี่ยวข้องกับถ่านหินเนื่องจาก เถ้า ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ ดังนี้คือ (16)

2.3.2.1 อนุภาคมลสาร (Particulates)

คำว่า "อนุภาคมลสาร" ได้แก่มลสารใด ๆ ในบรรยากาศหรือไอเสียบ ซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งหรือของเหลวที่อุณหภูมิและความดันปกติ ทั้งนี้ยกเว้น ไออน้ำ อนุภาคมลสาร มีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอนลงไปต่ำกว่า 0.1 ไมครอน คำที่ใช้เรียกทั่ว ๆ ไปได้แก่ ฝุ่นละออง เถ้า หมอกควัน และสเปรย์ จะเห็นได้ว่าอนุภาคมลสารที่เกิดจากถ่านหินก็คือ เถ้าและควัน

2.3.2.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ไนโตรเจนออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาของไนโตรเจนกับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 2.2 การแบ่งถ่านหินตามคักดี โดยวิธี ASTM D 388 (15)

Class	Group	Fixed Carbon Limits, percent (Dry, Mineral-Matter-Free Basis)		Volatile Matter Limits, percent (Dry, Mineral-Matter-Free Basis)		Calorific Value Limits, Btu per pound (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. Semianthracite ^c	86	92	8	14	...	...
II. Bituminous	1. Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	commonly agglomerating ^e
	2. Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...
	3. High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^d	...	
	4. High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^d	14 000
	5. High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	11 500	13 000
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. Lignitic	1. Lignite A	6 300	8 300	nonagglomerating
	2. Lignite B	...	...	...	...	...	6 300

^a This classification does not include a few coals, principally nonbanded 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 of these coals either contain less than 48 % dry, mineral-matter-free fixed carbon or have more than 15 500 moist, mineral-matter-free British thermal units per pound.

^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 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

(ประมาณ 1500^0 ฟ) หรือจากปฏิกิริยาแรดิคอล (radical reaction) ของเชื้อเพลิง ไนโตรเจน (fuel nitrogen) การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ได้มีการศึกษาอย่างมากและพยายามลดปัญหาลง ที่สำคัญก็คือใช้จุดหมึกที่ต่ำกว่าหรือพยายามลดจุดที่มีจุดหมึกสูง (hot spot) ซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ

1. ลดปริมาณอากาศที่เกินพอ (excess air)
2. ลดอัตราการเผาไหม้ (firing rate)
3. ลดจุดหมึกเปลวที่สูง ๆ (flame temperature peak) (17)

2.3.2.3 ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x)

ปัญหาที่รุนแรงที่สุดของถ่านหินก็คือ มลภาวะจากซัลเฟอร์ออกไซด์ ซึ่งออกไซด์นี้เกิดจากกำมะถันอินทรีย์ และกำมะถันอนินทรีย์ สำหรับกำมะถันอนินทรีย์นั้น ส่วนใหญ่เป็นไพไรต์ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เกิดจากการออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) คล้ายกับการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งควบคุมโดยการลดอากาศที่เกินพอ แต่ว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่สามารถควบคุมได้ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีไอ ไม่มีระเบิด (ที่ระดับ 0.3-1.0 ส่นล.) ก๊าซนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ซึ่งรวมตัวโดยเร็วกับความชื้นในบรรยากาศเกิดเป็นกรดกำมะถัน

2.3.3 วิธีการยัดกำมะถันในถ่านหิน

โดยปกติแบ่งกำมะถันในถ่านหินออกเป็น 2 หมู่ คือ กำมะถันอนินทรีย์และกำมะถันอินทรีย์ ส่วนใหญ่มักแสดงปริมาณกำมะถันของถ่านหินในรูป กำมะถันรวม กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันอินทรีย์ และจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าการที่มีกำมะถันประกอบอยู่ในถ่านหินปริมาณสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาในด้านสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ และปัญหาในด้านการกัดกร่อนอย่างมาก จึงควรศึกษาหาวิธีการยัดกำมะถันเพื่อให้ปริมาณกำมะถันในถ่านหินลดน้อยลงพอจะแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ได้ดังต่อไปนี้

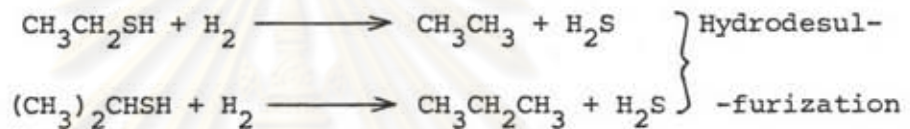
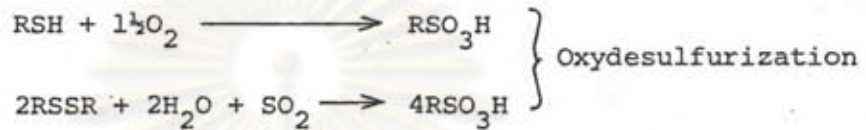
2.3.3.1 วิธีการยัดกำมะถันก่อนการเผาไหม้

ก. วิธีทางกายภาพ เป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ซับซ้อนแต่ยัดได้เฉพาะกำมะถันอนินทรีย์ (inorganic sulfur) เท่านั้น โดยอาศัยหลักของความแตกต่างของความ

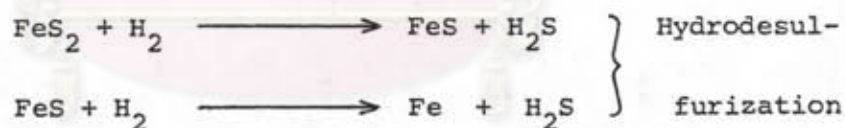
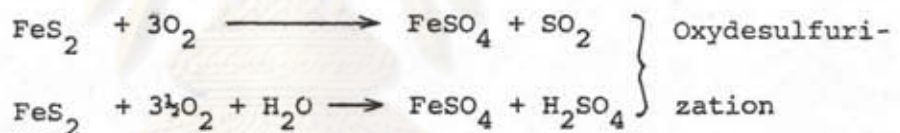
ถ่วงค่าเพาะ คือถ่านหินมีความถ่วงค่าเพาะประมาณ 3 ส่วนกำมะถันไพไรต์มีค่าความถ่วงค่าเพาะประมาณ 5 ซึ่งค่าใช้จ่ายต่ำ นอกจากนี้ยังมีการแยกกำมะถันออกโดยไฮม์เหล็ก ซึ่งยศาสตร์ได้เฉพาะกำมะถันไพไรต์เท่านั้น เพราะเป็นสารประกอบโลหะจึงถูกสกัดด้วยแม่เหล็ก (18)

ย. วิธีทางเคมี มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น ไฮโดรดีซัลไฟไรเซชัน (Hydrodesulfurization) และออกซิไดซัลไฟไรเซชัน (Oxydesulfurization) โดยใช้อาศัยไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยา เช่น

วิธีสกัดกำมะถันอินทรีย์



วิธีสกัดกำมะถันไพไรต์



(19)

