



2.1 แกลบ

แกลบเป็นผลผลิตพลอยได้จากการสีข้าวเปลือก ประโยชน์ที่สำคัญของแกลบคือใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เช่น การใช้แกลบในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน การอัดแกลบเป็นก้อนเชื้อเพลิง เป็นต้น

ปัญหาที่พบมากในการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบตอยู่ก็คือแกลบเมื่อเผาไหม้แล้วจะมีเถ้า (Ash) สูง การเกาะตัวเป็นก้อนของเถ้า แกลบมีความหนาแน่นต่ำจึงต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างถังเก็บแกลบ นอกจากนี้แล้วเมื่อเผาไหม้ก็จะเกิดน้ำมันดิน (Tar) Kaupp (14) รายงานว่า โครงสร้างของแกลบเป็น Carbon-silicon structure โดยมีซิลิคอนเป็นโครงสร้างหลักซึ่งมันจะไม่สลายตัวภายใต้ความร้อน องค์ประกอบของแกลบที่จะสลายตัวคือ คาร์บอน ซึ่งมีประมาณร้อยละ 25-30 โดยน้ำหนักและเกิดเถ้าปริมาณสูงมาก เถ้าจะไปรบกวนการเผาไหม้และปฏิกิริยาก๊าซซิฟิเคชันการแก้ปัญหาเถ้าในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบตอยู่ที่ก็คือ ต้องมีระบบกวาดเถ้าออกจากตะแกรงภายในเครื่องกำเนิดก๊าซ ส่วนการใช้เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไธเบต สามารถนำเถ้าออกได้โดยคุณสมบัติของฟลูอิดไธเบต

2.1.1 ผลผลิต

แกลบเป็นผลผลิตพลอยได้จากการสีข้าวเปลือก ดังนั้นปริมาณแกลบจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือกที่ผลิตได้ โดยทั่วไปปริมาณแกลบที่ได้จากการสีข้าวประมาณร้อยละ 22.5-25.2 ของปริมาณข้าวเปลือกโดยน้ำหนัก จากสถิติการเพาะปลูกข้าวและผลผลิตข้าวที่ได้ทั้งประเทศตั้งแต่แสดงไว้ในตารางที่ 2-1 พบว่าในปี พ.ศ. 2526/27 ปริมาณผลผลิตข้าวทั้งประเทศเท่ากับ 19.549 ล้านตัน ถ้าใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณแกลบเป็นร้อยละ 23.85 ของปริมาณข้าวเปลือกจะประมาณได้ว่าปี พ.ศ. 2526/27 ปริมาณแกลบทั้งประเทศจะมีทั้งหมด 4.66 ล้านตัน

ตารางที่ 2.1 ข้าวรวม (นาปีและนาปรัง): เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ ราคาและมูลค่าตามราคาที่เป็นจริง รายได้ ปีเพาะปลูก

2517/18 - 2526/27 (1)

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่เพาะปลูก Planted area	เนื้อที่เก็บเกี่ยว Harvested area	ผลผลิต Production	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ Yield per rai	ราคาที่เป็นจริง ขายได้ Farm price	มูลค่าของผลผลิต ตามราคาที่เป็นจริง ขายได้	Crop Year beginning April
	1,000 ไร่ 1,000 rais	1,000 ไร่ 1,000 rais	1,000 ตัน 1,000 tons	กก./ไร่ kgs.per rai	บาท/เกวียน bahts per ton	ล้านบาท million bahts	
2517 /18	49,889	46,949	13,386	285	2,104.01	28,164.29	1974 /75
2518 /19	55,602	52,230	15,300	293	1,949.35	29,824.95	1975 /76
2519/20	53,595	51,044	15,068	295	1,849.15	27,862.38	1976 /77
2520 /21	56,444	54,685	13,921	255	2,302.43	32,051.41	1977 /78
2521 /22	62,667	55,843	17,470	313	2,183.96	38,153.68	1978 /79
2522/23	58,971	54,087	15,758	291	2,604.67	41,043.51	1979 /80
2523 /24	60,110	57,501	17,368	302	3,082.30	53,533.75	1980 /81
2524 /25	59,970	56,906	17,774	312	2,838.73	50,456.45	1981 /82
2525 /26	60,134	55,875	16,879	302	2,809.63	47,422.30	1982 /83
2526 /27	62,596	60,038	19,549	326	2,832.08	55,388.65	1983 /84

2.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบในประเทศ*

คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าที่ได้
ความชื้น (ร้อยละ)	8.1 - 11.5
เถ้า (ร้อยละ)	16.4 - 18.3
สารระเหยได้ (ร้อยละ)	61.1 - 64.4
คาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)	19.2 - 20.7
ซีลเฟอร์ (ร้อยละ)	0.1 - 0.2
ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) (Wet basis)	3,790 - 4,000

หมายเหตุ : * ข้อมูลนี้จัดทำโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

จากตารางที่ 2-2 แกลบมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,790-4,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถนำไปแปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงได้ แกลบที่เผาไหม้แล้วจะมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 16.4-18.3 การออกแบบเตาสำหรับการเผาไหม้จะต้องหาวิธีกำจัดเถ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.3 ราคาแกลบ

ราคาของแกลบไม่แน่นอนขึ้นกับฤดูกาลและอุปสงค์ของผู้ใช้ รวมทั้งค่าขนส่งแกลบ การใช้แกลบจำกัดเฉพาะในท้องที่ผลิตข้าวและโรงสีข้าวใกล้เคียง ดังนั้นแกลบจึงมีราคาถูกในแถบภาคกลาง แกลบมีราคาประมาณตันละ 50-60 บาท (2)

2.1.4 ประโยชน์จากแกลบ

การใช้ประโยชน์จากแกลบในประเทศ ส่วนใหญ่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีขนาดกลาง และโรงสีขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องจักรไอน้ำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานทำอิฐ เป็นต้น ประโยชน์ด้านอื่นของแกลบ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำอิฐ ผนังกันห้อง สารดูดซึม พลาสติค และกาวย ปุ๋ยและอาหารสัตว์ ถ่านฟอกสี วัสดุฉนวน เป็นต้น

2.1.5 การใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง (2)

กระบวนการที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงมีดังต่อไปนี้

1. การเผาไหม้โดยตรง ได้แก่ การนำแกลบปริมาณที่ต้องการไปกองลุ่มไว้ตามพื้นดินหรือใส่แกลบลงเตาเผา แล้วจุดสันดาปให้แกลบลุกไหม้ขึ้นเพื่อนำความร้อนไปใช้งาน เช่น การเผาไหม้แกลบในเตาเผาเซรามิค เพื่อใช้ความร้อนอบผลิตภัณฑ์เซรามิคให้แห้ง การเผาไหม้แกลบในหม้อผลิตไอน้ำ เพื่อใช้ไอน้ำไปขับเคลื่อนเครื่องจักรในโรงสีข้าวขนาดกลางและขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในชนบทจะใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มและเป็นเชื้อเพลิงในการอบผลผลิตการเกษตร เช่น อบข้าวเปลือกให้แห้ง เป็นต้น

