



วัสดุเหลือใช้จากตาลโตนดมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไฟฟ้าชีวมวล
The residue left from sugar palm as raw material for the
production of biomass power.

อนรรักษ์ เกษวัฒนากุล* สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์ และนิรุช ล้ำเลิศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการได้รับทุนจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ปี 2557

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

คำนำ

โครงการวิจัยนี้มีเป้าประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเตาผลิตแก๊สชีววมวลจากวัสดุเหลือใช้ของตาลโตนด ที่จะมีจำนวนมากในพื้นที่ของจังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นแนวทางการสร้างพลังงานทางเลือกให้เพิ่มมากขึ้น เพิ่มรายได้ให้กับชุมชนทั้งในส่วนของพื้นที่ที่ได้ผลผลิตจากตาลโตนดแล้ว และพื้นที่ปลูกใหม่ เป็นการส่งเสริมพื้นที่ปลูกตาลให้มากขึ้น โดยโครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ.2557 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ในโครงการวิจัยวัสดุได้เลือกใช้วัสดุเหลือใช้จากตาลโตนด ประกอบไปด้วย ทางตาลโตนด ใบตาลโตนด เปลือกจากลูกตาลโตนด และลูกตาลโตนดแก่ นำมาดำเนินการทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง และการใช้งานร่วมกับเตาแก๊สชีววมวล

ผู้วิจัยหวังว่า โครงการวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาของผู้ที่สนใจ และการนำไปพัฒนาต่อยอดใช้จริงต่อไป

คณะผู้ทำวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับความเอื้อเฟื้อในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและการประสานงานในการดำเนินงานของโครงการฯ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์ดีสำหรับคำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัย

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สมมาส แก้วล้วน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตองค์กรักษ์ จังหวัดนครนายก การช่วยดำเนินการทดสอบในงานวิจัย

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยงบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2557

คณะผู้ทำวิจัย

สารบัญ

รายการ	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎี	3
2.1.1 ตาลโตन्द	3
2.1.2 เชื้อเพลิงชีวมวล	9
2.1.3 การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงแข็ง	11
2.1.4 การเปลี่ยนรูปชีวมวล	13
2.1.5 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น	14
2.1.6 ประเภทของแก๊สซิฟิเคชั่น	15
2.1.7 เตาผลิตก๊าซ	22
2.1.8 ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง	28
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	36
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	36
3.2 วัสดุที่ใช้การวิจัย	37
3.2.1 ทางตาลโตन्द	37

3.2.2 ผลตาลโตนดแก่	37
3.2.3 ใบตาลโตนด	38
3.2.4 เปลือกจากผลตาลโตนด	38
3.3 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อการวิเคราะห์ผล	39
3.4 การวิเคราะห์แบบประมาณ	40
3.5 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	40
3.6 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สจากการเผาไหม้โดยตรง	41

สารบัญ (ต่อ)

รายการ	หน้า
3.7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย	48
4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์แบบประมาณ	48
4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	51
4.3 ขั้นตอนการทดลองการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์	55
4.4 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์	56
4.5 การทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล	59
4.6 การทดลองการทำงานของระบบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการทดลอง	64
5.1.1 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์แบบประมาณ	64
5.1.2 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	64
5.1.3 สรุปผลการทดลองหาองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์	64
5.1.4 สรุปผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล	65
5.1.5 สรุปผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์	65
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	65
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ประวัติผู้วิจัย	69
ภาคผนวก ก เกียรติบัตรการนำเสนอผลงาน	71
ภาคผนวก ข เอกสารรายงานผลการทดสอบวัสดุเชื้อเพลิง	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ตาลโตนด	3
2.2	วงตาลโตนดของตาลโตนดตัวผู้	4
2.3	ทะลายตาลโตนดของตาลโตนดตัวเมีย	4
2.4	ผลตาลพันธุ์หม้อ	5
2.5	ผลตาลพันธุ์ไข่	6
2.6	ผลตาลพันธุ์ลูกผสม	6
2.7	หลังคาที่ทำจากใบตาล	7
2.8	รั้วบ้านที่ทำจากทางตาลโตนด	7
2.9	ใบตาลและทางตาลโตนด	8
2.10	ผลตาลโตนดแบบต่าง	8
2.11	ผลตาลโตนดงอก	9
2.12	ชีวมวลที่เป็นไม้ในรูปแบบต่างๆ	10
2.13	พลังงานชีวมวลและการเปลี่ยนรูป	10
2.14	องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไป	11
2.15	กระบวนการที่เหมาะสมกับความชื้นของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ที่ได้	14
2.16	สภาวะความสมดุลของปฏิกิริยา	17
2.17	กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน	17
2.18	ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์	18
2.19	อัตราส่วนเทียบเท่าและอุณหภูมิเปลวของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันไม้	20
2.20	เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขึ้น	22
2.21	เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลง	23
2.22	เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขวาง	24
2.23	เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยโดยตรง	25
2.24	เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยในห้องเผาไหม้	25
2.25	เตาผลิตก๊าซแบบหมุนวน	26
2.26	การผลิตไฟฟ้าจากระบบแก๊สซิฟิเคชัน	27
2.27	เครื่องอัดแบบลูกสูบ	30
2.28	เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย	30

2.29	เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด	31
2.30	เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง	31
2.31	เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม	32
2.32	เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	ทางตาลโตนด	37
3.2	ผลตาลโตนดแก่	37
3.3	ใบตาลโตนด	38
3.4	เปลือกจากตาลโตนด	38
3.5	วัสดุตากแห้ง	39
3.6	ตัวอย่างวัสดุที่อยู่ระหว่างการบดย่อย	39
3.7	ตัวอย่างวัสดุที่บดย่อยเสร็จแล้ว	40
3.8	ตัวอย่างวัสดุจากทางตาลโตนดที่ถูกตัดให้ชิ้นเล็กลงโดยเครื่องจักร	41
3.9	ใบตาลและทางตาลโตนด	41
3.10	ตัวอย่างวัสดุจากเปลือกผลตาลโตนด	42
3.11	ตัวอย่างวัสดุจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง	42
3.12	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวล: แก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดคงที่ เปลวไฟไหลลง	43
3.13	อุปกรณ์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวล: เครื่องยนต์พร้อม เครื่องปั่นไฟฟ้า	43
3.14	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิในเตาแก๊สซิไฟเออร์และตำแหน่งการวัดคุณภาพ ของโปรตีนเซอร์ก้าซที่ออกจากเตาแก๊สซิไฟเออร์	44
3.15	ระบบเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดคงที่เปลวไฟไหลลง	44
3.16	การบรรจุเชื้อเพลิงเข้าระบบเตาแก๊สซิไฟเออร์	45
3.17	การทดสอบระบบเตาแก๊สซิไฟเออร์	45
3.18	การวัดค่าพารามิเตอร์	46
3.19	การบันทึกค่าพารามิเตอร์	47

ฉ

4.1	กราฟปริมาณความชื้น	49
4.2	กราฟปริมาณซีเมนต์	49
4.3	กราฟปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย	50
4.4	กราฟปริมาณคาร์บอนคงตัว	50
4.5	กราฟปริมาณความร้อนสูงสุด	51
4.6	กราฟปริมาณคาร์บอน	52
4.7	กราฟปริมาณไฮโดรเจน	53
4.8	กราฟปริมาณไนโตรเจน	53
4.9	กราฟปริมาณซัลเฟอร์	54
4.10	กราฟปริมาณออกซิเจน	54
4.11	กราฟปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	เครื่องวัดองค์ประกอบแก๊ส (Gas analyzer)	58
4.13	อุปกรณ์เก็บแก๊ส	59
4.14	การเทียบปริมาณสารมลทิน	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กระบวนการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง	13
2.2	องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์ก้าซจากไม้และถ่านไม้	18
2.3	สรุปลักษณะของเครื่องผลิตก๊าสชีวมวลแต่ละแบบ	26
2.4	ส่วนประกอบของก๊าสชีวมวลจากเตาผลิตก๊าสชีวมวลแบบต่างๆ	27
2.5	ข้อดีและข้อเสียของการใช้เครื่องยนต์ก๊าส	28
4.1	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณจากวัสดุเหลือใช้ตาลโตนด	48
4.2	ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุจากวัสดุเหลือใช้ตาลโตนด	52
4.3	องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (ทางตาลโตนด)	57
4.4	องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (เปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง)	57
4.5	ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากทางตาลโตนด 20 kg.	59
4.6	ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง 20 kg.	60

- | | | |
|-----|---|----|
| 4.7 | ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากทางตาลโตนด 20 kg. | 62 |
| 4.8 | ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแท่ง 20 kg. | 63 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันจะอาศัยเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักเนื่องจากจัดหาง่าย แต่การผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงดังกล่าวกลับส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพะอย่างยิ่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การผลิตไฟฟ้าในสเกลขนาดใหญ่ของประเทศไทยยังคงพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งได้แก่ก๊าซธรรมชาติเกือบร้อยละ 70 ที่เหลือเป็นถ่านหิน น้ำมันเตา พลังน้ำ และพลังงานหมุนเวียน ซึ่งบางส่วนของผู้ผลิตได้มีการหันมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากชีวมวล การนำชีวมวลเหล่านี้ไปใช้จะต้องนำไปเผาไหม้ส่วนใหญ่จะทำการเผาไหม้โดยตรง เพื่อให้ได้ความร้อน และนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ จากกระบวนการนี้จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบต่ำ แต่มีวิธีการหนึ่งซึ่งเป็นเทคโนโลยีพลังงานก็คือการเปลี่ยนรูปพลังงานชีวมวล ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งให้เป็นก๊าซเผาไหม้ได้ (แก๊สซิฟิเคชัน) และใช้ประโยชน์จากก๊าซเผาไหม้ดังกล่าว โดยกระบวนการดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเผาไหม้โดยตรง นอกจากนี้การใช้น้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาจะส่งผลให้ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความร้อนสูงขึ้น เมื่อนำไปเผาไหม้ในเครื่องยนต์ก๊าซจะทำให้ได้กำลังที่ดียิ่งขึ้น

ตาล หรือตาลโตนดเป็นพันธุ์ไม้พุ่มป่าล้มขนาดใหญ่ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา ตะวันออก ต่อมาได้แพร่พันธุ์เข้าไปในอินเดีย ศรีลังกา และกลุ่มประเทศในแถบเอเชีย ปัจจุบันมีมากในแถบทวีปเอเชีย อินเดีย ศรีลังกา พม่า กัมพูชา มาเลเซียอินโดนีเซีย และไทย สำหรับประเทศไทยพบมากในพื้นที่เขตภาคกลางในแถบจังหวัดเพชรบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม และภาคใต้ แถบจังหวัดสงขลา แต่ที่พบมากคือจังหวัดเพชรบุรี ผลผลิตจากตาลที่ได้จากภาคครัวเรือน และชุมชนเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากตัวอย่างเช่น น้ำตาล ลูกตาล จาวตาล เป็นต้น ปัจจุบันพื้นที่ปลูกตาลโตนดในเพชรบุรีกลับลดลงอย่างมาก เนื่องจากตาลที่ปลูกไว้มีอายุมากและได้ยืนต้นตาย บางส่วนได้ถูกตัดนำส่วนลำต้นไปใช้งาน และไม่ได้มีการปลูกเพิ่ม เพราะต้นตาลจะให้ผลผลิตที่เป็นลูกตาลนับตั้งแต่เริ่มปลูกนั้น จะใช้ระยะเวลาประมาณ 10-15 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลานาน ในช่วงก่อนที่ต้นตาลโตนดจะมีผลผลิตเกษตรกรผู้ปลูกจะไม่มีรายได้จากส่วนอื่นๆของตาลโตนด จากปัญหาการลดลงของต้นตาล จึงได้มีการรณรงค์ให้มีการปลูกต้นตาลจากภาครัฐเพื่อเพิ่มจำนวนให้กับต้นตาลให้มากยิ่งขึ้นในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี แต่ก็ไม่ได้มีการตอบรับเท่าที่ควรเนื่องจากปัญหาด้านรายได้ในช่วงเริ่มปลูกใหม่ ในส่วนสิ่งที่เหลือใช้จากการผลิต ผลผลิตจากตาลโตนดส่วนใหญ่จะเป็นลูกตาลแก่ เปลือกจากลูกตาลทางตาล และใบตาล ในส่วนของทางตาล และใบตาล นั้นจะมีตั้งแต่ช่วงแรกที่เกษตรกรเริ่มปลูก ซึ่งวัสดุต่างๆที่กล่าวมาแล้วเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากนัก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจว่าวัสดุ

ดังกล่าว ที่ได้จากภาคชุมชนมาทดสอบผลิตเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชัน และใช้ประโยชน์จากก๊าซเผาไหม้ดังกล่าวไปผลิตไฟฟ้าต่อไป

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเตาผลิตแก๊สชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ของตาลโตนด ที่มีจำนวนมากในพื้นที่ของจังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นการสร้างพลังงานทางเลือกให้เพิ่มมากขึ้น เพิ่มรายได้ให้กับชุมชนทั้งในส่วนของพื้นที่ที่ได้ผลผลิตจากตาลโตนดแล้ว และพื้นที่ที่ปลูกใหม่ เป็นการส่งเสริมพื้นที่ปลูกตาลให้มากขึ้น และใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของเชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้จากตาลโตนด สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า
- 1.2.2 เพื่อประเมินสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ได้จากแต่ละส่วน ที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานในรูปของเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในโครงการนี้ได้แก่ลูกตาลแก่ เปลือกจากลูกตาล ทางตาล และใบตาล ที่รวบรวมได้จากจังหวัดเพชรบุรี
- 1.3.2 ไม่มีการควบคุมปริมาณความชื้นเริ่มต้นในเชื้อเพลิงชีวมวลแต่จะเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถทราบข้อมูลศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวลจากลูกตาลแก่ เปลือกจากลูกตาล ทางตาล และใบตาล มาทำการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวลที่สามารถนำไปสาธิตการใช้งานระดับมหาวิทยาลัยหรือชุมชนอื่นๆได้
- 1.4.2 ผลงานวิจัยสามารถใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ ศึกษาดูงานของมหาวิทยาลัยอื่น ชุมชนต่างๆ ในจังหวัดเพชรบุรี หรือชุมชนอื่นๆในการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 1.4.3 เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับให้กับหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องหรือชุมชนที่มีวัตถุดิบเหลือใช้เพื่อสร้างโรงไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล
- 1.4.4 เป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยต่อเนื่องในการพัฒนาเทคโนโลยี และการจัดการพลังงานสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจากลูกตาลแก่ เปลือกจากลูกตาล ทางตาล และใบตาล

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ตาลโตนด

ตาล หรือ ตาลโตนด มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Borassus flabellifer* Linn. และมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Asian Palmyra palm หรือ Toddy palm หรือ Sugar palm หรือ Cambodian palm ในประเทศไทยมีชื่อหลายชื่อคือในภาคกลางเรียกว่า “ต้นตาลโตนด” หรือเรียกสั้นๆ ว่า “ต้นตาล” ภาคใต้เรียกว่า “ตาลโตนด” หรือ “ต้นโหนด” ชาวจังหวัดยะลาหรือปัตตานีเรียกว่า “ปอเกาะตา”



รูปที่ 2.1 ตาลโตนด

(ที่มา : <http://www.pbru.ac.th/th/index.php/about-pbru>)

ตาลโตนดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาตะวันออก ต่อมาได้แพร่พันธุ์เข้าไปในอินเดีย ศรีลังกา และกลุ่มประเทศในแถบเอเชีย ปัจจุบันมีมากในแถบทวีปเอเชีย อินเดีย ศรีลังกา พม่า กัมพูชา มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย ในประเทศไทยพบมากในพื้นที่เขตภาคกลางในแถบจังหวัดเพชรบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม และภาคใต้แถบจังหวัดสงขลา เป็นต้น ตาลโตนดเป็นต้นไม้ที่แข็งแรงมาก ชนิดหนึ่ง และเป็นต้นไม้ที่มีการแยกเพศกันอยู่คนละต้น ต้นสูงประมาณ 18-25 เมตร และโตวัดผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 เซนติเมตร ลำต้นเป็นเสี้ยนสีดำแข็ง แต่ใ้กกลางลำต้นอ่อน บริเวณโคนต้นจะมีรากเป็นกลุ่มใหญ่ ใบเหมือนพัดขนาดใหญ่ กว้าง 1-1.5 เมตร มีก้านเป็นทางยาว 1-2 เมตร ชอบ

ของทางของก้านทั้งสองข้าง มีหนามเหมือนฟันเลื่อยสีดำแข็ง ๆ และคม โคนก้านแยกออกจากกัน โอบหุ้มลำต้นไว้ ซ่อดอกเพศผู้ใหญ่ รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายนิ้วมือ ยาวประมาณ 40 เซนติเมตร และโตวัดผ่า กลางประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร โคนกลุ่มซ่อจะมีก้าน ซ่อรวมและมีกาบแข็ง ๆ หลายกาบหุ้ม โคนก้านซ่ออีกทีหนึ่ง ซ่อดอกเพศเมียก็คล้าย ๆ กัน แต่นี้จะเป็นปุ่มปม และปุ่มปมคือดอก โตวัดผ่า กลางประมาณ 2 เซนติเมตร และมีกาบแข็ง ๆ หุ้ม แต่ละดอก กาบนี้จะเติบโตไปเป็นลูกตาลอีกที หนึ่ง ผลกลมหรือรูปทรงกระบอกสั้น ๆ โตวัดผ่ากลางประมาณ 15 เซนติเมตร ผลหนึ่ง ๆ จะมีเมล็ด ใหญ่แข็ง 1-4 เมล็ด สามารถแยกส่วนประกอบต่างๆของตาลโตนดได้ดังต่อไปนี้

ต้นตาลโตนด

ต้นตาลโตนดตัวผู้จะมีลักษณะที่แตกต่างจากต้นตาลตัวเมียเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้นตาล ตัวผู้จะออกทรงเป็นซ่อ ไม่มีผล ภาษาชาวบ้านเรียกว่า "จั่น" ถ้าการเวียนของทางใบวนไปทางซ้ายมือ จะเป็นตาลตัวผู้ ต้นตาลตัวผู้จะสังเกตจาก ใบและงวง เพราะถือเป็นเอกลักษณ์ของต้นตาลตัวผู้ อย่าง ชัดเจน



รูปที่ 2.2 งวงตาลโตนดของตาลโตนดตัวผู้

(ที่มา : www.jr-rsu.netarticle278)

ส่วนต้นตาลตัวเมียนั้นจะมีลักษณะ การเรียงตัวของทางใบ ถ้ามีการเรียงตัววนไปทางขวา มือจากบริเวณโคนไปสู่อยอดจะเป็นต้นตาลตัวเมีย แต่ที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ ต้นตาลตัวเมียจะ ต่างจากต้นตาลตัวผู้ตรงที่ต้นตาลตัวเมียจะมีลูกเป็นซ่อ ๆ หรือชาวบ้านเรียกว่า "ทะเลายตาล"



รูปที่ 2.3 ทะลายตาลโตนดของตาลโตนดตัวเมีย

(ที่มา : <https://www.gotoknow.org/posts/509271>)

ต้นตาลโตนดในจังหวัดเพชรบุรี ยังแบ่งออกได้เป็น 2 พันธุ์ คือ ตาลบ้าน และตาลป่า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาลบ้าน มีจำนวนเต้าตาลในแต่ละผล 1-4 เต้า แบ่งสายพันธุ์ย่อยได้อีก 3 พันธุ์ คือ ตาลหม้อ ตาลไข่ ตาลลูกผสม

1. ตาลพันธุ์หม้อ เป็นตาลที่มีลำต้นแข็งแรงถ้าดูจากลำต้นภายนอกไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นตาล พันธุ์อะไร นอกจากต้นนั้นจะให้ผลแล้ว ตาลหม้อเป็นตาลที่ให้ผลใหญ่ผิวดำเป็นมันเรียบแทบจะไม่มีสีอื่นปน เวลาผลแก่มีรอยขีดตามแนวยาวของผลเปลือกหนาในผลจะมี 2-4 เมล็ด ใน 1 ทะลายจะมีประมาณ 10-20 ผล ส่วนใหญ่จะให้ผลเมื่ออายุ 10 ปีขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน



รูปที่ 2.4 ผลตาลพันธุ์หม้อ

(ที่มา : http://www.raisathon.com/otop/otop_detail.php?otop_id=00000000004)

2. ตาลพันธุ์ไข่ ลำต้นแข็งแรงลูกมีขนาดเล็กสีค่อนข้างเหลืองแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน
 - ไข่เล็ก ผลค่อนข้างเล็กใน 1 ทะลายจะมีผล 20-30 ผล เนื่องจากผลเล็ก จึงทำให้เต้ามีขนาดเล็กตามไปด้วย จะให้ผลเมื่ออายุ 10 ปีขึ้นไป
 - ไข่ใหญ่ ผลมีขนาดใหญ่กว่าไข่เล็ก สีค่อนข้างเหลืองใน 1 ทะลายจะมีผล 10-20 ผล เต้ามีขนาดใหญ่กว่าไข่เล็ก 1 ผล จะมี 2-3 เต้า จะให้ผลเมื่ออายุ 10 ปีขึ้นไป

3. ตาลพันธุ์ลูกผสม ลำต้นตรงใหญ่แข็งแรง ลูกค่อนข้างใหญ่เกือบเท่าตาลพันธุ์หม้อ สีดำผสมน้ำตาล (เหลืองดำ) ในผลจะมี 2-3 เต้า ให้ผลประมาณ 15-20 ผลต่อทะลายเป็นตาลที่มีจำนวนมากที่สุดในจังหวัดเพชรบุรี ส่วนใหญ่จะให้ผลเมื่ออายุ 15 ปีขึ้นไป



รูปที่ 2.5 ผลตาลพันธุ์ไข่

(ที่มา : http://www.raisathon.com/otop/otop_detail.php?otop_id=00000000004)



รูปที่ 2.6 ผลตาลพันธุ์ลูกผสม

(ที่มา : http://www.raisathon.com/otop/otop_detail.php?otop_id=00000000004)

ตาลป่า มีผลเล็กขนาดตาลไซ้ มีผลเขียวคล้ำ มีเต้า 1-2 เต้า ลำต้นสีเขียวสด ก้านใบยาว (บางคนเรียกว่า ตาลก้านยาว) พบแถบเขาแต่น อำเภอบ้านลาด และในเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ตาลป่ายังไม่เป็นที่รู้จักกันมากนัก เพราะมักขึ้นอยู่ในป่า