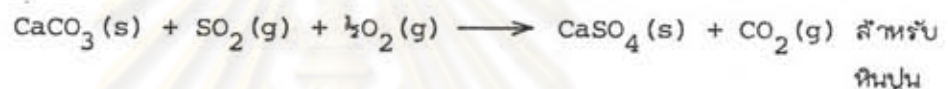
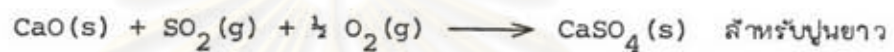
ส่วนกำมะถันในรูปของซัลเฟตนั้นจะไม่ทำปฏิกิริยาและค้างอยู่ในตัวนั่นเอง

2.3.3.2 วิธีสกัดกำมะถันขณะเผาไหม้

ก. โดยที่วิธีการทำให้เป็นก๊าซ และวิธีการทำให้เป็นของเหลว นั้น เป็นกรณีพิเศษ เพราะเป็นกระบวนการ ที่เปลี่ยนถ่านหินให้เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซและเชื้อเพลิงเหลว (gaseous and liquid fuels) และกำมะถันจะถูกยศาสตร์ไปพร้อม ๆ กันเลย เช่นในกระบวนการทำให้เป็นก๊าซซัลเฟอร์ปิกดิจะกลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งยศาสตร์ได้ง่ายกว่า (17) นอกจากนี้ในการผลิตถ่านโค้ก ขณะที่ให้ความร้อนกับถ่านหินจะเกิดสารประกอบของซัลเฟอร์ เช่น H_2S และ

CH_3SH และผลก็คือปริมาณกำมะถันในถ่านอบหรือถ่านชาร์ (char) มีปริมาณลดลง กำมะถันที่ถูกขจัดส่วนใหญ่คือ ไพไรต์ ในการขจัดกำมะถันขณะทำการคาร์บอนไนเซชัน โดยการเติม AlCl_3 เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพดีที่ต่ำสุด (18)

ย. วิธีอื่น ๆ เช่น โดยการใส่ปูนขาว (lime) หินปูน (limestone) โดโลไมต์ (dolomite) อาจใช้กับการเผาไหม้แบบฟลูอิดไอดีเบด (fluidized-bed combustion) โดยบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กกว่า 1 มม. แล้วผสมกับปูนขาวหรือหินปูนหรือโดโลไมต์ขณะเผาไหม้ถ่านหิน ขณะเผาไหม้ถ่านหินจะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งจะถูกลดตามปฏิกิริยาดังนี้



ซึ่งจะเห็นว่าเป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซและของแข็ง ดังนั้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นหรือไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวหรือการสัมผัสของสารทั้งสอง ส่วนกำมะถันในถ่านหินจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) เป็นของแข็งซึ่งจะก่อให้เกิดเก้าและมลสารอื่นฟุ้งกระจาย แต่สามารถขจัดได้ง่ายโดยใช้เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) และถุงกรอง (bag filter) เป็นต้น

นอกจากนี้อาจใช้ผสมกับถ่านหินแล้วทำเป็นเชื้อเพลิงแข็งอัดก้อน โดยแคลเซียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นจะเหลืออยู่ในเก้าหลังการเผาไหม้เอง

2.3.3.3 วิธีการขจัดกำมะถันหลังการเผาไหม้

วิธีหนึ่งที่ทำได้คือ flue-gas scrubbing ทำได้โดยให้ฟลูเอียสไหลผ่านสารละลายของปูนขาวหรือหินปูน ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับ CaO หรือ CaCO_3 ดังสมการที่กล่าวมาแล้ว ประสิทธิภาพในการขจัด 80 - 95 % สำหรับสารละลายของปูนขาวซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้สารละลายของหินปูน แต่ปัญหาที่สำคัญที่สุดสำหรับวิธีนี้คือค่าใช้จ่ายสูงมาก อีกวิธีหนึ่งที่ทำได้คือ โดยใส่ปล่องฟลู่ง ๆ ซึ่งจะลดความเข้มข้นลงเท่านั้น แต่ปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังคงเท่าเดิม (20)

2.4 การอัดก้อน (Briquetting)

ในการนำเศษถ่านหินมาอัดก้อนให้มีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อเปลี่ยนเศษถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่าค่าถูกให้เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นก้อน
2. เพื่อผลิตเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติตามความต้องการ

หลักการในการอัดก้อนก็คือ การใช้แรงกดถ่านหินที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมกันเป็นก้อน โดย Kegel (21) กล่าวไว้ว่าสสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (attractive force) ความแข็งแรง (strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม, โมเลกุล และสารแขวนลอย (colloid) เป็นการเชื่อมต่อที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดเข้าด้วยกัน ตามหลักการนี้แบบของการเชื่อมติดกัน (cohesion) เป็นไปได้ 2 แบบคือ การเชื่อมติดกันจริง ๆ (true cohesion) และการเชื่อมติดกันแบบปรากฏ (apparent cohesion) การเชื่อมติดกันจริง ๆ ก็คืออนุภาคจะรวมติดเข้าด้วยกัน โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น เกลืออัด ส่วนการเชื่อมติดกันแบบปรากฏเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคเปียกถูกกดเข้าด้วยกันเกิดแรงแคปิลลารี (capillary forces) เพราะฟิล์มบนอนุภาคจะป้องกันการสัมผัสกันจริง ๆ การเชื่อมติดกันแบบปรากฏนี้จึงใช้ในการอัดก้อนถ่านหินมากกว่าการเชื่อมติดกันจริง ๆ ดังนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาคือ ความเปียก (wettability) ความใกล้ชิดกันของแคปิลลารีและแรงดึงดูด วัฏภาคของก๊าซ (gas phase) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเพราะถ้ามีของเหลวมากเกินไปแคปิลลารีจะขยายออกไล่วัฏภาคของก๊าซทำให้แรงประสานกัน (binding forces) ต่ำลง

กระบวนการอัดก้อนถ่านหินที่สำคัญมี 2 ชนิดคือ ไม่ต้องมีตัวประสานและต้องมีตัวประสาน โดยการอัดก้อนชนิดไม่มีตัวประสานใช้ได้กับถ่านหินชนิดซับอิฐนิ่มลึ สิกไนท์และพีท ส่วนบราวน์โคล (brown coal) ได้มีการพัฒนาอย่างมากในเยอรมันและออสเตรเลีย ตัวอย่างการอัดก้อนชนิดไม่มีตัวประสานของถ่านลิกไนท์ ทำได้โดยตากแห้งถ่านหินให้มีความชื้นสัมบูรณ์แล้วอัดก้อนด้วยความดันสูงประมาณถึง 40 นิวตัน/ม^2 ($3.923 \times 10^6 \text{ กก./ตร.ซม.}$) และสูงถึง 80 นิวตัน/ม^2 ($7.846 \times 10^6 \text{ กก./ตร.ซม.}$) สำหรับถ่านหินอิฐนิ่มลึ เครื่องอัดก้อนที่เหมาะสมในการอัดก้อนชนิดนี้คือ plunger-type presses ซึ่งการทำงานคล้ายกับการอัดแบบเกลียวหมุน (screw presses) ถ่านอัดก้อนที่ได้มีหลายแบบด้วยกัน เช่น รูปสี่เหลี่ยม (rectangular) รูปวงกลม

