หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

วารสารปริทัศน์นี้เกี่ยวข้องกับแกลบ แก๊สซิฟิเคชัน งานวิจัยเกี่ยวกับแก๊สซิฟิเคชันในอดีตและทาร์ โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนก่อนที่จะได้แกลบมาซึ่งสัมพันธ์กับชนิด คุณภาพและการจำหน่ายผลผลิตและผลพลอยได้จากการสีข้าว ค่าจ้างในการสีข้าว ประโยชน์ที่ทางโรงสีได้รับจากรำและปลายข้าว รวมทั้งแผนภูมิโดยสังเขปเกี่ยวกับการสีข้าว

<u>ชนิด คุณภาพและการจำหน่ายผลผลิตและผลพลอยได้จากการสีข้าว</u> (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน ,สำนักงานพลังงานแห่งชาติ ,2530)

เนื่องจากโรงสีขนาดเล็กโดยมากจะมีหัวสีอยู่ระหว่าง 1 - 4 หัวสี เมล็ดข้าวสารที่สีได้โดยมากจะไม่เต็มเม็ด เมล็ดไม่สวยซึ่งเป็นข้าวสารที่คุณภาพไม่ดีนัก แต่คุณภาพของผลผลิตไม่ได้มีผลต่อโรงสีขนาดเล็กมากนักเนื่องจากทางโรงสีเพียงแต่รับจ้างสีข้าวเพื่อให้ได้ผลตอบแทนจากการสีข้าวเท่านั้น ไม่ได้รับซื้อข้าวเปลือกมาสีเพื่อขายข้าวสาร

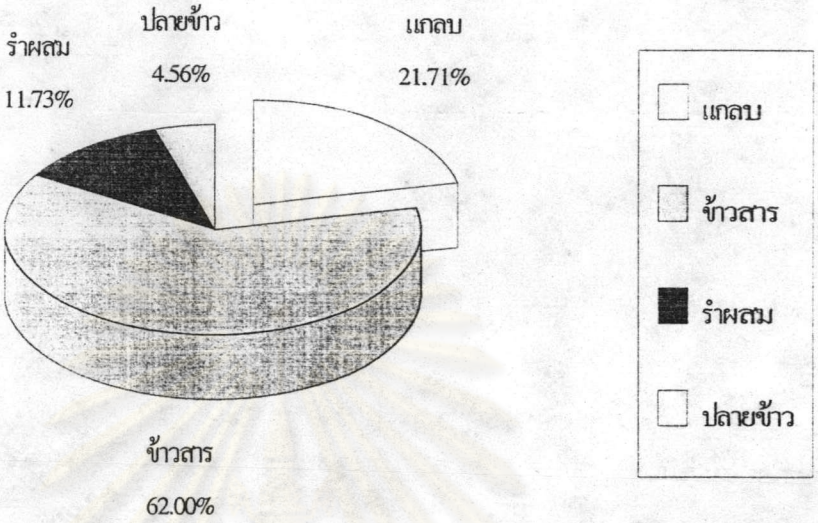
จากการสำรวจโรงสีข้าวขนาดเล็กจำนวน 2,382 โรงสี ได้ค่าเฉลี่ยปริมาณการสีข้าวเปลือกดังนี้ (ดังรูปที่ 2.1) ข้าวเปลือกสีเป็น

ข้าวสารร้อยละ	62.00	ของน้ำหนักข้าวเปลือก
แกลบร้อยละ	21.71	ของน้ำหนักข้าวเปลือก
รำผสมร้อยละ	11.73	ของน้ำหนักข้าวเปลือก
ปลายข้าวร้อยละ	4.56	ของน้ำหนักข้าวเปลือก

1. <u>ค่าจ้างในการสีข้าว</u>

จากการสำรวจจำนวน 2,382 โรงสี พบว่า

- จำนวนโรงสีข้าวที่ไม่ได้รับค่าจ้างมีจำนวน 2,085 โรงสี คิดเป็นร้อยละ 87.53
- จำนวนโรงสีข้าวที่ได้รับค่าจ้างเป็นข้าวสารมีจำนวน 207 โรงสี คิดเป็นร้อยละ 8.69 โดยได้รับค่าจ้างเป็นข้าวสารในอัตรา 6-10 กิโลกรัม/การสีข้าวเปลือก 1 ตัน



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณและผลิตภัณฑ์ของข้าวเปลือกหลังการสี[9]

- จำนวนโรงสีข้าวที่ได้รับค่าจ้างเป็นเงินมีจำนวน 90 โรงสี คิดเป็นร้อยละ 3.18 โดยได้รับค่าจ้างเป็นข้าวสารในอัตรา 30-100 บาท/การสีข้าวเปลือก 1 ตัน

2. ประโยชน์ที่ทางโรงสีได้รับจากรำและปลายข้าว

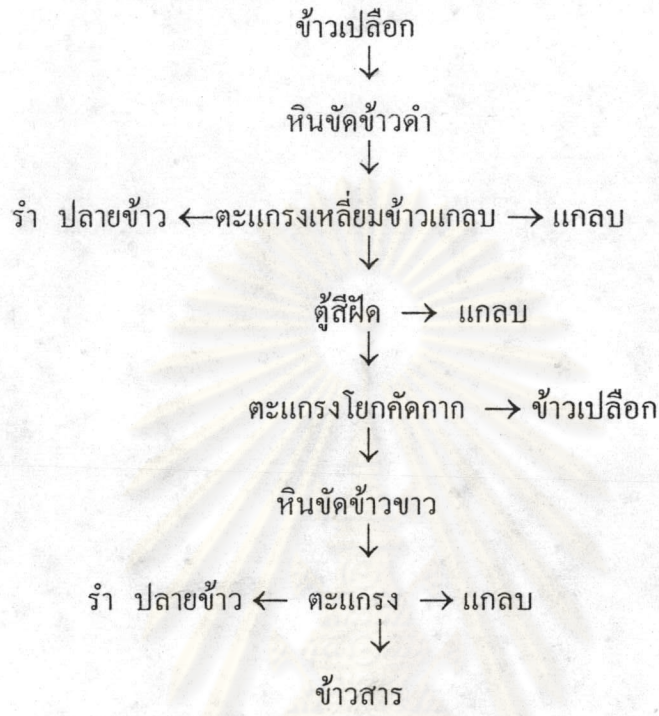
2.1 โดยการขายโดยตรง

ปลายข้าวมีราคาอยู่ระหว่าง 2.00-3.50 บาท/กิโลกรัม

รำผสมมีราคาอยู่ระหว่าง 1.00-2.00 บาท/กิโลกรัม

2.2 โดยการนำไปเป็นอาหารสัตว์ เช่น การนำไปเป็นอาหารสุกร เป็ด ปลาต่างๆ เป็นต้น เพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงสัตว์ต่างๆ เหล่านี้

3. แผนภูมิโดยสังเขปเกี่ยวกับการสีข้าว



แกลบ

แกลบ คือ ส่วนของเปลือกเมล็ดข้าวที่แตกออกเมื่อนำข้าวเปลือกไปสี จึงเป็นผลผลิตพลอยได้จากการสีข้าวเปลือก แกลบมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบนอกเหนือจากซิลิกา ซึ่งธาตุดังกล่าวเมื่อเผาไหม้จะให้ค่าความร้อนออกมาสูง ดังนั้นจึงมีผู้นำไปเผาไหม้โดยตรง โดยควบคุมการเผาไหม้ให้พอเหมาะก็จะผลิตก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนหรือใช้ในการเผาไหม้โดยตรงหรือกับเครื่องยนต์ได้ ก๊าซนี้เมื่อนำเอาไปจุดให้ติดไฟกับอากาศจะให้ความร้อนที่เอาไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เช่น นำไปอบสินค้าทางการเกษตร เช่นข้าวโพด ข้าวนึ่ง เพื่อให้มีความชื้นตามข้อกำหนดของการซื้อขาย

การใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2463 แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร แม้ในปัจจุบันนี้มีการศึกษาการนำพลังงานจากแกลบมาใช้ก็ยังคงมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะปัญหาที่พบมากอย่างหนึ่งในการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาผลิตก๊าซ คือ แกลบเมื่อเผาไหม้แล้วจะมีเถ้า (Ash) สูง การเกาะตัวเป็นก้อนของเถ้า แกลบมีความหนาแน่นต่ำจึงต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างที่เก็บแกลบ นอกจากนี้แล้วเมื่อเผาไหม้ก็จะเกิดทาร์มาก Kaupp (Breag and Chittenden, 1979) รายงานว่าโครงสร้างของแกลบเป็น Carbon-Silicon Structure โดยมี

ซิลิคอนเป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งจะไม่สลายตัวภายใต้ความร้อน องค์ประกอบของแกลบที่จะสลายตัวคือ คาร์บอนซึ่งมีประมาณร้อยละ 15-22 โดยน้ำหนักที่เหลือจึงเป็นเถ้าแกลบ ดังนั้นในเตาผลิตก๊าซจึงต้องมีระบบกวาดเถ้าออกจากตะแกรงเผาไหม้ และการใช้เตาผลิตก๊าซ

1. สมบัติทางกายภาพ

แกลบมีสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงได้ดีพอสมควร แต่จะมีข้อเสียเมื่อทำการเผาไหม้ไปแล้ว คือ แกลบให้ปริมาณเถ้าสูงประมาณร้อยละ 16.4-18.3 นอกจากนี้แกลบยังมีความหนาแน่นต่ำประมาณ 105-107 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 8.1-11.5 และคุณค่าทางความร้อนของแกลบประมาณ 3,790-4,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (ดังตารางที่ 2.1) สำหรับตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของแกลบโดยผู้วิจัยต่างประเทศ และตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของเถ้าแกลบ

ตารางที่ 2.1 สมบัติของแกลบ

Properties	Percent	Properties	Percent
Moisture	8.1-11.5	Cellulose	42.1-46.6
Ash	16.4-18.3	Lignin	22.1-22.8
Fixed Carbon	19.2-20.7	Pentosan	13.9-18.3
Volatile Matter	61.1-64.4	Starch	7.6-7.9
Sulfur	0.1- 0.2	Crude Fiber	39.1-41.1
Heating Value(Kcal/Kg)	3,790-4,000	Crude Protein	1.8-1.9
Density(Kg/m^3)	105-107	Crude Fat	0.28- 0.31

2. ราคา

แกลบเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาซื้อขายค่อนข้างต่ำและไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการและขึ้นอยู่กับฤดูกาลการสีข้าว ตลอดจนระยะห่างระหว่างแหล่งที่ตั้งของโรงสีกับสถานที่ใช้งาน ทั้งนี้เพราะการใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องใช้เป็นปริมาณมากทำให้เสียค่าขนส่งแพงจึงทำให้การใช้งานจำกัดแต่เฉพาะในโรงสีและบริเวณใกล้เคียงเท่านั้น ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆก็จะมีเงื่อนไขในการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในรัศมีการขนส่งไม่เกิน 150 กิโลเมตร (ดูค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามตารางที่ 2.4) โรงสีที่พอจะขายแกลบได้ในย่านจังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดปทุมธานี ขายแกลบได้ในราคาประมาณตันละ 50-60 บาท

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของแกลบ (% โดยน้ำหนัก) : งานวิจัยในต่างประเทศ (Beagle, 1978)