ใบตาลและทางตาลโตนด

ใบตาลโตนดสามารถทำเป็นพัด โดยตัดเจียน แล้วเย็บริมขอบให้เข้ารูป หรืออาจคัดเลือกใบตาลอ่อนแล้วรีดให้เรียบ นำมาจักเป็นใบ ๆ แล้วเย็บเป็นพัดใบตาลแบบพับก็ได้ ซึ่งเหมาะที่จะพกติดตัวไปได้ พัดแบบนี้อาจผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นของที่ระลึก โดยตกแต่งสีเส้นให้สวยงามนอกจากนี้ใบตาลอ่อนยังสามารถนำมาจักสานทำเป็นรูปสัตว์ต่าง ๆ สำหรับแขวนให้เด็กดูเล่นได้อีกหลายชนิด เช่น ปลาตะเพียน กุ้ง ต๊กแตน ชฎา หรือทำเป็นรูปสัตว์ ใส่ขาล้อแบบล้อเกวียนให้เด็ก ๆ ลากเล่น หรือนำมาจักเป็นเส้นตอก ถ้าใช้เส้นใหญ่มักสานขึ้นเป็นรูปกระเช้า ถ้าใช้ตอกเส้นเล็กนิยมสานเป็นกระเป๋าสตางค์ หากตัดใบตาลเป็นท่อนสั้น ๆ สามารถใช้แทนซอ้นชั่วคราว เพื่อตักขนมและอาหาร โดยเฉพาะข้าวกระทังที่เคยขายตีขนรถไป นิยมใช้ซอ้นใบตาลก่อนที่จะมาใช้ซอ้นพลาสติกดังเช่นปัจจุบัน ส่วนใบตาลขนาดใหญ่ นิยมนำมาผ่าซีกแล้วหักงอผูกกับส่วนที่เป็นก้าน เรียกว่า “หักคอม้า” นำไปมุงหลังคา ทำปะรำ มุงกระท่อม หรือโรงนา มีอายุใช้งานประมาณ 2-3 ปี



รูปที่ 2.7 หลังคาที่ทำจากใบตาล

(ที่มา : www.trironk.netw025712kamoltest2.htm)

ทางตาลโตนด เป็นส่วนของก้านของใบตาล สามารถลอกผิวนอกส่วนที่อยู่ด้านบน เรียกว่า “หน้าตาล” มาฟืนเป็นเชือกสำหรับผูกวัว ล่ามวัว แม้จะใช้ได้ไม่ทนทานเท่าเชือกที่ทำจากต้นปอหรือต้นเส้ง แต่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องตากแดดตากฝน เพราะมีความชุ่มน้ำ ซึ่งหากใช้เชือกที่ทำจาก

วัสดุอื่นก็จะเปื่อยผุพังเร็ว ส่วนทางตาลตอนโคน ซึ่งอยู่ติดกับต้นตาลนั้น มีจำนวน 2 แฉก เมื่อทางตาลแก่จัดจนใบแห้งจะร่วงหล่นลงมาเอง ชาวบ้านเรียกส่วนโคนนี้ว่า “ขาทาล” มีลักษณะบางและแบน จึงเหมาะกับการนำมาตัดใช้เป็นคราด หากต่อด้ามหรือทำเป็นกาก็จะเรียกว่า “กาทาล” สำหรับกอบสิ่งของที่เป็นกอง เช่น ใช้อกอบมูลวัว กอบขี้เถ้า กอบเมล็ดข้าว เป็นต้น ทั้งใบตาลและทางตาลโดนดแห้ง ชาวบ้านในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีสามารถนำไปให้เป็นเชื้อเพลิงในการทำน้ำตาลโดนดได้อีกด้วย



รูปที่ 2.8 รั้วบ้านที่ทำจากทางตาลโดนด

(ที่มา : www.trironk.net/w025712kamoltest2.htm)



รูปที่ 2.9 ใบตาลและทางตาลโดนด

ผลตาลโดนด

ผลตาลโดนดจะให้ดอกให้ผลหลายครั้งจนกว่าจะแก่ตายไป ผลอ่อนมีสีเขียวติดอยู่บนทะลายคล้ายมะพร้าว ผลแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำเป็นมัน ผลโตขนาดเท่าผลส้มโอภายในเป็นเส้นละเอียดเมื่อสุกจะเป็นสีเหลืองแก่ เนื้อประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล ทะลายหนึ่งมีประมาณ 10 –

15 ผล ผลหนึ่งจะมีเมล็ด 1-4 เมล็ด อยู่ภายใน จะมีลักษณะแบนๆ ยาวประมาณ 3 นิ้ว กว้าง 2 นิ้ว และหนาประมาณ 0.5 นิ้ว

ส่วนประกอบของผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. เปลือกชั้นนอก ผิวเรียบเป็นมันเรียกว่า Exocarp
2. ส่วนที่เป็นเส้นใยเรียก Mesocarp
3. ส่วนที่เป็นกะลาแข็งหุ้มเมล็ดเรียกว่า Endocarp

เมื่อผลตาลแก่จัด (สุก) จะมีกลิ่นหอม จากการศึกษพบว่าเนื้อตาลสุกประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของแคโรทีนอยด์ซึ่งให้สีเหลือง ใช้แต่งสีขนมต่างๆ เช่น ขนมตาล ขนมเค้ก ขนมขี้หนูและไอศกรีม (จรุงศักดิ์ ธรรมรักษ์, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.10 ผลตาลโตนดแบบต่าง

(ที่มา : <http://www.oknation.netblogcountrygirl20071208entry-1>)

ตาลโตนดสืบพันธุ์จากเมล็ดอย่างเดี่ยวทำได้โดยนำเมล็ดแก่ที่ตกอยู่ตามโคนต้นมา ฝังดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตรหลังจากนั้น 2-3 เดือนก็จะเริ่มงอกในระยะปีแรกๆ การเจริญเติบโตของตาลโตนดจะเป็นไปอย่างช้าๆ โดยเฉลี่ยแล้วปีหนึ่งจะมีใบใหม่เพิ่มขึ้นเพียง 1 ใบเท่านั้น เมื่อตาลโตนดอายุ 5-6 ปี ลำต้นจะสูงเพียง 1 เมตร หลังจากระยะนี้จะเป็นลำต้นยึดตัวสูงขึ้นปีละ 1 เมตร หลังจากระยะนี้จะเป็นลำต้นยึดตัวจะสูงขึ้นปีละ 30 เซนติเมตร ดังนั้นตาลโตนดอายุ 10-15 ปี จะสูงเพียง 4-5 เมตร ถือว่าเป็นระยะเริ่มให้ดอก ผล นักวิจัยเชื่อว่าตาลโตนดให้ผลครั้งแรกอายุ 15-20 ปี แต่ชาวบ้านเชื่อว่าตาลโตนดจะให้ผลครั้งแรก เมื่ออายุ 15 ปี บางที่ลดลงมาเหลือ 12 ปี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การงอกเยื่อหุ้มเมล็ดหรือหน่อ (Opocolon) จะเจริญข้างล่างขณะที่ใบแรกของผลจะงอกออกมา จากนั้นส่วนที่สะสมอาหารภายในเมล็ดก็จะถูกย่อยเป็นคาร์โบไฮเดรตอย่างง่าย โดยส่วนที่สะสมอาหารของใบเลี้ยงและคาร์โบไฮเดรตก็จะถูกนำไปสร้าง Plunule และรากแขนงให้เจริญเติบโตขึ้น

แมนโนเซลลูโลส (Mannocellulose) ของส่วนที่สะสมอาหารภายในเมล็ด จะมาจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลกลูโคสโดยอาศัยน้ำตาลแมนโนสเข้าช่วย



รูปที่ 2.11 ผลตาลโตนดงอก

(ที่มา : <http://www.bansuanporpeang.com/node/17156>)

2.1.2 เชื้อเพลิงชีวมวล (สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, และคณะผู้วิจัย, 2557)

เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนมากเป็นเซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$) และลิกนิน ($C_{40}H_{44}O_6$) แบ่งออกเป็นสองชนิดคือ ชีวมวลชนิดไม้ (Woody Biomass) และชีวมวลชนิดไม่ใช่ไม้ (Non-Woody Biomass)

ชีวมวลชนิดไม้

ชีวมวลชนิดไม้ (ทั้งไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง) เช่น กิ่งไม้ (Limb Wood) เศษไม้ (Wood Chips) ขี้เลื่อย (Sawdust) ถ่านไม้ (Charcoal) เศษเยื่อกระดาษ (Pulp Waste) เป็นต้น

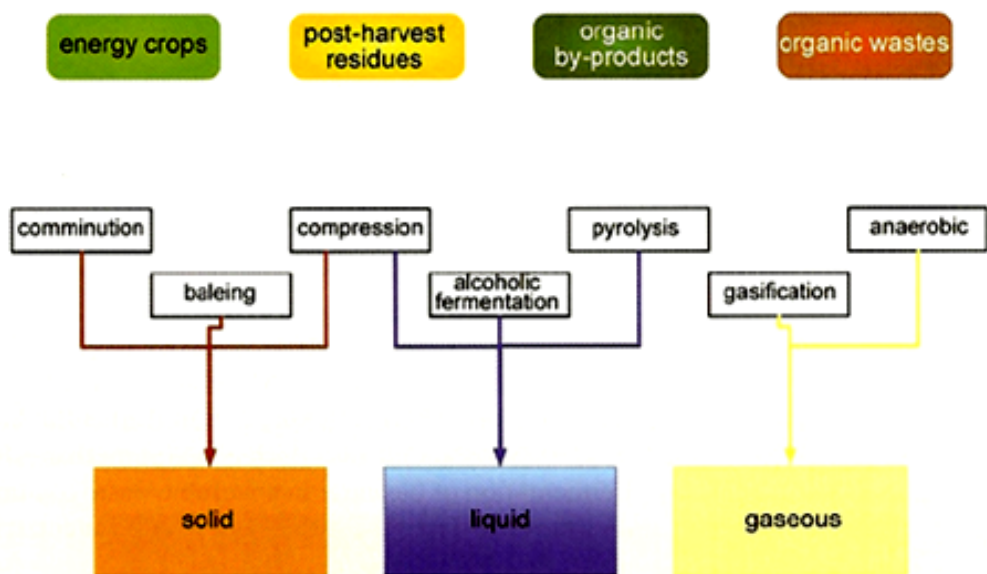


รูปที่ 2.12 ชีวมวลที่เป็นไม้ในรูปแบบต่างๆ

ชีวมวลชนิดไม่ใช่ไม้

ชีวมวลชนิดไม่ใช่ไม้ เช่น แกลบ (Husks) ชานอ้อย (Bagasse) ก้านรวงข้าว (Stalks) เปลือกเมล็ด (Pits) และมูลสัตว์แห้ง (Manure) เป็นต้น

ชีวมวลเหล่านี้สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นเชื้อเพลิงก๊าซโดยอาศัยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน นอกจากนี้ยังมีกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลอื่นๆ เช่น การเผาไหม้โดยตรง กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการหมัก และอื่นๆ



รูปที่ 2.13 พลังงานชีวมวลและการเปลี่ยนรูป

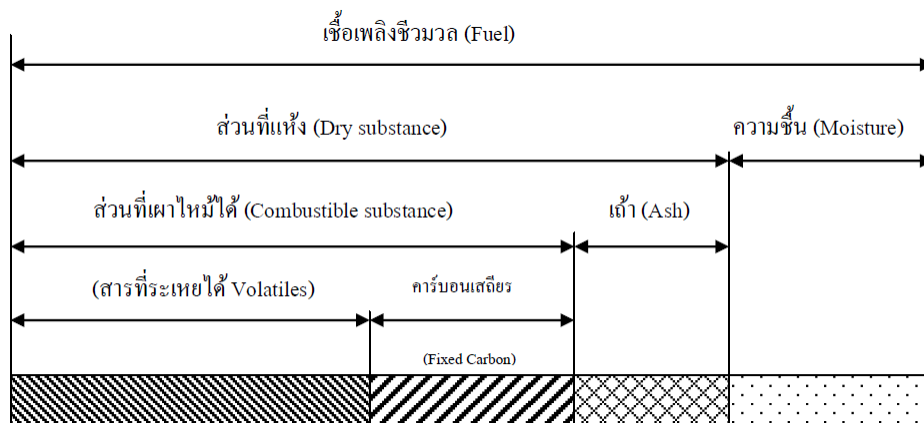
2.1.3 การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงแข็ง

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ความชื้น ส่วนที่เผาไหม้ได้ และส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ซึ่งได้แก่ ถ้ำ ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.1 องค์ประกอบแต่ละส่วนมีความหมายดังนี้

1. ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำ ที่มีอยู่ในชีวมวล ความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรส่วนมากมีค่าค่อนข้างสูง ถ้าต้องการนำ ชีวมวลเป็นพลังงาน โดยการเผาไหม้ควรเป็นชีวมวลที่มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 50

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter เป็นส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย และส่วน Fixed carbon เป็นปริมาณของแข็งที่สามารถเผาไหม้ได้ (Solid combustible material) เป็นสารประกอบของคาร์บอน ที่ไม่รวมซีไธ์ที่เหลือจาก Organic matter หลังจากที่ Volatiles matter ถูกไล่ออกไป

3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Incombustible substance) คือ ถ้ำ ชีวมวลส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของซีไธ์ประมาณร้อยละ 1 - 3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าว มีปริมาณถ้ำถึงสูงสุดถึงร้อยละ 20 ปริมาณถ้ำที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนลดลง และเป็นปัญหาในการเผาไหม้และกำจัด



รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไป

(ที่มา : http://www.em-group.co.th/Technology_Biomass.html)

เนื่องจากในโครงการวิจัยนี้เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานชีวมวลในรูปของเชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuel) ให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous Fuel) โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ดังนั้นการวิเคราะห์คุณลักษณะ (Characteristic) ของเชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งจำเป็น การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงแข็งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแต่เฉพาะที่เกี่ยวข้อง เช่นการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ค่าความร้อน (Heating Value) และอุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า (Ash Fusion Temperature) ของชีวมวลเท่านั้น (สำเริง จักรใจ, 2547, หน้า 76-77)

การวิเคราะห์แบบประมาณ

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D3172 จะระบุสิ่งที่จะต้องทดสอบสี่อย่างดังต่อไปนี้ 1.ปริมาณความชื้น (Moisture Content) 2.ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ (Volatile Combustible Matter) 3.ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ 4.ปริมาณเถ้า (Ash Content) ในการกระบวนทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว เชื้อเพลิงแข็งจะถูกบดเป็นผง และนำไปอบให้แห้งในเตาอบภายใต้อุณหภูมิประมาณ 105-110 °C จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักส่วนที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเดิมคือปริมาณความชื้น จากนั้นเชื้อเพลิงแข็งที่แห้งแล้วจะถูกทำให้ร้อนในภาชนะปิด (เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน) ภายใต้อุณหภูมิ 900 °C เพื่อไล่สารระเหยที่เผาไหม้ได้ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักส่วนที่หายไปคือปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้นั่นเอง จากนั้นนำเชื้อเพลิงแข็งที่ได้ไปอบในภาชนะเปิดภายใต้อุณหภูมิ 750 °C เพื่อให้เกิดการเผาไหม้จนได้น้ำหนักที่เหลือคงที่และเป็นน้ำหนักของเถ้า ในขณะที่น้ำหนักส่วนที่หายไปคือปริมาณของคาร์บอนคงตัวนั่นเอง การวิเคราะห์แบบประมาณมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D3176 เป็นการวิเคราะห์ ผลระบุถึงปริมาณธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงนั้น โดยระบุในลักษณะ %db และไม่คิดเถ้า ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงถูกกำหนดโดยการเผาเชื้อเพลิงตัวอย่างในภาชนะที่ปิดบรรจุออกซิเจนไว้เพียงพอแล้ววัดองค์ประกอบของไอเสียเพื่อคำนวณย้อนกลับไปหาปริมาณคาร์บอน (C) และปริมาณไฮโดรเจน (H) ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงนั้น ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) จะถูกกำหนดโดยอาศัยวิธีการทางเคมีในขณะที่ออกซิเจน (O) จะถูกระบุโดยค่า 100 ลบด้วยปริมาณของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

การกำหนดค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิง (ASTM D2105) ทำได้โดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งจะได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ค่าปริมาตรคงที่แต่ว่าแทบจะไม่แตกต่างไปจากค่าที่ความดันคงที่แต่อย่างใด

การกำหนดอุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้า (ASTM D1857) โดยการนำเถ้าของเชื้อเพลิงแข็งที่พิจารณา (ภายหลังจากที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิ 850 °C แล้ว) มาผสมกับ

สารละลายของเดกซ์ทริน (Dextrin) เพื่อทำให้เป็นของเหลวหนืดแล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์มาตรฐานตามที่กำหนดเพื่อทำให้เป็นรูปกรวยต้นแหลม จากนั้นนำเถ้ารูปทรงกรวยต้นปลายชี้ขึ้นดังกล่าวไปทำให้ร้อนขึ้นอย่างช้าๆ ในเตาอบแบบเปิดสู่อากาศ (Oxidizing) หรือแบบลดอากาศ (Reducing) ก็ได้ แล้วแต่กำหนดแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปทรงกรวยชี้ขึ้นของเถ้า อุณหภูมิของเหลวของเถ้าจะมีหลายค่า กล่าวคือ อุณหภูมิของเหลวของเถ้าที่ค่าต่างๆ กัน (จากน้อยไปหามาก) ที่ทำให้เถ้าเริ่มเปลี่ยนรูปทรงเป็นแบบต่างๆ กันตามลำดับ คือ กรวยปลายมนเล็กน้อยหลอมเป็นแท่ง กรวยกระบอกปลายมนหลอมเป็นรูปครึ่งวงกลม และสุดท้ายหลอมละลายแบนราบติดกับพื้น อุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้าขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเถ้า เช่น เถ้าที่ประกอบด้วย SiO_2 , Al_2O_3 และ TiO_2 จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวสูง ในขณะที่เถ้าที่ประกอบด้วยออกไซด์มูลฐาน เช่น Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O และ K_2O เป็นต้น จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ โดยทั่วไปอุณหภูมิหลอมเหลวของเถ้าจะต่ำกว่าอุณหภูมิของเปลวไฟ แต่จะสูงกว่าอุณหภูมิของไอน้ำและผนังเตา

จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการวิเคราะห์องค์ประกอบและค่าความร้อนของชีวมวลบางประเภท ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันอยู่บ้างแต่ค่าองค์ประกอบและค่าความร้อนสำหรับชีวมวลชนิดเดียวกันจะอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ในการทดสอบจะใช้ตัวย่อดังนี้ MC = ปริมาณความชื้น AC = ปริมาณเถ้า VM = ปริมาณสารระเหย FC = ปริมาณคาร์บอนคงตัว HHV = ค่าความร้อนสูง LHV = ค่าความร้อนต่ำ

2.1.4 การเปลี่ยนรูปชีวมวล (ศิรินุช จินดารักษ์, 2548)

การนำพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลออกมาใช้นั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ โดยเฉพาะในแง่ของความร้อนสามารถกระทำได้หลายวิธี คือ

1. การเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion)
2. การใช้ความร้อนสลายโมเลกุล (Thermochemical Conversion) ซึ่งสามารถแบ่งตาม

กระบวนการได้ 3 วิธี คือ

- 2.1 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)
- 2.2 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)
- 2.3 กระบวนการลิกวิดแฟคชัน (Liquidfaction)

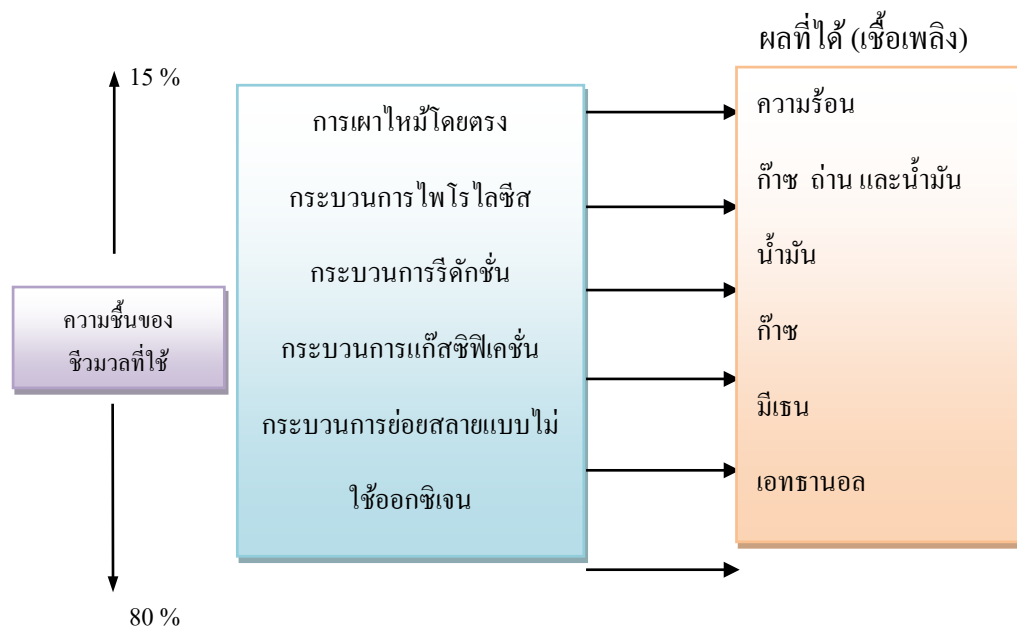
3. การใช้ชีวเคมีสลายโมเลกุล (Biochemical Conversion) ซึ่งสามารถแบ่งตามกระบวนการได้ 2 วิธี คือ

- 3.1 กระบวนการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)
- 3.2 กระบวนการหมัก (Yeast Fermentation)

ตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งของความเหมาะสมในการนำเอาชีวมวลมาใช้เป็นพลังงาน คือ ความชื้น โดยความสัมพันธ์ของความชื้นที่เหมาะสมในการนำเอาชีวมวลมาใช้กับกระบวนการต่างๆ และยังแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการต่างๆ อีกด้วย