(circular) รูป dumb-bell เป็นต้น และเครื่องอัดก้อนชนิด Ring-roll press ก็ใช้ได้ นอกจากการอัดก้อนด้วยเครื่องอัดและแบบอัดชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถผลิตก้อนอัดก้อนแบบอื่น ๆ ได้อีก โดยกรรไกรใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ แต่วิธีนี้อาจผลิตก้อนอัดก้อนได้ยาก เช่น ผลิตก้อนอัดก้อนรูปรางผึ้ง เป็นต้น

ส่วนกระบวนการอัดก้อนชนิดมีตัวประสานจำเป็นสำหรับถ่านหิน ชนิด บิทูมินัส และ แอนทราไซต์ ตัวประสานที่ใช้ผสมในถ่านหินเพื่อทำเป็นถ่านอัดก้อนโดยทั่วไปจะมีราคาสูงกว่าราคาถ่านหิน ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย โดยพยายามใช้ปริมาณตัวประสานให้น้อยที่สุด แต่ยังคงให้ถ่านอัดก้อนที่มีคุณภาพดี จุดสำคัญในการพิจารณาคุณภาพของถ่านอัดก้อนอีกประการหนึ่งคือ จะต้องทนน้ำ (water proof) โดยไม่เกิดการแตกร่วนออก ในยุโรปนิยมใช้ Coal-tar pitch เป็นตัวประสาน ส่วนในสหรัฐอเมริกานิยมใช้บิทูเมน (bitumen หรือ petroleum pitch) เป็นตัวประสาน ลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้น นอกจากจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยว (adhesive force) ระหว่างอนุภาคมาก จะต้องเปียกและสามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของถ่านหินได้ทั่วถึง เพื่อให้การยึดเหนี่ยวเป็นไปได้อย่างดี Beerink และ Geecke (31) ได้ให้คำจำกัดความของตัวประสานที่ใช้ในการทำถ่านอัดก้อนว่า ที่อุณหภูมิใช้งาน จะต้องเปียกและเป็นฟิล์มครอบคลุมผิวหน้าถ่านหินได้อย่างสมบูรณ์ และให้ข้อคิดว่าลักษณะพิเศษที่สำคัญที่สุดของตัวประสานคือ ค่าความหนืด (Viscosity) ที่อุณหภูมิดำเนินการ (Operating Temperature)

ตัวประสานที่นิยมใช้มี 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. สารอนินทรีย์ เช่น โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) ซัลไฟต์ ไสล์ (sulphite lye) ไสล์-ซิลิกา (lime-silica) แมกนีเซียมออกซิคโลไรด์ (magnesium oxychloride) และซีเมนต์
2. ตัวประสานที่ได้จากธัญพืช (Cereal binder) เช่น แป้ง (starches) หรือแป้งข้าวโพด (maize flour)
3. ไฮโดรคาร์บอนหนัก (heavy hydrocarbon) เช่น บางมะตอย (asphalts) ทาร์พิช (coal tar pitch) และบิทูเมน (bitumen)

ส่วนตัวประสานที่เป็นพวกสารอนินทรีย์มีข้อเสียคือ จะเพิ่มปริมาณเก่าให้กับถ่านอัดก้อน ซึ่งไม่นิยมใช้ (22) ลักษณะการไ้้งานของตัวประสานแต่ละชนิด อาจใช้ในลักษณะที่ต้องผสมน้ำ ก่อนเช่น โพลิเอทิลีนไกลีคอล หรืออาจใช้ในลักษณะให้ความร้อนแล้วผสมกับถ่านหิน หรืออาจผสมกับ ถ่านหินขณะเป็นของแข็งแล้ว ซึ่งให้ความร้อนก็ได้ เช่น pitch

2.4.1 การผลิตถ่านอัดก้อน

ปริมาณการผลิตถ่านอัดก้อนเชื้อเพลิงในประเทศที่ผลิตถ่านหินได้มีปริมาณลดลงมาหลายปีแล้ว ดังตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าการอัดก้อนของถ่านหินบิทูมินัสสูงมากในปี 1963 และปี 1963-1964 สำหรับ brown coal แต่ต่อมาจนถึงปี 1974 ปริมาณการผลิตถ่านอัดก้อนลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้ เนื่องมาจากการใช้ผลิตภัณฑ์ของปิโตรเลียม ก๊าซและไฟฟ้า สำหรับการให้ความร้อนซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ความต้องการใช้ถ่านอัดก้อนลดลง แต่ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาได้มีการแข่งขันจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมสูงมากประกอบกับความต้องการถ่านอัดก้อนที่มีคุณภาพสูงขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนาคุณภาพของการผลิตถ่านอัดก้อนสูงขึ้นเป็นลำดับตลอดมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งความพยายามในการผลิตถ่าน ไร้ควัน ตัวอย่างขั้นตอนการผลิตถ่านหินบิทูมินัส และแอนทราไซต์อัดก้อนชนิดมีตัวประสานของ โรงงานผลิตถ่านอัดก้อนที่ทันสมัย ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้คือ

เริ่มจากการทำแห้ง (drying) ในขั้นตอนที่ 1-8 อบถ่านหินก่อนการอัดก้อนเพราะ น้ำมีผลต่อการอัดก้อนและความแข็งแรงของถ่านอัดก้อน ดังนั้นความชื้นในถ่านหินควรมีน้อยและ ถ้าเป็นไปได้อาจไม่ควรเกินร้อยละ 4 เครื่องอบแห้งที่ใช้กันมีหลายชนิดด้วยกัน คือ cascade, fluidized-bed และ entrained-flow gas จากนั้นทำการยั้งถ่านหินและตัวประสานอย่าง ละเอียด ดังในขั้นตอนที่ 9 และ 11 เพื่อให้ได้ถ่านอัดก้อนที่มีคุณสมบัติคงที่และสภาพการอัดก้อน เดียวกัน เครื่องยั้งที่ใช้ในโรงงานผลิตถ่านอัดก้อน เช่น electric weight-belt feeders เมื่อทำการยั้งส่วนผสมต่าง ๆ แล้ว นำส่วนผสมนั้น ๆ มาผสมกันและให้ความร้อน (mixing and heating) ดังขั้นตอนที่ 12-13 เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อทำ การผสมส่วนผสมต่าง ๆ แล้วจะส่งมาที่ pug mill เพื่อให้ความร้อนด้วยไอน้ำ แล้วส่งไปทำการ อัดก้อน (roller press) ดังขั้นตอนที่ 15 ส่วนที่เหลือ เช่น ขั้นตอนที่ 19 เป็นส่วนที่ขจัดฝุ่น ขั้นตอนที่ 20 เป็นการนำฝุ่นนั้นมาเข้ากระบวนการอัดก้อนใหม่ เป็นต้น (23)