2. การอัดแกลบเป็นแท่งเชื้อเพลิง ใช้วิธีอัดแกลบโดยใช้แรงดันสูง และมีความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้สารประกอบของแกลบละลายตัวประสานให้แกลบเกาะกันเป็นแท่ง ตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้แท่งแกลบมีคุณภาพต่างกัน ได้แก่ ความชื้นของแกลบ อุณหภูมิของเครื่องทำความร้อน และความดันในกระบอกอัดแกลบอัดแท่ง เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ฟืนแล้วจะพบว่ามีความสัมพันธ์ดีกว่า เช่น แกลบอัดแท่งมีความหนาแน่นสูงกว่าแกลบถึง 12.5 เท่า สามารถให้อุณหภูมิความร้อนสูงเท่ากับไม้ฟืน แต่มีระยะเวลาการใช้งานนานกว่าไม้ฟืน 1 เท่า

3. กระบวนการกลั่นสลายแกลบ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือก๊าซชีววมวล น้ำมันดิน (Tar) และถ่านลู่ก (Char) กระบวนการกลั่นสลายกระทำในเตาแบบเบดอยู่กับที่ ใช้อุณหภูมิประมาณ 200-600 °ซ ปัจจุบันพัฒนาจนถึงอุณหภูมิ 1,100 °ซ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีทั้งแบบดูดความร้อนและคายความร้อนก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ประกอบด้วยก๊าซ H_2 , CH_4 , CO , CO_2 และ H_2O

4. กระบวนการกาซซิฟิเคชันของแกลบ กระบวนการนี้คล้ายคลึงกับการกลั่นสลาย แต่กระบวนการกาซซิฟิเคชันใช้อุณหภูมิในขอบเขตที่สูงกว่า ใช้ออกซิเจนปริมาณจำกัด และได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซชีววมวลเพียงอย่างเดียว องค์ประกอบของก๊าซที่ได้คือ H_2 , CH_4 , CO , CO_2 และ H_2O ก๊าซซิฟิเคชันของแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบดอยู่กับที่ จะประสบปัญหาการกัดกร่อน การแก้ปัญหาทำได้โดยติดตั้งระบบกวาดเต้าภายในเครื่อง แต่การใช้เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไธด์เบด จะช่วยแก้ปัญหาได้สะดวกกว่าเครื่องแบบเบดอยู่กับที่ เพราะการใช้ฟลูอิดไธด์เบดจะทำให้อุณหภูมิเท่ากันตลอดเครื่อง ไม่เกิดการหลอมตัวของเต้า

และถ้าที่เกิเกิดขึ้นสามารถนำออกจากเครื่องได้สะดวก เป็นต้น

2.2 กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

2.2.1 นิยาม (12, 19, 20)

กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดก๊าซโดยอาศัยการสันดาปเพียงบางส่วนของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ไม้ ถ่านไม้ และชีวมวลอื่น ๆ ก๊าซที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า ก๊าซชีวมวล (Producer gas) ซึ่งสามารถติดไฟและใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

2.2.2 เครื่องกำเนิดก๊าซชีวมวล (12, 19, 20)

เครื่องกำเนิดก๊าซชีวมวล (Gasifier) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงในสถานะของก๊าซ การพัฒนาเครื่องกำเนิดก๊าซในระยะแรกนิยมใช้เครื่อง 3 แบบคือ แบบอากาศในเตาไหลขึ้น (Up-draught), แบบอากาศในเตาไหลลง (Down draught), และแบบอากาศไหลในเตาตามขวาง (Cross draught), ปัจจุบันเครื่องกำเนิดก๊าซได้ถูกพัฒนาขึ้นจนสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ ตามลักษณะการใช้วัตถุดิบและขั้นตอนการเกิดก๊าซซิฟิเคชัน ดังนี้

2.2.2.1 เครื่องกำเนิดก๊าซแบบวัตถุดิบเลื่อนลงขณะเผา (Moving packed bed gasifier)

2.2.2.2 เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed gasifier).

2.2.2.3 เครื่องกำเนิดก๊าซแบบเอนเทรนดโฟลว์ (Entrained flow gasifier)

2.2.2.4 เครื่องกำเนิดก๊าซแบบโมเทนมมีเดีย (Molten media gasifier).

เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรซ์เบด เป็นเครื่องที่ใช้วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก เช่น แกลบ, ถ่านหิน บด, ยี่เลื่อย เป็นต้น วัตถุดิบเล็ก ๆ เหล่านี้จะลอยตัวอยู่ในเครื่อง เนื่องจากมีก๊าซหรืออากาศผ่านเข้าทางด้านล่างของเครื่อง และเมื่อวัตถุดิบเหล่านี้ถูกจุดให้ลุกไหม้

ปฏิกิริยากาซซิฟเคชันจะเกิดขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเครื่องจะเท่ากันตลอด ก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจะไหลออกจากเครื่องทางด้านบนเพื่อนำไปทำให้สะอาดก่อนจะนำไปใช้งาน ส่วนถ่านจะถูกกำจัดออกทางด้านล่างของเครื่อง เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรซ์เบดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

ก. เครื่องกำเนิดก๊าซที่ใช้ความร้อนโดยตรงจากการเผาไหม้ภายในเครื่อง (Direct heat fluidized bed gasifier)

ข. เครื่องกำเนิดก๊าซที่อาศัยความร้อนจากภายนอกมาทำให้เกิดการเผาไหม้ (Indirect heat fluidized bed gasifier) ตัวอย่างเช่น การใช้กระแสความร้อนจากเตาเผาไหม้ (Combustor) ไปทำให้เกิดกาซซิฟเคชันในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรซ์เบด

2.2.3 ประเภทของกระบวนการกาซซิฟเคชัน (19)

กระบวนการกาซซิฟเคชันจัดเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซกับของแข็ง ของแข็งที่ใช้ ได้แก่ เชื้อเพลิงแข็งประเภท ถ่านหิน ถ่านโค้ก ไม้ และชีวมวลอื่น ๆ เป็นต้น ส่วนก๊าซโดยทั่วไปจะใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยา แต่อาจใช้ก๊าซอื่นแทนก๊าซออกซิเจนได้ สามารถแบ่งกาซซิฟเคชันออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.2.3.1 ออกซิเดทีฟกาซซิฟเคชัน (Oxidative gasification) ใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยา ก๊าซออกซิเจนมาจากการใช้อากาศผ่านเข้าสู่เตา หรืออาจใช้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ก็ได้ ก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการใช้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์จะมีคุณค่าความร้อน (Heating value) สูงกว่าก๊าซชีวมวลที่เกิดจากการใช้อากาศ องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล ได้แก่ CO , H_2 , CH_4 , CO_2 และ H_2O (ถ้าใช้อากาศจะมี N_2 ด้วย)

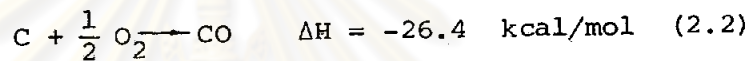
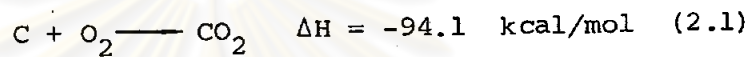
2.2.3.2 สตีมกาซซิฟเคชัน (Steam gasification) ใช้ไอน้ำทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงแข็ง ปกติอุณหภูมิของเตาจะสูง และต้องใช้ความร้อนจากนอกระบบมาช่วยให้อุณหภูมิของเตาส่งเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยากาซซิฟเคชัน ก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจะมีองค์ประกอบของ CO , H_2 , CH_4 , CO_2 และ H_2O