ตารางที่ 2.1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

กระบวนการ	ผลิตภัณฑ์
ก. กระบวนการที่ใช้ความร้อน <ul style="list-style-type: none"> - กระบวนการเผาไหม้ (Combustion) - กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) - กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) - กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันกับแคตตาลิติก (Gasification + Catalytic Synthesis) 	CO ₂ H ₂ O เถ้า ความร้อน ไอน้ำ และ ไฟฟ้า ถ่าน น้ำมัน และ ก๊าซ CO และ H ₂ เมทานอล และ ไฮโดรคาร์บอน
ข. กระบวนการที่ใช้ชีวเคมี <ul style="list-style-type: none"> - กระบวนการหมักด้วยยีสต์ (Yeast Fermentation) - กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) 	เอทานอล และ CO ₂ มีเทน และ CO ₂



รูปที่ 2.15 กระบวนการที่เหมาะสมกับความชื้นของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ที่ได้

2.1.5 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (ศิรินุช จินดารักษ์, 2548)

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน คือ กรรมวิธีการสลายโมเลกุลชีวมวลด้วยความร้อนในเตาผลิตก๊าซ (Gasifier) โดยการเผาวัสดุในที่ที่มีอากาศน้อยหรือจำกัดอากาศ (Gasification by Partial Combustion) และโดยเทคนิคนี้จะทำให้ได้ก๊าซที่มีไนโตรเจนสูงแต่มีค่าความร้อนต่ำประมาณร้อยละ 10 – 15 ของก๊าซธรรมชาติ เราเรียกก๊าซนี้ว่าก๊าซผลิตภัณฑ์ (โปรดิวเซอร์ก๊าซ) โดยก๊าซนี้จะมีส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 20 – 30 ไฮโดรเจนร้อยละ 5 – 15 ไนโตรเจนร้อยละ 50 – 60 (ได้จากอากาศในเตาเผา) นอกจากนี้ยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนอีกเล็กน้อย โดยในสมัยสงครามโลกครั้งที่สองได้มีการนำระบบนี้มาใช้กับรถยนต์และเครื่องยนต์เพื่อทดแทนน้ำมันที่ขาดแคลน

เราอาจจะปรับปรุงคุณภาพของก๊าซโดยใช้ออกซิเจนทดแทนอากาศในเตาผลิตก๊าซ ซึ่งโดยปกติความร้อนที่เกิดขึ้นในโซนที่มีการเผาไหม้ (Combustion Zone) จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนระหว่าง 900–1,300 °C อาจจะมีอุณหภูมิสูงถึง 2,000 °C ขึ้นอยู่กับการออกแบบเตา ก๊าซที่ได้สามารถใช้เป็นความร้อนในกระบวนการ (Process Heat)

สิ่งสำคัญในการใช้ระบบดังกล่าวก็คือเตาผลิตก๊าซจะต้องมีการป้อนเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอ เชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะมีการสับเป็นชิ้นเล็กๆ และทำให้แห้ง ในกรณีที่ไม่มีเชื้อเพลิงพวกพืชน้ำ (Non-Woody Biomass) แต่มีเชื้อเพลิงพวกเศษพืชอาจจะนำมาอัดเป็นแท่งก่อนแล้วจึงใช้เป็นเชื้อเพลิง แต่วิธีการนี้ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น

การผลิตก๊าซจากชีวมวลเกิดขึ้นในภาชนะปิดเรียกว่าเตาผลิตก๊าซ (Gasifier) โดยเริ่มจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ในสภาวะจำกัดปริมาณออกซิเจน เรียกว่า Partial Combustion ซึ่งระบบแก๊สซิฟิเคชันสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานในชีวมวลไปเป็นก๊าซได้ 50-70%

2.1.6 ประเภทของแก๊สซิฟิเคชัน (ศิรินุช จินดารักษ์, 2548)

การผลิตโปรดิวเซอร์ก๊าซนั้นเป็นการสมมติให้เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนขณะเกิดการเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยความร้อนควบคู่ไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ถ่านคาร์บอนและไอน้ำ ส่วนสารระเหยในเชื้อเพลิงจะไม่นำมาพิจารณา

ปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1.1 Oxidative Gasification ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ในการทำปฏิกิริยา โปรดิวเซอร์ก๊าซที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 7.45-13.04 MJ/N · m³

1.2 Air-Blown Gasification ใช้อากาศซึ่งมีออกซิเจนประมาณ 21%Vol. ในการทำปฏิกิริยา โปรติวเซอร์ก๊าซที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ $2.98-5.59 \text{ MJ/N} \cdot \text{m}^3$

1.3 Hydro Gasification ใช้ไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา กระบวนการนี้ต้องการความดันสูงและอุณหภูมิประมาณ 750°C โปรติวเซอร์ก๊าซที่ได้มี CH_4 เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ เรียกว่า Synthesis Gas ค่าความร้อนประมาณ $15-20 \text{ MJ/N} \cdot \text{m}^3$

การผลิตโปรติวเซอร์ก๊าซโดยหลักการต้องพิจารณาทั้งจลนศาสตร์และสมดุลเคมี แต่เนื่องจากมีความยุ่งยาก ดังนั้นโดยทั่วไปจะใช้เงื่อนไขสมดุลเคมีเป็นหลักโดยการสมมติให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะสมดุล (Equilibrium) หมายถึง ขอบเขตสุดท้ายของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาการทำปฏิกิริยาและระดับอุณหภูมิสูงเพียงพอ

Equilibrium Constant ค่าคงที่สมดุล (K) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินสภาวะของปฏิกิริยาและระดับการเข้าใกล้สมดุลซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยตรง องค์ประกอบของโปรติวเซอร์ก๊าซจะขึ้นอยู่กับระดับการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งจุดสมดุลของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงเมื่อระดับอุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงดังตัวอย่างปฏิกิริยา Boudouard Reaction ในสมการที่ 2.1



ระดับการเกิดปฏิกิริยาจะประเมินได้จากค่าคงที่สมดุล (K_{co}) ซึ่งเป็นอัตราส่วนโมลของโปรติวเซอร์ก๊าซต่อก๊าซที่ทำปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.2

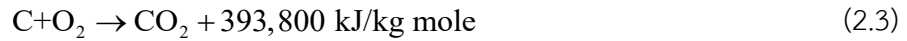
$$K_{co} = \frac{(\text{CO})^2}{(\text{CO}_2)} \quad (2.2)$$

การวิเคราะห์องค์ประกอบและการวัดอุณหภูมิของโปรติวเซอร์ก๊าซทำให้สามารถทราบสภาวะของปฏิกิริยาจากกราฟความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 2.16 ซึ่ง K_1 และ K_2 คือ ค่าคงที่สมดุลของ Boudouard Reaction และ Water Shift Reaction ตามลำดับ ในขณะที่ K_3 และ K_4 คือ ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยามีเทน

การเข้าสู่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยามีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะของ Gasifier ระดับอุณหภูมิและคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง เช่น ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง ขนาดและอัตราส่วนความต่างขนาดของเชื้อเพลิงและความเร็วการไหลของก๊าซ

ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซ (Gasification Reaction) ประกอบด้วยปฏิกิริยาที่สำคัญ 4 ปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.17

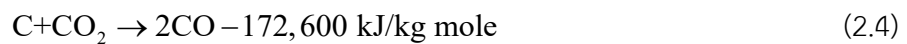
1. ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นการเผาไหม้ระหว่างสารสองสถานะ (Heterogeneous Reaction) คือ คาร์บอนกับออกซิเจนในปฏิกิริยาการเผาไหม้เขียนเป็นสมการ คือ



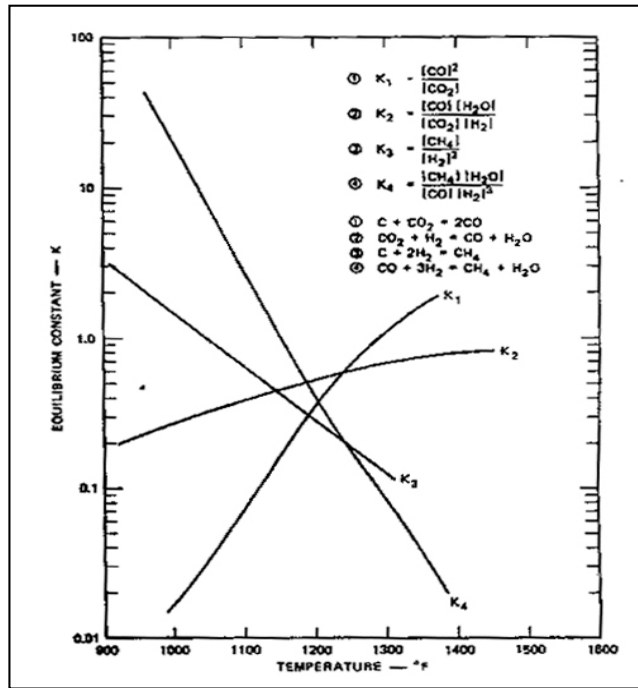
ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (เครื่องหมายบวก) ดังสมการที่ 2.3 เชื้อเพลิงในโซนการเผาไหม้เป็นถ่านที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ถ้าเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คาร์บอนทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิกิริยาการเผาไหม้แบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางเคมีและกระบวนการถ่ายเทมวล (Mass Transfer) การถ่ายเทมวลโดยการฟุ้งกระจายและการพา (Diffusion and Convection) ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเชื้อเพลิงและการไหลของก๊าซ ขอบเขตของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาจะถูกจำกัดโดยปฏิกิริยาการถ่ายเทมวลและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction Rates)

2. Boudouard Reaction เป็นปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ดังสมการที่ 2.4 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (เครื่องหมายลบ) การเกิดปฏิกิริยาจะแปรตามระดับอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จาก Air-Blown Gasifier ปกติจะต่ำกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากข้อจำกัดของปฏิกิริยาการถ่ายเทมวล

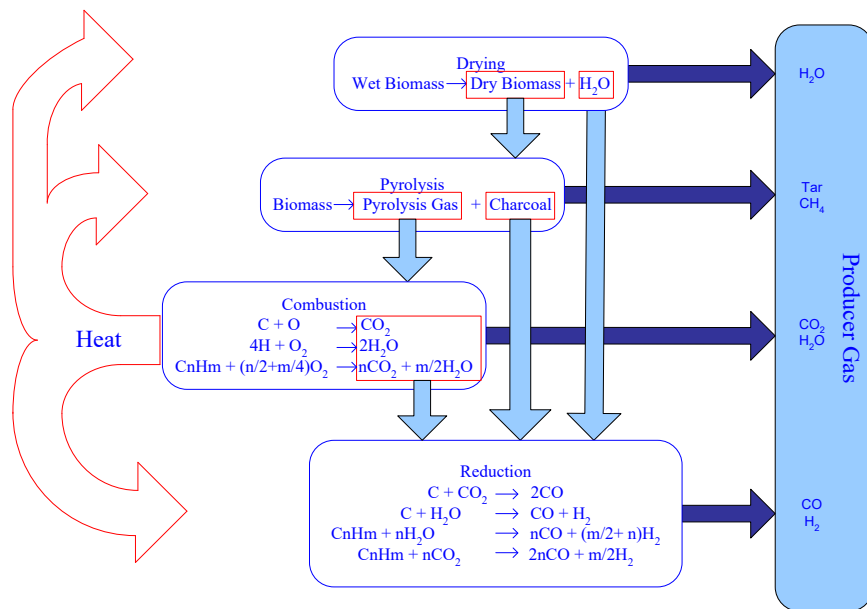


การเข้าสู่สภาวะสมดุลของ Boudouard Reaction มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (Residence Time) ของคาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์และระดับอุณหภูมิดังรูปที่ 2.18 สำหรับถ่านไม้ที่อุณหภูมิ 800 °C ต้องการ Residence Time ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ที่อุณหภูมิ 650 °C ต้องใช้เวลามากกว่า 10 ชั่วโมง ในการเข้าสู่สภาวะสมดุล



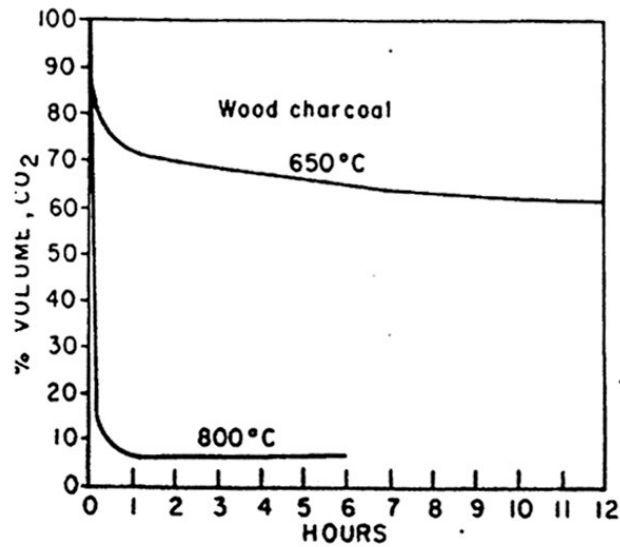
รูปที่ 2.16 สภาวะความสมดุลของปฏิกิริยา

(ที่มา : Bhattacharya, Salama, Runging, Racelis, Rathnasirie, & Yingyuad, 2005, pp. 153–166)



รูปที่ 2.17 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น

(ที่มา : Kaew-On, Waewsak, Mani, & Phethuayluk, 2006)



รูปที่ 2.18 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์
(ที่มา : Kaew-On, Waewsak, Mani, & Phethuayluk, 2006)

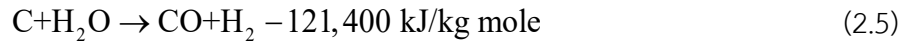
องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของโปรตีนเซอร์ก๊าซจากไม้และถ่านไม้ที่สภาวะความดันบรรยากาศปกติแสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งก๊าซที่ผลิตจากไม้ปกติจะมีไฮโดรเจนสูงกว่าแต่ปริมาณคาร์บอนมอนออกไซด์น้อยกว่าเนื่องจากไม้มีความชื้นสูงกว่าถ่านแต่มีองค์ประกอบของคาร์บอนน้อยกว่าถ่าน เมื่อความชื้นเกิดการแตกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 900 °C จึงเป็นตัวทำให้เกิดไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์ก๊าซจากไม้และถ่านไม้ (Ganan, Turegano, Calama, Roman, & Kassir, 2006, pp. 117-122)

ก๊าซ	ไม้ (%db)	ถ่านไม้ (%db)
N ₂	50-54	60-63
CO	20-22	23-33
CO ₂	9-11	3-7
H ₂	12-15	4-14
CH ₄	2-3	-

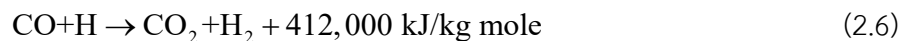
ในระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์ขนาดใหญ่ Boudouard Reaction จะเข้าใกล้สภาวะสมดุลได้ดีกว่าเตาแก๊สซีไฟเออร์ขนาดเล็ก เนื่องจากโซนรีดักชันมีขนาดใหญ่ ดังนั้นระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนไดออกไซด์มีมากขึ้น

3. Water Gas Reaction อากาศประกอบด้วย ออกซิเจน ไอน้ำและก๊าซเฉื่อยต่างๆ ซึ่งถือว่าไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี แต่ไอน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอุณหภูมิสูงได้ดังสมการที่ 2.5 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน



Water Gas Reaction จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 900°C แต่การผลิตก๊าซในสภาวะความชื้นสูงมีผลให้ปฏิกิริยาลดลงอย่างรวดเร็วและไอน้ำที่ไม่เกิดการสลายตัวจะปะปนอยู่ในโปรดิวเซอร์ก๊าซซึ่งมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลง

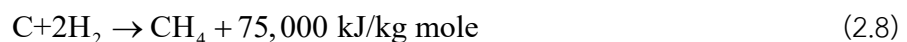
กรณีไอน้ำในการทำปฏิกิริยาสูงเกินไปจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เรียกว่า Water Shift Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนดังสมการที่ 2.6 มีผลให้ค่าความร้อนจำเพาะของโปรดิวเซอร์ก๊าซลดลง



ถ้าไอน้ำสูงมากจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่อุณหภูมิประมาณ $500-600^\circ\text{C}$ ดังสมการที่ 2.7 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ความร้อนจากการเผาไหม้ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยา จึงมีผลให้อุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีไฟเออร์ลดลง



4. ปฏิกิริยาผลิตมีเทน คาร์บอนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนเกิดมีเทน ดังสมการที่ 2.8 จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิประมาณ 500°C เป็นต้นไป แต่ในสภาวะความดันบรรยากาศปกติโอกาสเกิดมีเทนเป็นไปได้ค่อนข้างน้อย



ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจนมีโอกาสเกิดมีเทน เช่นกันดังสมการที่ 2.9 และ 2.10 ซึ่งโอกาสเกิดขึ้นจะสูงกว่าปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน





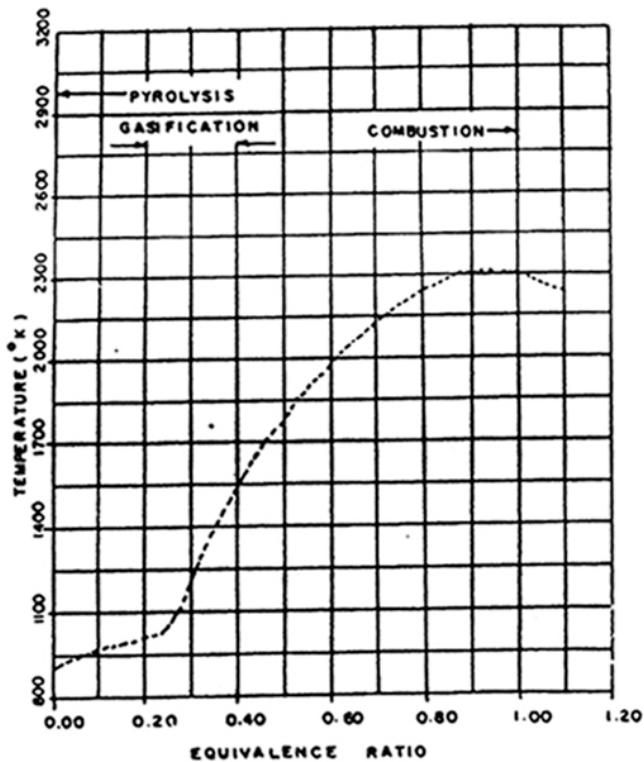
มีเทนเกิดขึ้นน้อยมากและโอกาสจะเกิดขึ้นในโปรติวเซอร์ก๊าซมากกว่าไซนรีดักชันแต่ถ้าคาร์บอนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงกว่า $1,000^\circ\text{C}$ ที่ระดับความดันบรรยากาศจะไม่เกิดมีเทน ปฏิกิริยาการเกิดมีเทนที่เหมาะสมจะต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีความดันสูงแต่มีอุณหภูมิต่ำ

ปฏิกิริยาที่กล่าวมาเป็นปฏิกิริยาหลัก ไม่ได้เป็นผลจากปฏิกิริยาการผลิตโปรติวเซอร์ก๊าซทั้งหมด ผลิตภัณฑ์จากโปรติวเซอร์ก๊าซมีมากกว่า 200 ชนิด อาจมีการทำปฏิกิริยากันอย่างอิสระของผลิตภัณฑ์ในชั้นอื่นๆ ได้ การประเมินค่าโปรติวเซอร์ก๊าซโดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงและอากาศโดยสมมติเงื่อนไขในสภาวะสมดุลคลาดเคลื่อนได้ง่าย โดยปกติการวิเคราะห์จะอ้างอิงอุณหภูมิและ Equivalent Ratio เป็นสำคัญ

4. Equivalent Ratio, *ER* การเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยอ้างอิง Equivalent Ratio แสดงดังสมการที่ 2.11

$$ER = \frac{(\text{Weight of Oxidation/Weight of Dry Fuel})}{(\text{Oxidation/Fuel (Stoicheometric Weight Ratio)})} \quad (2.11)$$

ER มีผลต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของโปรติวเซอร์ก๊าซ โดยปกติพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ อุณหภูมิเปลว (Adiabatic Flame Temperature) *ER* และอุณหภูมิมี่ผลต่อพลังงานเคมีและ Sensible Energy ของ โปรติวเซอร์ก๊าซ ค่า *ER* ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตก๊าซที่สภาวะ Steady State อยู่ระหว่าง 0.2-0.4 ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) กรณี *ER* = 1.0 จะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ (Complete Combustion) อุณหภูมิเปลวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.19 โดยจะเกิดความผิดปกติขึ้นในเตาแก๊สซีไฟเออร์สำหรับการผลิตก๊าซจากไม้ ค่า *ER* = 0.255 จะเป็นสภาวะที่เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด



รูปที่ 2.19 อัตราส่วนเทียบเท่าและอุณหภูมิเปลวของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันไม้
(ที่มา : Bhattacharya, Salama, Runging, Racelis, Rathnasirie, & Yingyuad, 2005, pp. 153–166)

การปรับค่า ER ในทางปฏิบัติทำได้ 2 วิธี คือ การปรับอัตราการป้อนอากาศและการเปลี่ยนขนาดท่ออากาศเข้าสู่โซนการเผาไหม้ ทั้งสองวิธีจะทำให้ขนาดโซนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion Zone) เกิดการขยายตัวและหดตัวตามปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้เปลี่ยนแปลง จึงทำให้ระดับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้น อุณหภูมิในโซนการเผาไหม้จึงแปรตามค่าของ ER

5. คุณสมบัติเชื้อเพลิง (Fuel Properties) การผลิตก๊าซจาก Lignocelulosic หรือ Carbonaceous ประเภทต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเพื่อสามารถเลือกใช้รูปแบบการผลิตก๊าซและชนิดเตาผลิตก๊าซที่เหมาะสม องค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ควรพิจารณาประกอบด้วย

- Energy Content กระบวนการเคมีในเตาแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการความดันคงที่และต้องการพลังงานในการระเหยความชื้น การคำนวณค่าพลังงานจำเพาะของเชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 2.12

$$\text{Heating Value, kJ/kg} = -8,419.7 + 479.3C + 667.6H + 58.8O - 1,207.7S \quad (2.12)$$

เมื่อ C H O และ S คือ ร้อยละของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ตามลำดับ

-Moisture Content ความชื้นในเชื้อเพลิงมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของ โพรดิวเซอร์ก๊าซ โดยต้องใช้ความร้อนประมาณ 2,283 kJ/kgH₂O ในการระเหยความชื้นที่อุณหภูมิระหว่าง 200-225 °C