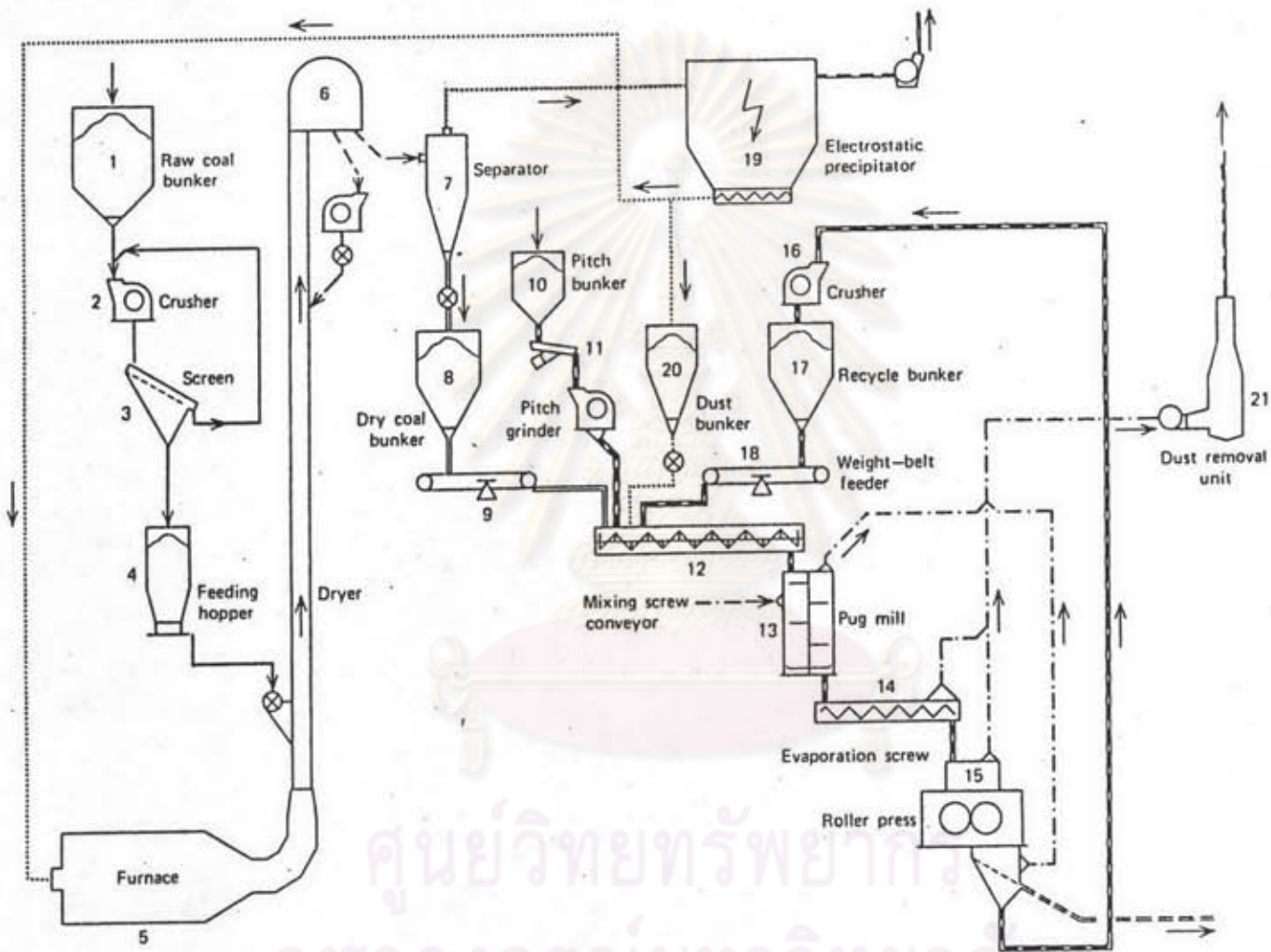
ตารางที่ 2.3 กำลังผลิตถ่านอัดก้อนของประเทศต่าง ๆ (ล้านตัน) (23)

Country and Coal Type*	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Belgium, Bit	1002	1079	1164	1602	2299	1433	1074	969	869	823	793	745	574	496	456	416
Czechoslovakia																
Bit							791					1356	1366	1343	1320	1307
Brn		436														
France, Bit	6561	6074	6083	6936	7994	6624	5809	5056	4839	4549	4197	4301	3735	3351	3233	3397
Germany, West																
Bit	4996	5566	5137	5939	6614	5505	4570	4006	3578	3693	3907	3725	2716	2427	2271	2249
Brn	16838	16774	17058	17302	17324	16747	13794	12788	11851	10669	10810	9804	7986	7000	6747	6560
Germany, East, Brn	54051	56047	57996	59727	60256	61504	60380	59426	56087	56389	56869	57078	55439	50801	50154	50061
Hungary, Bit						(including bituminous coal briquettes)						1463	1308	1080	1060	1114
Japan, Bit	3300	3800	4100	4100	4100	4100	4400	4200	3900	3600	3200	3000	1700	1580	1200	1180
Netherlands																
Bit	1020	1139	1188	1250	1561	1355	1349	1222	1090	1053	1051	886	585	465	251	—
Brn	64	62	74	71	63	66	45	43	29	21	—	—	—	—	—	—
Poland							600					1496	1590	1675	1543	1618
Bit		700										331	350	303	247	170
Brn		300					300					—	—	97	169	—
Rumania, Brn																
Spain, Bit	1300	1143	1119	1232	1184	1039	844	610	300 ^b	135	153	195	180	162	147	108
Great Britain, Bit	—	1435	1491	1573	1678	1351	944	964	989	1040	1167	1201	1360	1252	1186	989
United States, Bit	816	698	536	533	513	334	334	300 ^b	250 ^b	200 ^b	150 ^b	120 ^b	90 ^b	80 ^b	—	—

* Bit = bituminous coal briquettes, Brn = brown coal briquettes.

^b Estimate.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดก้อน (23)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 เต่า

2.5.1 ความเป็นมาของเต่าหุ้ดงด้มแบบต่าง ๆ ที่ไ้ยกัันอยู่ในโลก (24)

เป็นที่ทราบว่ามีการไ้เชื้อเพลิง ฮิวมวล คือไม้ เมื่อ 400,000 ปีมาแล้ว ซึ่งค้นพบภายในถ้ำของมนุษย์ปักกิ่ง การไ้เชื้อเพลิงฮิวมวลในขณะนั้นสันนิษฐานว่าไ้เพื่อความอบอุ่น ส้าหรับเต่าหุ้ดงด้มซึ่งทำด้วยเครื่องปั้นดินเผามาแล้วเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ถ้าน้ามาเปรียบเทียบกับเต่าที่ไ้ในปัจจุบัณจะเห็นว่าเต่าหุ้ดงด้มฮิวมวลยังมีประสิทธิภาพการไ้งานต่ำ เช่น ประสิทธิภาพการไ้งานของเต่าน้าหนัก้าต หรือก้าฮุ้ดงด้ม ลู่ถึง 45-48 % ในขณะที่ประสิทธิภาพการไ้งานของเต่าหินลู่ลู่ดเพียง 25-27 %

วิวัฒนาการของเต่าแบ่งออกไ้ 2 ระยะ ระยะแรกหลายพันปีมาแล้ว การพัฒนาของเต่าหุ้ดงด้มฮิวมวลในระยะนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากไม้หินยังมีอยู่มากจึงมีไ้้อย่างเหลือเพื่อเต่าหุ้ดงด้มในระยะแรกเป็นแบบกองหิน ประกอบด้วยไม้ย้าตั้งแวงนภายณะ และเต่าแบบหิน 3 ก้อน

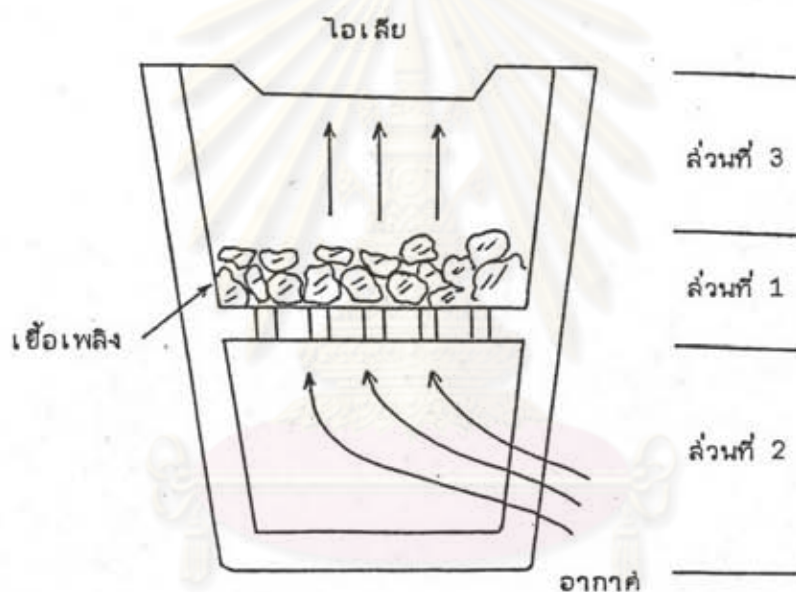
ระยะที่ 2 ประมาณ 100 ปีมาแล้ว มีผู้คิดทำเต่าหุ้ดงด้มที่ไ้น้าหนัก้าต, ก้าฮุ้ดงด้ม และเต่าไฟฟ้า ไ้กัันอย่างแพร่หลายในกลุ่มประเทศตะวันตก

ในระยะแรกเต่าหุ้ดงด้มฮิวมวลไม่ได้รับความสนใจปรับปรุงให้ดีขึ้น แต่ในระยะหลังประชากรของโลกได้เพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะประเทศที่ก้าสงพัฒนา ซึ่งประชากรล้า่นใหญ่ไ้เต่าหุ้ดงด้มฮิวมวล ประกอบกับมีการไ้ไม้หินในการหุ้ดงด้มลู่ขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การหาไม้หินในการหุ้ดงด้มยากยิ่งขึ้น และมีราคาแพง จึงได้เริ่มมีการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และความรู้ทางการออกแบบมาทำการปรับปรุงเต่าหุ้ดงด้มฮิวมวล เพื่อให้มีประสิทธิภาพลู่ขึ้น

ผลงานทางด้านการปรับปรุงเต่าหุ้ดงด้มให้มีประสิทธิภาพลู่ขึ้นของประเทศที่ก้าสงพัฒนา มีหลายประเทศ เช่น กัวเตมาลา อินเดีย อินโดนีเซีย เคนยา เนปาล ปาปัว คัร์ลลังกา โชมเลีย และฮังการี ซึ่งประเทศเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเต่าหุ้ดงด้มไ้กัันภายในประเทศ ซึ่งล้า่นใหญ่จะไ้กับเชื้อเพลิงพวก หิน และถ่านไม้ ทำให้ล้า่นารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก และนอกจากนั้นยังมีอีกหลายประเทศที่ก้าสงเริ่มสนใจงานด้านนี้ และล้า่นารถทำการปรับปรุงเต่าหุ้ดงด้มให้มีประสิทธิภาพการไ้งานดีขึ้นบ้างแล้ว, เช่น โนเจอร์ ยูรันดี เป็นต้น

2.5.2 เตาหุงต้ม (25)

เตาหุงต้ม คือ ภาชนะที่ใช้รองรับหรือประกอบเป็นส่วนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงและสามารถนำความร้อนนั้นไปสู่ระบบการอำนวยความสะดวกประโยชน์ได้ในทันที เตาจะมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นอยู่ 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ส่วนที่มีการเผาไหม้ ส่วนที่ 2 ส่วนที่อากาศเข้าและเอาตัวออก ส่วนที่ 3 ส่วนที่ให้ไอเสียบออกจากระบบ ดังรูปที่ 2.6 ถ้าการออกแบบสามส่วนนี้ให้มีสัดส่วนที่เกือบลดต่อกัน เตานั้นก็จะมีประสิทธิภาพสูง คือสามารถนำเอาความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดไปใช้ได้มากที่สุด และเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ภายในระยะเวลาที่ต้องการ



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเตาที่จำเป็น

เตาหุงต้มมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตประจำวันมาตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบันนี้ เตาหุงต้มได้พัฒนาไปมากทั้งรูปแบบและเชื้อเพลิงที่ใช้ แบบของเตาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของเชื้อเพลิง ใช้ออกแบบ และวัตถุประสงค์ที่ใช้ เตาที่ใช้ในครัวเรือนส่วนมากจะเป็นเตาที่มีขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายสะดวก นอกจากเตาที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงแล้ว ยังมีเตาอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในบรรดานักวิชาการที่พัฒนาชนบทไทย คือ เตาเค็รชฐกิจ วัตถุประสงค์ในการออกแบบเตานี้ก็เพราะเกิดจากขาดแคลนถ่านไม้และมีราคาแพง จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงที่หาได้ง่าย

มาเป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านไม้ ดังนั้นการนำเชื้อเพลิงอื่น ๆ มาใช้ จำเป็นต้องออกแบบเตาให้เหมาะสม เช่น ใช้กับแก๊ส ไบโม่ อีเสือบ ฟาง เป็นต้น ซึ่งมีรูปแบบต่างไปจากเตาที่ใช้ถ่านไม้ โดยสิ้นเชิง แต่อย่างไรก็ตามจุดมุ่งหมายหลักก็คือ ให้มีการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพทางเศรษฐกิจสะดวกต่อการใช้งาน และพยายามใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์

2.6 การศึกษาถึงประสิทธิภาพของเตาหุงต้ม (26)

การศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาหุงต้มเป็นวิธีตัดสินว่า เตาหุงต้มนั้นใช้งานได้ดีเพียงใด ประหยัดเชื้อเพลิงมากน้อยเพียงใด การศึกษานี้ยังเป็นข้อมูลที่จะพัฒนาปรับปรุงเตาหุงต้มต่อไปในอนาคต ซึ่งการที่จะให้โตมาซึ่งจุดประสงค์ดังกล่าว จำเป็นต้องทำการศึกษาดังตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเตาหุงต้ม

เตาหุงต้มโดยทั่วไปในประเทศไทย คือ เตาอังโล่ที่ใช้กับถ่านไม้ มักมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ด้านบนเปิด ด้านล่างปิด ภาชนะที่ใช้หุงต้มจะวางอยู่ด้านบนของเตา ถ่านไม้จะวางอยู่ด้านบนของรังผึ้ง ซึ่งก็คือห้องเผาไหม้ หรือส่วนที่เกิดการเผาไหม้นั้นเอง ส่วนด้านล่างเป็นห้องที่รองรับเถ้าจากการเผาไหม้ ด้านหน้าตอนล่างของเตาจะมีช่องเปิดให้อากาศเข้าไปเผาไหม้ โดยผ่านรังผึ้งไปยังถ่านไม้ ขอบด้านบนมีเชิงเส้นลึบยื่นเพื่อใช้รองรับภาชนะหุงต้ม ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ภายในเตาผ่านออกไปตามช่องว่างระหว่างภาชนะและขอบเตา เตาบางชนิดจะมีแผ่นโลหะบาง ๆ หุ้มอยู่โดยรอบ เพื่อความแข็งแรงและสวยงาม