Investigator	basis	year	Heating Value		Ash	Moisture	Carbon	Silica	Hydrogen	Nitrogen	Sulfur	Oxygen	Volatile Matter	Fixed Carbon
			K cal/Kg	Btu/lb										
Agnew #1	dry	1972		6958	18.1								65.0	16.9
Agnew #2	dry	1972		6530										
Beagle		1968		6389	1913	5.72	39.71		5.01	0.46	0.07	29.90		
Beagle	dry	1968		6777	20.29	0	42.12		5.31	0.49	0.07	31.72		
Fontillas					24.91									
Greaves Cotton		1975		6165										
Grist		1959		6000	17.14	9.02								
Maheshwari — IR8	dry	1974	3090		17.4	3.56	39.26		4.99	1.99	0.10		68.6	14.0
Patnai	dry	1974	3560		15.8	3.56	38.92		5.10	2.17	0.12		69.3	14.9
Paoman	dry	1974	3065		18.6	3.56	38.19		4.67	1.52	0.11		68.7	12.7
Dular	dry	1974	3560		16.5	3.56	38.51		4.88	1.82	0.10		67.5	15.9
Basmati	dry	1974	2980		16.5	3.56	38.58		5.08	2.09	0.10		66.5	16.9
Nelson		1950			22.6	8.3		95.8						
Possenti		1941	3300											
Power Gas		1950		6340	21.7								60.9	17.4
Ricegrow. — Char		1970				2.8	55.8	37.05						
Rodgers #1		1936		6074										
Rodgers #2		1936		6152										
Spilling		1970	2900	5500	23.0									
Thai A863		1922	3619		18.7	9.1	40.0		5.0	0.30			56.4	15.8
Thai A864		1922				1.1	2.2		0.2					
Tucker		1952		6274					5.0	0.32				
Tulio		1972		6706		9.8								

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของเถ้าแกลบ (Beagle, 1978)

INVESTIGATOR		YEAR	C	SO_2	H_2O	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	P_2O_5	$Al2O_3$	MnO_2	SO_3	Cl
BEAGLE		1965		95.00		0.70	0.015			0.09		0.08	0.50		
BORASIO		1928		94.50		0.25	0.23	0.78	1.10	TR	0.53	TR	TR	1.13	TR
		1929		94.23		2.27	0.12	0.39	2.22	0.53	0.24	TR	TR		
		1930		93.95		2.28			3.15	1.01					
FRAPS		1916		96.97		0.57	0.12		0.58		0.57				
GARBARINO	IGN	1942	0	90.27	5.00	0.94	0.67	0.40	1.25	TR	0.51	TR	TR	0.33	TR
	CHAR	1942	25.50	65.00	6.50	0.65	0.49	0.34	0.95	TR	0.37	TR	TR	0.27	TR
JOACHIM		1928			11.35		0.27				0.50				
JONES		1954		96.50		0.25	0.25	0.40	1.00	TR	0.30		TR	1.00	TR
THAI-863	IGN	1922		95.7		2.70					0.30				TR

ตารางที่ 2.4 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งแกลบ

ค่าใช้จ่ายสำหรับรถบรรทุกขนาดต่างๆ (บาท/ตัน)			
ระยะทาง (กิโลเมตร)	4 ล้อ	6 ล้อ	10 ล้อ
5	33.50	33.33	32.94
10	42.73	39.83	37.58
20	61.21	52.83	46.86
30	79.68	65.82	56.13
40	98.15	78.82	65.41
50	116.63	91.82	74.69
60	135.10	104.82	83.96
70	153.57	117.82	93.24
80	172.05	130.81	102.51
90	190.52	143.81	111.79
100	208.99	156.81	121.07
150	301.36	221.80	167.45

3. การใช้ประโยชน์

การใช้ประโยชน์จากแกลบนั้น ปัจจุบันส่วนมากใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักรไอน้ำ และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น โรงงานเผาอิฐ เป็นต้น แต่การใช้ยังมีปริมาณน้อยทั้งนี้อาจเป็นเพราะเทคนิคที่ใช้ในการเผาไหม้ให้คุณค่าความร้อนออกมาน้อย นอกจากนี้แกลบยังมีประโยชน์ในด้านเป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมและทางการเกษตร เช่น ทำอิฐ ถ่านฟอกสี ผงขัด สารดูดซึมน้ำมันวัสดุฉนวนในอุตสาหกรรมเหล็ก ผลิตภัณฑ์ยาง พลาสติกและกาว ปุ๋ยและอาหารสัตว์ เป็นต้น

3.1 ประโยชน์ที่ทางโรงสีได้รับจากแกลบ

"แกลบ" ถือเป็นผลพลอยได้ชนิดที่มีปริมาณมากที่สุด แต่ทางโรงสีข้าวขนาดเล็กนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยที่สุด จากการสำรวจพบว่าโรงสีขนาดเล็กซึ่งใช้พลังงานจากไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลนั้นไม่มีการใช้ประโยชน์โดยตรงจากแกลบเลย จากตารางที่ 2.5 ซึ่งได้จากการสำรวจแสดงให้เราทราบดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณการใช้ประโยชน์จากแกลบและปริมาณที่เหลือ
(กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2528)

จังหวัด	เผาถ่าน	เผาอิฐ	เชื้อเพลิง	ทำปุ๋ย	เลี้ยงสัตว์	เผาทิ้ง	อื่ นๆ	เหลือ
พิษณุโลก	1,723	2	-	-	-	-	51	-
นครสวรรค์	614	240	148	-	-	-	52	16
เชียงราย	3,168	3	-	93	-	-	239	-
พิจิตร	271	9	10	-	-	-	8	-
เพชรบูรณ์	2,813	-	-	5	-	-	127	33
สิงห์บุรี	39	25	-	-	-	-	1	-
สุพรรณบุรี	44	-	-	-	-	-	1	1
อยุธยา	-	-	126	-	-	-	3,002	266
ชัยนาท	37	-	13	-	-	-	-	2
ขอนแก่น	1,400	-	-	914	-	-	134	149
ศรีสะเกษ	435	-	-	1,562	-	-	144	4
เลย	1,126	71	61	300	-	17	573	18
บุรีรัมย์	1,811	-	-	162	-	-	114	482
อุบลราชธานี	1,604	-	-	2,545	795	6	539	110
สุรินทร์	1,723	-	-	1,841	-	-	1,094	275
รวม(ตัน)	16,808	340	359	7,431	795	23	6,128	1,378

หมายเหตุ อื่นๆ เช่น ใช้กลบน้ำแข็ง ถมที่ เผาไล่ยุง ปูพื้นคอกสัตว์ เป็นต้น
เหลือ หมายถึง ปริมาณแกลบที่เหลือทิ้งไว้โดยไม่ได้ใช้ประโยชน์
ที่มา : ข้อมูลจากโรงสีทั่วประเทศไทยจำนวน 2,382 โรงสี สำนักงานพลังงานแห่งชาติ (หน่วย : ตัน)

1. ปริมาณแกลบที่ใช้ประโยชน์คิดเป็นร้อยละ 95.86

2. ปริมาณแกลบที่เหลือทิ้งไว้โดยไม่ได้ใช้ประโยชน์คิดเป็นร้อยละ 4.14 และข้อมูลจากตารางที่ 2.5 จะเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.2

ปริมาณแกลบที่เหลือจะมีมากอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม เนื่องจากเป็นช่วงทำนาชาวบ้านทั่วไปมีอาชีพทำนาจะไม่มีเวลานำแกลบไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น และระยะนี้อยู่ในช่วงฤดูฝน ดังนั้นแกลบส่วนใหญ่ซึ่งนำไปใช้ในการเผาถ่านซึ่งใช้ประโยชน์ไม่ได้เท่าที่ควรเนื่องจากเปียกน้ำฝน

ปริมาณแกลบที่ใช้ประโยชน์แยกเป็น

1.ใช้ประโยชน์โดยทางโรงสีให้เปล่าคิดเป็นร้อยละ 98.28 ของโรงสี ทั้งหมดจากการสำรวจ

2.ใช้ประโยชน์โดยทางโรงสีขายคิดเป็นร้อยละ 1.72 ของโรงสีทั้งหมดจากการสำรวจ

เหตุที่โรงสีข้าวบางแห่งสามารถขายแกลบได้เนื่องจาก

1.โรงสีข้าวตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งที่ต้องการใช้แกลบมาก เช่น ใกล้โรงงานเผาอิฐ โรงงานสุรา เป็นต้น

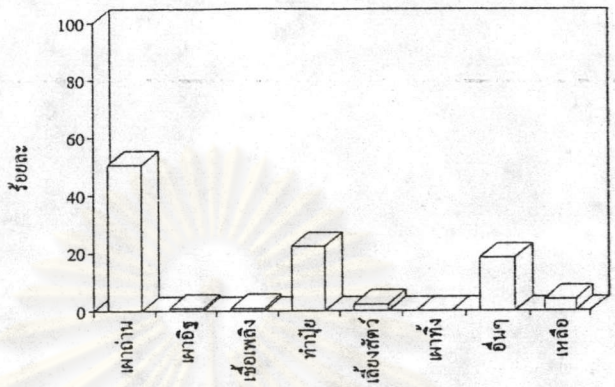
2. เป็นแหล่งที่แกลบไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้

3. คุ้มค่ากับการขนส่ง

ราคาที่ซื้อขายแกลบประมาณ 30-70 บาท/ตัน โดยไม่ได้หักค่าขนส่ง

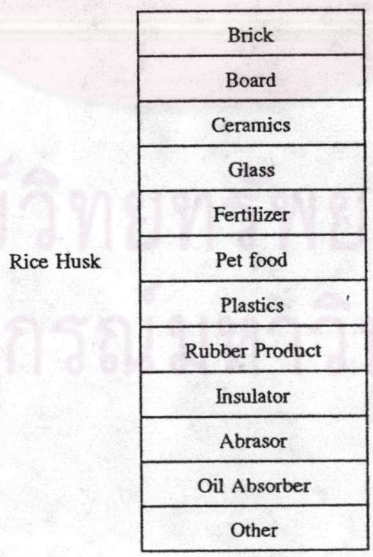
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้ประโยชน์จากแกลบ



รูปที่ 2.2 การใช้ประโยชน์ของแกลบและแกลบที่เหลือ

Rice Husk Utilization in Industries



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

3.2.1 การเผาไหม้โดยตรง ได้แก่ การนำแกลบปริมาณที่ต้องการไปกองสุมไว้ตามพื้นดินหรือใส่แกลบลงเตาเผา แล้วจุดสันดาปให้แกลบลุกไหม้ขึ้นเพื่อนำความร้อนไปใช้งาน ซึ่งกรรมวิธีไม่ค่อยยุ่งยากนักเพียงแต่อาศัยการออกแบบและการพัฒนาเตาเผาให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงพอกับการใช้งาน และมีความสิ้นเปลืองแกลบน้อยก็ควรเป็นที่พอใจ การเผาไหม้แกลบโดยตรงมีการใช้กันมาก เช่น การเผาไหม้แกลบในเตาเผาเซรามิค เพื่อใช้ความร้อนอบผลิตภัณฑ์เซรามิคให้แห้ง การเผาไหม้แกลบในหม้อผลิตไอน้ำเพื่อใช้ไอน้ำไปเดินเครื่องจักรในโรงสีข้าว นอกจากนี้ในชนบทจะใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มอีกด้วย