-Fuel Size มีผลต่อค่าความดันตกคร่อมในเตาแก๊สซิฟิเคชันซึ่งการผลิตก๊าซต้องการให้อากาศสัมผัสกับผิวเชื้อเพลิงมากที่สุดเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซ (Gasification Rate) และเพิ่มความเร็วของปฏิกิริยา ขนาดเชื้อเพลิงจะมีผลต่อการไหลผ่านของออกซิเจนและการไหลเลื่อนใน Fuel Hopper

-Fuel Form มีผลต่อ Bulk Density ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาตรของ Fuel Hopper เชื้อเพลิงที่มีรูปร่างเป็นแท่งกลมจะลดการเกิดการยึดเกาะตัวกัน ทำให้การไหลเลื่อนของชีวมวลในเตาผลิตก๊าซดีขึ้น

-Bulk Density ขึ้นอยู่กับรูปร่างเชื้อเพลิงซึ่งมีผลต่อระยะเวลาที่เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาในโซนการเผาไหม้ความเร็วในการไหลเลื่อน ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของก๊าซ Bulk Density ของเชื้อเพลิงบางชนิดเช่น ฟางข้าวจะมีค่า Bulk Density ต่ำมาก ต้องปรับปรุงโดยการอัดแท่งก่อนนำมาใช้เพื่อความสะดวกและค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรเพิ่มสูงขึ้น

-Volatile Matter สารระเหยจะถูกขับออกจากเชื้อเพลิงในโซนไพโรไลซิสที่อุณหภูมิระหว่าง 100-600 °C ปริมาณสารระเหยสูงจะมีปัญหาน้ำมันดินและน้ำมันซึ่งปะปนอยู่ในโพรดิวเซอร์ก๊าซและจะกลั่นตัวที่อุณหภูมิ 120-150 °C

-Ash องค์ประกอบของเถ้ามีผลต่อการทำงานและการเลือกรูปแบบของเตาผลิตก๊าซสำหรับเตาผลิตก๊าซชนิดไหลลง ปริมาณเถ้าไม่ควรมีค่าสูงกว่า 6%wt. เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงในโซนการเผาไหม้จะทำให้เถ้าเกิดการหลอมละลายเกิดเป็นขี้แร่ (Slagging)

-Ultimate Analysis คุณสมบัติของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ได้จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนรวม (Total Carbon) สูงจะผลิตก๊าซที่มีน้ำมันดินต่ำเนื่องจากสัดส่วนสารระเหยต่ำนั่นเอง

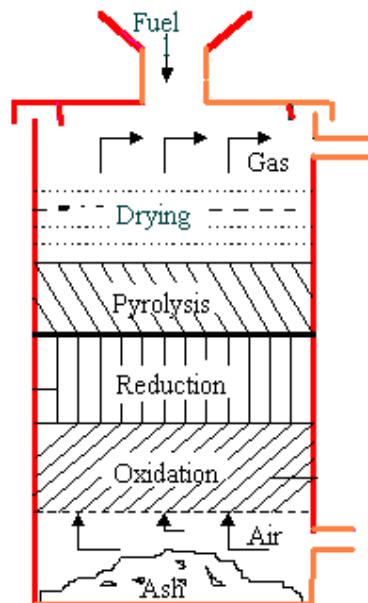
2.1.7 เตาผลิตก๊าซ (ศิริบุช จินดารักษ์, 2548)

เตาผลิตก๊าซสำหรับเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ หรือกระบวนการทางความร้อน แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ เตาผลิตก๊าซเบตหยุดนิ่ง เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอย และเตาผลิตก๊าซแบบหมุนเวียน

เตาผลิตก๊าซเบตหยุดนิ่ง

เตาผลิตก๊าซเบดหยุดนิ่ง (Fixed Bed Gasifier) เชื้อเพลิงภายในเตาแก๊สซิไฟเออร์มีตัวรองรับ เช่น ตะแกรง จึงเปรียบเสมือนอยู่กับที่ตลอดเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับการไหลของก๊าซหรืออากาศ เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบหยุดนิ่งแบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับการไหลเคลื่อนของเชื้อเพลิงได้ 3 ชนิด คือ ตามผลิตก๊าซแบบอากาศไหล เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลง และเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขวาง

1. เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) โดยอากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างไหลขึ้นด้านบนในขณะที่เชื้อเพลิงจะเคลื่อนลงด้านล่างซึ่งลักษณะสวนทางกัน จึงอาจเรียกอีกชื่อว่า Counter Current Gasifier แสดงดังรูปที่ 2.20 ชั้นของปฏิกิริยาจะแบ่งเรียงเป็นลำดับจากรดับอุณหภูมิสูงในโซนการเผาไหม้ไปสู่อุณหภูมิต่ำโซนอบแห้ง มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงเนื่องจากก๊าซร้อนที่เกิดจากโซนการเผาไหม้ไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิง ความร้อนสัมผัสจะถูกถ่ายเทให้กับเชื้อเพลิงก่อนไหลลงสู่โซนรีดักชันและโซนไพโรไลซิสต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไพโรไลซิสและการอบแห้งจะปะปนอยู่ในโปรดิวเซอร์ก๊าซ และเมื่อออกจากเตาผลิตก๊าซอุณหภูมิโปรดิวเซอร์ก๊าซจะลดลง น้ำมันดินและ Oil จะกลั่นตัวเป็นของเหลว ดังนั้นโปรดิวเซอร์ก๊าซจึงมีสิ่งปนเปื้อนสูง

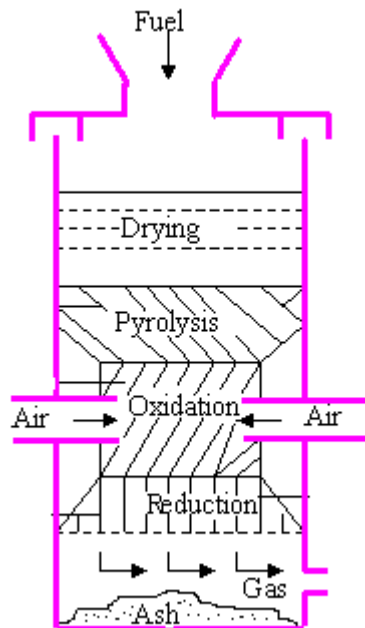


รูปที่ 2.20 เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขึ้น

การผลิตก๊าซโดยเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขึ้นอาจจะป้อนน้ำเข้าไปช่วยในการทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและช่วยควบคุมอุณหภูมิโซนการเผาไหม้กรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงไม่จำเป็นต้องป้อนไอน้ำ พารามิเตอร์สำคัญประกอบด้วย วิธีการป้อนอากาศ ตำแหน่งก๊าซไหลออก ชนิดและขนาดของตะแกรง การบุนนวนในโซนการเผาไหม้ ความหนาของชั้นเชื้อเพลิง และค่า Specific Gasification Rate (SGR) SGR หมายถึง อัตราส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาผลิต

ก๊าซในเวลา 1 ชั่วโมง (kg/hr) ต่อพื้นที่หน้าตัดของตะแกรง (m^2) ขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อเพลิง การออกแบบและการทำงานของเตาแก๊สซิไฟเออร์ค่า SGR ของเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขึ้นอยู่ระหว่าง $100\text{-}300 \text{ kg/hr} \cdot \text{m}^2$

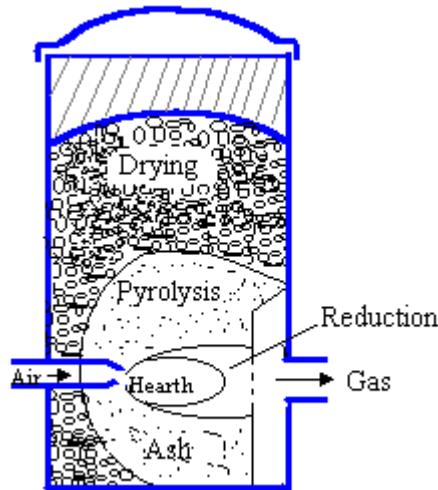
2. เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยอากาศไหลลงทิศทางเดียวกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงจึงอาจเรียกว่า Co-Current Gasifier เตาชนิดนี้มีจุดประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์จากโซนไพโรไลซิสไหลผ่านโซนการเผาไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นก๊าซก่อนที่จะไหลออกจากเตาผลิตก๊าซ ดังรูปที่ 2.21 โปรติวเซอร์ก๊าซจึงมีน้ำมันดินต่ำแต่มีอุณหภูมิสูง $300\text{-}500 \text{ }^\circ\text{C}$ ลักษณะเด่นของเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลงอยู่ที่โซนการเผาไหม้รูปแบบของตะแกรงและวิธีการป้อนอากาศ วิธีการป้อนอากาศและรูปร่างของโซนการเผาไหม้ที่เล็กลงโดยการลดพื้นที่หน้าตัดตำแหน่งป้อนอากาศเพื่อให้อุณหภูมิมียุคสูงเพียงพอในการสลายน้ำมันดินเชื้อเพลิงที่มีค่าสูงกว่า 6% และความชื้นสูงกว่า 20% ไม่เหมาะสมกับเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลง เนื่องจากถ้าอาจจะหลอมละลายติดกับคอคอดขัดขวางการไหลของเชื้อเพลิงและก๊าซ อัตราผลิตก๊าซที่เหมาะสมมีค่า SGR $2,900\text{-}3,900 \text{ kg/hr} \cdot \text{m}^2$



รูปที่ 2.21 เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลลง

3. เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขวาง (Cross-draft) เป็นระบบที่อากาศไหลในทิศทางขวางกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงดังรูปที่ 2.22 ลักษณะชั้นปฏิกิริยาโดยเฉพาะโซนการเผาไหม้และโซนรีดักชันจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก ดังนั้นจะสามารถผลิตก๊าซได้อย่างรวดเร็วและแปรผันได้ง่าย ปกติบริเวณ

การเผาไหม้จะอยู่ที่กึ่งกลางของเตาผลิตก๊าซ แต่ขอบเขตของการเผาไหม้อาจขยายกว้างขึ้นเมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น



รูปที่ 2.22 เตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขวาง

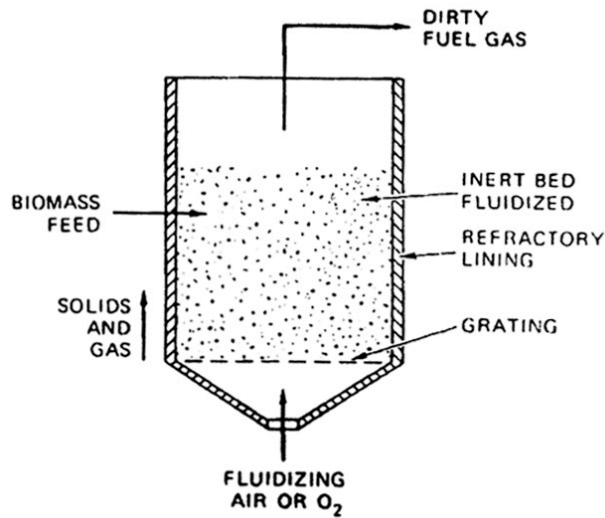
จุดสำคัญของเตาผลิตก๊าซแบบอากาศไหลขวาง คือ การออกแบบรูปร่างของ Tuyeres ซึ่งมีความสำคัญต่อความเร็วอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาและขอบเขตของโซนการเผาไหม้ซึ่งปกติความเร็วอากาศจะมีค่าสูงและเกิดอุณหภูมิการเผาไหม้สูง โพรดิวเซอร์ก๊าซที่ออกจากเตาผลิตก๊าซมีอุณหภูมิสูงและสิ่งปนเปื้อนสูง โดยปกติโซนรีดักชันมีขนาดเล็กจึงทำให้ Residence Time สั้น การเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น โพรดิวเซอร์ก๊าซจะมีค่าความร้อนต่ำ แต่เมื่อป้อนอากาศที่ความเร็วสูงมากจะมีผลต่อองค์ประกอบของโพรดิวเซอร์ก๊าซ โดยอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์สูงขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาเข้าใกล้สภาวะสมดุล

เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอย

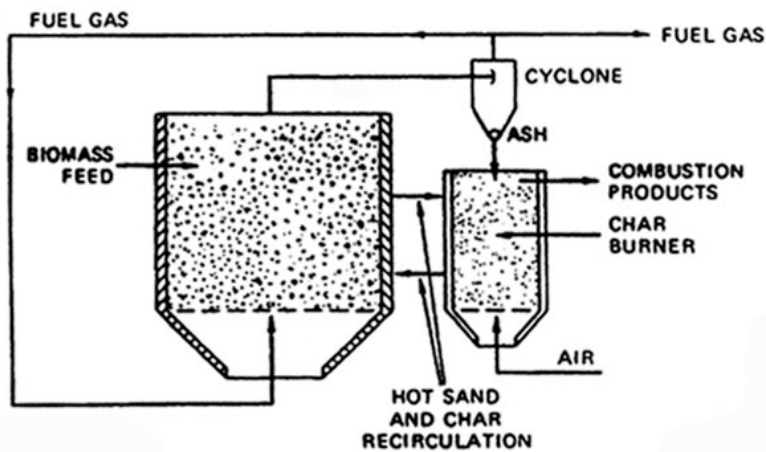
เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยมีรูปแบบและความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงบางชนิด เช่น เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กโดยธรรมชาติ มีความหนาแน่นต่ำ ปริมาณของเถ้าสูงและอุณหภูมิการหลอมเหลวของเถ้าต่ำ ในระบบเตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยการสัมผัสระหว่างอากาศ สารตัวกลาง (Bed) กับ เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ $800-900^{\circ}\text{C}$ ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้

เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรงและการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้สำรอง ดังรูปที่ 2.23 และ 2.24 ตามลำดับ ในสภาวะการทำงานแบบสถานะ

คงตัว (Steady State) อุณหภูมิของสารตัวกลาง เช่น ทราย ถ่านหรือวัสดุเฉื่อยอื่นๆ จะมีการกระจายสม่ำเสมออย่างทั่วถึง การเผาไหม้และการผลิตก๊าซจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับสภาวะการพ่นฝอยของสารตัวกลาง แต่เนื่องจากเตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยต้องการอากาศที่ความเร็วสูง ดังนั้น เกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงไปกับอากาศบางส่วนและโปรตีนเซอร์ก๊าซจะมีอนุภาคฝุ่นปะปนสูง



รูปที่ 2.23 เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยโดยตรง
(ที่มา : ศิริनुช จินดารักษ์, 2548)

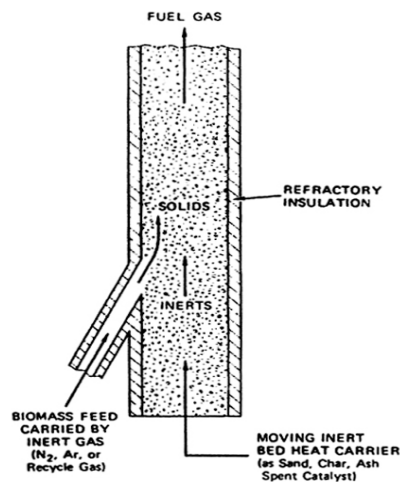


รูปที่ 2.24 เตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอยในห้องเผาไหม้
(ที่มา : ศิริनुช จินดารักษ์, 2548)

เตาผลิตก๊าซแบบหมุนวน

เตาผลิตก๊าซแบบหมุนวน (Entrained Bed Gasifier) หรืออาจเรียกว่า Moving Bed Gasifier เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง การทำงานในการถ่ายเทความร้อนคล้ายกับเตาผลิตก๊าซแบบพ่นฝอย โดยปกติควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 482-593 °C

เตาผลิตก๊าซแบบหมุนวนมีประสิทธิภาพสูงในการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับก๊าซ ลักษณะเชื้อเพลิงที่เหมาะสม เช่น ผงถ่านหินและชีวมวลที่มีขนาดเล็กๆ การทำปฏิกิริยาระหว่าง



อากาศกับเชื้อเพลิงเกิดขึ้นในช่องปฏิกิริยาแบบหมุนวน ดังรูปที่ 2.25

รูปที่ 2.25 เตาผลิตก๊าซแบบหมุนวน

(ที่มา : ศิริรัช จินดารักษ์, 2548)

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งได้แสดงลักษณะของข้อดี-เสียของเตาผลิตก๊าซชีวมวล ส่วนตารางที่ 2.4 เป็นการสรุปลักษณะและส่วนประกอบของก๊าซชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบต่างๆ

ตารางที่ 2.3 สรุปลักษณะของเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลแต่ละแบบ (Zainal, Ali, Lean, & Seetharamu, 2001, pp. 1499-1511)

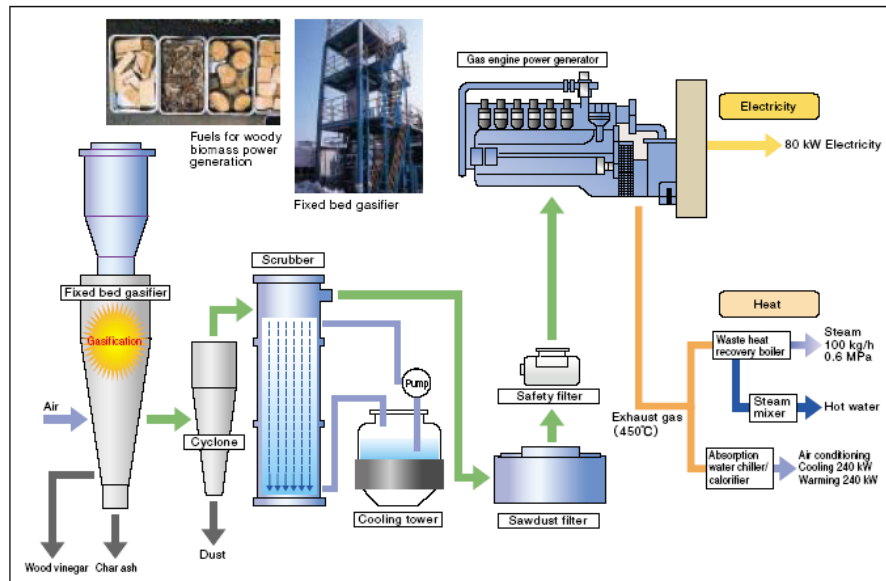
ข้อดี (Advantages)	ข้อด้อย (Disadvantages)
Fixed/Moving Bed, Updraft - มีโครงสร้างแบบง่าย ไม่สลับซับซ้อน - อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งทางออก ประมาณ 250 °C - ทำงานได้ดีภายใต้ความดันที่ไม่สูง - การเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมีประสิทธิภาพสูง - มีฝุ่นผงจำนวนเล็กน้อยผสมอยู่ในก๊าซ	Fixed/Moving Bed, Updraft - มีปริมาณ น้ำมันดิน (Tar) มาก - เชื้อเพลิงชีวมวลต้องมีขนาดเล็กๆ - ศักยภาพการผสมผสานน้อย

- มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง	
Fixed/Moving Bed, Downdraft - มีกระบวนการอย่างง่าย - มีปริมาณ น้ำมันดิน (Tar) น้อย	Fixed/Moving Bed, Downdraft - มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ - มีขอบเขตของซี้ไถ้ในเชื้อเพลิงชีวมวล - มีขอบเขตของการเพิ่มให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น - ศักยภาพการผสมผสานต่ำ
Fluidized Bed - สามารถปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล - เชื้อเพลิงอาจจะมีซี้ไถ้ได้ - สามารถทำงานภายใต้ความดันสูงได้ - มีก๊าซมีเทน (CH ₄) อยู่ในก๊าซชีวมวลสูง - มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูง - สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย	Fluidized Bed - มีขอบเขตของอุณหภูมิอันเนื่องมาจาก Ash Clinkering - ก๊าซที่ได้มีอุณหภูมิสูง - มีปริมาณน้ำมันดิน (Tar) และอนุภาคขนาดเล็กในก๊าซชีวมวลสูง - มีปริมาณของคาร์บอน (C) อยู่ในซี้ไถ้สูง
Circulating Fluidized Bed - มีขบวนการที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย - อุณหภูมิการทำงานสูงถึง 850 °C	Circulating Fluidized Bed - มีปัญหาในเรื่องการผุกร่อน - มีการควบคุมการทำงานที่ไม่ดีเมื่อใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวล
Double Fluidized Bed - ไม่จำเป็นต้องมีออกซิเจน - มีปริมาณมีเทนสูง	Double Fluidized Bed - มีปริมาณน้ำมันดิน (Tar) มาก เมื่อเบตมีอุณหภูมิต่ำ - ยุ่งยากในการปฏิบัติภายใต้ความดัน
Entrained Bed - มีปริมาณน้ำมันดินและคาร์บอนไดออกไซด์น้อยมาก - สามารถเก็บปริมาณเชื้อเพลิงได้ง่าย	Entrained Bed - มีก๊าซมีเทนต่ำ - มีระบบการควบคุมที่ยุ่งยาก - มีการสูญเสียคาร์บอนเนื่องจากซี้ไถ้ - เกิด Slag ของซี้ไถ้ (Ash Slagging)

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของก๊าซชีวมวลจากเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบต่างๆ (Ganan, Turegano, Calama, Roman, & Kassir, 2006, pp. 117-122)

ชนิดของเตาผลิตก๊าซ	ส่วนประกอบของก๊าซชีวมวล (% โดยปริมาตร)					HHV MJ/m ³	คุณภาพก๊าซ	
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂		น้ำมันดิน	ฝุ่นผง
Fluid bed , air-blown	9	14	20	7	50	5.4	ปานกลาง	แย้
Updraft, air-blown	11	24	9	3	53	5.5	แย้	ดี
Downdraft, air-blown	17	21	13	1	48	5.7	ดี	ปานกลาง
Downdraft, air- oxygen	32	48	15	2	3	10.4	ดี	ดี
Multi-solid fluid bed,	15	47	15	23	0	16.1	ปานกลาง	แย้

Twin fluid bed	31	48	0	21	0	17.4	ปานกลาง	แย้
----------------	----	----	---	----	---	------	---------	-----



รูปที่ 2.26 การผลิตไฟฟ้าจากระบบแก๊สซิฟิเคชัน

(ที่มา : Ganan, Turegano, Calama, Roman, & Kassir, 2006, pp. 117-122)