จากลักษณะของเตาที่กล่าวมาแล้วพบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นจากถ่านบนรังผึ้งเผาไหม้กับอากาศที่เข้ามาทางช่องเปิดด้านหน้าเตาผ่านรังผึ้งขึ้นมา ถูกถ่ายเทไปยังภาชนะที่ใช้หุงต้ม ซึ่งวางอยู่บนเชิงเส้นด้านบนของเตาโดยการแผ่รังสีความร้อน (radiation) และการพาความร้อน (convection) ของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ผ่านไปยังภาชนะ แล้วออกสู่นอกเตาผ่านทางช่องว่างระหว่างขอบเตาและภาชนะ ถ้าจะลดการสูญเสียทางส่วนนี้ โดยการลดช่องว่างระหว่างภาชนะกับขอบเตา แต่ไม่ควรแคบเกินไปเพราะจะทำให้ก๊าซร้อนออกไม่สะดวก ทำให้การเผาไหม้ไม่ดีเท่าที่ควร

ถ้าช่องเปิดด้านหน้ากว้าง อากาศที่เข้าไปเผาไหม้ก็สามารถเข้าไปได้มากขึ้น แต่ถ้า

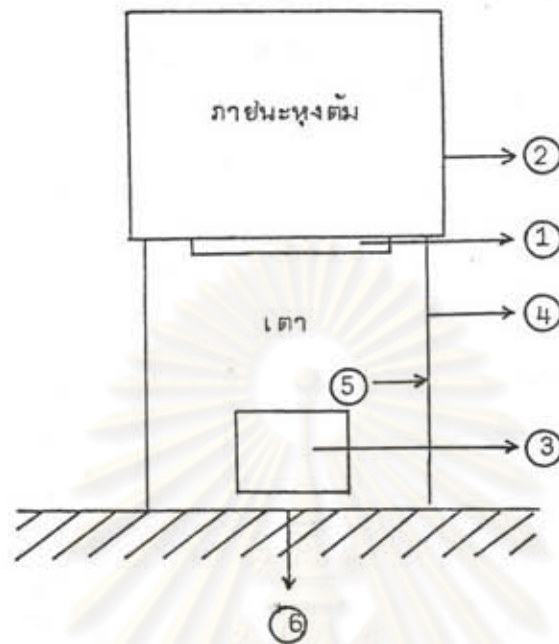
มากขึ้นไปก็เป็นการสูญเสีย เพราะจะทำให้จุดหมึกในห้องเผาไหม้ต่ำลง จุดหมึกก๊าซร้อนต่ำลง และมีการสูญเสียโดยการแผ่รังสีทางส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก แต่จะไม่มี การสูญเสียความร้อนโดยการพา เพราะเป็นทางที่อากาศเข้า แต่ถ้าเปิดแคบเกินไปอากาศที่เข้าอาจจะไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้

ตะแกรงหรือรังผึ้งมักจะประกอบด้วยรูกลมจำนวนมาก ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายอากาศ จากด้านล่างสู่ห้องเผาไหม้ และกันไม่ให้ก้อนถ่านตกลงด้านล่าง ถ้ารูกลมนี้มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ก้อนถ่านขนาดเล็กตกลงไปข้างล่างทั้ง ๆ ที่ยังเผาไหม้ไม่หมดทำให้เกิดการสูญเสีย แต่ถ้ารูกลมนี้มีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้อากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้

ขนาดและความหนาของเตาก็มีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้งาน ถ้าความหนาและน้ำหนักของเตามากเกินไป จะสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งในการทำให้เตาร้อน ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

การสูญเสียความร้อนจากเตาอีกทางหนึ่งคือ รอบ ๆ เหนังเตาโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อน นอกจากนี้ขณะหุงต้มอาหารจะมีการสูญเสียจากผิวของภาชนะ โดยการสูญเสียทั้งหมดอาจแบ่งได้เป็น

1. โดยการแผ่รังสี และการพาของก๊าซร้อนผ่านช่องว่างระหว่างขอบเตาด้านบน และกับภาชนะ
 2. โดยการแผ่รังสีและการพาจากผิวภาชนะที่ใช้หุงต้ม
 3. โดยการแผ่รังสีออกทางช่องลมด้านหน้า
 4. โดยการแผ่รังสีและการพาจากเหนียงเตาโดยรอบ
 5. โดยการระเหยไอน้ำในมวลของเตา เนื่องจากความร้อนของเตา
 6. โดยการนำจากฐานด้านล่างของเตาลงสู่ที่รองรับเตา
- ดังภาพประกอบในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสูญเสียความร้อนจากเตา

ประสิทธิภาพของเตาสามารถคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่นำมาใช้ประโยชน์ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เนื่องจากลักษณะการใช้ความร้อนในการประกอบอาหารจากเตาหุงต้มมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับประเภทอาหาร เช่น ต้ม นึ่ง ทอด ผัด และอบ เป็นต้น และขึ้นอยู่กับชนิดของภาชนะที่ใช้ได้แก่ หม้อ กะทะและกาต้มน้ำ เป็นต้น ทำให้การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพพุ่งยากและผิดพลาดได้มาก ดังนั้นในการหาประสิทธิภาพ จึงใช้การต้มน้ำซึ่งอาจทำได้หลายวิธี แต่จะกล่าวถึงวิธีที่ง่ายและใช้กันแพร่หลาย 2 วิธีคือ

ในวิธีแรก ทำโดยตม้ น้ำที่ทราบปริมาณในหม้อสุมิเดียมให้เดือดแล้ว ทำซ้ำอีกจนกระทั่ง
ไฟรา และจดอุณหภูมิของน้ำในหม้อสุดท้าย นำมาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ แล้วนำ
ไปคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาดังนี้

ให้ w = น้ำหนักของเชื้อเพลิง (กรัม)

q = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)

m = น้ำหนักของน้ำเริ่มต้น (กรัม)

s = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (แคลอรี/กรัม⁰ซี)

T_1 = อุณหภูมิของน้ำเริ่มแรก (⁰ซี)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำเดือด (⁰ซี)

T_3 = อุณหภูมิของน้ำในหม้อหลังสุด (⁰ซี)

n = จำนวนครั้งที่ทำให้น้ำเดือด

η = ประสิทธิภาพของเตาด้าน (%)

$$\text{ประสิทธิภาพของเตา} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง}} \times 100$$

$$\eta = \frac{\left[\sum_{n=1}^n ms(T_2 - T_1) \right] + ms(T_3 - T_1)}{wq} \times 100$$

วิธีที่สอง ทำคล้ายกับวิธีแรกต่างกันที่จะตม้ น้ำจนเดือด แล้วเปิดฝาม้อปล่อยให้ น้ำระเหย
กลายเป็นไอจนไฟรา แล้วคำนวณดังนี้