3.2.2 การอัดแกลบเป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้แรงดันสูง และมีความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้สารประกอบเซลลูโลส ลิกนิน และคาร์โบไฮเดรต ละลาย ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้แกลบเกาะกันเป็นแท่งซึ่งตัวแปรที่ทำให้แท่งแกลบมีคุณภาพต่างกัน ได้แก่ ความชื้นของแกลบ อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อน และความร้อนในกระบอกอัดแกลบอัดแท่ง เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ฟืนแล้วพบว่ามีคุณสมบัติดีกว่า เช่น แกลบอัดแท่งมีความหนาแน่นสูงกว่าแกลบถึง 12.5 เท่า สามารถให้อุณหภูมิสูงเท่ากับไม้ฟืนแต่มีระยะการใช้งานนานกว่าไม้ฟืน 1 เท่า และให้อุณหภูมิสูงสุดใกล้เคียงกันคือ 900 องศาเซลเซียส (ดังตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 สมบัติของเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบ (แกลบอัดแท่ง) และไม้ฟืน

สมบัติ	เชื้อเพลิงแข็งจากแกลบ	เชื้อเพลิงแข็งจากไม้ฟืน
ความชื้น (%)	5.1 - 6.6	5.9 - 8.0
ถ่านคงตัว*(%)	19.7 - 21.0	22.2 - 22.8
สารระเหย* (%)	60.0 - 63.3	73.3 - 76.0
เถ้า* (%)	16.9 - 19.1	1.3 - 3.9
ค่าความร้อน*(กิโลแคลอรี่/กก.)	3,810 - 3,990	4,389 - 4,590
ความหนาแน่น(กิโลกรัม/ม^3)	1,320 - 1,340	643 - 834
อุณหภูมิสูงสุด(องศาเซลเซียส)	900 - 910	900 - 950
ระยะเวลาการลุกไหม้(ชั่วโมง)	3.0 - 3.2	1.5 - 1.7

หมายเหตุ: * ไม่คิดค่าความชื้น

3.2.3 การกลั่นสลายแกลบ (Pyrolysis)

การกลั่นสลายแกลบคือ กระบวนการที่ให้ความร้อนแก่สารอินทรีย์ในที่ปราศจากออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้สารอินทรีย์แตกตัวออกเป็นสารประกอบอื่นๆ หรือเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานได้ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือก๊าซชีวมวล น้ำมัน (Oils) และถ่านสุก (Char) ปกติกระบวนการกลั่นสลายกระทำในเตาแบบเบดอยู่กับที่ ซึ่งใช้อุณหภูมิประมาณ 200-600 องศาเซลเซียส แต่ในปัจจุบันพัฒนาจนถึงอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีทั้งดูดความร้อนและคายความร้อน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเธน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ สารประกอบที่ได้จากการกลั่นสลายแกลบสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี ยกเว้นส่วนที่เป็นน้ำและเถ้า นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นปนออกมาด้วย เช่น กรดอะซิติก เมธานอล และสารอื่นๆ เป็นต้น

3.2.4 แก๊สซิฟิเคชันของแกลบ (Gasification)

กระบวนการนี้คล้ายคลึงกับการกลั่นสลายแต่แก๊สซิฟิเคชันใช้อุณหภูมิในขอบเขตที่สูงกว่า มีการใช้ออกซิเจนที่มีปริมาณจำกัดและได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซชีวมวล

แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

1. วิวัฒนาการของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

การค้นพบก๊าซชีวมวลเริ่มมีบันทึกไว้เมื่อ Clayton (พ.ศ. 2242) ทดลองกลั่นสลายถ่านหินแล้วพบว่าก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาผลิตก๊าซสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ต่อมา Gardner and Barker (พ.ศ. 2334) ค้นพบว่าก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมาจากปล่องควันของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้สำหรับหม้อน้ำได้อีกครั้งหนึ่ง ในระยะแรกนั้นประมาณปี พ.ศ. 2343 มีการนำเอาก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเชื้อเพลิงแข็ง ต่อมาจึงมีการใช้แก๊สซิฟิเคชันจากวัตถุดิบอย่างอื่นจำพวกชีวมวลมาใช้งาน เช่น ไม้ Labon (พ.ศ.2341), ถ่านไม้ Lampadius (พ.ศ.2344) เป็นต้น กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงก็คือ การไพโรไลซิส (Pyrolysis) เชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ในระหว่างปี พ.ศ.2358-2382 เป็นช่วงที่การพัฒนาเกี่ยวกับแก๊สซิฟิเคชันเน้นไปที่การออกแบบเตาปฏิกรณ์ เช่น J. Taylor (พ.ศ.2358) และ Biscof (พ.ศ.2383) เป็นต้น เตาผลิตก๊าซในระยะแรกเป็นแบบใช้อากาศ (Air Blown Type) โดยการใส่ถ่านโค๊กถ่านหินหรือถ่านไม้ ลงไปในท่อทรงกระบอกเหนือแผ่นรองรับที่มีรูพรุน (Perforated Grate) และเป่าอากาศผ่านขึ้นไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนมอนนอกไซด์ นอกจากนั้นจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเธนอีกเล็กน้อย เครื่องมือนี้มีปัญหาสำคัญในการใช้งานคือ น้ำมันทาร์ (Tar) จำนวนมากปะปนอยู่กับก๊าซผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่

สามารถนำก๊าซนั้นไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ จึงมีการพัฒนารูปแบบเตาผลิตก๊าซเป็น Down-Draught Unit กล่าวคือ การดึงก๊าซผลิตภัณฑ์ออกทางด้านล่างของเตา โดยผ่านเบดของคาร์บอน (Bed of Carbon) หรือถ่านที่เป็นเชื้อเพลิงเพื่อกำจัดน้ำมันทาร์ ทำให้ก๊าซที่ได้สะอาดขึ้น

ในช่วงปี พ.ศ. 2423-2463 ที่ประเทศเยอรมัน มีการปรับปรุงเครื่องมือให้สามารถใช้งานกับถ่านหินเกรดต่ำได้ โดยการออกแบบเตาผลิตก๊าซที่พิจารณาถึงการนำเอาเถ้าออกด้วย การพัฒนาครั้งนี้ทำให้เกิดรูปแบบเตาที่มีชื่อเสียงคือ Rotating Grid Type ซึ่งออกแบบโดย Kerpely ในปี พ.ศ. 2447

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เกิดการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้มีการหันมาค้นคว้ารูปแบบของเตาผลิตก๊าซให้ดีขึ้น ในช่วงนั้นก๊าซเชื้อเพลิงถูกนำไปใช้แทนน้ำมันในรถยนต์ รถบรรทุก รถแทรกเตอร์ เรือยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ และเครื่องสับเปลี่ยนรางรถไฟ เตาผลิตก๊าซได้รับการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์ Otto โดยมาผลิตก๊าซที่นำไปใช้กับรถยนต์มีขนาดเล็กและส่วนใหญ่จะใช้ Fisher Tropsch Process เป็นขั้นตอนในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน

หลังสงครามโลก ในช่วงปี พ.ศ. 2493-2503 ผลิตภัณฑ์ทางด้านปิโตรเลียมหาง่ายขึ้นอีกทั้งมีราคาถูกการใช้งานก็สะดวกเป็นเหตุให้การใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันลดลงจนแทบจะหมดไป ที่ยังเหลือใช้อยู่ก็ไม่มีการพัฒนากระบวนการให้ดีขึ้นแต่อย่างใด

Tao Von Fredersdoff (พ.ศ.2498) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของการผลิตก๊าซชีวมวลจากถ่านหิน ต่อมา May et al. ได้ศึกษาการเกิดก๊าซชีวมวลจากการที่เผาถ่านโค้กในเตาผลิตก๊าซทั้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและแบบเบดอยู่กับที่ ในปี พ.ศ.2504 Squries นำผลการศึกษาของ May et al. มาศึกษาเพิ่มเติมแล้วสรุปว่า ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดอยู่กับที่คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเฉพาะตรงบริเวณทางเข้าของไอน้ำร้อนแต่ในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเหมือนกันตลอดเตา ปี พ.ศ. 2516-2517 เกิดวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำมันอีก เนื่องจากการไม่ส่งออกน้ำมันของกลุ่มประเทศผู้ผลิต ประเทศที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนาจึงเริ่มหันมาสนใจฟื้นฟูกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ววัตถุประสงค์หลักคือ การผลิตก๊าซสังเคราะห์โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศเท่านั้น เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่งและเครื่องทำความร้อนจึงเป็นเหตุให้ความสนใจทั้งหมดมุ่งไปสู่ Air Blown Gasifier ที่มีขนาดเล็ก โดย Johnson (พ.ศ.2517) ได้เสนอแบบจำลองของการเกิดก๊าซชีวมวลในอุดมคติ ซึ่งประกอบด้วยสามขั้นตอนคือ

ก. การระเหยของสารระเหยได้

ข. ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเธนอย่างรวดเร็ว

ค. ปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันอย่างช้าๆ

Jensen (พ.ศ.2518) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านหินด้วยไอน้ำในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 1,000-1,300 องศาเซลเซียส โดยพบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวของคาร์บอน ต่อมา Chan and Papic (พ.ศ.2519) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินกับไอน้ำในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบดอยู่กับที่ ในช่วงอุณหภูมิ 800-1,000. องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิมีผลมากต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา

Georgakis et al. (พ.ศ.2522) ได้ศึกษาและเสนอกลไกของการเกิดการเผาไหม้ของถ่านโดยอาศัยทฤษฎีฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มสองชั้น ในปี พ.ศ. 2524 Kasaoka ได้ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราเร็วของการเกิดก๊าซชีวมวล พบว่าเมื่อเติมเหล็กและนิเกิลลงในเตาปฏิกรณ์ จะช่วยให้การเกิดก๊าซชีวมวลที่อุณหภูมิต่ำกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดก๊าซชีวมวลเร็วขึ้น และในปีเดียวกัน Purdy ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินกับก๊าซผสมของไอน้ำและออกซิเจนในเตาผลิตก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด โดยการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิและอัตราส่วนของไอน้ำต่อคาร์บอน เป็นฟังก์ชันต่ออัตราการไหลของก๊าซชีวมวล ถ้าเพิ่มอัตราส่วนดังกล่าวจะทำให้อัตราการไหลของก๊าซชีวมวลเพิ่มขึ้น

Anuradha Ganesh et al. (พ.ศ.2534) การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวของแกลบ ในการเกิดไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscopy (SEM) และ Paul T. Wiiliams and Serpil Besler (พ.ศ.2534) ศึกษาโดยใช้เครื่องมือ Thermogravimetry Analysis (TGA)

เมื่อศึกษาข้อมูลจากสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกา จะพบว่ามีสิ่งประดิษฐ์เตา Gasifier และระบบต่างๆของแก๊สซิฟิเคชัน โดยสามารถหารายการอ้างอิงได้ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ (US PATENT, 1932, 1950, 1973, 1976, 1978)