การนำเอาก๊าซชีววมวลมาใช้เป็นเสมือนน้ำมันก๊าซโซลีนซึ่งอาศัยหลักการโดยการอัดไอได (ไอดีคือส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง โดยปกติแล้วจะมีอัตราส่วนอยู่ที่ 8-14:1) ให้มีความดันสูง หลังจากนั้นก็ใช้ประกายไฟจากหัวเทียนเป็นตัวจุดระเบิด ปล่อยพลังงานจากการระเบิดไป ผลักดันให้หัวลูกสูบเลื่อนลงมาแล้วถ่ายทอดพลังงานไปยังเพลลาซึ่งต่อร่วมกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หลักการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบแก๊สซิฟิเคชันแสดงดังรูปที่ 2.26

ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของการใช้เครื่องยนต์ก๊าซ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เทคโนโลยีของเครื่องยนต์ได้รับการพัฒนามานานแล้ว สามารถดัดแปลงใช้กับโปรพิวเซอร์ก๊าซได้เลย	1. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาจะสูงกว่าการใช้กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และ กังหันก๊าซ (Gas Turbine)
2. กลไกของเครื่องยนต์ไม่ยุ่งยากและสามารถนำมาใช้สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก(50-200kW) ได้	2. เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้สูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน NO _x ซึ่ง ออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดมะเร็ง
3. โดยปกติแล้วประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 600	

<p>kW จะอยู่ที่ 38% ซึ่งสูงกว่าการใช้กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ 20% ในการผลิตไฟฟ้าที่ขนาดเท่ากัน</p>	<p>3. การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากลักษณะของเครื่องยนต์ทำให้ปล่อยไอเสียออกมา</p> <p>4. ระหว่างผนังกระบอกสูบและผิวด้านข้างของลูกสูบจำเป็นต้องมีการหล่อลื่น ซึ่งในระหว่างการเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นนี้จะระเหยและเผาไหม้ออกมาพร้อมกับไอเสียด้วย</p> <p>5. ปัญหาซึ่งเกิดมาจากปริมาณของน้ำมันดินที่ผสมอยู่ในก๊าซชีวมวล ซึ่งน้ำมันดินจะไม่เผาไหม้ แต่จะรวมตัวกันเป็นยางเหนียว ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ลดลง</p>
--	--

2.1.8 ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง (วัฒนา เสถียรสวัสดิ์, 2529)

แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบัน มี 2 ประเภทคือ

1. ถ่านอัดแท่ง คือการใช้สารชีวมวลผสมกับ ถ่านหินในอัตราส่วนต่างๆ นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง ร่วมกัน โดยนำมาเผาจนเป็นถ่านแล้วมาอัดเป็น แท่งหรืออาจนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้วมา เผาให้เป็นแท่งถ่าน
2. แท่งเชื้อเพลิงเขียวเป็นการนำชีวมวล มาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานได้โดยตรง ไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดแท่งตัวอย่าง ของแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1

กรรมวิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง (นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล, 2557, หน้า 66-76)

จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะ คือ กระบวนการอัดร้อน และ กระบวนการ อัดเย็น

- กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process)

เป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลา ที่ทำการอัด โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศา เซลเซียสเหมาะสมกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อน จะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ ต้องใช้ตัวประสาน โดยความร้อนจะไปทำให้ สารพอลิโน-เซลลูโลสในวัสดุชีวมวลถูกสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกลายเป็นตัวประสานให้วัสดุสามารถจับตัวกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ วิธีนี้สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้ เช่น แกลบ ชี้เลื่อย เศษไม้ วัสดุนี้จะนำมาทำการลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 5 หากวัสดุมีขนาดใหญ่ต้องทำให้มีขนาดเล็กเสียก่อน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดต่อไป การอัดแบบใช้ความร้อนเรียกอีกอย่างว่า การผลิตเชื้อเพลิงแข็ง

เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งและแน่นมาก ซึ่งต้องใช้ความร้อนและแรงอัดที่สูงมาก จึงจะสามารถหลอมวัสดุได้ การอัดแท่งยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวเป็นแท่ง เช่น ปริมาณความชื้น แรงดัน อุณหภูมิและขนาดวัตถุดิบ เป็นต้น

- กระบวนการอัดเย็น (Cold Press Process)

เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัว ได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธี คือ

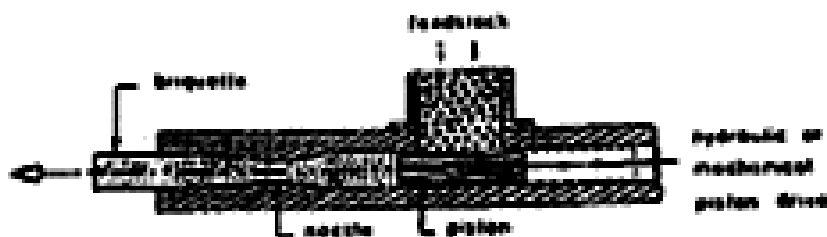
1. การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการ อัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเครื่องมือและวิธีการที่ง่าย และใช้พลังงานต่ำใช้วัสดุมาผสม กับตัวประสาน โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากวัสดุใดมีขนาดใหญ่ เช่นกะลามะพร้าว ต้องมี เครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมัน และน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการการอัดเย็น ด้วยแรงอัดสูง

2. การอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้ โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็น ก้อนได้ ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มี กำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะ ไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มี ความจำเป็น ที่จะต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่ จนเกินไปนัก

เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง (ทองทิพย์ พูลเกษม, 2542, หน้า 25-35)

เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

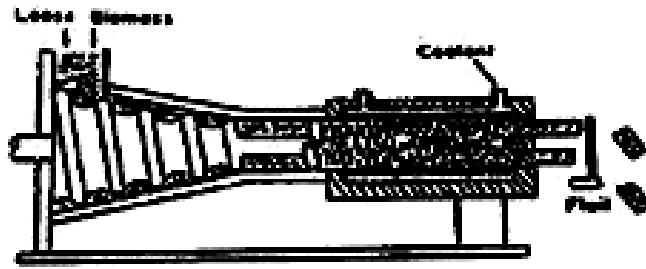
1. เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston Press) ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocating piston) เพื่อดันวัตถุดิบที่มาจากช่อง ป้อนเข้าไปในกระบอกอัดรูปเรียว (Tapered die) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical chock) หรือรูปเรียว จะทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันทันนี้รวมทั้งการขัดสีวัสดุกับผนังท่อ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดแท่งออกมาเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือ การขัดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ



รูปที่ 2.27 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

2. เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- แบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) มีหลักการทำงานคือเกลียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพื้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลินินหลอมละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสาน หลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัด กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8-10

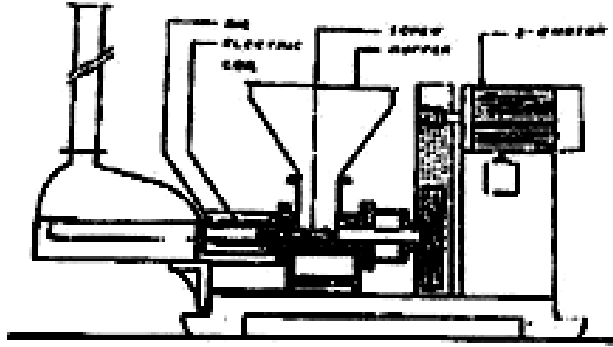


รูปที่ 2.28 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

- แบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press) เครื่องอัดแบบนี้มีเกลียวอัด 2 อันต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw parts) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 องศาเซลเซียส จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัดสำหรับวัตถุดิบที่ใช้อัดควรมีขนาด 30-80 มิลลิเมตร และวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไปจึงจะสามารถทำการอัดได้ โดยไม่ต้องทำให้แห้งเสียก่อน กำลังการผลิตของเครื่องนี้อยู่ในช่วง 2800-3600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

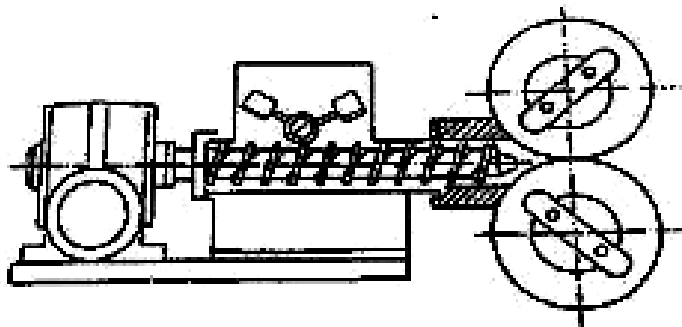
- แบบเกลียวพร้อมขดลวดความร้อน (Screw Press with heated die) มีหลักการทำงาน คือวัสดุถูกดันโดยเกลียวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือรูปกรวยเล็กน้อย ผ่านเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนระหว่าง 200-350 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้ทำให้วัสดุที่สัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกยึดตัวกันดี ลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร โดยเฉพาะการออกแบบของหัวเกลียวทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแบบนี้ในช่วง

50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง วัสดุที่ใช้มีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาใหญ่ของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของเกลียวและกระบอกอัด



รูปที่ 2.29 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

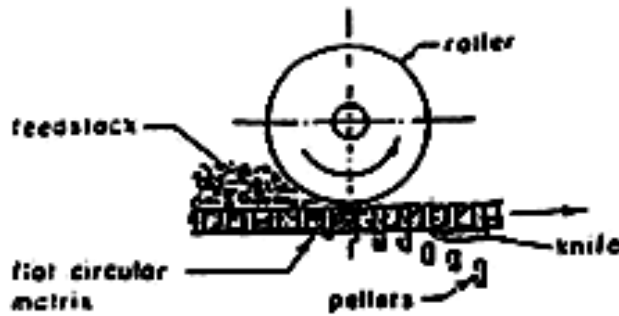
3. เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll press) เครื่องอัดแบบลูกกลิ้งนี้ มีการทำงานโดยจะเริ่มทำงานอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้าม ทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่นเข้าไปในตัวรองรับแท่นอัด (Pillow-shaped briquetted) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น และแท่งอัดที่ได้มีความทนทานน้อยกว่าแท่งอัดที่ได้จากการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้น ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะของอุณหภูมิแรงอัดในการหลอมละลายลินิน ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการอัดแท่งด้วยวิธีนี้จะได้ผลสำเร็จจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วย ที่ทำให้วัสดุเกาะติดกันดี



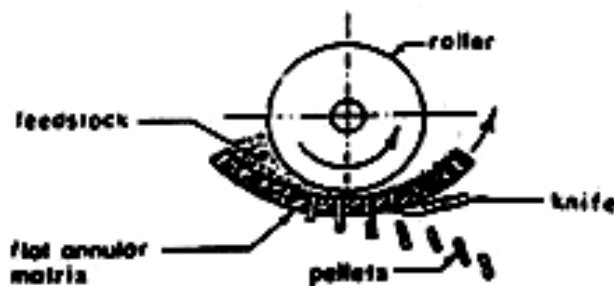
รูปที่ 2.30 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

4. เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pellitizing press) เครื่องอัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงอัดระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรูซึ่งมี 2 แบบคือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk matrix press) และเครื่องอัดแม่พิมพ์วงแหวน (Ring matrix press) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัด

ออกมาแล้วจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดให้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้แล้วจะทำการอัดเป็น ลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเม็ด



รูปที่ 2.31 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม



รูปที่ 2.32 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2544) ได้ศึกษาเตาเผาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่นำเข้ามาจากประเทศจีน รุ่น RSL-I-8 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพความร้อนของเตาผลิตแก๊สและความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากเตาผลิตแก๊สนี้ไปใช้กับอุตสาหกรรมขนบของไทยโดยทำการทดสอบด้วยการใช้เชื้อเพลิงแข็ง 4 ชนิด คือ ไม้พิน ชังข้าวโพด แกลบอัดแท่งและขี้เลื่อยอัดแท่ง ผลการทดสอบพบว่าไม้พินและชังข้าวโพดให้คุณภาพแก๊สจากเตาเผา ซึ่งมีประสิทธิภาพความร้อนในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงประมาณ 70-80 % และความร้อนที่ได้ออกมาประมาณ 100,439 kcal/hr ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำความร้อนจากเตาผลิตแก๊สนี้มาปรับปรุงและนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมขนบของประเทศไทยที่เกี่ยวกับการใช้ความร้อน อาทิ เช่น การอบเมล็ดพันธุ์พืช การอบยาง เป็นต้น

วีระชัยอาจหาญ และคณะผู้วิจัย (2550) ศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW ที่ใช้ไม้ไผ่เร็วเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยเตาแบบ Downdraft Gasifier ที่

พัฒนาโดยบริษัทซาตาเก้ ประเทศญี่ปุ่น นำแก๊สเชื้อเพลิงมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าในระบบเชื้อเพลิงคู่ พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประมาณ 1.7 kg/kWh และสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 60-70 % ในปีเดียวกัน ญรัฐฉุฉิ และคณะ (2552) ทดสอบการเดินเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าขนาด 25 kW เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบพบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล 0.398 ลิตร/kWh ส่วนน้ำมันปาล์มดิบสิ้นเปลืองสูงกว่าประมาณ 15-20 %

วนิตา จาดต้า (2548) ศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว โดยศึกษาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยวิธีอัดแบบร้อนและอัดแบบเย็น ศึกษาขนาดกากชาเขียวที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ศึกษาสัดส่วนของการผสมแป้งมันสำปะหลังซึ่งใช้เป็นประสานในอัตราส่วนของกากชาเขียวต่อแป้งมันสำปะหลังต่าง ๆ จากการทดลองพบว่าวิธีการอัดแบบเย็นดีกว่าวิธีการอัดแบบร้อน ขนาดของกากชาเขียวแบบบดละเอียด ให้ผลดีกว่ากากชาแบบไม่บดในด้านคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และที่อัตราส่วนของกากชาเขียวต่อมันสำปะหลังที่เหมาะสมคือ 9.5 : 0.5 จากการศึกษาค่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียว พบว่าความชื้น เถ้า สารระเหย และค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 5.20% 0.26, 7.67% 0.21, 20.10% 0.46 และ 6,110 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่ง แต่ค่าคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 66.67% 0.35 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของถ่านอัดแท่งจากการปรับปรุงคุณภาพของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวโดยผสมกับเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากระบวนการแปรรูปไม้ พบว่าการผสมเศษไม้มีผลทำให้ค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นในขณะที่เถ้าและสารระเหยมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วกับถ่านอัดแท่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่าถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวมีข้อดีกว่าคือ ใช้เวลาในการจุดติดไฟเร็ว มีปริมาณเถ้าต่ำกว่า และต้นทุนการผลิตขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเศษไม้ที่ใช้

ชาญยุทธ เทพพานิช (2552) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากมันสำปะหลังและกากตะกอนน้ำทิ้งที่ได้จากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังผสมกับชีวมวลที่นำออกจากแนวกันไฟในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำการศึกษาค่าคุณสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากนั้นนำถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการเป็นเชื้อเพลิงในแต่ละแบบมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสมของกากมันสำปะหลัง

กากตะกอนน้ำทิ้งจากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและชีวมวลสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ในขณะที่ส่วนผสมในอัตราส่วนอื่น ๆ ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้ง 3 แบบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งถ่านเชื้อเพลิง

อัดแท่งกากมันสำปะหลังหลังผสมชีวมวลที่นำออกจากแฉกไฟอัตราส่วน 8 : 2 มีความเหมาะสมที่สุดในการเป็นเชื้อเพลิง โดยมีค่าความร้อน 5,993 cal/g ค่าคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 62.61 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 19.84 ความชื้น ร้อยละ 3.28 สารระเหย ร้อยละ 14.27 ความหนาแน่น 0.30 g/cm³

ชมริตา ชื่นนิยม (2553) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษซังข้าวโพดซึ่งได้มาจากโรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืชมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดมนในขั้นตอนของการวิจัยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเศษซังข้าวโพด พบว่า มีปริมาณความชื้น 8.12%, ปริมาณสารระเหยได้ 71.03%, ปริมาณเถ้า 3.19%, ปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.66% และค่าความร้อน 4054.56 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ จากนั้นนำเศษซังข้าวโพดมาผสมกับตัวประสาน 4 ชนิดได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง, กากน้ำตาล, กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่องใช้แล้วในสัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 แล้วจึงนำไปอัดแท่ง นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มาทดสอบสมบัติทางเคมี กายภาพ และการเผาไหม้ ได้แก่ ค่าความร้อน, ค่าความหนาแน่น, ค่าความทนแรงอัด, ค่าดัชนีการแตกร่วน, ค่าความต้านทานน้ำ, เวลาในการจุดติดไฟ, ค่าความคงตัวของเถ้า และระยะเวลาการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัดง่าย มีความแข็งแรงสูง และใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ ในขณะที่เดียวกันการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นตัวประสานในการอัดแท่งเศษซังข้าวโพด ทั้งนี้เมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความคงตัวของเถ้าและระยะเวลาการเผาไหม้สูงสุด ในขณะที่เมื่อใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสานจะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความร้อน ค่าดัชนีการแตกร่วน และค่าความต้านทานน้ำสูงสุด จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สัดส่วน 50% แป้งมันสำปะหลัง มาคำนวณ พบว่า การอัดแท่งเศษซังข้าวโพดที่ปริมาณ 100 ตันต่อปี โดยใช้ 2 สายการผลิต ให้ผลการลงทุนที่คุ้มค่าที่สุด โดยคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการได้เท่ากับ 1,980,721.32 บาท, อัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับ 45.73%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน เท่ากับ 1.16, และระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 2.18 ปี

สารรวม โกศลานนท์ (2553) ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำของเสียทั้ง 2 ชนิด ไปใช้ประโยชน์โดยการนำไปผสมวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้นำไปศึกษาในแง่ของพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาของผสมเมื่อทำการแปรผันปริมาณกากไขมัน และกากของกากไขมัน ตั้งแต่ 25% ถึง 75% ผสมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ ชี้อเลี้ยง เหง้ามันสำปะหลัง และซังข้าวโพด ซึ่งทำการบดละเอียดก่อนนำไปผสม ผลการศึกษาพบว่ากากไขมันให้พลังงานความร้อน $13.706 = 0.442 \text{ kJ/g}$ ซึ่งต่ำกว่าชี้อเลี้ยงและซังข้าวโพด ซึ่งให้พลังงานความร้อนสูงกว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ คือ $13.929 = 0.096 \text{ kJ/g}$ และ $14.041 = 0.289 \text{ kJ/g}$ ตามลำดับ แต่แกลบเป็นวัสดุที่ให้พลังงานความร้อนต่ำสุดคือ

11.533 = 0.728 kJ/g ส่วนกากของกากไขมันให้พลังงานความร้อนต่ำสุด เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบทั้งหมด คือ 11.311 = 0.696 kJ/g ค่าความร้อนของของผสมระหว่างกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแปรผันตรงกับปริมาณกากไขมัน ส่วนค่าความร้อนของของผสมระหว่างกากของกากไขมันกับวัสดุที่เหลือ และซังข้าวโพดแปรผันกับปริมาณกากของกากไขมัน ของผสมที่มีปริมาณกากไขมันและกากของกากไขมันตั้งแต่ 50% ขึ้นไป เริ่มมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวไม่รวมตัวเป็นก้อน ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าของผสมระหว่างซังข้าวโพดกับกากไขมัน มีความเหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปศึกษาและพัฒนาผลิตเป็นเชื้อเพลิงต่อไป

สุรีย์ จรุงศักดิ์ (2543) ศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากโปรตีนเซอร์ก๊าซที่ผลิตจากเตาผลิตก๊าซชนิดไหลลงขนาด 0.28 m³ ผลิตความร้อนได้สูงสุด 82 MJ/hr ระยะเวลา 8 ชั่วโมง โดยใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเผาเซรามิกส์ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) การทดลองผลิตก๊าซที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ 1.0×10^{-3} 3.0×10^{-3} 5.0×10^{-3} m³/s (ที่ 30 °C 1 atm) โดยมีค่าความร้อนสูง (HHV) ของโปรตีนเซอร์ก๊าซและปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ย 3.13 3.26 3.52 MJ/N·m³ และ 20.99% 22.12% 25.60% ตามลำดับ (2) การทดลองผลิตก๊าซเพื่อใช้ในการเผาเซรามิกส์แบ่งออกเป็น 3 การทดลองคือ การเผาดิบ การเผาเคลือบ และการเผาแกร่ง ผลการทดลองเผาดิบเซรามิกส์ที่อุณหภูมิสุดท้ายประมาณ 800 °C โดยใช้เวลา 480 นาที หลังการเผามีความแข็งแรงสามารถนำไปชุบเคลือบต่อไปได้ ผลการเผาเคลือบที่อุณหภูมิสุดท้ายประมาณ 1,102 °C โดยใช้เวลาเผา 540 นาที เซรามิกส์ที่ได้มีลักษณะเนื้อดินหดรตัวมีขนาดตามต้องการแต่ผิวเคลือบมีลักษณะด้านไม่เปลี่ยนสภาพเป็นเนื้อแก้ว เนื่องจากอุณหภูมิสุดท้ายต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำเคลือบเซรามิกส์ (Under Firing) ผลการเผาแกร่งใช้เวลาเผา ที่อุณหภูมิสุดท้าย 1,030 °C 540 นาที เซรามิกส์ที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเซรามิกส์ที่ได้จากโรงงานแต่ความชัดเจนของสีลายกระที่ผิวเนื้อดินน้อยกว่า ส่วนการทดลองเผาที่อุณหภูมิ 1,110 °C เซรามิกส์ที่ได้จะหดรตัวจนมีขนาดเล็กกว่าเซรามิกส์จากโรงงาน

บวรพรรณ คติการ (2529) ออกแบบสร้างเตาผลิตก๊าซชนิดไหลลงโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาความเหมาะสมการทำความสะดวกปลอดภัยของโปรตีนเซอร์ก๊าซโดยใช้วัสดุทรง 5 ชนิด ประกอบด้วย ไนลอน แกลบ ไฟเบอร์กลาส ฝ้าดิบ และสำลี โดยพิจารณาประสิทธิภาพในการกักก๊าซที่ผลิตได้ การทดลองกำหนดความเร็วอากาศ เฉลี่ย 0.65 m/s และ 2.5 m/s โดยป้อนอากาศเข้าโชนการเผาไหม้ตรงกลางจากด้านบนจุดเดียวจากการทดลองพบว่า แกลบเป็นวัสดุทรงที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บฝุ่นสูงที่สุด เฉลี่ย 98% การสูญเสียความดันต่ำสุด 0.5-1.5 cm น้ำส่วนไนลอนมีประสิทธิภาพต่ำสุดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์แปรค่าตามความเร็วอากาศโปรตีนเซอร์ก๊าซประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ 12.3-22.6% คาร์บอนไดออกไซด์ 7.6-12.5% น้ำ 12-22.9%