ให้ λ = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (แคลอรี/กรัม)

m_1 = ปริมาณน้ำที่เหลือ (กรัม)

$$\eta = \frac{ms(T_2 - T_1) + (m - m_1)\lambda}{wq} \times 100$$

2.7 งานวิจัยในอดีต

การทดลองของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (27) นาย ส้า เรือง นามภคศิลป์ ได้ทำการทดลองอัดก้อนลิกไนท์เมื่อประมาณ 17 ปีมาแล้ว เป็นความพยายามทำถ่านอัดก้อนจากลิกไนท์ในประเทศไทยเป็นครั้งแรก โดยมีโรงงานต้นแบบที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง สามารถทำการอัดก้อนลิกไนท์ได้โดยไม่มีตัวประสาน ใช้แรงกดประมาณ 10-12 ตัน/ตร.ซม. โดยทำการอบลิกไนท์ผงให้มีความชื้นร้อยละ 18 ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมเสียก่อน แต่ราคาในการผลิตยังสูงมาก เมื่อเทียบกับราคาเชื้อเพลิงชนิดอื่นในขณะนั้น (ลิกไนท์กิโลกรัมละ 2 บาท แต่ถ่านไม้กิโลกรัมละ 1.50 บาท โดยประมาณ) ดังนั้นโครงการนี้จึงถูกยกเลิกไป

งานวิจัย Senior Project ของสิทธิชัย สำรูกิจกุล และมาณิต ลำตราวาทะ (27) ได้ใช้ผงลิกไนท์ขนาด 2 มม., 1 มม. และ เล็กกว่า 1 มม. เป็นตัวแทนในการศึกษา พบว่าการใช้ผงขนาดต่าง ๆ ผลลัพท์จะมีแนวโน้มในการติดเป็นก้อนดีกว่าใช้ผงเชื้อเพลิงขนาดเดียวกัน เพราะผงขนาดเล็กจะไปแทรกตัวตามช่องว่างของผงที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีแรงยึดดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับก้อนเชื้อเพลิงแข็งคือ คาร์บอนิลลิกไนท์ 74 % โมลาส 20 % คัลเซียมออกไซด์ 5 % และ ซีเอ็มซี (Sodium Carboxy Methyl Cellulose) 1 % ที่ความดันประมาณ 1 ตัน/ตร.นิ้ว แต่ถ้าใช้อัตราส่วนอื่นหรือใช้ลิกไนท์แทน จะให้ถ่านอัดก้อนเป็นรูปก้อนได้หลังการอัด แต่ไม่สามารถคงสภาพอยู่ได้นาน คือเกิดการอ่อนตัวและแตกออก นอกจากนี้ได้ทดลองใช้แอสฟัลท์ ชนิด RC-2 (Cut Back Asphalt) เป็นตัวประสานกับลิกไนท์ปรากฏว่าหลังการอัดใหม่ก่อนถ่านจะอ่อนตัวและแตกได้ง่าย แต่ถ้าใช้ความระมัดระวังในการนำถ่านอัดก้อนออกจากแบบอัด แล้วตั้งทิ้งไว้จะได้ถ่านอัดก้อนที่แข็งแรงขึ้น เนื่องจากในแอสฟัลท์ที่นำมาใช้ (RC-2) มีซีโรซินผลลัพท์สูงไม่แสดงคุณสมบัติการเป็นตัวประสาน แต่หลังจากตั้งทิ้งไว้ซีโรซินจะระเหยออก ส่วนประกอบที่เหลือจึงแสดงคุณสมบัติในการยึดเกาะผงลิกไนท์ได้ และจากการเปลี่ยนอัตราส่วนแอสฟัลท์ ถ้าเพิ่มปริมาณแอสฟัลท์มากขึ้น ถ่านอัดก้อนจะมีลักษณะอ่อนและเหนียวคล้ายดินน้ำมัน ถ้าลดปริมาณลงจะได้ถ่านอัดก้อนที่แข็งและมีความเหนียวลดลง

การใช้แอสฟัลท์มีข้อดี คือ แอสฟัลท์จะเป็นสารป้องกันน้ำได้ และไม่ดูดซับน้ำสามารถเก็บเชื้อเพลิงในที่มีความชื้นได้ โดยไม่เสียสภาพ แต่การใช้แอสฟัลท์มีข้อเสียที่เด่นชัด คือ มีราคาแพง ทำให้เพิ่มต้นทุนในการผลิต และแอสฟัลท์มีก๊าะถ่วงสูง จึงเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าะถ่วงแก่ก้อนเชื้อเพลิง ไม่เหมาะที่จะใช้ในครัวเรือน เนื่องจากก๊าะถ่วงทำให้เกิดการกีดกักร้อนต่อภาชนะที่ใส่และเป็นพิษต่อผู้ใช้

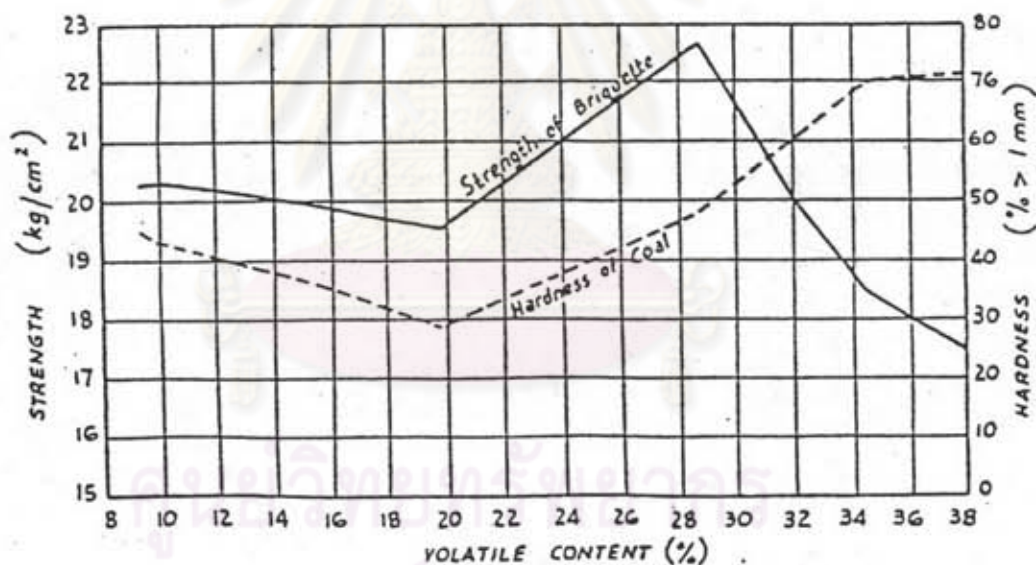
งานวิจัย Senior Project ของพินิจ สันทานนท์ และ เล็กลรรค์ วงศ์รัฐติการ (28) ได้ใช้ผงสลิกลงานขนาดเล็กลงกว่า 2 มม. และเล็กลงกว่า 1 มม. มาอัดให้เป็นก้อน โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน พบว่าปริมาณกากน้ำตาลร้อยละ 25 โดยน้ำหนักขึ้นไป ถ้านอัดก้อนที่ได้จึงจะคงรูปอยู่ได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดก้อนที่แรงอัดเดียวกัน ปริมาณกากน้ำตาลเท่ากัน แต่ขนาดผงถ่านหินต่างกัน พบว่าถ่านอัดก้อนที่ใช้ผงถ่านหินขนาดเล็กลงกว่า 2 มม. จะมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าถ่านอัดก้อนที่ใช้ผงถ่านหินขนาดเล็กลงกว่า 1 มม. อธิบายได้ว่า ผงถ่านหินที่มีขนาดเล็กลงกว่า 1 มม. ตามทฤษฎีจะอุดซิมกากน้ำตาลไว้ได้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคได้มากกว่าผงถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ และในกากน้ำตาลจะมีน้ำอยู่ปริมาณมาก เมื่อนำถ่านอัดก้อนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500°C น้ำที่อยู่ในกากน้ำตาลและในถ่านหินจะระเหยออกมา เกิดเป็นรูพรุนอยู่ภายในถ่านหินอัดก้อน เมื่อปริมาณกากน้ำตาลที่ถ่านหินสามารถอุดซิมไว้ได้มาก ปริมาณน้ำที่แทรกอยู่ก็มากด้วย ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อน น้ำจะระเหยออกและเกิดการขยายตัวของก๊าซ ทั้งยังเกิดมีรูพรุนอยู่ภายในถ่านอัดก้อน เมื่อนำไปทดสอบค่าความแข็งแรงจึงไม่ได้ค่าสูงเท่าที่ควร เป็นเหตุให้ถ่านอัดก้อนที่ใช้ผงถ่านหินขนาดเล็กลงกว่า 1 มม. มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าถ่านอัดก้อนที่ใช้ผงถ่านหินขนาดเล็กลงกว่า 2 มม. และถ่านอัดก้อนที่ใช้ผงถ่านหินขนาดเล็กลงกว่า 2 มม. ตัวประสานร้อยละ 25-30 โดยน้ำหนัก จะให้ความแข็งแรงประมาณ 90-270 ปอนด์/ตร.นิ้ว