สำหรับประเทศไทยแม้ว่าความรู้ทางด้านก๊าซชีวมวลยังพอมีอยู่เหลืออยู่บ้างจากสงครามโลกครั้งที่ 2 และได้มีการทดลองเกี่ยวกับการใช้ก๊าซชีวมวลในเครื่องยนต์มาบ้างแล้ว แต่ก็ยังไม่ได้มีการวิจัยและพัฒนากันอย่างจริงจังและเป็นระบบ (ดังตารางที่ 2.7) และในตารางที่ 2.8 แสดงถึงการทดลอง Fixed Bed Gasifier ในประเทศไทย สำหรับรายชื่อสถานที่ตั้งและขนาดของ Gasifier ที่ติดตั้งโดยบริษัทจรุงเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด มีในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.7 สถานภาพการวิจัยและพัฒนาในด้าน Rice Husk Gasification (เกียรติไกร อายุวัฒน์, 2531)

Institute or Name	Gasifier Type	End Use	Status
Thailand			
1. Chulalongkorn University			
- ดร.พล สาเกทอง	Fluidized Bed Down-Draft	- Electricity	Paper
- สักขี แสนสุภา	Fluidized Bed	-	Thesis
2. Prince of Songkla University	Down-Draft	Electricity	Improve 1983
3.Chacherngsao	Up-Draft160 HP	Electricity	Operate 1982
4.Chaingmai Uni.	Fluidized Bed	Electricity	มีรายงานการวิจัย
5.วิทยาลัยครูฉะเชิงเทรา	Down-Draft เครื่องยนต์ 5 แรงม้า	Pumping	Operate 1985
6.กรมอาชีวะ	เครื่องยนต์ใช้กับรถอีแต๋น	ขับเคลื่อนรถอีแต๋น	จากหนังสือพิมพ์
Indonesia			
Institute Teknologi Bandung			
1. Sumbawa	Down-Draft(40 kw)	Lighting	Electricity
2. Majalengka	Down-Draft(15 kw)	Lighting	Electricity
3. Mojokerto	Down-Draft(30 kw)	Rice Milling	Mechanical
4.Banjar	Down-Draft(15 kw)	Rice Milling	Mechanical
Phillipines	Down-Draft(10 kw)	Engine-Electricity Generator	Densified Rice Husk and Diesel
	Down-Draft(60 kw)		Loose Rice Husk
	Down-Draft(7.5kw)	Electricity -	Rice Husk and Diesel Oil

ตารางที่ 2.8 การทดลองเกี่ยวกับ Fixed-Bed Gasifier ในประเทศไทย (Chulalongkorn University, 1984)

Institute	Type of gasifier	Type of biomass	End use
Chulalongkorn University, Bangkok	Updraft	Charcoal	500 Watts
	Downdraft	Charcoal	500 Watts
	Downdraft	Crop residues	7 Hp.
	Downdraft	Wood	16 Hp.
	Downdraft	Diesel and Wood	25 kW
Prince of Songkhla University,	Downdraft	Biomass	15 kW
Songkhla	Open core	Rice Husk	-
Asian Institute of Technology,	Opencore	Pyrolyzed and Briqutted	3.8 kVA
Bangkok		groundnut shell	
	Opencore	Corn cob	Direct heat
	Downdraft	Biomass	-
	Downdraft	Charcoal	-
	Opencore	Biomass	Irrigation
King-Mongkut Institute of	Updraft	Wood	-
Technology, Bangkok	Downdraft	Charcoal	25 kW
National Energy Administration,	Downdraft	Wood	45 kW
Bangkok	Downdraft	Wood	75 kW

ตารางที่ 2.9 สถานที่ตั้งและขนาดของ Gasifier ที่ติดตั้งโดยบริษัทจรุงเอนจิเนียริ่ง จำกัด

Plant	Province	Size (kVA)	Year Installed
1. Rien Thong Rice Mill	Chachengsao	540	1984-1985
2. Ruang Thong Thanyakarn Rice Mill	Chachengsao	90	1984
3. Thanyakarn Rice Mill	Chachengsao	-	-
4. Charoenphol Rice Mill	Surin	540	1986
5. Surin Northeast Product Plant	Khon-kaen	270	1985
6. Chum Pae Northeast Product Plant	Khon-kaen	270	1985
7. Thong Hua Rice Mill	Nakornrachasima	180	1985
8. Sagaum Chai Rice Mill	Nakornrachasima	180	1985
9. Boriboon Rice Mill	Nakornrachasima	90	1985
10. Pakthongchai Rice Making Plant	Nakornrachasima	180	1986
11. Udompermpoon Flour Mill	Udornthani	270	1986
12. Suriya Rice Mill	Surin	270	1986
13. Kangkhoi Rice Making Plant	Saraburi	360	1986
14. Mithsampan Rice Mill	Saraburi	270	1986
15. Saohai Rice Mill	Saraburi	1,260	1986
16. Sithipong rice mill	Srisaket	270	1985
17. Kiatvanich rice making plant	Burirum	180	1986
18. Chaicharoenying rice mill	Samutprakarn	270	1985
19. Younhong rice mill	Samutprakarn	270	1986
20. Chaiwat flour mill	Cholburi	270	1984
21. Cholcharoen flour mill	Cholburi	90	1985
22. Chairat rice mill	Supanburi	270	1987
23. Kasetsinthai	Srisaket	270	1986

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. งานวิจัยเกี่ยวกับเตาผลิตก๊าซจากแกลบในอดีต (เกียรติไกร อายุวัฒน์, 2531)

2.1 ประเทศไทย

2.2 ต่างประเทศ

2.1 ในประเทศไทย

2.1.1 การเผาไหม้แกลบโดยวิธีฟลูอิไดเซชันและการนำพลังงานความร้อนมาใช้ประโยชน์

โดย ดร.พล สาเกทอง (พ.ศ.2526)

เน้นการศึกษาเน้นการเผาแกลบโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันมาช่วยโดยระบบนี้มีข้อดีหลายประการคือ

ก. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทระหว่างของแข็งและก๊าซหรือระหว่างเบดกับผิวผนังหรือสิ่งที่อยู่ในเบดเป็นไปได้ดีเยี่ยม

ข. อากาศสัมผัสอนุภาคได้ทั่วถึงและควบคุมระยะเวลาการสัมผัสระหว่างอากาศและของแข็งได้

ค. ควบคุมอุณหภูมิในเบดได้สม่ำเสมอแน่นอนและทำให้เข้าใจลักษณะที่เหมาะสมต่างๆเช่นตำแหน่งป้อนแกลบ, การเอาเถ้าออกจากระบบ เป็นต้น ตลอดจนศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วย ส่วนความร้อนที่ได้นำไปใช้ทำน้ำร้อน

การทดลองนี้ได้จัดทำเครื่องมือในครั้งแรกและปรับปรุงชุดที่ 2 ให้ดีขึ้น โดยตอนแรกเผาเตาด้วย Burner (LPG) จนอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส จะป้อนแกลบอัตโนมัติโดยควบคุมอุณหภูมิในเตาตามที่ต้องการ เถ้าจะถูกแยกโดยไซโคลน ก๊าซที่ได้นำไปทำน้ำให้ร้อนขึ้น การเก็บข้อมูล ณ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยวัดอัตราการไหลของอากาศ

บทสรุปและเสนอแนะ

1. สมบัติของแกลบน่าจะมีการศึกษาค่าความร้อนของแกลบพันธุ์ข้าวต่าง ๆ

2. เครื่องมือวิจัยควรปรับปรุงระบบนำเข้าแกลบ ระบบเถ้าออก ระบบถ่ายเทความร้อน วัสดุที่ใช้

3. การเผาไหม้แกลบ

- ต้องกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่นำเถ้าออกมาได้เพียงพอจากการทดสอบครั้งนี้ที่เหมาะสมคือ 0.47 ลูกบาศก์เมตร/นาที

- อัตราร้อยละของอากาศที่มากเกินพอจะทำให้ประสิทธิภาพการสันดาปดีขึ้นเมื่ออัตราร้อยละของอากาศสูงขึ้น

- อุณหภูมิเผาไหม้ที่เหมาะสมประมาณ 700 องศาเซลเซียส

2.1.2. <u>การผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด</u>

วิทยานิพนธ์ โดย นายสักขี แสนสุภา

เป็นการศึกษาการเผาไหม้แกลบเพื่อการผลิตก๊าซชีวมวลโดย ใช้หลักการของฟลูอิไดซ์เบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร 2 คอลัมน์เชื่อมต่อกัน โดยตอนแรกศึกษาปรับปรุงอุปกรณ์แล้วเก็บข้อมูล การทดลองจะใช้เถ้าแกลบจากคอลัมน์ที่ 1 ป้อนเข้าที่คอลัมน์ 1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนเผาไหม้ เผาได้ก๊าซร้อนไหลเข้าสู่คอลัมน์ 2 ทำปฏิกิริยากับแกลบที่ป้อนเข้าคอลัมน์ที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 650-900 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 50.38-64.35 เซนติเมตร/วินาที

โดยตั้งวัตถุประสงค์คือ ก. ศึกษากระบวนการ

ข. ศึกษาองค์ประกอบของก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยา

ค. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซคือ 850 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 59.7 เซนติเมตร/วินาที อัตราป้อนแกลบ 1.12 กรัม / ตารางเซนติเมตร.นาที ก๊าซที่ได้นำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบ และมีค่าทางความร้อน (Heating Value) 768.47 กิโลคาลอรี/ลูกบาศก์เมตร ประสิทธิภาพของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันร้อยละ 31.20

2.1.3 <u>การผลิตก๊าซชีวมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิไดซ์เบด สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า</u>

โดย ดร.ณอคุณ สิทธิพงศ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ได้นำหลักการฟลูอิไดซ์เบดมาใช้กับเตาเผาแกลบเพื่อผลิต Producer Gas ไปใช้ในเครื่องยนต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

ก. พัฒนา สร้างและทดสอบเตาผลิตก๊าซ (Gasifier) จากแกลบ โดยใช้หลักการฟลูอิไดซ์เบดมาช่วย

ข. ขนาดของเตาผลิตก๊าซจะต้องเหมาะพอใช้กับขนาดของหมู่บ้าน

ค. นำก๊าซมาใช้ในเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

โดยสร้างเตาเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร เป็นสองชั้นดังแสดงในภาคผนวกรูปที่ จ 3 อุณหภูมิในเตาที่ทำงานประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส ใช้อากาศจากเครื่อง

อัดอากาศ ก๊าซจากเตาผ่านไซโคลนแล้วเข้าระบบทำความสะอาดและทำให้ก๊าซเย็นลง โดยให้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ซึ่งไอน้ำและทาร์จะควบแน่นในเครื่องทำให้น้ำเย็น (Cooler) โดยใช้ใยเหล็กเป็นตัวแยกน้ำและทาร์ ออกจากก๊าซ

ก๊าซที่ได้มาใช้กับเครื่องยนต์ 4 สูบขนาด 1,300 ลูกบาศก์เซนติเมตร

<u>จากการทดลองสรุปผล</u> ได้ดังนี้

ก. พบว่าก๊าซเชื้อเพลิงจากแกลบนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ มีความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ข. การเกิด CO มากที่สุดร้อยละ 18

ค. ปัญหาที่พบในระบบนี้ก็คือยังมีฝุ่นมากในเตาเผาชั้นที่ 2

ง. brake power ที่ได้จากเครื่องคือ 4.241 กิโลวัตต์ ที่ 1,500 รอบต่อนาที ซึ่งเทียบเท่าร้อยละ 40 ต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเดินแทน

จ. ประสิทธิภาพโดยรวมต่ำมากเพียงร้อยละ 5.08 เทียบกับร้อยละ 20.87 ถ้าใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