Arthayukti, W. (1984) ศึกษาการผลิตโปรตีนเซอร์ก๊าซจากเตาผลิตก๊าซชนิดไหลลงแบบท่อตรงโดยซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงอากาศไหลเข้าด้านบนของท่อเหล็กขนาด 15 cm ยาว 150 cm ซังข้าวโพดมีองค์ประกอบ FC 20.46% VM 70.3%, AC 2.48% S 0.07% HHV 4,137.97 cal/g พบว่าอัตราการไหลของอากาศ 17.5 Nm³/hr สามารถผลิตก๊าซมีค่าความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 1,008 kcal./Nm³ ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ 12.7 %, H₂11.1 % และ CH₄ 3.0%

Hoi W. K. และคณะผู้วิจัย (1992) ศึกษากระบวนการผลิตโปรตีนเซอร์ก๊าซจากไม้ยางพาราโดยเตาผลิตก๊าซชนิดไหลลงขนาด 35 kW โดยออกแบบตามรูปแบบของ Swedish Academy of Engineering Science ใช้เชื้อเพลิงไม้ยางพาราขนาด 3x3x3 cm³ ความชื้น 7.9% และ HHV 18.44 MJ/kg อัตราการไหลโปรตีนเซอร์ก๊าซเฉลี่ย 89.3 Nm³/hr ได้ค่าความร้อนสูงของโปรตีนเซอร์ก๊าซประมาณ 4.975 MJ/Nm³ อัตราความสิ้นเปลือง 33.5 kg/hr และโปรตีนเซอร์ก๊าซประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ 18.9% ไฮโดรเจน 18.4% มีเทน 0.6% และ ไนโตรเจน 49.8% ทดลองใช้โปรตีนเซอร์ก๊าซร่วมกับน้ำมันดีเซลในการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 68.9%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

ในการศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเตาผลิตแก๊สชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ของตาลโตนด ซึ่งประกอบไปด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลจากผลตาลแก่ เปลือกจากผลตาล ทางตาล และใบตาล โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้



3.2 วัตถุดิบที่ใช้การวิจัย

3.2.1 ทางตาลโตนด

เป็นส่วนของก้านของไพบตาล ส่วนทางตาลตอนโคน เมื่อทางตาลแก่จัดจนไพบแห้งจะร่วงหล่นลงมาเอง หรือในส่วนของตาลโตนดที่อายุน้อยจะใช้วิธีการตัดไพบที่แก่เอามาทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ทางตาลโตนด

3.2.2 ผลตาลโตนดแก่

เป็นส่วนของผลตาลโตนดที่แก่จัดจนสุก ที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถจัดหาได้ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผลตาลโตนดแก่

3.2.3 ใบตาลโตนด

เป็นส่วนของใบตาลโตนดที่แก่จนแห้ง ที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถจัดหาได้ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ใบตาลโตนด

3.2.4 เปลือกจากผลตาลโตนด

เป็นส่วนของเปลือกจากผลตาลโตนดที่ถูกนำเนื้อในผลตาลออกไปใช้แล้ว เป็นส่วนที่เหลือทิ้งซึ่งสามารถจัดหาได้ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เปลือกจากตาลโตนด

3.3 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อการวิเคราะห์ผล

นำวัสดุทั้ง 4 ชนิดที่รวบรวมมาได้ ทำการตากแดดเพื่อลดความชื้นในตัววัสดุ จากนั้นทำการบดย่อยวัสดุให้ละเอียด เพื่อทำการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)



รูปที่ 3.5 วัสดุตากแห้ง



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างวัสดุที่อยู่ระหว่างการบดย่อย



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวัสดุที่บดย่อยเสร็จแล้ว

3.4 การวิเคราะห์แบบประมาณ

ทำการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) เพื่อจะระบุปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ (Volatile Combustible Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และปริมาณเถ้า (Ash Content) ในการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว เชื้อเพลิงแข็งจะถูกบดเป็นผงและนำไปอบให้แห้งในเตาอบภายใต้อุณหภูมิประมาณ 105 - 110 °C จนได้น้ำหนักคงที่ น้ำหนักส่วนที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเดิมคือปริมาณความชื้น จากนั้นเชื้อเพลิงแข็งที่แห้งแล้วจะถูกทำให้ร้อนในภาชนะปิด (เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน) ภายใต้ อุณหภูมิ 900 °C เพื่อไล่สารระเหยที่เผาไหม้ได้ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ น้ำหนักส่วนที่หายไปคือ ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้นั่นเอง จากนั้นนำเชื้อเพลิงแข็งที่ได้ไปอบในภาชนะเปิดภายใต้ อุณหภูมิ 750 °C เพื่อให้เกิดการเผาไหม้จนได้น้ำหนักที่เหลือคงที่และเป็นน้ำหนักของเถ้าในขณะนี้น้ำหนักส่วนที่หายไปคือปริมาณของคาร์บอนคงตัว

3.5 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

ทำการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D3176 วิเคราะห์ ผลระบุถึงปริมาณธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงนั้น โดยระบุในลักษณะ %db และไม่คิดเถ้า ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงถูกกำหนดโดยการเผา เชื้อเพลิงตัวอย่างในภาชนะที่ปิดบรรจุออกซิเจนไว้อย่างเพียงพอแล้ววัดองค์ประกอบของไอเสียเพื่อ

คำนวณย้อนกลับไปหาปริมาณคาร์บอน (C) และปริมาณไฮโดรเจน (H) ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงนั้น ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) จะถูกกำหนดโดยอาศัยวิธีการทางเคมีในขณะที่ออกซิเจน (O) จะถูกระบุโดยค่า 100 ลบด้วยปริมาณของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

3.6 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อการทดสอบคุณสมบัติของแก๊สจากการเผาไหม้โดยตรง

ผลจากการทดสอบวัสดุทั้ง 4 ชนิดที่ผ่านการทดสอบการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) มาประเมินผลเพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสม 2 ชนิด เพื่อเข้าสู่การทดสอบคุณสมบัติของแก๊สจากการเผาไหม้โดยตรง



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างวัสดุจากทางตาลโตนดที่ถูกตัดให้ชิ้นเล็กลงโดยเครื่องจักร



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างวัสดุจากทางตาลโตนดที่ถูกตัดให้เหมาะสมกับการทดสอบ



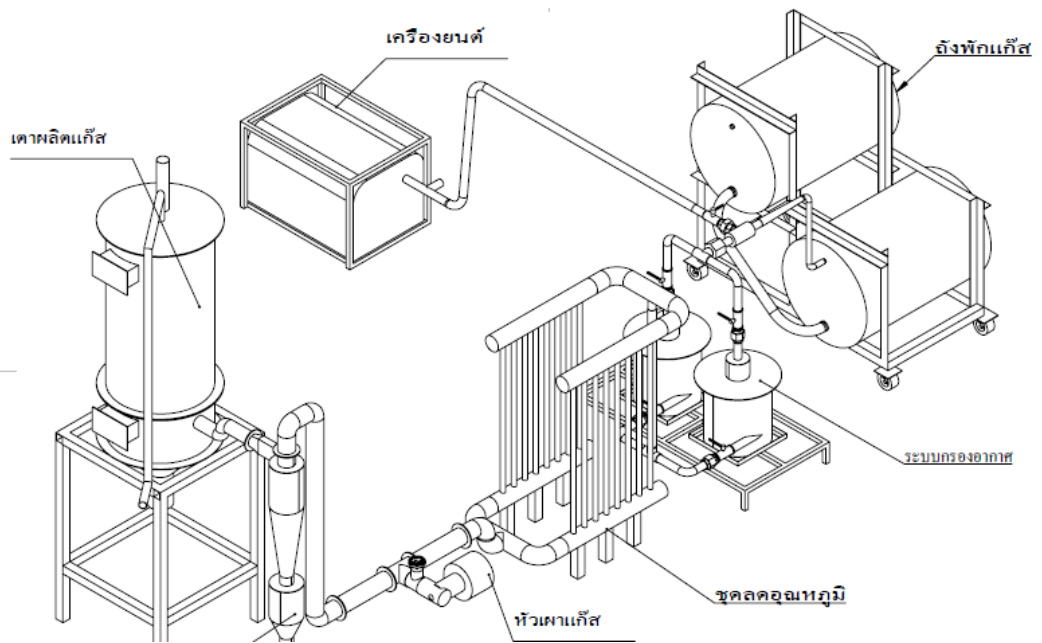
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างวัสดุจากเปลือกผลตาลโตนด



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างวัสดุจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแท่ง

3.7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

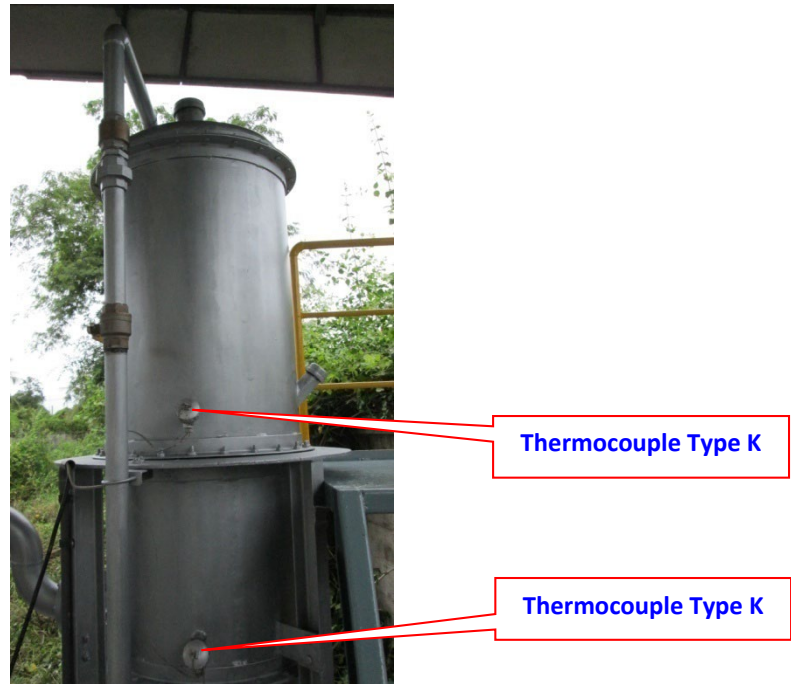
ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบเบตนิ่งอากาศไหลลงนั้น เป็นการออกแบบโดยจะป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าไปในเตาผลิตแก๊ส จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แล้วได้เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ออกมา ซึ่งจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ ลูกสูบเดี่ยวและสามารถผลิตเป็นไฟฟ้าได้ เป็นการออกแบบเพื่อศึกษาแพคเตอร์ต่างๆของระบบที่ทำให้ระบบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบเบตนิ่งอากาศไหลลงนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวล: แก๊สซิฟิเคชันชนิดเบดคงที่เปลวไฟไหลลง



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ประกอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวล: เครื่องยนต์พร้อมเครื่องปั่นไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิในเตาแก๊สซีฟิเออร์และตำแหน่งการวัดคุณภาพของโปรตีนเซอร์ก๊าสที่ออกจากเตาแก๊สซีฟิเออร์



รูปที่ 3.15 ระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์ชนิดเบตคองที่เปลวไฟไหลลง



รูปที่ 3.16 การบรรจุเชื้อเพลิงเข้าระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์



รูปที่ 3.17 การทดสอบระบบเตาแก๊สซีฟิเออร์



รูปที่ 3.18 การวัดค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 3.19 การบันทึกค่าพารามิเตอร์

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis)

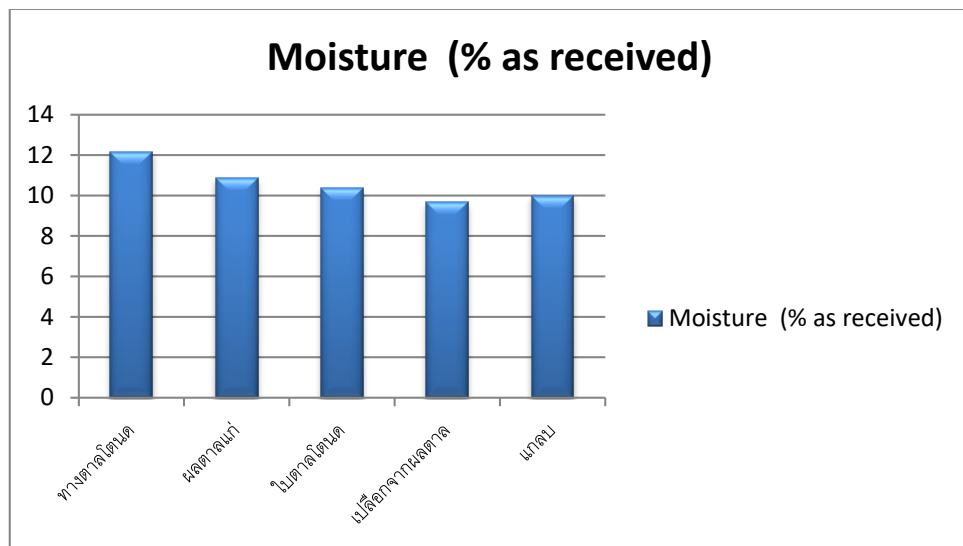
เมื่อได้ดำเนินการทำให้วัสดุ มีขนาดที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) จึงทำการส่งตัวอย่างวัสดุจากตาลโตนดในจังหวัดเพชรบุรี เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ในส่วนของแกลบใช้ผลการทดสอบแกลบในจังหวัดเพชรบุรีมวล 1 kg ที่วิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ (สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, และคณะผู้วิจัย, 2557)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณจากวัสดุเหลือใช้ตาลโตนด

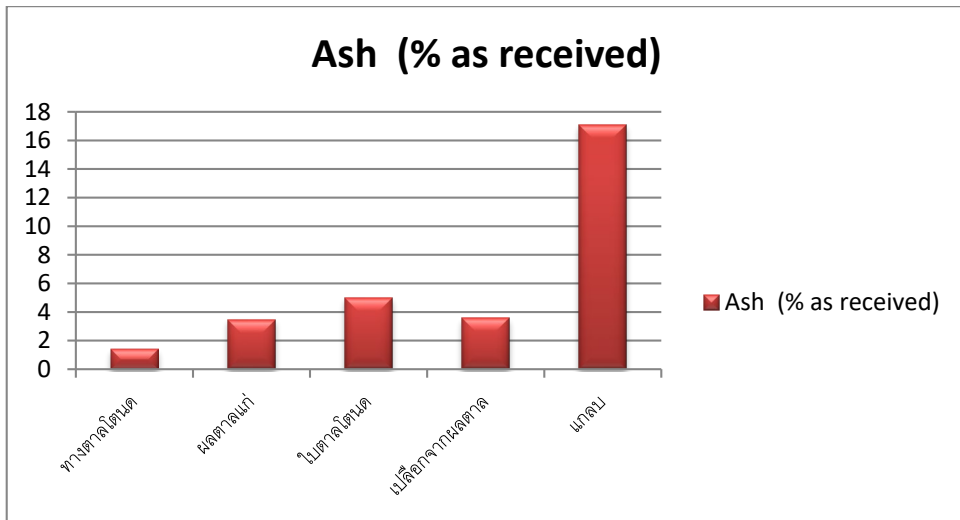
รายชื่อวัสดุ	พารามิเตอร์				
	Moisture (% as received)	Ash (% as received)	Volatile Matter (% as received)	Fixed Carbon (% as received)	Higher Heating Value (cal/g as received)
1 ทางตาลโตนด	12.18	1.41	68.46	17.95	4,020
2 ผลตาลแก่	10.88	3.45	66.57	19.10	3,955
3 ใบตาลโตนด	10.38	5.00	67.37	7.25	4,040
4 เปลือกจากผลตาลโตนด	9.67	3.57	69.36	14.40	4,010
5 แกลบ	10.00	17.10	57.30	15.60	3,419

ผลจากการทดลองหาปริมาณความชื้น (Moisture) พบว่า ทางตาลมีความชื้น 12.18% ผลตาลแก่มีความชื้น 10.88% ใบตาลมีความชื้น 10.38% เปลือกจากผลตาลมีความชื้น 9.67% และ แกลบมีความชื้น 10.00% ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่นำมาทดสอบ มีค่าใกล้เคียงกัน



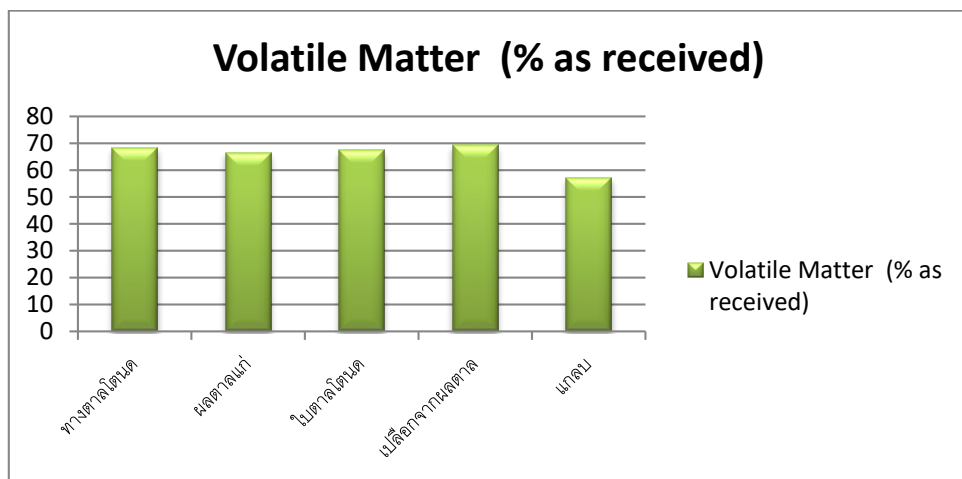
รูปที่ 4.1 กราฟปริมาณความชื้น

ผลจากการทดลองหาปริมาณขี้เถ้า (Ash) พบว่า ทางตาลปริมาณขี้เถ้า 1.41% ผลตาลแก่มีปริมาณขี้เถ้า 3.45% ใบตาลมีปริมาณขี้เถ้า 5.00% เปลือกจากผลตาลมีปริมาณขี้เถ้า 3.57% และ แกลบปริมาณขี้เถ้า 17.10% ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ทางตาลโตขนาดมีปริมาณขี้เถ้าที่น้อยที่สุด ถือว่าดีที่สุด เมื่อเทียบกับวัตถุดิบทั้งหมด



รูปที่ 4.2 กราฟปริมาณขี้เถ้า

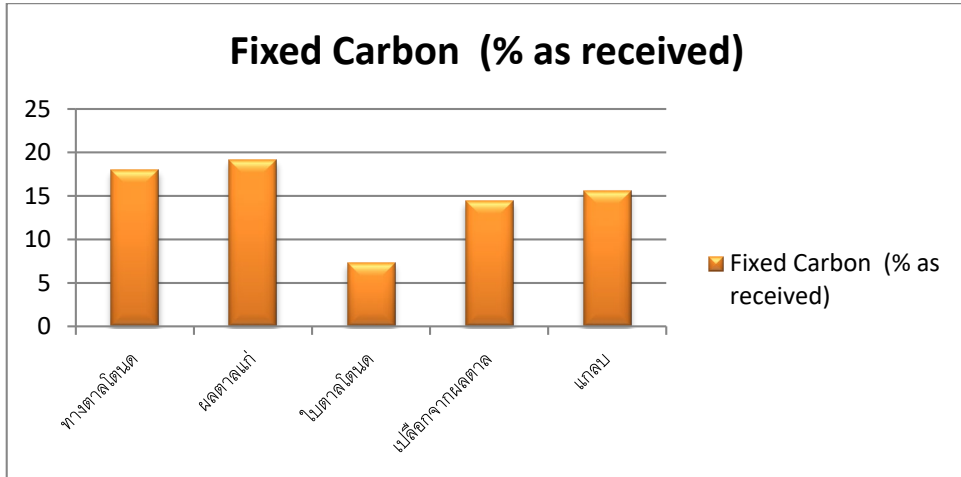
ผลจากการทดลองหาปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย (Volatile Matter) พบว่า ทางตาลมีปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย 68.46% ผลตาลเก่ามีปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย 66.57% ใบตาลมีปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย 67.37% เปลือกจากผลตาลมีปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย 69.36% และแกลบมีปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย 57.30% ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า วัสดุทุกชนิดมีค่าสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่ายใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถจุดติดไฟได้ง่าย



รูปที่ 4.3 กราฟปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ง่าย

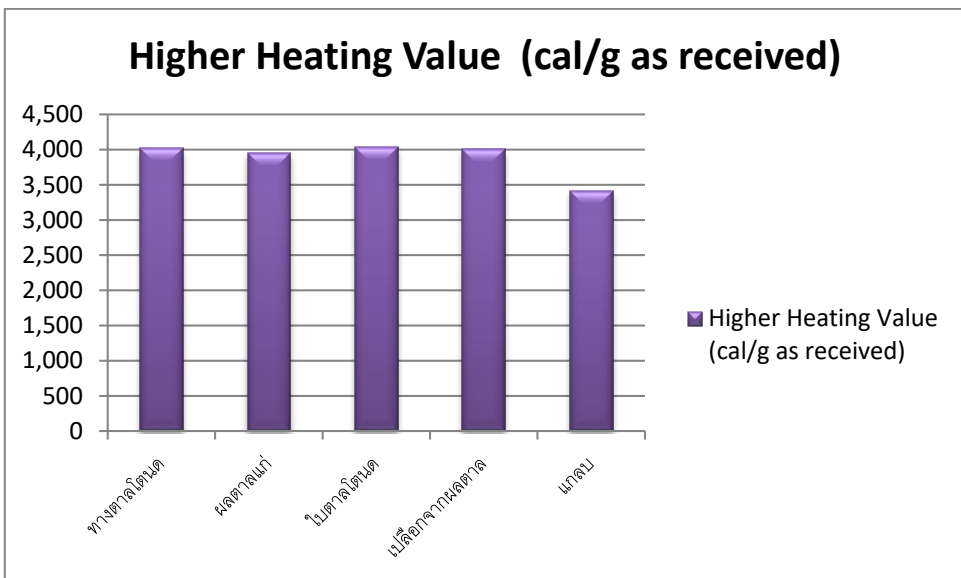
ผลจากการทดลองหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) พบว่า ทางตาลมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 17.95% ผลตาลเก่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัว 19.10% ใบตาลมีปริมาณคาร์บอนคงตัว

7.25% เปลือกจากผลตาลมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 14.40% และแกลบมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 15.60% ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลตาลแกลบมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุดแสดงความ เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนที่ดี



รูปที่ 4.4 กราฟปริมาณคาร์บอนคงตัว

ผลจากการทดลองหาปริมาณความร้อนสูงสุด (Higher Heating Value) พบว่า ทางตาล มีปริมาณความร้อนสูงสุด 4,020 cal/g ผลตาลแกลบมีปริมาณความร้อนสูงสุด 3,955 cal/g ใบตาลมี ปริมาณความร้อนสูงสุด 4,040 cal/g เปลือกจากผลตาลมีปริมาณความร้อนสูงสุด 4,010 cal/g และ แกลบมีปริมาณความร้อนสูงสุด 3,419 cal/g ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าปริมาณความ ความร้อนสูงสุดของวัตถุดิบที่นำมาทดสอบ มีค่าที่มาก และใกล้เคียงกันซึ่งดีกว่าแกลบ



รูปที่ 4.5 กราฟปริมาณความร้อนสูงสุด

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

เมื่อได้ดำเนินการทำให้วัสดุ มีขนาดที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) จึงทำการส่งตัวอย่างวัสดุจากตาลโตนดในจังหวัดเพชรบุรี เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

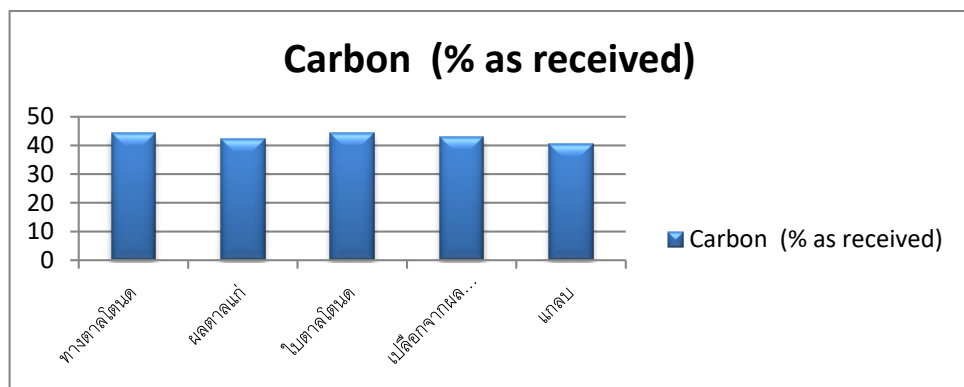
ในส่วนของผลการทดสอบแกลบในจังหวัดเพชรบุรีมีมวล 1 kg ที่วิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ (สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, และคณะผู้วิจัย, 2557)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุจากวัสดุเหลือใช้ตาลโตนด

รายชื่อวัสดุ	พารามิเตอร์					
	Carbon (% as received)	Hydrogen (% as received)	Nitrogen (% as received)	Sulfur (% as received)	Oxygen (% as received)	Lower Heating Value (cal/g as received)
1 ทางตาลโตนด	44.36	6.29	0.22	0.04	35.50	3,700

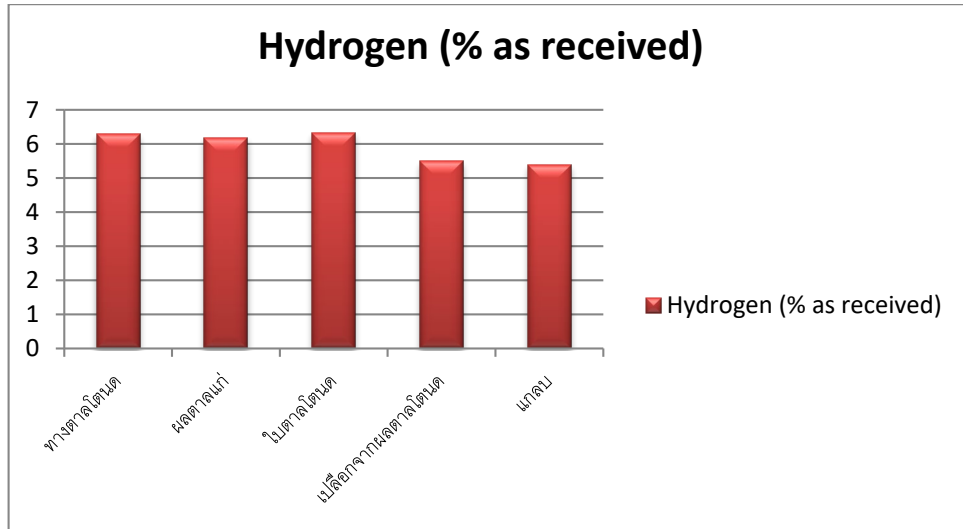
2	ผลตาลแก่	42.30	6.18	0.43	0.04	36.72	3,521
3	ใบตาลโตสด	44.27	6.34	0.76	Not Detected	33.25	3,720
4	เปลือกจากผลตาลโตสด	42.90	5.49	0.46	0.13	37.79	3,600
5	แกลบ	40.60	5.40	0.33	0.05	36.50	-

ผลจากการทดลองหาปริมาณคาร์บอน (Carbon) พบว่า ทางตาลมีคาร์บอน 44.36% ผลตาลแก่มีคาร์บอน 42.30% ใบตาลมีคาร์บอน 44.27% เปลือกจากผลตาลมีคาร์บอน 42.90% และแกลบมีคาร์บอน 40.60% วัสดุที่นำมาทดสอบให้ผลผลปริมาณคาร์บอนใกล้เคียงกัน และมากกว่าแกลบ ในส่วนของทางตาลโตสดมีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมที่จะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ดี



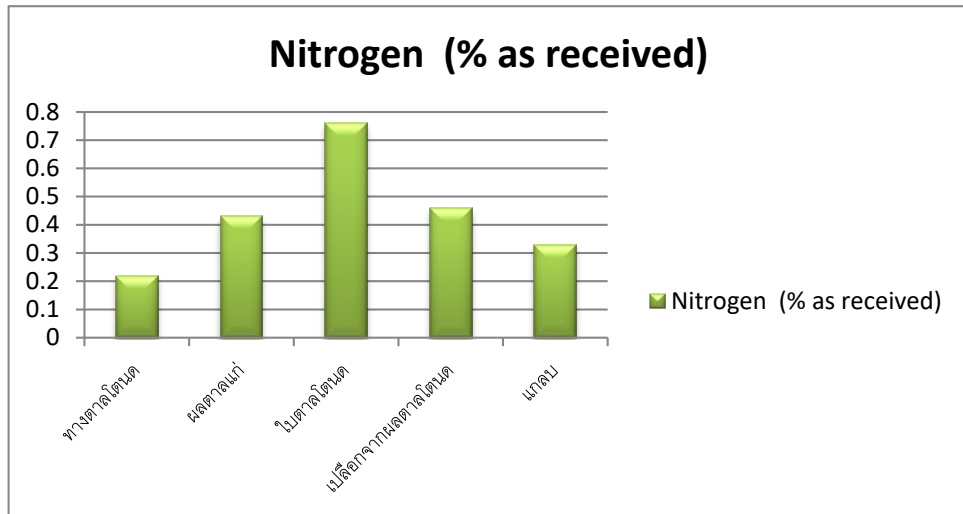
รูปที่ 4.6 กราฟปริมาณคาร์บอน

ผลจากการทดลองหาปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen) พบว่า ทางตาลมีไฮโดรเจน 6.29% ผลตาลแก่มีไฮโดรเจน 6.18% ใบตาลมีไฮโดรเจน 6.34% เปลือกจากผลตาลมีไฮโดรเจน 5.49% และแกลบมีไฮโดรเจน 5.40% วัสดุที่นำมาทดสอบมีปริมาณไฮโดรเจนใกล้เคียงกัน และมากกว่าแกลบ ในส่วนของใบตาลโตสดมีปริมาณไฮโดรเจนมากที่สุด



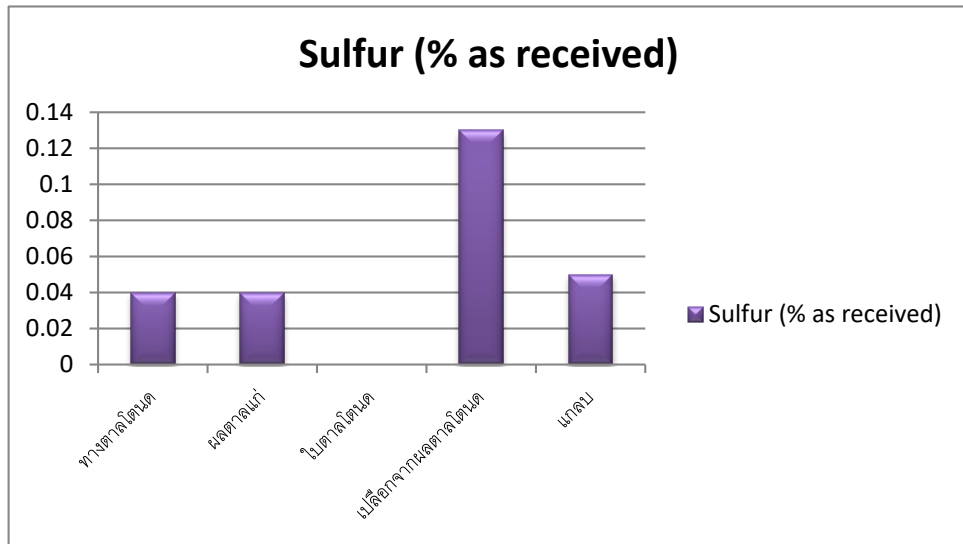
รูปที่ 4.7 กราฟปริมาณไฮโดรเจน

ผลจากการทดลองหาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) พบว่า ทางตาลมีไนโตรเจน 0.22% ผลตาลแก่มีไนโตรเจน 0.43% ใบตาลมีไนโตรเจน 0.76% เปลือกจากผลตาลมีไนโตรเจน 0.46% และแกลบมีไนโตรเจน 0.33% จากการทดลองทางตาลโตนดมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด ถือว่ามีผลที่ต่ำที่สุด



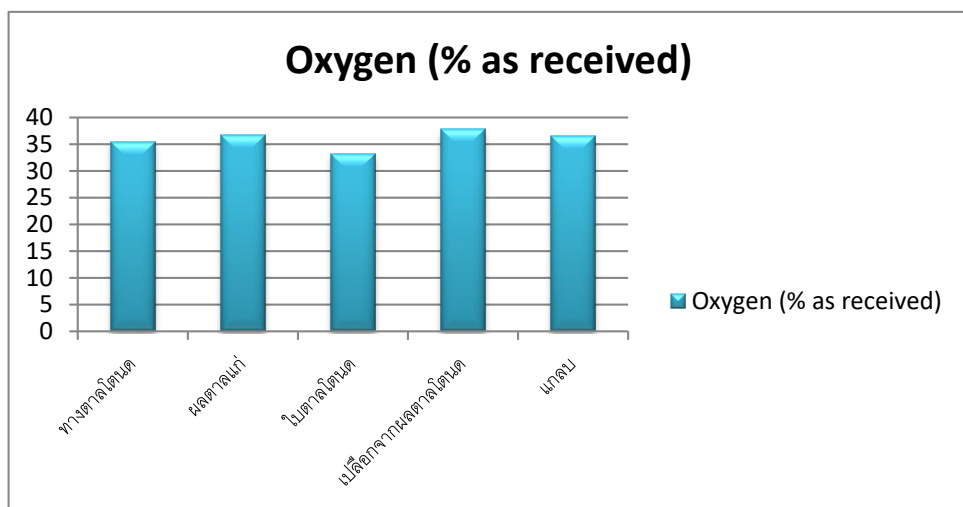
รูปที่ 4.8 กราฟปริมาณไนโตรเจน

ผลจากการทดลองหาปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur) พบว่า ทางตาลมีซัลเฟอร์ 0.04% ผลตาลแก่มีซัลเฟอร์ 0.04% ใบตาลมีซัลเฟอร์ ไม่สามารถวัดค่าได้ เปลือกจากผลตาลมีซัลเฟอร์ 0.13% และ แกลบมีซัลเฟอร์ 0.05% จากการทดลองใบตาลโตนดมีปริมาณซัลเฟอร์น้อยที่สุด ถือว่ามีผลที่ดีที่สุด



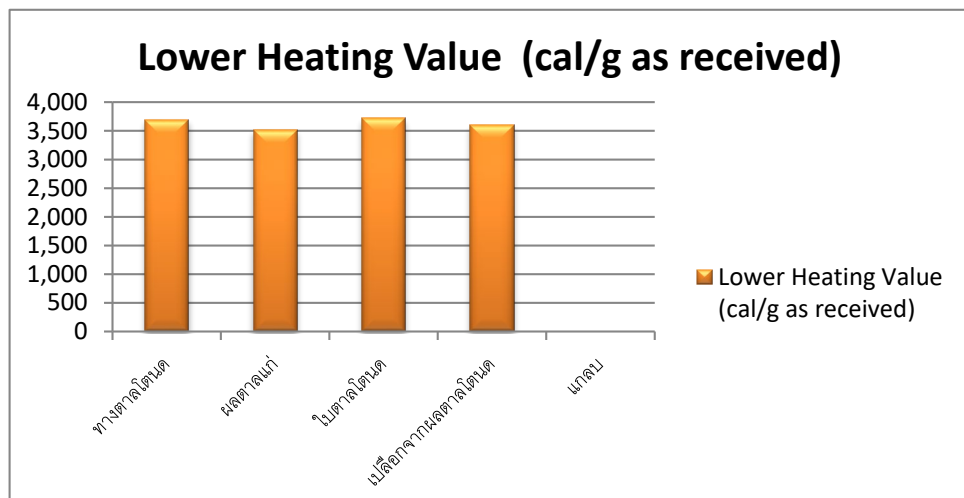
รูปที่ 4.9 กราฟปริมาณซัลเฟอร์

ผลจากการทดลองหาปริมาณออกซิเจน (Oxygen) พบว่า ทางตาลมีออกซิเจน 35.50% ผลตาลแก่มีออกซิเจน 36.72% ใบตาลมีออกซิเจน 33.25% เปลือกจากผลตาลมีออกซิเจน 37.79% และแกลบมีออกซิเจน 36.50% วัสดุที่นำมาทดสอบ และแกลบมีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงกัน และเปลือกจากผลตาลโตนดมีปริมาณออกซิเจนที่สุด



รูปที่ 4.10 กราฟปริมาณออกซิเจน

ผลจากการทดลองหาปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด (Lower Heating Value) พบว่า ทางตาลมีปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด 3,700 cal/g ผลตาลแก่มีปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด 3,521 cal/g ใบตาลมีปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด 7,200 cal/g เปลือกจากผลตาลมีปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด 3,600 cal/g และแกลบไม่มีผลการทดสอบปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด



รูปที่ 4.11 กราฟปริมาณความร้อนด้านต่ำสุด

4.3 ขั้นตอนการทดลองการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

ในการทำการทดลองผู้ทำการวิจัยได้พิจารณาถึงความเหมาะสมของวัสดุเชื้อเพลิงที่จะนำมาทดลองได้เชื้อเพลิง 2 ชนิดประกอบไปด้วย ทางตาลโตนด และเปลือกจากผลตาลโตนด โดยแยกการดำเนินการทดสอบวัสดุเป็นสามลักษณะดังต่อไปนี้ ทางตาลโตนดที่ตัดย่อยเป็นชิ้น เปลือกจากผลตาลโตนดตากแห้ง และเปลือกจากผลตาลโตนดตากแห้งที่อัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

การทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

การทดลองการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ สามารถดำเนินการโดยการนำเชื้อเพลิงจากทางตาลโตนด มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 20 kg แบ่งส่วนหนึ่งประมาณ 4 kg ป้อนเข้าเตาแก๊สซีไฟเออร์ก่อน แล้วเผาเชื้อเพลิงอีกประมาณ 1 kg จากด้านบนก่อน พอติดไฟดีแล้วจึงเทป้อนเข้าเตา จากนั้นนำเอาเชื้อเพลิง 15 kg ที่เหลือป้อนเข้าเตา แล้วจึงเปิดพัดลมอัดอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงที่ออก

จากเตาจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 40°C เป็น 300°C จึงได้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่สามารถติดไฟได้ออกมา แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตได้จะไหลผ่านชุดโซโคลนดักฝุ่นและทาร์ แล้วไหลผ่านชุดลดอุณหภูมิ แก๊ส ชุดกรองอากาศ และชุดถังพักแก๊ส จากนั้นจึงทำการบันทึกข้อมูลต่างๆดังนี้

1. อุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊ส ด้วยเทอร์โมคัปเปิล
2. อัตราการไหลของอากาศที่ป้อนเข้าเตา
3. คุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิง
4. ระยะเวลาในการทดลอง โดยทำการจดบันทึกข้อมูล 10 นาทีต่อ 1 ครั้ง

การทดลองผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

การทดลองกระทำโดยการนำแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซีไฟเออร์ ซึ่งผ่านกระบวนการทำความสะอาดแก๊ส และลดอุณหภูมิแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์แก๊สโซลีน ที่ได้ทำการปรับปรุงระบบป้อนเชื้อเพลิงให้สามารถรองรับการใช้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยในช่วงเริ่มต้นเครื่องยนต์ทำงานโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ทำการปรับอัตราส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์กับอากาศให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ และมีความเร็วรอบการทำงานที่เหมาะสม สำหรับการผลิตไฟฟ้า โดยมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 220 – 250 V จึงทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่างๆดังนี้ หลอดไฟส่องสว่างขนาด 10 kW แล้วบันทึกข้อมูลต่างๆดังนี้

1. อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิง ด้วยเทอร์โมคัปเปิล
2. คุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิง
3. ระยะเวลาในการทดลอง โดยทำการจดบันทึกข้อมูล 10 นาทีต่อ 1 ครั้ง
4. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้

4.4 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ผลิตจากการแปรรูปเชื้อเพลิง ด้วยเตาผลิตแก๊สซีไฟเออร์แบบเบดนิ่ง อากาศไหลลง ทดลองโดยกำหนดปริมาณการป้อนเชื้อเข้าเตาผลิตแก๊สที่ 20 kg และอัตราการไหลของอากาศที่ 38.88 m³/hr. เป็นระดับแรงลมสูงสุดที่ตัวเครื่องสามารถทำได้ เพราะผลจากการทดลองใช้งานตัวเครื่องด้วยเชื้อเพลิงอัดเม็ด(สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, และคณะผู้วิจัย, 2557) แสดงให้เห็นว่าเป็นค่าที่ดีที่สุด ของเครื่องที่เราใช้ดำเนินการทดลอง ซึ่งจะทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ที่มี

องค์ประกอบต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้จากการวัดที่เวลาต่างๆ ตลอดช่วงการผลิตแก๊สจำนวน 4 ครั้ง ในระหว่างการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์

โดยทำการทดสอบทางตาลโตนด เปลือกจากผลตาลโตนดตากแห้ง และเปลือกจากผลตาลโตนดตากแห้งที่อัดขึ้นรูป

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (ทางตาลโตนด)

ครั้งที่	ผลการทดสอบ					
	O ₂ (%)	CO(%)	CO ₂ (%)	NO(PPM)	FT (°C)	NO _x (PPM)
1	0.07	19.31	8.7	345	200	374
2	0.08	24.75	9.1	390	210	409
3	0.11	24.55	8.5	343	225	350
4	0.09	25.34	9.2	320	231	310
ค่าเฉลี่ย	0.09	23.49	9.09	350	217	360

การหาองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ของเปลือกจากผลตาลโตนดตากแห้ง นั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากมวลความหนาแน่นของวัตถุดิบเชื้อเพลิงต่ำ ทำให้เชื้อเพลิงที่ออกมาไม่คงที่ และการไหลลงของวัตถุดิบเชื้อเพลิงติดขัด จึงดำเนินการทดลองโดยการอัดขึ้นรูปเป็นเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง โดยใช้กาวจากแป้งข้าวเหนียวเป็นตัวประสาน ในอัตราตัวประสาน 10%

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (เปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง)

ครั้งที่	ผลการทดสอบ					
	O ₂ (%)	CO(%)	CO ₂ (%)	NO(PPM)	FT (°C)	NO _x (PPM)

1	0.13	20.31	8.5	302	200	374
2	0.15	21.75	8.2	287	214	385
3	0.12	22.50	9.5	301	225	350
4	0.08	22.34	9.1	310	232	320
ค่าเฉลี่ย	0.12	21.73	8.83	300	218	357

จากการทดลองได้มีการนำแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์บางส่วนมาจุดไฟที่หัวเผาที่ใช้ในการทดลอง ส่วนแก๊สเชื้อเพลิงที่เหลือได้นำไปเก็บไว้ในถังพักแก๊ส (Gas Tank) สำหรับการวัดองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ จะใช้เครื่องวัดองค์ประกอบแก๊ส (Gas analyzer) รูปที่ 4.12 ซึ่งทำหน้าที่วิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สที่ได้จากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง สามารถอ่านเปอร์เซ็นต์ของ CO, CO₂, O₂, NO, NO₂ และอุณหภูมิที่ตำแหน่งตรวจสอบแก๊สโดยมี อุปกรณ์เก็บแก๊ส ดังรูปที่ 4.13 ใช้ในการดูดแก๊สเพื่อส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส

เครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้และก๊าซมลพิษจากปล่องไอเสีย รุ่น Testo 350 XL ช่วงการวัดค่าและความถูกต้องในการวัด

- อุณหภูมิ -40 ถึง +1,200 °C ± 0.1 °C
- O₂ 0 ถึง 25%Vol. ± 0.2 %Vol.
- CO 0 ถึง 10,000 ppm ± 10 ppm (0 to 200 ppm)
- NO 0 ถึง 3,000 ppm ± 5 ppm (0 to 99 ppm)
- NO₂ 0 ถึง 500 ppm ± 10 ppm (0 to 199 ppm)
- CO₂ 0 ถึง 50%Vol. ± 0.3%Vol
- H₂S 0 ถึง 300 ppm ± 2 ppm (0 to 39.9 ppm)
- HC 100 ถึง 40,000 ppm
- Differential pressure ± 200 hPa ± 0.1 hPa
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Efficiency) 0 ถึง 120%
- ความร้อนสูญเสีย (Flue gas loss) 0 ถึง 99.9%
- สามารถเจือจางแก๊สความเข้มข้นสูง (Dilution) ได้ถึง 40 เท่า