2.2.3.3 ไฮโดรกาซซิฟเคชัน (Hydrogasification) ใช้ H_2 ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงแข็ง ความร้อนภายในเตาส่งมาก และใช้ความดันในเตาส่งถึง 20 เมกกะปาสกาล ก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น CH_4

2.2.4 ปฏิริยาเคมีของกระบวนการกาซซิฟเคชัน (12, 14, 19, 20)

2.2.4.1 ปฏิริยาเผาไหม้ระหว่างคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งกับกาซออกซิเจนเกิดเป็นกาซคาร์บอนมอนอกไซด์ กับกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ความดันขณะเกิดปฏิริยาประมาณหนึ่งบรรยากาศ ปฏิริยาจะเกิดขึ้นลุ่ม่าเสมอเมื่ออัตราการไหลของอากาศมากเพียงพอ

ปฏิริยาการเผาไหม้ (Combustion reaction) ประกอบด้วย

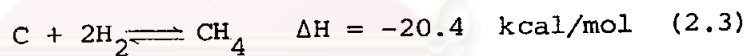


2.2.4.2 ปฏิริยากาซซิฟเคชัน

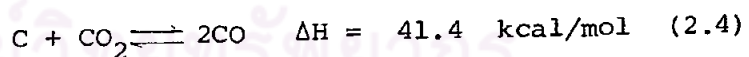
ปฏิริยากาซซิฟเคชัน ประกอบด้วยปฏิริยาย่อย ๆ ดังนี้

ก. ปฏิริยาระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (Hydrogenolysis)

เกิดกาซ CH_4

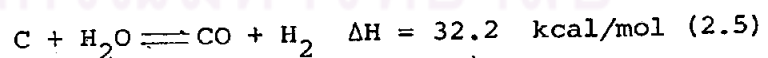


ข. ปฏิริยาเบาดาด (Boudouard reaction)



ค. ปฏิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำ (Hydrolysis) เกิด

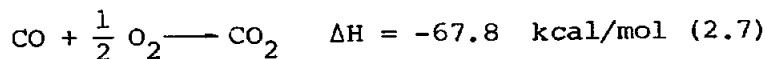
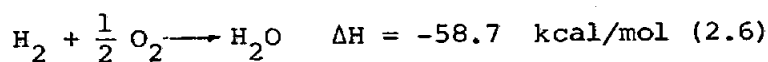
กาซ CO และ H_2



2.2.4.3 ปฏิริยาการเผาไหม้ของกาซ

กาซชีวมวล ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิริยาการเผาไหม้กับกาซออกซิเจน

ในอากาศที่ผ่านเข้าสู่เครื่องกำเนิดกาซ



ค่าเอนทัลปีทั้งหมดที่กล่าวมาแล้ว เป็นค่าของพลังงานความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซที่อุณหภูมิ 700 K (19)

2.2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกาซซิฟเคชัน

การค้นพบก๊าซชีวมวล เริ่มมีบันทึกไว้เมื่อ Clayton (1699) ทดลองกลั่นสลายถ่านหินแล้วพบว่าก๊าซที่ปล่อยออกจากเครื่องกำเนิดก๊าซ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้มีรายงานเกี่ยวกับก๊าซชีวมวลจากการค้นพบของ Gardner and Barker (1791) ซึ่งพบว่าก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมาจากปล่องควันของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้สำหรับหม้อไอน้ำได้อีกครั้ง ต่อมา Murdock (1792) นำก๊าซชีวมวลที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินมาใช้ประโยชน์ในการจุดตะเกียงให้แสงสว่าง และให้ความอบอุ่นภายในบ้าน (14)

ในระยะแรกนิยมทำกระบวนการกาซซิฟเคชันจากถ่านหิน ระยะต่อมาจึงมีผู้พยายามคิดค้นทำกระบวนการกาซซิฟเคชันจากวัตถุดิบอย่างอื่น Lebon (1798) ทดลองทำกระบวนการกาซซิฟเคชันจากไม้ และ Lampadius (1801) ศึกษาความเป็นไปได้จากการใช้ประโยชน์ของก๊าซชีวมวลที่ผลิตจากกระบวนการกาซซิฟเคชันของถ่านไม้ การศึกษาได้ก้าวหน้ามากขึ้นจนถึงขั้นการริเริ่มใช้ก๊าซชีวมวลกับเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน โดย Fourcroy (1804) ผู้ค้นพบวอเตอร์ก๊าซ (Water gas) จากการฉีดไอน้ำไปบนชั้นของถ่านที่ร้อนแดง และนำวอเตอร์ก๊าซไปใช้กับเครื่องยนต์ (14)

ในระหว่างปี ค.ศ. 1815 - ค.ศ. 1839 นักวิจัยหลายท่านศึกษากระบวนการเคมีที่ทำให้เกิดก๊าซชีวมวล Taylor (1815) ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวมวล แล้วออกแบบรวมทั้งก่อสร้าง เครื่องกำเนิดก๊าซสำหรับผลิตก๊าซขึ้นและจัดลิขสิทธิ์ไว้ ส่วนที่ประเทศฝรั่งเศส Bischof (1840) ได้ออกแบบและก่อสร้างโรงงานเหล็กขนาดใหญ่ที่ใช้ก๊าซชีวมวลจำนวนมาก เป็นเชื้อเพลิงหลักของโรงงานแห่งนี้ การพัฒนาเกี่ยวกับกระบวนการกาซซิฟเคชันในช่วงระยะเวลานี้จะเห็นที่การออกแบบเครื่องกำเนิดก๊าซ Siemens (1861) ประสิทธิภาพสำเร็จจาก

การออกแบบและก่อสร้าง เครื่องกำเนิดก๊าซเชิงพาณิชย์สำหรับผลิตก๊าซชีวมวล ต่อมา Dowson (1878) ได้พัฒนาการออกแบบเครื่องกำเนิดก๊าซสมัยใหม่สำหรับใช้กับเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ (14)

ในตอนต้นของศตวรรษที่ 20 การใช้เครื่องกำเนิดก๊าซ ได้ขยายไปตามเมืองต่าง ๆ ของทวีปยุโรปและแถบสแกนดิเนเวีย ในอังกฤษมีการใช้ก๊าซชีวมวลแทนการใช้น้ำมันสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนประเทศสกอตแลนด์ Parkev (1901) ทดลองติดตั้ง เครื่องกำเนิดก๊าซจากไม้ขนาด 2.5 และ 25 แรงม้า บนรถยนต์โดยสาร และรถสามารถแล่นได้ไกลถึง 1000 ไมล์ นอกจากนั้น Humphrey ประสบความสำเร็จจากการใช้ก๊าซชีวมวลกับปั๊มน้ำขนาดใหญ่ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 (14)

Portor and Smith ชาวอังกฤษร่วมกันปรับปรุง เครื่องกำเนิดก๊าซสำหรับใช้ติดตั้งในรถยนต์ ซึ่งในขณะนั้นได้มีการกักตุนน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ใช้ในระยะเวลาสงคราม การพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดก๊าซที่สำคัญคือ Imbert (1923) ผู้ออกแบบเครื่องกำเนิดก๊าซชนิดอากาศไหลลง (Down draught gasifier) ซึ่งถือเป็นต้นแบบของเครื่องในปัจจุบัน (14)