ฉ. ระบบมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซลเป็นราคา/กิโลวัตต์ ชั่วโมงคือระบบนี้คิดเป็นเงิน 0.73 บาท/กิโลวัตต์ ชั่วโมง benefit cost ratio เมื่อใช้แทนน้ำมันดีเซลคือ 1.25

2.1.4. <u>แบบจำลองพัฒนาชุมชนชนบท (The Rural Comunity Development Model or RCOM)</u>

โดย เสาวพรรณ สุพุทธิธาดา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ล่วงหน้าถึงกรรมวิธีในที่ตัดสินใจ สำหรับการพัฒนาชุมชน โดยเน้นการพัฒนาด้านพลังงานอ้างอิงข้อมูลพื้นฐาน Simulation Model และ Optimization Model โดยใช้กับระบบก๊าซชีวมวลต่างๆ สำหรับระบบก๊าซชีวมวลแบบใช้แกลบที่ศึกษานั้น ระบบที่น่าสนใจที่สุดคือขนาด 50 กิโลวัตต์ ที่ใช้พ่วงกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ซึ่งเงินลงทุนไม่เกิน 13,965 บาท/กิโลวัตต์ ที่ราคาแกลบไม่เกิน 515 บาท/ตัน โดยสามารถเดินเครื่องเพียง 2,400 ชั่วโมง/ปี คุ้มทุน ราคาแกลบที่สูงขึ้นไปกว่านี้ต้องการใช้เวลาเดินเครื่องเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนถึง 2,880 ชั่วโมง/ปี และพบว่าหากนำเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 50 กิโลวัตต์ ที่ขับด้วยก๊าซชีวมวลจากแกลบเข้าไปใช้ในโรงสี จะมีผลกระทบที่สำคัญต่อชุมชนโดยจะเพิ่มรายได้ถึง 1,520,000 บาท ในช่วงเวลา 5 ปีเท่านั้น

2.2 การศึกษาและวิจัยระบบเตาผลิตก๊าซจากแกลบในต่างประเทศ

2.2.1 โดย Ibarra E. Cruz. ประเทศฟิลิปปินส์

ได้ร่วมพัฒนาระบบ Gasifierจากแกลบร่วมกับ University of the Phillipinesโดยใช้แกลบที่อัดแข็งและไม่อัดแข็งโดยใช้เตาแบบ Down-Draft Reactor โดยออกแบบให้มี Throat ทำให้ก๊าซที่ผ่านมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อขจัดทาร์ออกจากเตา ก๊าซที่ได้นำไปใช้ในการเดินเครื่องยนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 7.5 กิโลวัตต์ โดยใช้เครื่องยนต์ 4 สูบ ขนาด 1,332 ลูกบาศก์เซนติเมตร และยังทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างก๊าซที่ได้กับน้ำมันดีเซล

ผลจากการวิจัยพอสรุปได้ดังนี้

การออกแบบเตาเผาแกลบแบบ Double - Fire Operation (Down-Draft) มีความเหมาะสมดี การเผา Pyrolysis Gas และทาร์ใน Secondary Combustion Zone ในเตาเผาพบว่าช่วยลดทาร์ได้ดี การเผาเถ้าแกลบออกจากเตาอย่างง่ายๆ โดยใช้แกนเหล็กหมุนทวนแกลบออกมาได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ตามก็กล่าวว่ายังต้องศึกษาและออกแบบระบบให้เหมาะสมกว่านี้ต่อไป

2.2.2 โดย R.Manurung และคณะ ประเทศอินโดนีเซีย

ได้ทดลองใช้ Rice Husk gasification เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมงโดยใช้ก๊าซกับเครื่องดีเซลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์ การทำงานไม่ต้องใช้เทคนิคมาก สามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้มากกว่าร้อยละ 70 และพบว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

อินโดนีเซียปลูกข้าวได้ในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ทำให้มีผลพลอยได้จากแกลบในแต่ละปีเป็นจำนวนมหาศาล จึงได้มีการศึกษาหาทางนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ รวมทั้งใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าวหรื่อเครื่องสูบน้ำ การศึกษาเริ่มโดย Institute of Technology Bundung (ITB) ร่วมกับประเทศเนเธอร์แลนด์ได้ตั้งโครงการแก๊สซิฟิเคชันขึ้นสำหรับรูปแบบเตาผลิตก๊าซ จากแกลบจะเป็นแบบ Open Core Down-Draft Gasifier โดยเติมแกลบแบบต่อเนื่อง โดยได้ติดตั้งระบบแบบนี้และมีรายละเอียดดังนี้

ก. ติดตั้งที่ Sumbawa ขนาด 40 กิโลวัตต์ ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง

ข. ติดตั้งที่ Majalengka ขนาด 15 กิโลวัตต์ ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง

ค. ติดตั้งที่ Mojokerto ขนาด 30 กิโลวัตต์ ผลิตเพื่อเป็นต้นกำลังในโรงสีข้าว

ข้าว

ง. ติดตั้งที่ Banjar ขนาด 15 กิโลวัตต์ ผลิตเพื่อเป็นต้นกำลังในโรงสีข้าว

ผลจากการทดลองใช้เตาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 55 เซนติเมตร มีความสูง 75 เซนติเมตร ใช้เครื่องดีเซล "Thames" จากประเทศอังกฤษขนาด 48 กำลังม้า ที่ 1,500 รอบต่อนาที ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ขนาด 15 กิโลวัตต์ ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลในการเดินเครื่องแต่ละวัน

Condition	Data
–Operating time	18:00-24.00(6 hours)
–Electricity generated	12 kVA(9.6 kw)
–Voltage delivered	140 Volt(at station)
–Diesel fuel consumption @100% diesel fuel	40 l/day
@dual fuel operation	12 l/day
–Lubricating oil consumption	8 l/ 60 hours
–Rice husk consumption 140 kg/day	(23.3 kg/hr)
–Temperature profile in bed as position above the grate	
75 cm	25-30°C
60 cm	875-950 °C
45 cm	1,000-1,100 °C
30 cm	850-900 °C
15 cm	600-700 °C
–Temperature of air & gas mixture entering the engine	30°C
–Filter cleaning	once in 2 weeks
–Tar in gas before cleaning system	1.70 g/Nm^3
–Tar in gas after cleaning system	0.37 g/Nm^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยสรุปผลได้ดังนี้

ได้ทดลองใช้จริงในสนามเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง การขจัดทาร์และฝุ่นได้ผลน่าพอใจ ไม่ใช้เทคนิคมากสามารถใช้ก๊าซทดแทนน้ำมันได้ประมาณร้อยละ 70

2.2.3 The Gasification Characteristics of Rice Hulls for the Generation of Electricity and Shaft Power on a Small (5-30 hp.) Scale. By A. Kaupp.

ได้ทดสอบระบบผลิตก๊าซมากกว่า 3 ครั้งเป็นเวลาหลายปี ได้ศึกษาสมบัติ แก๊สซิฟิเคชันของแกลบและแกลบอัดแท่ง เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในระบบผลิตก๊าซขนาดเล็ก สมบัติทางกายภาพของแกลบเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องศึกษาตลอดจนต้องศึกษาจลนศาสตร์ของแก๊สซิฟิเคชันด้วย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาวิเคราะห์ ด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบแบบนี้ขนาดเล็ก (5 กำลังม้า) การกำหนดระบบกรองก๊าซสำหรับก่อนใช้ในเครื่องยนต์เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก พบว่าระบบเตาผลิตก๊าซใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงต้องการออกแบบโดยเฉพาะสำหรับระบบนี้และไม่สามารถสร้างให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ในระบบเล็กๆ

งานวิจัยนี้ได้ให้ข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นทั้งในทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ และต้องตระหนักถึงเสมอในการออกแบบ Rice hull gasification คือ

1. Air to Fuel Ratio
2. Equivalence ratio (อัตราส่วนสมมูล)
3. Velocity of the Upward Moving Fire Zone
4. Velocity of the Downward Moving Rice Hulls
5. Gas Composition CO, CO_2 ,Total Hydrocarbon, H_2, H_2O, N_2, O_2
6. Higher Heating Value of the Dry Gas
7. Superficial Gas Velocity within the Fuel Bed
8. Time of Operate
9. Specific Gasification Rate
10. Rate of Rice Hull Consumption
11. Degree of Rice Hull Conversion
12. Volume Reduction of Rice Hulls
13. Carbon Conversion
14. Efficiency of the Process

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากการวิจัยสรุปได้ดังนี้

ก. การทำก๊าซชีวมวลจากแกลบในขนาดเล็กๆจะมีปัญหาในด้านการจัดอุปกรณ์ และวัสดุในระบบเท่านั้น แต่ในด้านการเผาให้เกิดก๊าซมีปัญหาไม่มากนัก

ข. ช่องว่างระหว่างแกลบที่เติมใส่และเบดในเตาเผามีผลกระทบต่อการเกิดก๊าซไม่สม่ำเสมอ เนื่องมาจากเชื้อเพลิงเกิดเป็นโพรงและทำให้อากาศเข้าไปในเตาเผามากนั่นเอง

ค. เนื่องจากความเร็วของเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงที่กำลังลุกไหม้ใน Firebox Column สูงมากการที่จะประกันและแน่ใจว่าระบบทำงานได้ตลอดจะต้อง มีระบบเอาเถ้าแกลบออกจากระบบอย่างต่อเนื่องด้วย

ง. การสั่นที่เกิดจากเครื่องจะเพียงพอที่จะแก้ปัญหาการเกิดโพรงและอุดตันในเตาได้หรือไม่ว่าจะใช้ระบบป้อนแกลบด้วยการอัดเข้าเตาก็ตาม

จ. ถึงแม้ว่าจะประหยัดเชื้อเพลิงได้ไม่มาก สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 5 แรงม้า แต่สามารถจะถอนต้นทุนคืนได้ภายใน 1-2 ปี

ฉ. การใช้แกลบอัดแข็งป้อนเข้าเตาเผาโดยสม่ำเสมอได้ ส่วนประกอบของก๊าซเป็นที่น่าพอใจ แต่ไม่ได้ช่วยแก้ปัญหาการเกาะตัวเป็นก้อนของแกลบได้

ช. การอัดแกลบให้มีความหนาแน่นมากขึ้น (600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) จะช่วยลดขนาดของถังเติมแกลบและถังเก็บเถ้าแกลบด้วย

2.2.4 Performance of a Rice Husk Fueled Fluidized Bed Pilot Plant Gasifier

By F.G. Van den Aarsen etc.,

ได้ทดสอบเผาแกลบโดยใช้หลักการฟลูอิไดซ์เบดใช้อากาศอัดเข้าเตา 50 กิโลกรัม/ชั่วโมง ไม่พบปัญหาเกี่ยวกับเถ้าและการนำเถ้าออกจากเตา โดยสังเกตจากการทดลองเป็นเวลา 35 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเตาเผาสูงกว่า 940 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ได้มีค่าความร้อนต่ำอยู่ระหว่าง 4,500 และ 6,000 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิทำงานของเตาเผาและก๊าซนี้นำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ทาร์ที่มีอยู่ในก๊าซจะมากน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการทำงานของเตา จะมีค่าลดลงจาก 6,000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่ 750 องศาเซลเซียส เหลือ 800 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่ 940 องศาเซลเซียส ค่าเหล่านี้จะมากกว่าก๊าซที่ได้จากไม้ฟืนถึง 2-6 เท่าที่เงื่อนไขเหมือนกัน การแปลงแกลบให้เป็นก๊าซด้วยเตาเผาแบบนี้พบว่ามีประสิทธิภาพร้อยละ 60-66