รูปที่ 4.12 เครื่องวัดองค์ประกอบแก๊ส (Gas analyzer)



รูปที่ 4.13 อุปกรณ์เก็บแก๊ส

4.5 การทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล

เป็นการทดลองที่เผาเชื้อเพลิงชีวมวลในเตาแก๊สซีพีเออร์ให้ได้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ออกมา โดยปรับอัตราการไหลของอากาศป้อนเข้าเตาให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง (ระดับการทำงานของพัดลม) เพื่อหาคุณสมบัติ ปริมาณสารมลทิน และอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ที่เวลาต่างๆ โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ค่าของคุณสมบัติ อุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่อัตราการไหลของอากาศ 38.88 m³/hr. แสดงดังตาราง 4.5 ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากทางตาลโตนด 20 kg และแสดงดังตาราง 4.6 ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง 20 kg

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากทางตาลโตนด 20 kg

เวลา Min.	อุณหภูมิ °C	การเปลี่ยนแปลง ขณะทดลอง
0	30	เริ่มการจุดไฟในเตาเผาด้วยเชื้อเพลิง 5 kg เติมเชื้อเพลิง 15 kg
10	108	ติดไฟ, ควันลดลง
20	185	คุณภาพแก๊สเริ่มดี
30	275	คุณภาพแก๊สดี
40	280	”
50	282	”
60	285	”
70	288	”
80	300	”
90	252	”
100	243	แก๊สเริ่มหมด
110	241	ควันผสมมาก
120	240	”
130	232	ไฟดับ

จากผลการทดลองพบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะเริ่มจุดไฟติดนาที่ที่ 10 จนถึงนาที่ที่ 130 ไฟจึงดับ ติดไฟเป็นเวลา 120 นาที่ และนาที่ที่ 20 แก๊สเชื้อเพลิงจะมีคุณภาพดีปานกลาง และนาที่ที่ 30-90 (70 นาที่) แก๊สเชื้อเพลิงจะมีคุณภาพดีมาก เมื่อทดลองเสร็จจึงได้ทำการตรวจสอบปริมาณซีแก่้าที่เหลือในเตาจะได้ประมาณ 1.01 kg ปริมาณน้ำมันดินประมาณ 0.2 kg และปริมาณตะกอนในถังน้ำได้เตามีปริมาณ 0.12 kg

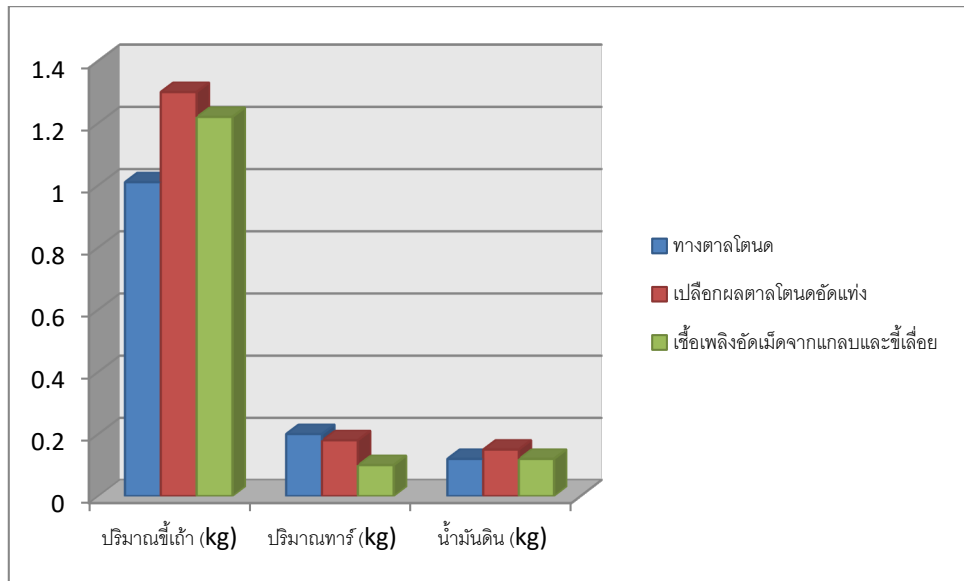
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง 20 kg

เวลา Min.	อุณหภูมิ °C	การเปลี่ยนแปลง ขณะทดลอง
0	35	เริ่มการจุดไฟในเตาเผาด้วยเชื้อเพลิง 5 kg เติมเชื้อเพลิง 15 kg

10	100	เกิดควัน
20	182	ติดไฟ, ควันลดลง
30	234	คุณภาพแก๊สเริ่มดี
40	240	คุณภาพแก๊สดี
50	258	„
60	262	„
70	243	„
80	241	แก๊สเริ่มหมด
90	240	ควันผสมมาก
100	238	„
110	232	ไฟดับ

จากผลการทดลองพบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะเริ่มจุดไฟติดนาฬิกาที่ 20 จนถึงนาฬิกาที่ 110 ไฟจึงดับ ติดไฟเป็นเวลา 90 นาที และนาฬิกาที่ 40-70 (50 นาที) แก๊สเชื้อเพลิงจะมีคุณภาพดีมาก โดยสังเกตจากมีควันผสมออกมาน้อย เมื่อทดลองเสร็จได้ทำการตรวจสอบปริมาณซีเถ้าที่เหลือในเตาจะได้ 1.3 kg ปริมาณน้ำมันดิน 0.18 kg และปริมาณตะกอนในถังน้ำใต้เตา 0.15 kg

จากการทดลองที่ผ่านมานั้น สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการทดลองก็คือส่วนของปริมาณสารมลทินที่เหลือจากการเผาไหม้ ซึ่งเก็บรายละเอียดข้อมูลได้หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาผลิตแก๊สหมดแล้ว ประกอบด้วยปริมาณซีเถ้า ปริมาณทาร์ น้ำมันดิน และปริมาณตะกอนในน้ำ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การเทียบปริมาณสารมลพิษ

จากรูปที่ 4.13 พบว่า ผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากทางตาลโตนด และผลการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง มีปริมาณสารมลพิษที่ใกล้เคียงกัน เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากแกลบและขี้เถ้า เมื่อเทียบกับการทดลองที่ใช้อัตราการไหลของอากาศ $38.88 \text{ m}^3/\text{hr}$. เพื่อจะมีปริมาณสารมลพิษน้อยที่สุด (สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, และคณะผู้วิจัย, 2557)

4.6 การทดลองการทำงานของระบบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

เป็นการทดลองที่เผาเชื้อเพลิงชีวมวลจากทางตาลโตนดเพลิง และจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้งน้ำหนัก 20 kg ในเตาผลิตแก๊สให้ได้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ออกมา โดยปรับอัตราการไหลของอากาศป้อนเข้าเตาให้มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง จากนั้นนำแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า โดยกำหนดค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเป็น 1:1 ซึ่งข้อมูลการทดลองสามารถดูได้จากตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากทางตาลโตนด 20 kg

เวลา Min.	อุณหภูมิ °C	การเปลี่ยนแปลง ขณะทดลอง
0	38	เริ่มการจุดไฟในเตาเผาด้วยเชื้อเพลิง 5 kg เติมเชื้อเพลิง 15 kg
10	108	ติดไฟ, ควันลดลง
20	185	คุณภาพแก๊สเริ่มดี
30	275	คุณภาพแก๊สดี
40	278	เครื่องยนต์ติด, เครื่องปั่นไฟปั่นได้ 250 V ทดสอบกระแสไฟฟ้า และเสียบหลอดไฟ
50	272	„
60	280	„
70	281	„
80	282	„
90	275	„
100	253	„
110	248	เครื่องยนต์ดับ, ไฟดับ
120	249	เผาชีวมวลที่ตกค้าง
130	242	ปิดพัดลม

ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากทางตาลโตนด 20 kg เมื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงกลับสู่สภาวะปกติแล้วจึงได้นำแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 70 นาที ปั่นกระแสไฟฟ้าได้ 220-250 V เมื่อทดลองเสร็จจึงได้ทำการตรวจสอบปริมาณซีเถ้าที่เหลือในเตาจะได้ 1.10 kg ปริมาณน้ำมันดิน 0.28 kg และปริมาณตะกอนในถังน้ำได้ตามีปริมาณ 0.06 kg และการทดลองครั้งนี้ได้มีการควบแน่นของแก๊สที่ชุดกรองอากาศ ทำให้มีน้ำอยู่ ประมาณ 0.12 kg

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง 20 kg

เวลา Min.	อุณหภูมิ °C	การเปลี่ยนแปลง ขณะทดลอง
0	35	เริ่มการจุดไฟในเตาเผาด้วยเชื้อเพลิง 5 kg เติมเชื้อเพลิง 15 kg
10	105	ติดไฟ, ควันลดลง
20	180	คุณภาพแก๊สเริ่มดี
30	240	คุณภาพแก๊สดี
40	245	เครื่องยนต์ติด, เครื่องปั่นไฟปั่นได้ 250 V ทดสอบกระแสไฟฟ้า และเสียบหลอดไฟ
50	250	„
60	258	„
70	256	„
80	242	„
90	238	เครื่องยนต์ดับ, ไฟดับ
100	235	เผาชีวมวลที่ตกค้าง
110	230	ปิดพัดลม

ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าจากจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง 20 kg เมื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงกลับสู่สภาวะปกติแล้วจึงได้นำแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้มาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 50 นาที ปั่นกระแสไฟฟ้าได้ 220-250 V เมื่อทดลองเสร็จจึงได้ทำการตรวจสอบปริมาณขี้เถ้าที่เหลือในเตาจะได้ 1.30 kg ปริมาณน้ำมัน

ดิน 0.30 kg และปริมาณตะกอนในถังน้ำใต้เตามีปริมาณ 0.07 kg และการทดลองครั้งนี้ได้มีการ
ควบแน่นของแก๊สที่ชุดกรองอากาศ ทำให้มีน้ำอยู่ ประมาณ 0.10 kg

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากเป้าประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเตาผลิตแก๊สชีววมวลจากวัสดุเหลือใช้ของตาลโตนด ที่มีจำนวนมากในพื้นที่ของจังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นการสร้างพลังงานทางเลือกให้เพิ่มมากขึ้น โดยการทดสอบนี้ได้เลือกใช้ส่วนต่างๆ ของตาลโตนดมาทดสอบดังต่อไปนี้ ทางตาลโตนด ผลตาลแก่ ใบตาลโตนด และเปลือกจากผลตาลโตนด มีผลการทดสอบดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของทางตาลโตนด ผลตาลแก่ ใบตาลโตนด และเปลือกจากผลตาลโตนด พบว่าวัสดุที่นำมาทดสอบให้ค่าความร้อนดังต่อไปนี้ 4,020 cal/g, 3,955 cal/g, 4,040 cal/g และ 4,010 cal/g ตามลำดับ และเกิดเถ้าจากการเผาไหม้ 1.41%, 3.45%, 5.00% และ 3.57% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแกลบ พบว่าวัสดุเหลือใช้จากตาลโตนดให้ค่าความร้อนด้านสูงสูงกว่าเชื้อเพลิงแกลบ และมีปริมาณขี้เถ้าน้อยกว่าเชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งถือว่าวัสดุเหลือใช้จากตาลโตนดให้ผลที่ดีกว่าแกลบ

5.1.2 สรุปผลการทดลองการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของทางตาลโตนด ผลตาลแก่ ใบตาลโตนด และเปลือกจากผลตาลโตนด พบว่าวัสดุที่นำมาทดสอบมีปริมาณคาร์บอนดังต่อไปนี้ 44.36%, 42.30%, 44.27% และ 42.90% ตามลำดับ ถือว่าที่ให้ผลที่ดีกว่าแกลบ มีปริมาณไฮโดรเจนต่อดังต่อไปนี้ 6.29%, 6.18%, 6.34% และ 5.49% ตามลำดับ ถือว่าที่ให้ผลที่ดีกว่าแกลบ ปริมาณซัลเฟอร์ต่อดังต่อไปนี้ 0.04%, 0.04%, ไม่สามารถวัดค่าได้ และ 0.13% ตามลำดับ พบว่าทางตาลโตนด ผลตาลแก่ และใบตาลโตนด มีปริมาณซัลเฟอร์น้อยกว่าเชื้อเพลิงแกลบ ถือว่าที่ให้ผลที่ดีกว่าแกลบ

5.1.3 สรุปผลการทดลองหาองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ผลิตจากการแปรรูปเชื้อเพลิง ด้วยเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบเบตนิ่งอากาศไหลลง การทดลองนี้ได้พิจารณาใช้วัสดุที่นำมาทดลองดังนี้ ทางตาลโตนด เปลือกจากผลตาลโตนด และเปลือกจากผลตาลโตนดอัดแท่ง เนื่องจากใบตาลนั้นมีปริมาณและน้ำหนักไม่เหมาะสมกับการใช้ร่วมกับเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบเบตนิ่งอากาศไหลลง ส่วนของผลตาลแก่ส่วนมากถูกนำไปเพาะให้งอกเพื่อเอา

จาวตาลไปทำอาหารซึ่งเป็นการสร้างรายได้ที่มากกว่าการนำมาเป็นเชื้อเพลิง และผลของตาลแก่จะ แข็งมากไม่เหมาะที่จะนำมาย่อยให้เหมาะสมกับการใช้งานด้วยตัวเครื่องที่มีอยู่ ในส่วนของเปลือกจาก ผลตาลโตนดนั้นมีปริมาณมาก แต่เมื่อนำมาตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเบาจึงทำการทดสอบสองรูปแบบ คือใช้งานโดยตรง และบดอัดขึ้นรูป ในที่สุดที่เหมาะสมกับการทดลองที่สุดคือทางตาลโตนดเนื่องจาก มีปริมาณมาก โครงสร้างมีความเหมาะสม ผลจากการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 โดยทางตาลโตนด และเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง ให้ผลค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคือ 23.94 และ 21.73 ซึ่งให้ผลการทดลองที่ดีให้ค่าใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงอัด ในส่วนของการทดลองกับ เปลือกจากผลตาลโตนดตัวเครื่องไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เพราะน้ำหนักวัสดุเชื้อเพลิงเบาเกินไป

5.1.4 สรุปการทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล จากทางตาลโตนด พบว่าที่การ ทดลองที่ใช้อัตราการไหลของอากาศ ($38.88 \text{ m}^3/\text{hr.}$) จะมีเวลาในการจุดติดไฟของแก๊สเชื้อเพลิงที่ หัวเผา คือนาทีที่ 10-130 (120 นาที) มีอุณหภูมิภายในเตาที่อยู่ในช่วง $30 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$ คุณภาพแก๊ส เชื้อเพลิงที่ได้จะดีปานกลางที่นาทีที่ 10-30 (20 นาที) อุณหภูมิระหว่าง $108 - 275 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยจะมีควัน ผสมออกมา และคุณภาพแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะดีมากที่นาทีที่ 30-90 (60 นาที) และจากเปลือกผล ตาลโตนดอัดแห้งที่การทดลองที่ใช้อัตราการไหลของอากาศ ($38.88 \text{ m}^3/\text{hr.}$) จะมีเวลาในการจุดติด ไฟของแก๊สเชื้อเพลิงที่หัวเผาที่ 20-110 (90 นาที) มีอุณหภูมิภายในเตาอยู่ในช่วง $35 - 262 \text{ }^\circ\text{C}$ คุณภาพแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะดีมากที่นาทีที่ 40-80 (40 นาที)

5.1.5 สรุปการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ จากทางตาลโตนด เมื่อคุณภาพ แก๊สดีจึงเริ่มนำแก๊สไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่นาทีที่ 40 เครื่องยนต์ทำงาน ต่อเนื่องด้วยแก๊สเชื้อเพลิงเป็นเวลา 70 นาที ขับเครื่องปั่นไฟฟ้าได้ 220-250 V. ผลิตไฟฟ้าได้ 5 kW และประสิทธิภาพรวมของระบบประมาณ 55.00 % สามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับ หลอดไฟ ขนาดภาระทั้งหมด 5 kW คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้ 5.83 kW/h และจากเปลือกผลตาลโตนดอัดแห้ง เมื่อคุณภาพแก๊สดีจึงเริ่มนำแก๊สไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่นาทีที่ 40 เครื่องยนต์ ทำงานต่อเนื่องด้วยแก๊สเชื้อเพลิงเป็นเวลา 50 นาที ขับเครื่องปั่นไฟฟ้าได้ 220-250 V. ผลิตไฟฟ้าได้ 5 kW และประสิทธิภาพรวมของระบบประมาณ 55.00 % สามารถใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับ หลอดไฟขนาดภาระทั้งหมด 5 kW คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ได้ 4.17 kW/h

จากผลการทดลองทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าทางตาลโตนดมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็น เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณของวัตถุดิบ

ลักษณะของวัตถุดิบที่เอื้ออำนวย และผลการทดสอบในรูปแบบต่างๆ ในส่วนของวัสดุอื่นนั้นสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลได้เช่นกัน แต่จะต้องมีการอัดขึ้นรูป หรือแปลงสภาพให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน ซึ่งจะให้มีต้นทุนสูงขึ้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการทดลองครั้งนี้ มีอุปสรรคที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของขั้นตอนการทดลองและข้อมูลการทดลอง มีสาเหตุดังต่อไปนี้

5.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยผลิตแก๊สชีวมวลของทีมงานวิจัยไม่สามารถทำการติดตั้งให้สามารถทำงานได้ เนื่องจากปัญหาพื้นที่ติดตั้ง ทำให้ต้องจ้างเหมาทดสอบผล

5.2.2 การทดลองนอกสถานที่ ผู้ทดลองจึงเสียเวลาในการเดินทางและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้นมาก

5.2.3 การประเมินผลรายงานการดำเนินการ การทำงานช่วงที่หนึ่งเพื่อขอรับเงินรอบที่สอง ใช้ระยะเวลาานาน 5 เดือน ซึ่งทำให้การทดลองไม่ต่อเนื่อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรทดลองเพิ่มเติมในการอัดขึ้นรูปวัสดุเพื่อหาอัตราส่วนตัวประสานให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- ราชภัฏเพชรบุรี, มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.). ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมหาวิทยาลัย [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม, 2557, จาก <http://www.pbru.ac.th/th/index.php/about-pbru>
- รังสิต, มหาวิทยาลัย. (2556, ตุลาคม 25). งวงตาล. หนังสือพิมพ์รังสิต [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม, 2557, จาก www.jr-rsu.net/article278
- กานดา แสนมณี. (ม.ป.ป.). จาวตาลโตนด หวานกรอบอร่อย [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม, 2557, จาก <https://www.gotoknow.org/posts/509271>
- จรุงศักดิ์ ธรรมรักษ์. (ม.ป.ป.). โครงการตามหาต้นตาลที่สูงที่สุดของจังหวัดเพชรบุรี [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 ตุลาคม, 2557, จาก http://www.phetchaburi.doe.go.th/pb2013/tan_phet/tan2.htm
- สำเร็จ จักรใจ. (2547). การเผาไหม้. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์.
- ศิริบุษ จินดารักษ์. (2548). เทคโนโลยีพลังงาน. เอกสารประกอบการสอน. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Bhattacharya, S. C., Salama, P. A., Runqing, H., Somashekar, H. I., Racelis, D. A., Rathnasirie, P. G., & Yingyuad, R. (2005). An Assessment of the Potential for Non-Plantation Biomass Resources in Selected Asian Countries for 2010. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 29, pp. 153–166.
- Kaew-On, J. Waewsak, J., Mani, M., & Phethuayluk, S. (2006). Biomass Conversion Technology: Gasification. *Thaksin Science Journal*, Vol. 2, pp. 56–67.
- วิไลพร ลักขมีวาณิชย์, และคณะ. (2554). พฤติกรรมการยอมรับถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าวของ ชุมชนตำบลช่างเคิ่ง อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. จังหวัดเชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- Zainal, Z. A., Ali, R., Lean, C. H., & Seetharamu, K. N. (2001). Prediction of Performance of a Downdraft Gasifier using Equilibrium Modeling for Different Biomass Materials. *Energy Conversion and Management*, Vol. 42, pp. 1499-1511.
- Ganan, J., Turegano, J. P., Calama, G., Roman, S., & Kassir, A. A. (2006). Plant for the Production of Activated Carbon and Electric Power from the Gases Originated in Gasification Processes. *Fuel Processing Technology*, Vol. 87, pp. 117-122.

- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. (2529). รายงานวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงชีว(โครงการเชื้อเพลิงแข็ง). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และคร้วเรือน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 6 (11), 66-76.
- ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืน และถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน. ปรินญาณินพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). การประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
- วีระชัย อัจฉาญ, และคณะผู้วิจัย. (2550). การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน. การประชุมเชิงวิชาการ เรื่องโรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร. นครราชสีมา.
- วนิดา จาดดา. (2548). การศึกษาคูณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว. ปรินญาณินพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชาญยุทธ เทพพานิช. (2552). การผลิตและทดสอบคุณสมบัติของถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากมันสำปะหลัง และกากตะกอนน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ. สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- ชมธิดา ชื่นนิยม. (2553). การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำรวม โกลลานนท์. (2553). การศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจากกากไขมัน และกากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สุรีย์ จรูญศักดิ์. (2543). การศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเพื่อใช้ในการผลิตเซรามิกส์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บวรพรรณ คดีการ. (2529). ตัวกรองที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านไม้. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Arthayukti, W. (1984). Air Gasification of Corn Cobs in a Tubular Open Top Batch Gasifier. Biomass Gasification in Thailand. National Energy Administration. Ministry of Science Technology and Energy.

Hoi, W. K. (1992). Development of a 35 kW Rubber Wood Gasifier. *Second International Energy Conference on Energy from Biomass Residues*. Kuala Lumpur.

สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, สุภาดา ขุนณรงค์, สุริรัตน์ เทมวรรณ, และนิรุช ล้ำเลิศ. (2557). งานวิจัยการผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวลสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนาดเล็กในจังหวัดเพชรบุรี. เพชรบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.