งานวิจัย Senior Project ของสุชาติ อาริรุ่งเรือง และเอกพล พงศ์สถาพร (29) ได้นำเอาถ่านหินสลิกลงานที่อัดก้อนแล้ว นำมาบดและศึกษาวิธีการอัดก้อนด้วยเครื่องอัดระบบ Double ring roll และวิธีการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โดยใช้ปูนขาว พบว่าประสิทธิภาพในการจับ SO_2 เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณปูนขาวสูงขึ้น ปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมคือร้อยละ 3.5 ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดประมาณ 80 % ส่วนด้านการติดไฟนั้น ถ่านไม้จะติดไฟง่ายกว่ามีควันน้อยกว่าและเปลวไฟค่อนข้างสั้นกว่าของถ่านอัดก้อน แต่ถ่านอัดก้อนคงรูปเดิม ไม่ปลิวกระจายเหมือนถ่านไม้

งานวิจัยวิทยานิพนธ์ของ อนัญญา พลนารถ (30) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพเศษถ่านหิน โดยวิธีการบอโนเฮชัน เพื่อลดสารระเหยและความชื้น แล้วนำไปอัดก้อนผลิตเป็นถ่านสังเคราะห์ 2 แบบ คือ แบบรูปไข่ โดยใช้เครื่องอัดระบบ Double Ring Roll ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน อีกแบบหนึ่งคือรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว น้ำหนักประมาณ 10 กรัม โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ใช้แบลคคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน เมื่อนำไปทดสอบค่าความ

แข็งแรง แต่ถ่านรูปไข่ไม่ล้าสามารถหาหินที่รับน้ำหนักที่กดได้ สูงหาค่าน้ำหนักที่หาให้แตกได้ประมาณ 45 กก. ส่วนถ่านฮัตกอนรูปทรงกระบอกมีความแข็งแรงประมาณ 55-65 กก./ตร.ซม. เมื่อนำไปหาประสิทธิภาพกับเตาอังโล่ พบว่าถ่านฮัตกอนทั้ง 2 แบบให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน คือ ประมาณร้อยละ 28

งานวิจัยของ Broche และ Nedelmann (31) ได้ศึกษาอิทธิพลของถ่านหินต่อคุณภาพของถ่านฮัตกอน พบว่าเมื่อใช้ขบวนการและสภาพ (condition) เดียวกันค่าความแข็งแรง (strength) และความแข็ง (Hardness) ของถ่านฮัตกอน สามารถเขียนเป็นกราฟกับปริมาณสารระเหยได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งพบว่าถ่านหินที่มีสารระเหยประมาณร้อยละ 30 จะให้ถ่านฮัตกอนมีความแข็งแรงสูงมาก



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคักดี ของถ่านหินและความแข็งแรง (strength) และความแข็ง (Hardness) ของถ่านฮัตกอน

Prockat และ Stadter (31) ศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคถ่านหิน และชนิดของถ่านหินที่ใช้ต่อคุณภาพของถ่านอัดก้อน วัตถุประสงค์ของขนาดอนุภาคถ่านหินต่อปริมาณตัวประสานพบว่าถ้าอนุภาคของถ่านหินละเอียดมีปริมาณมาก จะต้องใช้ปริมาณตัวประสานมากด้วยในด้านการแตกหักของถ่านอัดก้อน ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างทำการอัดก้อน พบว่าถ้าขนาดของอนุภาคถ่านหินใหญ่ การเกิดแตกหักจะมีโอกาสมาก เช่น ถ่านหินที่มีขนาด 0-7 มม. เมื่อทำเป็นถ่านอัดก้อนจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าถ่านอัดก้อนที่ทำจากถ่านหินขนาด 0-5 มม. การแตกหักของถ่านอัดก้อนนั้นนอกจากเกิดขึ้นเพราะการกระจายของอนุภาคถ่านหินที่มีขนาดต่างกันด้วยสัดส่วนต่าง ๆ กันแล้วยังขึ้นกับปริมาณตัวประสานที่เคลือบคลุมผิวถ่านหินด้วย Lloyd's (31) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าขนาดอนุภาคถ่านหินใหญ่จะให้ถ่านอัดก้อนที่แข็งแรงกว่าอนุภาคถ่านหินเล็ก

Sanada (32) ได้ทำการศึกษาการอัดก้อนถ่านหินโดยใช้ยางมะตอยเป็นตัวประสาน ผลลัพท์ที่อุณหภูมิ 80° - 120° C จากนั้นนำถ่านอัดก้อนที่ได้ไปทำถ่านโค้กที่อุณหภูมิ 900° - $1,400^{\circ}$ C โดยบางมะตอยที่ใช้ต่าง ๆ กันดังนี้คือ

ปริมาณตัวประสาน (%)	ปริมาณ n-hexane ในยางมะตอย (%)	ความแข็งแรงของถ่านโค้ก (กก./ตร.ซม.)
15	55	162
20	64	86
15	70.4	11
25	40	ก้อนถ่านแตก
15	60	155

เมื่อเปรียบเทียบกับโค้กที่มีอยู่ในขณะนั้น ซึ่งมีความแข็งแรง 80-120 กก./ตร.ซม. ดังนั้น Sanada จึงสรุปว่าถ้าใช้ยางมะตอย ที่มีองค์ประกอบ n-hexane ร้อยละ 55-65 จะให้ถ่านโค้กที่มีความแข็งแรงสูง