2.3 ทฤษฎีแก๊สซิฟิเคชัน

แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) หรือกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการแปรสภาพเชื้อเพลิงแข็งเช่น ถ่านหิน ถ่านไม้ เป็นต้น ให้อยู่ในรูปเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซดังเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H_2) มีเธน (CH_4) ในตารางที่ 2.11 และ 2.12 แสดงส่วนผสมของก๊าซเชื้อเพลิง กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเทอร์โมเคมิคอล (Thermochemical Conversion Process) ได้จากปฏิกิริยาของคาร์บอนกับออกซิเจน และ/หรือไอน้ำที่อุณหภูมิสูงความดันตั้งแต่ 1 บรรยากาศขึ้นไป ปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอน มีทั้งปฏิกิริยาดูดความร้อนและคายความร้อน ก๊าซเชื้อเพลิงประกอบด้วยก๊าซผสมของ CO และ H_2 เรียกว่าโปรดิวเซอร์ก๊าซ (Producer Gas)

โปรดิวเซอร์ก๊าซ เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) ของคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ และปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ของคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.11 แสดงส่วนผสมของก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้และไม้ (Beagle, 1978)

องค์ประกอบ	ส่วนผสมเป็นร้อยละของก๊าซจากถ่านไม้	ส่วนผสมเป็นร้อยละของก๊าซจากไม้
CO_2	3.0	9.5 - 9.7
C_xH_y	0.1	0 - 0.3
O_2	1.3	0.6 - 1.4
CO	28.7	20.5 - 22.2
H_2	3.8	12.3 - 15.0
CH_4	0.2	2.4 - 3.4
N_2	62.9	50.0 - 53.8
Calorific Values of Gas	4,105 kJ/m^3	5,952 kJ/m^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.12 แสดงสมบัติของก๊าซเชื้อเพลิงจากแกลบและเชื้อเพลิงอื่นๆ

ข้อมูลของเชื้อเพลิง	ถ่านไม้	ขี้เลื่อย	แกลบ
ค่าความร้อน/ปอนด์ (Dry) (BTU)	7,750	6,350	6,340
คาร์บอนคงตัว (%)	18.7	20.67	17.4
ความชื้น (%)	0.0	0.0	0.0
สารระเหยได้ (%)	77.0	78.4	60.9
เถ้า (%)	4.3	0.93	21.7
Lbs/B.H.P. (Dry)	1.75	2.2	2.2
Lbs./B.H.P. (29% Moisture)	2.2	2.8	2.8
CO_2 (%)	6.9	12.2	3.0
O_2 (%)	0.2	0.8	0.4
CO (%)	28.1	18.2	32.2
H_2 (%)	13.9	10.2	6.4
CH_4 (%)	3.7	3.2	0.6
N_2 (%)	47.2	55.4	57.1
Calorific Value per cu.ft. (BTU)	170	123	135
Cu.Ft./Lb.of Fuel (Dry)	32	33	30
Cu.Ft./Lb of Fuel (20% Moisture)	25	26	24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปฏิกิริยาเผาไหม้พื้นฐาน (Fundamental Combustion Reactions)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนกับอากาศและ/หรือไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.13 ปฏิกิริยาเหล่านี้มีการศึกษามานานแล้ว นับได้ว่าเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานที่ สามารถนำมาอธิบายกระบวนการเผาไหม้ต่างๆได้

ตารางที่ 2.13 ปฏิกิริยาการเผาไหม้พื้นฐาน (Breag, 1979)

ปฏิกิริยา	ลักษณะของปฏิกิริยา	ΔH		
		Cal/gmole	KJ/Kgmole	Btu/lbmole
1. $C + O_2 \rightarrow CO_2$	-	94,410	408,632	169,938
2. $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$	-	27,056	123,092	48,701
3. $C + CO_2 \rightarrow 2CO$	+	40,298	162,448	72,536
4. $CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2$	-	67,355	285,540	121,239
5. $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	+	32,454	118,905	58,917
6. $C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$	+	24,610	75,362	44,298
7. $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	-	7,844	43,543	14,119

หมายเหตุ 1. ปฏิกิริยาทดลองที่สภาวะ 1,200 องศาเคลวิน (1,700 องศาฟาเรนไฮท์ 927 องศาเซลเซียส) ความดัน 1 บรรยากาศ คาร์บอนที่ใช้เป็นมาตรฐาน อยู่ในรูปแกรไฟต์

2. เครื่องหมายลบ หมายถึง ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction)
เครื่องหมายบวก หมายถึง ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction)

ปฏิกิริยาที่ 1 เป็นการเผาไหม้คาร์บอนในบริเวณที่มีออกซิเจนมากเกินพอ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนปฏิกิริยาที่ 2 เป็นการเผาไหม้คาร์บอนที่กำลังลุกแดงภายใต้ สภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์

ปฏิกิริยาที่ 3 เรียกว่า "Boudouard Reaction" เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานของการผลิตโปรดิวเซอร์ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินพอ (Excess Carbon) ในอนุภาคของแข็งเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ มีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเข้าทำ

(Reactivity) ของเชื้อเพลิงต่างๆ พบว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา ขึ้นกับธรรมชาติของเชื้อเพลิง และลักษณะเฉพาะของผิว (Surface Characteristic) ของเชื้อเพลิง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 950 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการแตกตัวของคาร์บอนเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่านี้

ปฏิกิริยาที่ 4 จะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนเหลืออยู่ คาร์บอนมอนอกไซด์จะรวมตัวกับออกซิเจนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ส่วนปฏิกิริยาที่ 5 และ 6 เป็นกรณีที่ป้อนไอน้ำเข้าไปพร้อมกับอากาศ เกิดการแตกตัวของไอน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ปฏิกิริยาที่ 5 เราเรียกว่า Wet Gasification และปฏิกิริยาที่ 7 เป็นปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับไอน้ำได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water Gas หรือ Shift Reaction ปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible) ถึงแม้ปัจจัยทางเวลาและสมดุลเกือบจะไม่มีผลเลยในการปฏิบัติงานจริง แต่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constants) กับอุณหภูมิยังคงเป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก เพราะค่าคงที่ของสมดุลสามารถแปรค่าได้มากมาย

2.4 ระบบการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ในปัจจุบันกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมีการทดลองอยู่ 3 ระบบ คือ

2.4.1 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value Gas or Low Btu Gas) ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 3.3-5.6 MJ/m^3 (90-150 Btu/SCF) เกิดจากการเผาไหม้บางส่วนของถ่านกับอากาศ โดยมากมักจะมีไอน้ำอยู่ด้วย ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นดังนี้

$$C + 1/2O_2 \rightarrow CO$$
$$C + H_2O \text{ (steam)} \rightarrow CO + H_2$$
$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$$

องค์ประกอบที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Components) ของก๊าซผลิตภัณฑ์คือคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งเจือจางอยู่ในคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ก๊าซจะมีอุณหภูมิเปลวไฟ (flame temperature) ต่ำ ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตไฟฟ้าสำหรับความต้องการของอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนปานกลาง (Medium Heating Value Gas หรือ Medium Btu Gas) ก๊าซเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนประมาณ 9.3-20.5 MJ/m^3 (250-550 Btu/SCF) กระบวนการนี้ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ได้จากการแยกออกจากอากาศ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial Oxidation) การไม่มีก๊าซไนโตรเจนจะทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น

2.4.3 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง (High Heating Value Gas หรือ High Btu Gas) ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้เทียบเท่ากับ Synthesis Gas (SNG) ส่วนประกอบของก๊าซนี้มักเป็นมีเธนเกือบบริสุทธิ์ ซึ่งจาก Medium Btu Gas สามารถเปลี่ยนเป็น SNG ได้โดยกระบวนการเมธาเนชัน (Methanation) ที่อุณหภูมิต่ำ Catalytic Process เกิดปฏิกิริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเธนและน้ำ ดังสมการ

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$$

เมื่อผ่านการทำให้แห้ง ก็จะได้ก๊าซซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซบริสุทธิ์

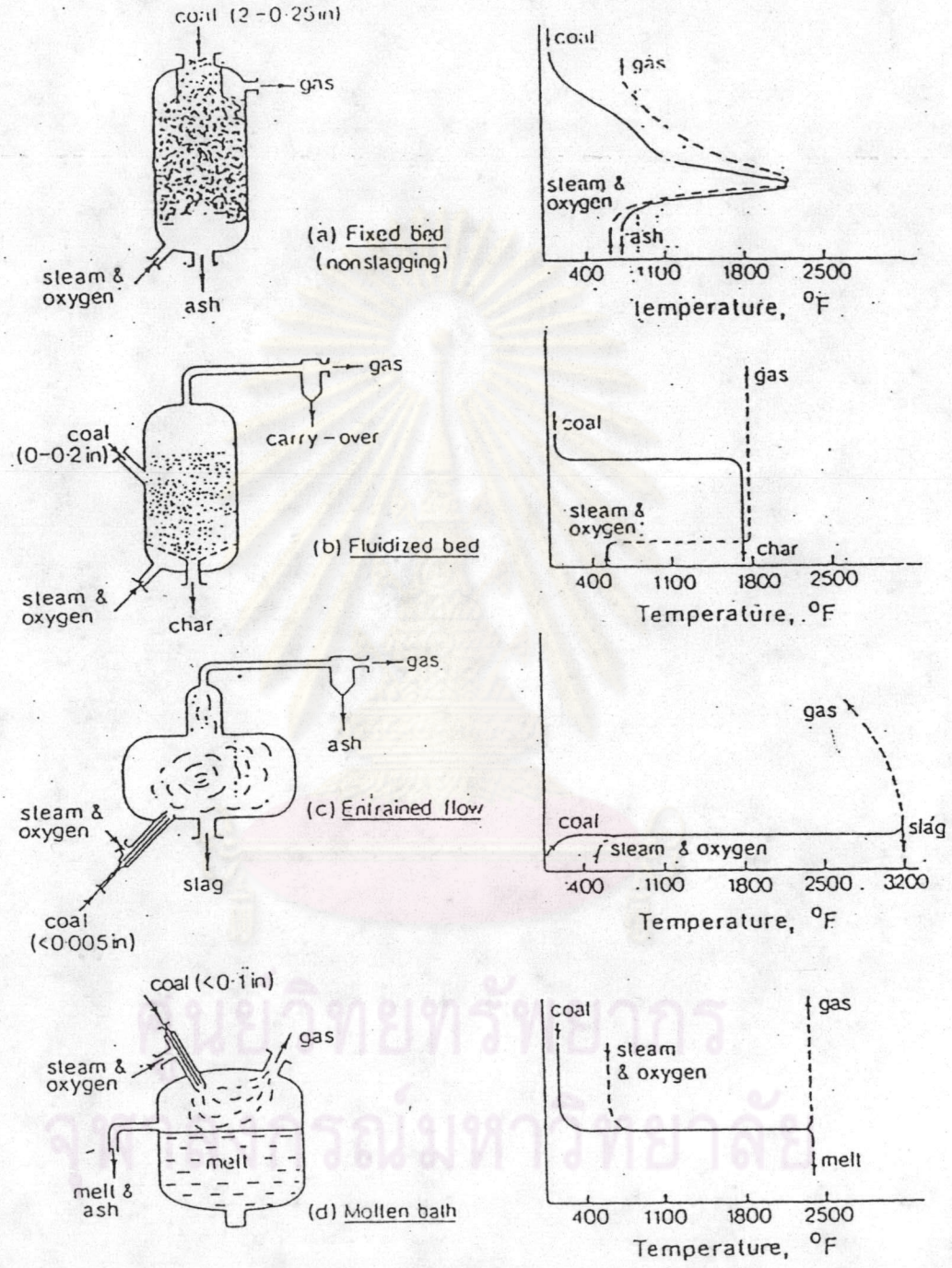
2.5 ประเภทของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Classification of Gasification)

ประเภทของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้แก่

2.5.1 Fixed Bed Gasifier หรือ Moving Bed Gasifier

วัตถุดิบจะเข้าสู่เตาผลิตก๊าซโดยการนำเข้าทางด้านบนและจะเคลื่อนตัวตลอดเวลาในแนวของเตา ไอน้ำและอากาศที่เข้าทางด้านล่างจะเคลื่อนตัวขึ้นด้านบน บริเวณส่วนล่างของเบด คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อจากช่วงนี้ปฏิกิริยาดูดความร้อนทั้งหลายก็เกิดขึ้นก๊าซร้อนจากปฏิกิริยาเหล่านี้ลอยตัวขึ้นผ่านเบดของคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์กับคาร์บอน ซึ่งพอสรุปได้ว่า ขณะที่วัตถุเคลื่อนตัวลงมา สิ่งที่จะเกิดขึ้นคือ

- การ Drying เมื่อสัมผัสกับก๊าซร้อนที่ลอยตัวขึ้น
- การ Devolatilization สารระเหยในวัตถุดิบจะระเหยออกมาแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน มีเธน และไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลหนักอื่นๆ ลอยปะปนไปกับก๊าซผลิตภัณฑ์
- เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนมีทั้งออกซิเดชันและรีดักชัน ส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาที่เหลือ ก็จะถูกปล่อยออกมาทางส่วนล่างของเบด



รูปที่ 2.3 แสดงเตาผลิตก๊าซ 4 ประเภท

2.5.2 Fluidization Bed Gasifier เป็นระบบที่มีการพัฒนาน้อยที่สุดในบรรดาระบบที่กล่าวมาข้างต้น ในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 เตาผลิตก๊าซนี้ใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และเดินเครื่องยนต์ Gas Engines ที่ใช้ในโรงงานการสังเคราะห์แอมโมเนีย เตาผลิตก๊าซนี้ผงถ่านเล็กๆจะถูกฟลูอิไดซ์โดยความเร็วของก๊าซที่มีทิศทาง เมื่อเปรียบเทียบกับ Entrained Flow Gasifier พบว่าจะมีความร้อนและฝุ่นเล็กๆซึ่งสูญเสียไปกับ Flue Gas ที่ออกจากตัวเตา ผลเสียอันนี้ถูกชดเชยด้วยความสามารถในการเดินเครื่องได้อย่างต่อเนื่องที่ปริมาณการป้อนสูง การใช้ถ่านต่อเวลาและปริมาณของเตาสูงกว่า อีกทั้งการถ่ายเทมวลสารและความร้อนดี ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายและทั่วถึงกว่า

ระบบนี้สามารถทำงานได้ทั้งในภาวะที่แห้ง หรือเถ้าเหลวได้ การฟลูอิไดซ์แบบแห้งสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ่อนตัวของของเถ้า อนุภาคของเศษถ่านและเถ้าจะถูกดึงออกทางด้านล่างโดยกรรมวิธีทางกล ในขณะที่บางส่วนถูกพัดพามาติดกับฟลูก๊าซทางด้านบน ทำให้ต้องมีการติดตั้งไซโคลน (Cyclone) เพื่อดักเก็บไว้ การผลิตก๊าซที่มีขี้เถ้าอยู่และอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของเถ้า ทำให้เถ้ารวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะตกลงมายังส่วนล่างของเบดและถูกดึงออก

2.5.3 Entrained Flow Gasifier เป็นการใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบกับก๊าซ (อากาศ/ไอน้ำ หรือ ออกซิเจน/ไอน้ำ) เพื่อนำเอาผงละเอียดเล็กๆของวัตถุดิบเข้าสู่เตาผลิตก๊าซ โดยที่ขนาดของวัตถุดิบและความเร็วของก๊าซที่เข้าจะต้องพอดีกันเพื่อรักษาสภาพของแขวนลอยไว้ การทดลองเรื่องนี้ได้รับการพัฒนามาจากระบบการเผาไหม้ของ Pulverized-Coal เถ้าและถ่าน (Char) จะออกจากเตาพร้อมกับก๊าซผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องมีการแยกออกอีกครั้งหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาของถ่านและอุณหภูมิสูงมากเมื่อเทียบกับเบดนิ่ง และเมื่ออุณหภูมิสูงเกินสภาวะเกิด Slag แก๊สซิฟิเคชันจะสำเร็จด้วยการผ่านเข้าเพียงครั้งเดียว ซึ่งในระบบแห้งมักจะมีการนำถ่านกลับ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสูง

2.5.4 Molten Salt Gasifier สารหลอมเหลวสามารถใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อที่จะถ่ายเทความร้อนและเป็นคะตะลิสต์ของกระบวนการ สารที่เป็นสารหลอมเหลวนอกจากเกลือแล้วอาจจะเป็นเหล็กหรือโลหะอื่นๆ รวมทั้งเถ้าของถ่านเอง การผลิตก๊าซที่ใช้ตัวกลางที่หลอมเหลวได้นั้นทำให้ผลิตก๊าซได้มากขึ้น เพราะการเร่งปฏิกิริยาของสารหลอมเหลว กำมะถันจะอยู่ในส่วนที่หลอมเหลว ทำให้กรรมวิธีที่ใช้ในการทำความสะอาดก๊าซน้อยลง

ผลเสียที่สำคัญคือเกิดการกัดกร่อน เนื่องจากการใช้สารหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง โดยการผสมกระเบื้องอลูมินา (Alumina) ที่มีความบริสุทธิ์ลงในเกลือที่ใช้ เป็นเพียง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแก้ปัญหาอย่างชั่วคราว

2.6 เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasifier)

สามารถแบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศเป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูป 2.4 คือ

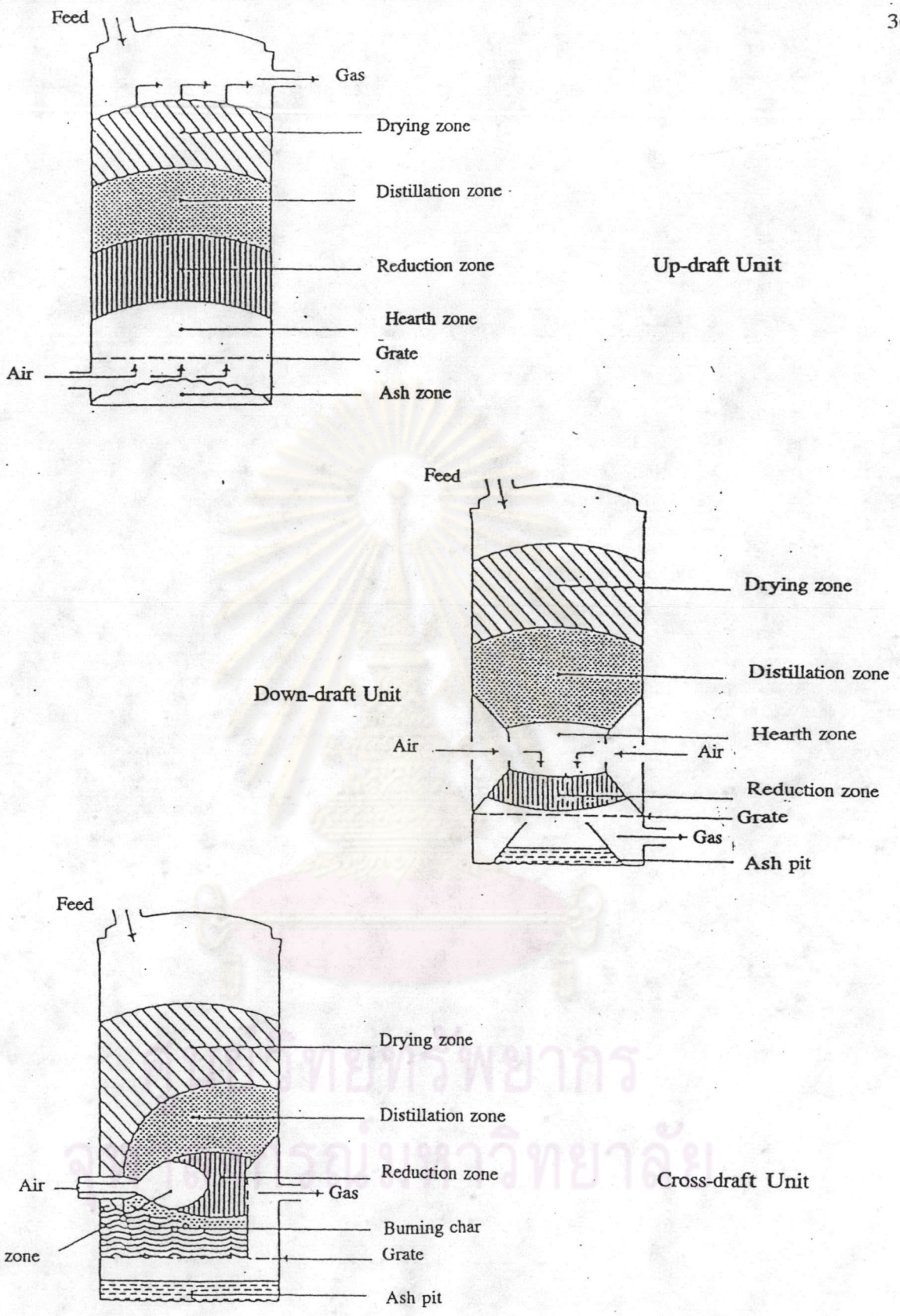
2.6.1 Up-Draught Gasifier ในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้ป้อนอากาศหรือไอน้ำเข้าทางด้านล่างที่มีการสันดาป (Hearth Zone) อุณหภูมิอยู่ในช่วง 900 องศาเซลเซียสหรือมากกว่าตามความต้องการ ในกรณีที่เป็นอุตสาหกรรมใหญ่การเติมไอน้ำเข้าไปเป็นการลดอุณหภูมิในบริเวณสันดาป หรืออาจทำการหล่อเย็นบริเวณนี้ด้วยน้ำตลอดเวลาเป็นการยืดอายุการใช้งานของเครื่องได้ ก๊าซที่ได้จากบริเวณการเผาไหม้ (Combustion Zone) จะผ่านไปยัง Reduction Zone เข้าไป Distillation Zone และ Drying Zone ตามลำดับ