การพัฒนาเกี่ยวกับกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันในระยะต่อมา จะเน้นที่การศึกษาด้านจลนพลศาสตร์ (Kinetic) Tao Von Fredersdoff (1955) ศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของการผลิตก๊าซชีวมวล จากถ่านหินและ May พร้อมทั้งคณะได้ศึกษาการเกิดก๊าซชีวมวลจากการเผาถ่านโคลกในเครื่องกำเนิดก๊าซทั้งแบบฟลูอิดซ์เบด และแบบเบดอยู่กับที่ Squires (1961) นำผลการศึกษาของเมย์และคณะมาศึกษาเพิ่มเติม แล้วสรุปว่าในเตาปฏิกรณ์ชนิดเบดอยู่กับที่ คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเฉพาะตรงบริเวณทางเข้าของไอน้ำร้อน แต่ในเตาชนิดฟลูอิดซ์เบด คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเหมือนกันตลอดเวลา นอกจากนั้นยังได้ศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำ, คาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ และเส้นולםการของอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา (14)

Reed และคณะ (21) ศึกษากระบวนการก๊าซซิฟิเคชันของชีวมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบดอยู่กับที่และมีคอคอดภายในเตา ระบบนี้ใช้ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำเข้าสู่เตาแบบไหลลง การทดลองแสดงให้เห็นว่า ก๊าซชีวมวลจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในสภาวะที่คาร์บอนเข้าทำปฏิกิริยากันอิมตัว นอกจากนี้ยังได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดก๊าซ

อากาศไหลลงแบบเบตอยู่กับที่ที่ไม่มีคอคอด และได้สร้าง เครื่องกำเนิดก๊าซขึ้นมาทดลองใช้กับ
 ชีวมวลหลายชนิด ผลการทดลองได้ก๊าซชีวมวลออกมามากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้

Jenkins และ Ebeling (13) ได้ศึกษาค่าสัมพัทธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพ
 และทางเคมีของชีวมวลหลายชนิด กับการแปรสภาพเป็นพลังงานของชีวมวล แล้วสรุปว่า
 คุณสมบัติของชีวมวลมีความสำคัญมากต่อการออกแบบระบบการแปรสภาพทางความร้อนของ
 ชีวมวล คุณสมบัติของชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง และองค์ประกอบของก๊าซ
 ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกาซซิฟเคชัน จากการศึกษาได้นำชีวมวล 62 ชนิดมาทดลองหา
 คุณสมบัติโดยประมาณและชีวมวล 51 ชนิดมาหาคุณสมบัติโดยละเอียด จากนั้นทดลองผลิตก๊าซ
 ชีวมวล ในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบตอยู่กับที่ ใช้อากาศไหลลงสู่เตา

Kunii (16) ศึกษาการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการกาซซิฟเคชัน และศึกษา
 ระบบกระบวนการกาซซิฟเคชันถ่านหิน เพื่อผลิตก๊าซชีวมวลที่สะอาดจากการศึกษาพบว่า การใช้
 เครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไธซ์เบต 2 เครื่อง ที่ใช้ถ่านหินไหลเวียนไปมาระหว่าง 2 เครื่องนี้
 จะทำให้ก๊าซชีวมวลที่ได้มีคุณภาพดีและได้ก๊าซปริมาณสูง

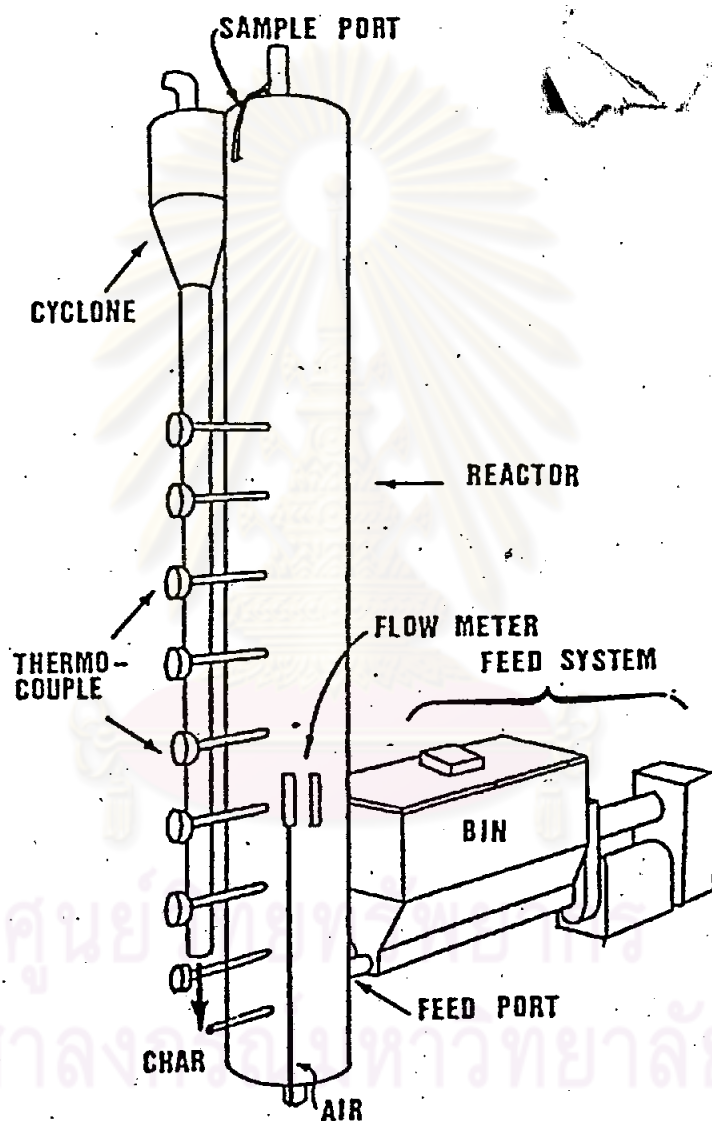
Cruz (10,11) ทดลองนำก๊าซชีวมวล จากกระบวนการกาซซิฟเคชันของถ่านไม้ใน
 เครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบตอยู่กับที่ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลร่วมกับน้ำมันดีเซล จากการศึกษา
 พบว่า เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดี โดยใช้ก๊าซชีวมวลที่สะอาดและมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า
 889.92 กิโลแคลอรี/ลบ.ม. เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ควรเป็น เครื่องยนต์ขนาดกลางและมีอัตรา
 การหมุน 1300-1500 รอบต่อนาที

การวิจัยกระบวนการกาซซิฟเคชันส่วนใหญ่จะใช้ เครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบตอยู่กับที่
 แต่ก็มีนักวิจัยหลายท่านสนใจนำเทคนิคทางฟลูอิดไธซ์เบตมาใช้กับกระบวนการกาซซิฟเคชัน Xu
 และคณะ (24) ศึกษากระบวนการกาซซิฟเคชันของแกลบในเครื่องแบบฟลูอิดไธซ์เบต โดย
 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต เช่น อัตราการเกิดก๊าซชีวมวล ถ่านลู่ก และ
 น้ำมัน องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล ที่อุณหภูมิของเบตต่าง ๆ กัน อัตราการป้อนแกลบ และ
 ความเร็วที่เหมาะสมของอากาศในการพ่นสู่เตา ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมได้แก่
 อุณหภูมิของกระบวนการกาซซิฟเคชันที่ 704-815 °ซ อัตราการป้อนอากาศ 0.75-0.87 ลบ.ม.
 ต่อกิโลกรัมของแกลบ อัตราการป้อนแกลบ 13.6-18.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยใช้เครื่อง

013464

i 17845269

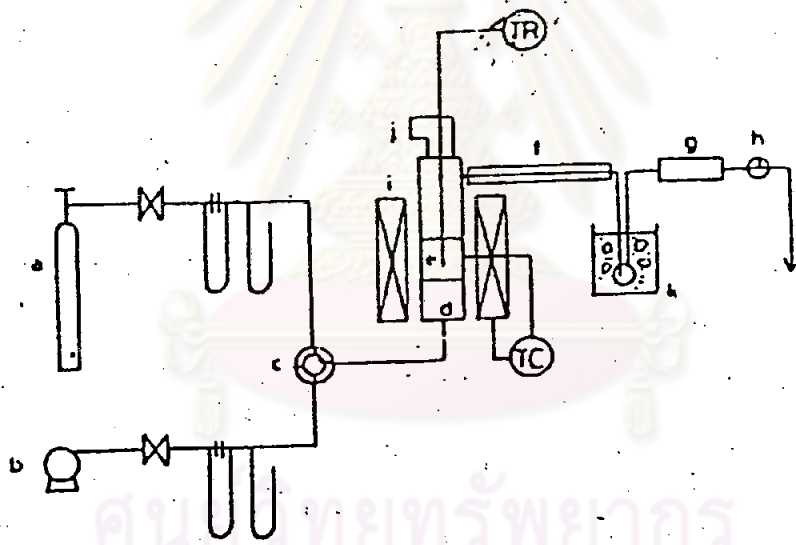
แบบฟลูอิดไรส์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. การทดลองได้ร้อยละของคาร์บอนที่ถูกแปรสภาพโดยความร้อนคิดเป็นร้อยละ 75 ก๊าซชีววมวลมีค่าความร้อนระหว่าง 1067.90-1779.84 กิโลแคลอรี/ลบ.ม. รูปที่ 2-1 เป็นระบบของ Xu และคณะ



รูปที่ 2-1 กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันของแกลบในฟลูอิดไรส์เบดโดย Xu *et al.*

(24)

Sakoda และคณะ (22) ศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการก๊าซซิฟเคชัน ชีวมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรส์เบดโดยใช้อุณหภูมิภายในเบตสูง วัตถุประสงค์ที่นำมาทดลอง คือ เศษไม้ และเปลือกถั่ว ใช้อุณหภูมิภายในฟลูอิดไรส์เบด 400-1000 °ซ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ก๊าซชีวมวล, ถ่านลู่ก, น้ำมันดิน และสารอินทรีย์อื่น ๆ จากการศึกษาพบว่ากระบวนการก๊าซซิฟเคชันสามารถใช้อากาศเป็นของไหลและได้ปริมาณก๊าซชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 87 ของน้ำหนัก วัตถุประสงค์ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 900 °ซ และได้ก๊าซชีวมวลที่มีค่าความร้อนถึง 3870 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดของคอลัมน์ฟลูอิดไรส์เบดที่ใช้ทดลอง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร สูง 10 เซนติเมตร และมีทรงกลมขนาดเล็กซึ่งเป็นส่วนประกอบของ Al_2O_3 หนัก 70 กรัม อยู่ภายในเบตระบบการทดลองของและคณะแสดงไว้ในรูปที่ 2-2

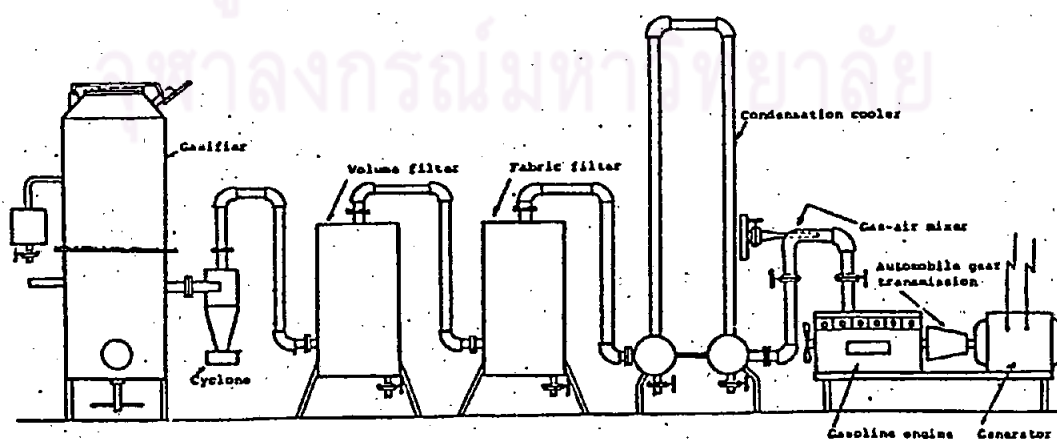


รูปที่ 2-2 แสดงระบบทั้งหมดของการทดลองกระบวนการก๊าซซิฟเคชันของ Sakoda และคณะ (22)

กระบวนการก๊าซซิฟเคชันในประเทศไทยเริ่มได้รับความสนใจหลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติลง เครื่องกำเนิดก๊าซที่สร้างขึ้นมาใช้ในสมัยนั้นเป็นแบบเบตอยู่กับที่ อากาศจะถูกพ่นเข้าสู่เครื่องทางด้านข้าง ภายในเครื่องมีคอคอด กรมโยธาธิการทหารบก (4) เป็นผู้สร้างขึ้นมาใช้กับไม้พินและถ่านไม้ ขณะที่เผาไหม้จะมีการพ่นละอองน้ำเข้าสู่เครื่องด้วย ก๊าซชีวมวลที่ผลิตออกมาจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ต่อมาความสนใจเกี่ยวกับกระบวนการ

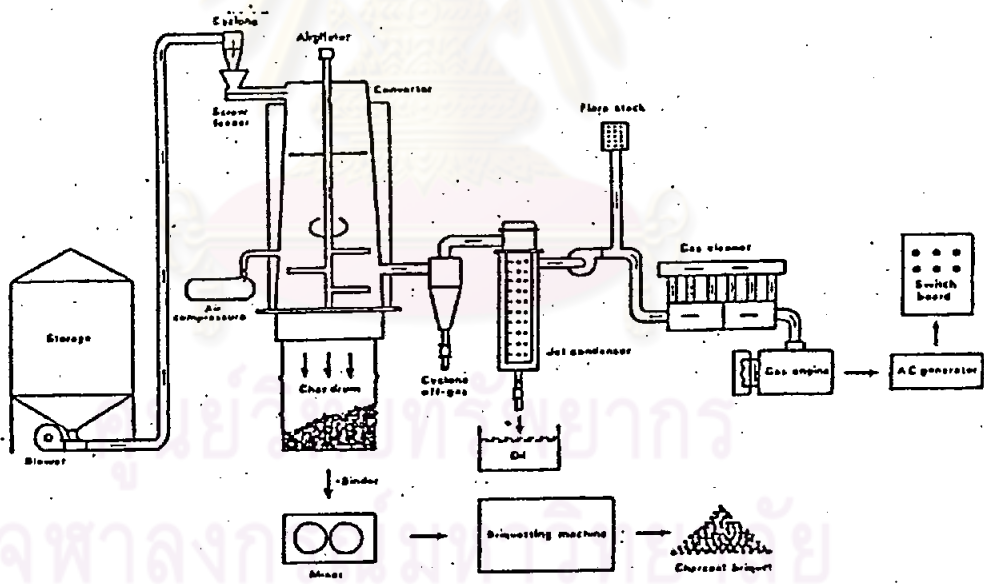
ก๊าซซีพีเคชั่นได้ลดลง เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับความนิยมใช้มากกว่าก๊าซชีวมวล เมื่อเกิดวิกฤตการณ์ด้านน้ำมันขึ้นภายในประเทศกระบวนการก๊าซซีพีเคชั่นจึงกลับมาได้รับความสนใจจากนักวิจัยอีกครั้งหนึ่งในฐานะพลังงานทดแทน โดยเน้นการนำชีวมวลมาทดลองเพื่อให้เกิดก๊าซชีวมวลที่มีประสิทธิภาพ

Coovattanachai (9) แห่งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทดลองผลิตก๊าซชีวมวล จากชีวมวลหลายชนิด เช่น ถ่านไม้, ไม้, กาบมะพร้าว และแกลบอัดก้อน โดยใช้เครื่องกำเนิดก๊าซแบบเบดอยู่กับที่ และแบบฟลูอิดไธเบด เพื่อนำก๊าซชีวมวลไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน ได้แก่ ก๊าซชีวมวล ก๊าซชีวมวลร่วมกับน้ำมันปิโตรเลียม และน้ำมันปิโตรเลียมเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาสรุปได้ว่า การใช้ก๊าซชีวมวลจากชีวมวลพวกถ่านไม้ ไม้และกาบมะพร้าวในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสามารถใช้ก๊าซชีวมวลอย่างเดียวทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมได้ แต่ในเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้ก๊าซชีวมวล ร่วมกับน้ำมันดีเซล ปัญหาที่พบในการทดลองคือความสะอาดของก๊าซชีวมวล ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบระบบทำความสะอาดก๊าซที่มีประสิทธิภาพ ความชื้นของอากาศก็เป็นอุปสรรคต่อการติดเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ติดช้าและสูญเสียพลังงานมากขึ้น อย่างไรก็ตามการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้พลังงานจากก๊าซชีวมวล จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้้ำมันปิโตรเลียม รูปที่ 2-3 แสดงระบบทั้งหมดของการผลิตก๊าซชีวมวล จากชีวมวลโดย Coovattanachai ขนาดของระบบ 20 กิโลวัตต์ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง



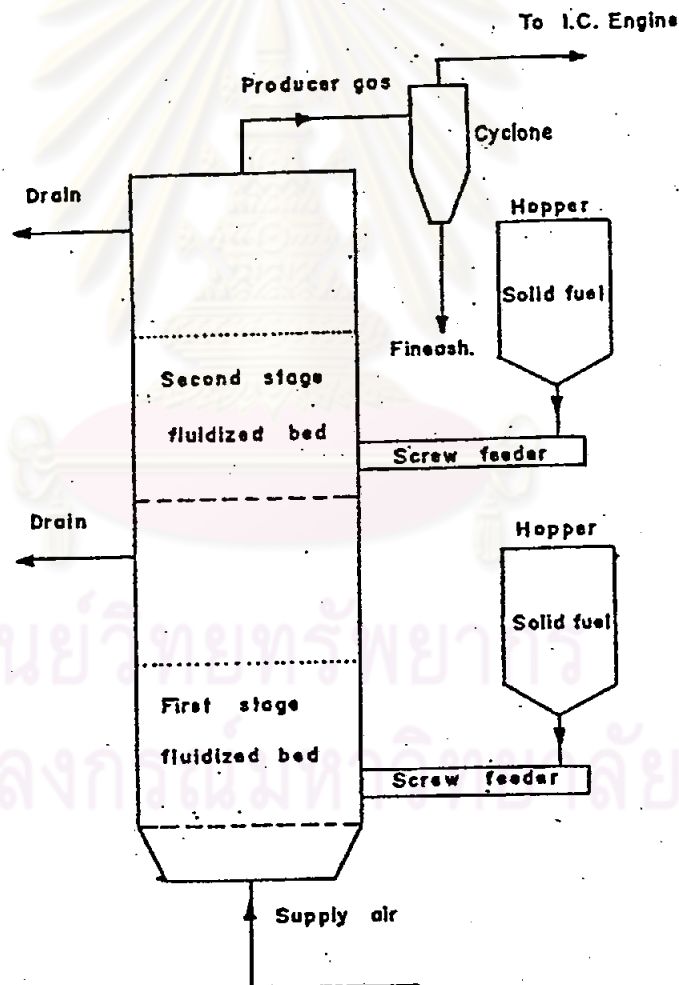
รูปที่ 2-3 การทดลองผลิตก๊าซชีวมวลจากไม้ โดย Coovattanachai

Pitakarnnop (17) และ Boonrowd (18) ทดลองกระบวนการกลั่นสลาย แกลบซึ่งทำให้เกิดก๊าซชีววมวล น้ำมันดินและถ่านลู่ ก๊าซชีววมวลจะนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า และนำก๊าซชีววมวลไปใช้กับเครื่องยนต์ของเครื่องสีข้าว จากการศึกษาพบว่าก๊าซชีววมวลใช้ได้ดีกับเครื่องยนต์ของเครื่องสีข้าวขนาดกลางจนถึงขนาดเล็ก ซึ่งมีกำลังของเครื่องยนต์ไม่เกิน 30 กำลังม้า การใช้แกลบในแต่ละวันไม่น้อยกว่า 1 ตันต่อ 1 เครื่อง และจากการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบทั้งหมดพบว่า มีความคุ้มทุนจนสามารถนำไปเผยแพร่สู่ชนบทได้ในรูปที่ 2-4 แสดงระบบกระบวนการกลั่นสลายแกลบของ Pitakarnnop



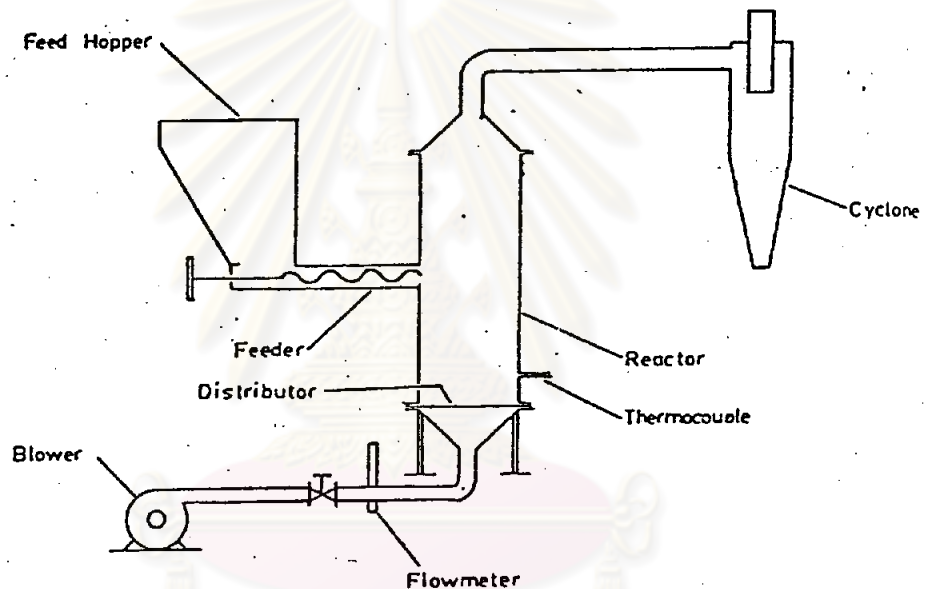
รูปที่ 2-4 กระบวนการกลั่นสลายแกลบของ Pitakarnnop (17)

Sitthipong (23) แห่งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทดลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรซ์เบดแบบ single-stage และ double-stage และนำก๊าซชีววมวลไปใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน การศึกษาจะทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบ เช่น อัตราการใช้อากาศ อัตราการป้อนแกลบ องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงและเปรียบเทียบผลการทดลองของฟลูอิดไรซ์เบดทั้ง 2 แบบ จากการศึกษาพบว่า double-stage fluidized bed จะให้ก๊าซชีววมวลที่มีค่าความร้อนสูงกว่า และมีประสิทธิภาพของทั้งระบบดีกว่า single-stage รูปที่ 2-5 แสดงระบบทั้งหมดของการทดลองของ Sitthipong



รูปที่ 2-5 การทดลองกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรซ์เบดแบบ double stage (23)

Asia Institute of Thailand (8) ได้ศึกษากระบวนการก๊าซซีพีเคชั่นของ ชีวมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซฟลูอิดซ์เบดขนาด 15 X 15 ตร.ซม. เตาที่ใช้ท่อทองแดงพัน รอบเตาและมีน้ำไหลหล่อเลี้ยงภายในท่อเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเบด ภายในเบดจะใส่เม็ดทราย ลงไปด้วย วัตถุประสงค์ที่นำมาทดลองคือผิวไม้หรือซีลื้อย จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเบด สูงขึ้นการเกิดทาร์จะลดลง อุณหภูมิของเบดไม่ล่ามารถจะสูงกว่า 750 °ซ ได้ โดยที่ซีลื้อย มีความชื้นประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก รูปที่ 2-6 แสดงระบบทั้งหมดของการผลิตก๊าซ



รูปที่ 2-6 กระบวนการก๊าซซีพีเคชั่นของชีวมวลในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดซ์เบด (8)

2.3 การเผาไหม้

2.3.1 คำนำ

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกซิเจนกับเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องจนเกิดเปลวไฟลุกไหม้เมื่อการเผาไหม้ดำเนินต่อไปจะให้พลังงานความร้อนออกมา ก๊าซออกซิเจนที่ใช้ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้มาจากอากาศ ซึ่งมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาตร

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการนำเทคนิคการเผาไหม้ถ่านหินในเตาแบบฟลูอิดไธซ์เบตมาแทนการเผาไหม้ถ่านหินที่พ่นเป็นผงเข้าสู่เตา พลังงานที่ได้จากการเผาถ่านหินจะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าประเทศที่เป็นผู้นำในการค้นคว้าได้แก่ ประเทศอังกฤษ และประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยหลายท่านได้ทดลองหาคุณสมบัติของการถ่ายเทความร้อนของฟลูอิดไธซ์เบตโดยนำท่อสำหรับทำไอน้ำใส่เข้าไปภายในเบต (6)

ประมาณต้นปี ค.ศ. 1950 การค้นคว้าเกี่ยวกับการเผาไหม้ได้เจริญก้าวหน้ามากขึ้น เทคนิคของฟลูอิดไธซ์เบตได้ถูกนำมาใช้กับการเผาไหม้มากยิ่งขึ้นเพราะข้อดีในการถ่ายเทความร้อนที่สูง คณะกรรมการการไฟฟ้าส่วนกลางและสมาคมวิศวกรใช้ถ่านหินแห่งประเทศไทย ได้สร้างเตาเผาไหม้ฟลูอิดไธซ์เบตขึ้นมาเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเผาไหม้ลักษณะของฟลูอิดไธซ์เบตในเบต และการถ่ายเทความร้อน ตลอดจนการออกแบบแผ่นกระจายก๊าซ หลังจากศึกษาได้ข้อมูลเบื้องต้นแล้วสมาคมวิศวกรใช้ถ่านหินแห่งประเทศไทย จึงสร้างหม้อน้ำที่ใช้ระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาฟลูอิดไธซ์เบต สามารถผลิตไอน้ำได้ 3,600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (6)

2.3.2 ปฏิกริยาเคมีของการเผาไหม้ (6)

การเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจน และธาตุอื่นๆ กับก๊าซออกซิเจน ตัวอย่างเช่นการเผาไหม้ของถ่านหิน จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



การเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างก๊าซออกซิเจนกับเชื้อเพลิง มีการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง และการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างก๊าซออกซิเจนกับเชื้อเพลิง



2.3.3 การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง (6)

เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งจะเกิดการเผาไหม้ได้ดีนั้นจะต้องให้ก๊าซออกซิเจนสัมผัสกับพื้นผิวของคาร์บอนในของแข็งอย่างทั่วถึง เมื่อเริ่มเกิดการเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ถูกขับออกมาจากผิวของของแข็ง จากนั้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานความร้อน

การเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีการติดไฟแล้วลุกไหม้ การติดไฟไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองต้องอาศัยความร้อนจากภายนอกมากระตุ้นให้เกิดการเผาไหม้ แล้วให้พลังงานความร้อนออกมาและสิ่งเกิดการสะสมอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการติดไฟของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งขึ้นอยู่กับสถานะของเชื้อเพลิง อัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศและชนิดของเชื้อเพลิง

การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง เกิดขึ้นแบบไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ปฏิกิริยาเริ่มต้นที่ผิวของเชื้อเพลิงแล้วลุกลามเข้าไปเรื่อย ๆ เนื่องจากพื้นผิวของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งที่สัมผัสกับอากาศมีบริเวณจำกัด ดังนั้นแม้จะให้ก๊าซออกซิเจนมากเกินพอ การเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของเชื้อเพลิงที่สัมผัสกับอากาศเท่านั้น การแก้ไขสามารถทำได้โดยบดเชื้อเพลิงให้เป็นอนุภาคขนาดเล็ก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส การใช้เตาเผาไหม้ฟลูอิดเบดจะช่วยให้เกิดการปั่นป่วนภายในเบตจนก๊าซออกซิเจนสัมผัสกับเชื้อเพลิงได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่สำคัญในการเผาไหม้ ตัวอย่างเช่น เวลาที่ใช้ และอุณหภูมิของการเผาไหม้ต้องสูงเพียงพอที่เชื้อเพลิงจะลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง การใช้เวลาของการเผาไหม้ในเบตควรเหมาะสมกับปฏิกิริยาเคมีจะได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เป็นต้น

2.3.4 การเผาไหม้ในเตาฟลูอิดเบด (Fluidized bed combustor)

เชื้อเพลิงที่นิยมนำมาเผาไหม้ในเตาเผาไหม้ฟลูอิดเบด ได้แก่ ถ่านหิน ถ่านโค้ก หินน้ำมัน ไม้และถ่านไม้ เป็นต้น พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถูกนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ทำไอน้ำในหม้อน้ำและนำพลังงานความร้อนไปใช้ในอุตสาหกรรม วรรณคดี (5) ทำการวิจัยการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในฟลูอิดเบตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ 200 มม. พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ คือ ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วของอากาศ 98.20 ซม./วินาที อัตราการป้อนถ่านหิน 0.675 กรัม/ซม.² นาที ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงที่สุดร้อยละ 89.57

ศศิวิมล สูงสว่าง (6) ทำการวิจัยการเผาไหม้แก๊สในฟลูอิดิซ์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ 150 มม. พบว่าอุณหภูมิการเผาไหม้แก๊สที่เหมาะสมคือ 700 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วของอากาศเพื่อทำให้เกิดฟลูอิดิซ์เท่ากับ 32.77 เมตร/นาที่ อัตราการป้อนแก๊สเข้าสู่คอลัมน์เท่ากับ 50.83 กรัม/นาที่ ซึ่งทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงสุดร้อยละ 96.0

2.4 ฟลูอิดิซ์เบด

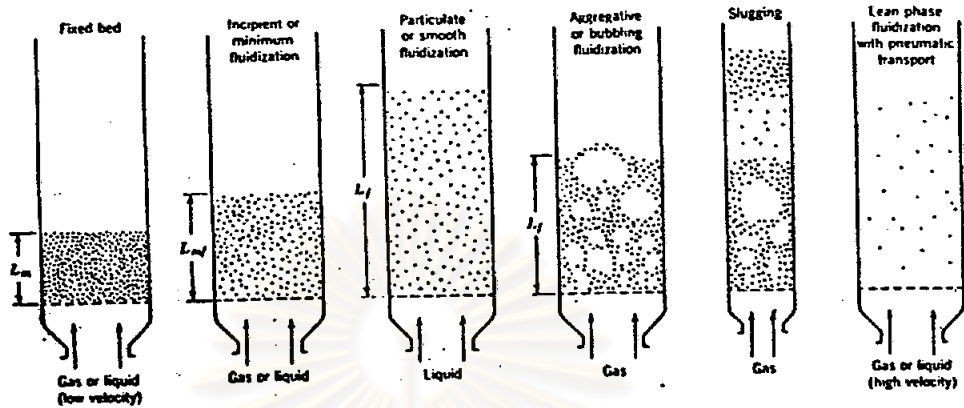
2.4.1 ปราภฏการณัฟลูอิดิเซชัน (3,7)

เมื่อผ่านของไหลขึ้นมาจากด้านล่างของชั้นอนุภาคของแข็งด้วยอัตราการไหลต่าง ๆ ของไหลจะแทรกตัวผ่านไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งที่อยู่กับที่ (Fixed-bed) เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของไหลให้มากขึ้น อนุภาคของแข็งจะเริ่มเคลื่อนที่ออกห่างจากกัน และสัต์ตัวอย่างเป็นระเบียบ และถ้าเพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นอีกจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง อนุภาคของแข็งจะแยกออกจากกันลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะนี้เรียกว่าเกิดฟลูอิดิซ์ที่น้อยที่สุด หรือจุดเริ่มฟลูอิดิซ์ (Minimum fluidizing point)

ในกรณีที่ของไหลเป็นก๊าซ เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซให้มากกว่าจุดเริ่มฟลูอิดิซ์ จะเกิดปราภฏการณั 2 ลักษณะ คือ

1. ถ้าพื้นที่หน้าตัดของเบดมีขนาดใหญ่ ชั้นของอนุภาคจะเกิดฟองก๊าซลอยขึ้นไปทำให้อนุภาคของแข็งที่ติดไปกับฟองก๊าซไหลจากด้านบนของฟองก๊าซลงมาด้านล่าง บางส่วนของอนุภาคของแข็งจะลอยติดตามฟองก๊าซขึ้นไปด้วย เกิดการไหลวนอย่างรุนแรงของเบด ลักษณะนี้เรียกว่าฟลูอิดิซ์เบดแบบฟองก๊าซ (Bubbling Fluidized-bed)

2. ถ้าพื้นที่หน้าตัดของเบดมีขนาดเล็ก ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะเท่ากับขนาดของเบด เมื่อฟองก๊าซลอยขึ้นไปจะนำชั้นอนุภาคที่อยู่ตอนบนของฟองก๊าซลอยติดไปด้วย และอนุภาคของแข็งจะตกลงมาเมื่อฟองก๊าซแตกออก ลักษณะนี้เรียกว่า สลักกิ้ง (Slugging)



รูปที่ 2-7 แสดงลักษณะปรากฏการณ์ฟลูอิดไลซ์ชนิดต่าง ๆ ของอนุภาคของแข็ง ด้วยของไหล

2.4.2 ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เบดเกิดฟลูอิดไลเซชัน (15)

ฟลูอิดไลเซชันเกิดขึ้นจากสมดุลของแรง 2 แรงคือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของอนุภาคของแข็ง และแรงพยุงจากของไหล ดังสมการ

$$\text{แรงพยุงจากของไหล} = \text{น้ำหนักของอนุภาคของแข็ง}$$

หรือ

$$\left[\begin{array}{l} \text{(ความแตกต่างของความดันในพื้นที่ภาคตัดขวางของ เบด)} \\ \times \\ \text{(พื้นที่ภาคตัดขวางของคอลัมน์)} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{(ปริมาตรของเบด)} \times \text{(ล่วนของ} \\ \text{ของแข็งในเบด)} \times \\ \text{(ความถ่วงจำเพาะของของแข็ง)} \end{array} \right]$$

เขียนแทนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta P \cdot A_C = W = (A_C \cdot L_{mf}) (1 - E_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (2.12)$$

จัดระเบียบใหม่เป็นดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - E_{mf}) (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \quad (2.13)$$

การเคลื่อนที่ของของไหลไปตามช่องว่างของอนุภาคในระหว่างการเกิดฟลูอิดไอเซชัน จะเกิดความแตกต่างของความดันที่เบด เออกัน (Ergun) ได้สรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L_m} \cdot g_c = \frac{150(1 - E_m)}{E_m^3} \frac{U_0}{(\phi_s D_p)^2} + \frac{1.75(1 - E_m)}{E_m^3} \frac{U_0^2 \rho_g}{\phi_s D_p} \quad (2.14)$$

จากสมการ (2.11) และสมการ (2.12) นำมารวมกันจะได้สมการทั่วไปดังนี้

$$\frac{1.75}{\phi_s E_{mf}^3} \left(\frac{D U_{mf} \rho_g}{\mu} \right)^2 + \frac{150(1 - E_{mf})}{\phi_s^2 E_{mf}^3} \left(\frac{D U_{mf} \rho_g}{\mu} \right) = \frac{D^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (2.15)$$

สำหรับอนุภาคนาขนาดเล็กหรือมีความเร็วต่ำ สมการ (2.13) จะลดรูปเป็น

$$U_{mf} = (\phi_s D_p)^2 (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{150\mu} \frac{E_{mf}^3}{(1 - E_{mf})} \quad (2.16)$$

$$\text{Rep} < 20$$

สำหรับอนุภาคนาขนาดใหญ่ หรือมีความเร็วสูง สมการ (2.13) จะลดรูปเป็น

$$U_{mf}^2 = \phi_s D_p (\rho_s - \rho_g) \frac{1}{1.75 \rho_g} \cdot g \cdot E_{mf}^3 \quad (2.17)$$

$$\text{Rep} > 1000$$

จากสมการ (2.16) และสมการ (2.17) สามารถหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน

(U_{mf}) ได้ถ้าทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพของของแข็งและของไหล