กระบวนการชนิดนี้ได้มีการพัฒนาเป็นเตาผลิตก๊าซแบบผสม (Hybrid Up-Draught Reactor) หรือเป็นเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบ 2 ขั้นตอน ผลิตออกมาครั้งแรกโดยบริษัท U Gas Integrade เมืองมิลาน ประเทศอิตาลี (สมาคมวิจัยและพัฒนาพลังงานแห่งสหรัฐอเมริกา 1976) ได้ใช้งานมามากกว่า 20 ปี ก๊าซที่เกิดขึ้นออกมา 2 ระดับคือ ระดับแรกได้มาจาก Gasification Zone ในช่วง Reduction Zone ซึ่งให้ก๊าซที่สะอาดใส (Clear Gas) ออกมา ระดับต่อมาได้จาก Distillation Zone หรือ Drying Zone ได้ Top Gas อุณหภูมิของ Top Gas ถูกควบคุมโดยการปรับสัดส่วนของ Clear Gas ซึ่งไขออกจากเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

Top Gas ไหลผ่าน Condensor เพื่อดึงหยดของน้ำมันทาร์ออก ในขณะที่ Clear Gas ไหลผ่านไซโคลนเพื่อกำจัดฝุ่นก๊าซทั้งสองระดับมารวมกัน ความร้อนจาก Clear Gas ทำให้ละอองไขมัน (Oil Mist) ใน Top Gas ระเหยออกไปอุณหภูมิสุดท้ายประมาณ 350 องศาเซลเซียส กระบวนการนี้สามารถผลิตโปรดิวเซอร์ก๊าซโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้อุณหภูมิลดลง ก๊าซที่ยังร้อนมีค่าความร้อนประมาณ 7,500 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร สำหรับก๊าซที่ทำความสะอาดและเย็นลงแล้วมีค่าความร้อนลดลง เหลือประมาณ 6,300 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร

2.6.2 Down-Draught Gasifier ระบบนี้ได้รับการพัฒนาโดยมีจุดมุ่งหมายที่เปลี่ยนน้ำมันทาร์ (Tar) ที่เกิดขึ้นในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงไปเป็นก๊าซซึ่งมีความสำคัญมาก กรณีส่งก๊าซเชื้อเพลิงไปตามท่อระยะทางไกลๆจากเตา และยังสามารถประยุกต์ใช้กรณีเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้ด้วย เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงมี Distillation Zone และ Drying Zone อยู่เหนือ Hearth Zone และมี Reduction Zone อยู่ด้านล่าง บริเวณที่สำคัญที่สุดคือ Combustion Zone

I16716760X



รูปที่ 2.4 แสดงเตาผลิตก๊าซในรูปแบบต่างๆ โดยแบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศ

ระบบ Down-draught นี้มีการใช้อย่างกว้างขวางสำหรับแก๊สซิฟิเคชันถ่านไม้ พีทและลิกไนต์ ตัวอย่างคือเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงของอิมเบอร์ต (Imbert) และรอท (Roth) ซึ่งได้พัฒนาขึ้นในเยอรมันนีและสวิสเซอร์แลนด์ตามลำดับ เตาดังกล่าวทำงานมีประสิทธิภาพสูง มีรูปร่างเป็นกรวยอยู่ภายใน Hearth Zone ข้างล่างทางเข้าของอากาศ ส่วนคอดเข้าจะเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความเร็วของอากาศ และทำให้อุณหภูมิของการทำงานสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงเป็นการง่ายที่เปลี่ยนน้ำมันทาร์ไปเป็นก๊าซ ระบบ Down-Draught ได้รับการพัฒนาสำหรับการใช้กับไม้และเศษวัสดุ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีไฮโดรเจนสูงกว่าใช้ถ่านไม้หรือถ่านหิน

ประโยชน์ที่สำคัญของระบบนี้ก็คือสามารถใช้วัสดุที่ไม่ได้ผ่านการคาร์บอไนซ์ (Uncarbonised Materials) และสามารถลดน้ำมันทาร์ในผลิตภัณฑ์ได้ แต่เป็นระบบที่มีเวลาในการสัมผัส (Contact Time) ของอากาศและเชื้อเพลิงน้อย เป็นระบบที่ให้เชื้อเพลิงก๊าซสม่ำเสมอดีกว่าระบบ Up-Draught เมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามระบบนี้ต้องการเชื้อเพลิงที่มีความสม่ำเสมอของขนาดวัตถุดิบมากกว่าสำหรับการทำงาน และวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 เซนติเมตร ไม่หมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ Imbert และ Roth ได้ออกแบบไว้ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า 1.5 เซนติเมตร และมากกว่า 5 เซนติเมตร เครื่องเหล่านี้จะทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าเครื่องในระบบ Cross-Draught และยังไม่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงปริมาณต่ำ

2.6.3 Cross-Draught Gasifier ในระบบนี้การไหลของอากาศและเชื้อเพลิงที่ได้จะขวางกับตัวเตา แต่ก็ไม่จำเป็นจะต้องขนานในแนวนอนเสมอ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบนี้จะทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก ให้มี Combustion Zone และ Reduction Zone จำกัด โดยใช้ท่ออากาศตรงทางเข้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก อุณหภูมิจะสูงถึง 2,000 องศาเซลเซียส จึงต้องมีน้ำหล่อเย็นอยู่ข้างนอก เนื่องจากเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นจึงต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีน้ำมันทาร์ต่ำและขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6-1 เซนติเมตรเป็นขนาดที่ดี เชื้อเพลิงใน Hopper จะประพฤติเป็นเกราะป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนและเมื่อทำงานโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงก็ไม่จำเป็นต้องก่อปูนทนไฟ (Refractory Liner)

พื้นที่ส่วนใหญ่สัมผัสกับอุณหภูมิสูง ที่ซึ่งเป็นปลายท่อมีความเร็วของอากาศสูงถึง 80 เมตร/วินาที เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนี้มีลักษณะพิเศษคือ มีรูปทรงง่ายๆและเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว ใช้ได้ดีด้วยเครื่องยนต์ขนาดเล็กตอบสนองต่อความต้องการก๊าซที่ไม่คงที่

เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ ป้อนวัตถุดิบเข้าทางด้านบนของเตา ครั้งแรกวัตถุดิบถูกทำให้แห้ง แล้วถูกกลั่นสลายด้วยความร้อน (Pyrolyse) เนื่องมาจากความร้อน

ที่บริเวณที่ร้อนกว่าข้างล่างเตาเรียงลำดับคือ Combustion Zone และ Reduction Zone องค์ประกอบที่เป็นน้ำมันทาร์และถ่านแดงถูกออกซิไดซ์บางส่วนให้ความร้อนมาและทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปอีก 500 องศาเซลเซียส ปริมาณคาร์บอนที่เหลือทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในช่วงสุดท้าย เถ้าร่วงหล่นผ่านตะแกรงลงไปสู่ส่วนล่าง อากาศร้อนถูกแยกออกในส่วนตรงข้ามกับอากาศเข้า อาจเป็นส่วนบนหรือส่วนล่างขึ้นกับแบบของเตา องค์ประกอบของก๊าซที่แน่นอนที่ได้จากเตาผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้อากาศขึ้นกับชนิดของชีวมวลที่ใช้

เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นมาใช้งานในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะสามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงออกมาใช้งานได้ แต่ถ้าวิเคราะห์ดูให้ลึกซึ้งลงไปแล้วจะพบว่ายังขาดหลักการทำงานที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซต่ำ มีผลกระทบต่อการใช้สารเชื้อเพลิงไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร การที่ร้อยละของปริมาณก๊าซติดไฟได้ต่ำมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ดีควรจะมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซ เชื้อเพลิงมีปริมาณร้อยละของก๊าซที่ติดไฟได้สูง ปริมาณทาร์จะต้องถูกเผาไหม้ภายในเตาหรือถูกกำจัดออกมากที่สุด สารเชื้อเพลิงแข็ง คือ ถ่านที่ออกมากับเถ้าและปริมาณเถ้าที่ออกมาควรมีน้อยที่สุด การที่จะทำเช่นนี้ได้จะต้องมีการศึกษาวิจัยหาข้อมูลต่างๆเพื่อที่จะนำไปแก้ไขดัดแปลงเครื่องปฏิกรณ์ที่มีอยู่หรือที่จะสร้างขึ้นมาใหม่ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

<u>คำจำกัดความของทาร์</u> (Definition of Tar)

ทาร์ (Tar) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่เราไม่ต้องการที่เกิดจาก แก๊สซิฟิเคชันหรือเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ลักษณะของทาร์เป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง (High Viscous) และมีฤทธิ์กัดกร่อน (Corrosive) โดยทั่วไปมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก คำที่มีความหมายคล้ายๆกันได้แก่ Pyrolysis Oil, Pyrolytic Tar

1. <u>สมบัติทางเคมีของทาร์</u>

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่าปริมาณทาร์ที่เกิดจากการเผาไหม้และองค์ประกอบของทาร์เกิดการเปลี่ยนแปลง จากการวิเคราะห์ทาร์ดิบ (Crude Tar) ที่ได้จากเตาผลิตก๊าซแล้วคำนวณองค์ประกอบของทาร์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในกระบวนการสูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนจะลดลง และสัดส่วนของ H/C อะตอมก็ลดลงเช่นกัน ซึ่งแสดงถึงการผันกลับของ Highly Oxygenate Pyrolyzate ไปเป็น Less Oxygenate Pyrolyzate และมีความคงที่ทางอุณหภูมิมากกว่า (Thermally Highly Aromatic Structure Stable) ซึ่งในที่สุดจะไม่มีออกซิเจน (Deoxygenate) และ

คงเหลือแต่โครงสร้างที่เป็นอะโรมาติก (Aromatic) ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของทาร์กับอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 2.14

ข้อมูลในตารางที่ 2.14 ยืนยันผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆจาก Highly Oxygenate Pyrolyzate เป็น Condense Aromatic โดยมีการตัดพันธะรอบๆ Aromatic Ring ออกเพื่อกำจัดโซ่ด้านข้างซึ่งมีกลุ่ม Carbonyl และ Methoxyl ทำให้เกิด Catechols เช่น การเผา Guaiacol และ catechol จากการกลั่น Phenolics เพื่อให้ได้ Benzofurans Biphenyls และ Naphthalenes ในสภาวะอุณหภูมิสูง ขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น Phenolic และ Furans จะหายไปในขณะที่ Aromatic ซึ่งมีความคงตัวมากกว่าจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.14 ส่วนประกอบทางเคมีของ Biomass Tars

Conventional Flash pyrolysis (400-500 ^{o}C)	Hi-Temperature Flash pyrolysis (600-650 ^{o}C)	Conventional Steam Gasification (700-800 ^{o}C)	Hi-Temperature Steam Gasification (900-1,000 ^{o}C)
Acids	Benzenes	Naphthalenes	Naphthalene
Aldehydes	Phenols	Acenaphthalenes	Acenaphthalene
Ketones	Catechols	Fluorenes	Phenanthrene
Furans	Naphthalenes	Phenanthrenes	Fluoranthene
Alcohols	Biphenyls	Benzaldehydes	Pyrene
Complex-Oxygenates	Phenanthrenes	Phenols	Acephenanthrylene
Phenols	Benzofurans	Naphthofurans	
Guaiacols	Benzaldehydes	Benzanthracenes	Benzanthracenes
Syringols			Benzopyrenes
Complex-Phenolics			226 MW PAHs
			276 MW PAHs

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย