

การจัดการเชื้อเพลิงร่วมในโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาเชื้อเพลิงจากแกลบร่วมกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส



นายกำชัย วงศ์วัฒนเกียรติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CO-FUEL MANAGEMENT FOR BIOMASS POWER PLANT: CASE STUDY OF RICE HUSK
AND EUCALYPTUS BARK CO-FUEL

Mr. Kamchai Wongwattana



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจัดการเชื้อเพลิงร่วมในโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษา
เชื้อเพลิงจากแกลบร่วมกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

โดย

นายกำชัย วงศ์วัฒนเกียรติ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร. สุภวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรณนะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร. สุภวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. ธงชัย กลิ่นห้าน)

คำชัย วงศ์วัฒนเกียรติ : การจัดการเชื้อเพลิงร่วมในโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาเชื้อเพลิงจากแกลบร่วมกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (CO-FUEL MANAGEMENT FOR BIOMASS POWER PLANT: CASE STUDY OF RICE HUSK AND EUCALYPTUS BARK CO-FUEL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร. สุภวัฒน์ วิวรรณภักดิ์, 87 หน้า.

ความแตกต่างกันในลักษณะทางกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นอุปสรรคต่อการกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวล งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงสองชนิดคือ แกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเนื่องจากปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าชีวมวลเกิดขึ้นอย่างมากในประเทศไทยตอบรับแผนพัฒนาพลังงานทางเลือกของหน่วยงานรัฐ จึงทำให้เกิดปัญหาการแย่งชิงเชื้อเพลิงในพื้นที่ และไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายเข้าระบบ ซึ่งจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015 ที่มีการส่งเสริมการใช้ชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลถึง 5,750 เมกะวัตต์ ชี้ให้เห็นว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่จะต้องนำมาใช้เพื่อให้ได้การผลิตไฟฟ้าตามกำหนดหนั้นมีปริมาณมหาศาล แต่หากมีการพัฒนาคุณภาพของเชื้อเพลิงจะทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลงถึง 2 เท่าตัวของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงปกติ จากการทดลองจะพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงผสมที่มีการพัฒนาแล้วเพื่อนำมาใช้ในการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำสุดอยู่ที่ 7.82 ตันต่อชั่วโมง เมื่อเทียบกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงปกติหลังจากบดย่อยซึ่งอยู่ที่ 15.8 ตันต่อชั่วโมง จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันมาก แต่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของเชื้อเพลิงผสมที่เหมาะสมกับต้นทุนของการนำเชื้อเพลิงมาพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณภาพด้วย ซึ่งผลของการศึกษาอัตราส่วนและความคุ้มค่าพบว่าอัตราส่วนของการผสมเชื้อเพลิงระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และความคุ้มค่าในการพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงผสมที่เหมาะสมอยู่ที่หนึ่งต่อเก้าของหน่วยน้ำหนักตัน คือใช้แกลบในอัตราหนึ่งส่วน และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในอัตราเก้าส่วนของน้ำหนักรวมหนึ่งตันเพื่อนำมาเผาไหม้ในเตาเผาไหม้แบบตะกรับเลื่อนให้ได้ค่าความร้อนตามค่าพารามิเตอร์กำหนด แต่ต้องคำนึงถึงการนำเชื้อเพลิงร่วมไปใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่เตาเผาไหม้สามารถเผาไหม้ได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหากับระบบการทำงานด้วย

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุภาวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนะแนวทาง ขั้นตอน จนนำมาถึงความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน และภายนอกจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ลาวิ เอ็นจิเนียริง(ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ใช้งานห้องวิจัยเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพออกมาตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ ไม่ว่าจะเป็นการทดลอง เชื้อเพลิง หรือให้คำปรึกษาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่โรงไฟฟ้าชีวมวล 9.9 เมกะวัตต์ บริษัท ชัยโย เอเอ จำกัด อำเภอหนองน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการทางด้านพลังงานทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และทุกๆคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ และเป็นທີ່ปรึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนให้การสนับสนุนที่ดีเสมอมาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 นโยบายและการสนับสนุนจากภาครัฐบาล.....	6
2.1.1 ยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนของกระทรวงพลังงานในปี 2558-2579 มีดังนี้.....	7
2.1.2 เป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015.....	8
2.1.3 ผลประโยชน์ที่ประเทศจะได้รับ.....	9
2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย.....	9
2.2.1 ชีวมวลจากข้าว.....	10
2.2.2 ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส.....	10
2.3 ศักยภาพการผลิตชีวมวลในประเทศไทย.....	11
2.4 สถานการณ์พลังงานทดแทนในประเทศไทย.....	13

2.4.1 ความร้อน	14
2.5 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวล.....	15
2.5.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานชีวมวล	15
2.5.1.1 ระบบสโตรเกอร์ที่มีการป้อนเชื้อเพลิงจากทางด้านบนเข้าสู่เตา (Overfeed Stoker).....	16
2.5.1.2 ระบบสโตเกอร์แบบตะแกรงเคลื่อน (Travelling Grate Stoker).....	16
2.5.1.4 ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker).....	18
2.5.1.5 ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverized)	19
2.5.1.6 ระบบไซโคลน (Cyclone)	19
2.5.1.7 ระบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed).....	20
2.6 เชื้อเพลิง (Fuel).....	23
2.7 การเผาไหม้ (Combustion)	23
2.7.1 รูปแบบของการเผาไหม้	24
2.7.2 การประยุกต์ใช้.....	24
2.8 เคมีของการเผาไหม้ (Combustion Chemistry).....	25
2.9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	26
2.10 ความชื้น (Moisture).....	27
2.11 องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต	27
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	32
3.1 แนวทางการดำเนินการศึกษา.....	32
3.1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงสถิติของแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	32

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลราคาซื้อขายเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	32
3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
3.2.1 วัสดุ.....	33
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
3.3 สถานที่ทำการทดลอง	33
3.4 การวางแผนการทดลอง.....	33
3.4.1 การวางแผนการทดลองเชื้อเพลิงจากแกลบ	33
3.4.2 การวางแผนการทดลองเชื้อเพลิงจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....	34
3.4.3 การวางแผนการศึกษาราคาเชื้อเพลิงร่วมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	34
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล	36
4.1 ผลการศึกษาเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสถึงค่าความชื้น ค่าความร้อนที่เหมาะสมในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงผสม	36
4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพของแกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยให้ความสำคัญกับพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ได้แก่	36
4.1.2 ผลจากการลดค่าความชื้นเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	37
4.2 ผลจากการหาค่าความร้อนเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....	38
4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	39
4.4 การเปรียบเทียบราคาเชื้อเพลิงระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....	39
4.5 ต้นทุนในการเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....	40
4.6 อัตราส่วนของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....	41
4.6.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตามค่าความต้องการของเตาเผา.....	41

4.7 การเตรียมปริมาณเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อความต้องการของโรงไฟฟ้า	42
4.8 ต้นทุนของเชื้อเพลิงผสม ปริมาณความต้องการ และราคาเชื้อเพลิงผสม	42
4.9 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิง	46
4.9.1 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงแกลบ	46
4.9.2 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	46
4.9.3 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงร่วม	47
4.10 ความคุ้มค่าของการใช้เชื้อเพลิงร่วมในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์	49
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการศึกษา	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
รายการอ้างอิง	53
ภาคผนวก ก การหาผลการทดลองจากอุปกรณ์ทดลอง	56
ภาคผนวก ข วิธีการหาค่าจากอุปกรณ์การทดลอง	65
ภาคผนวก ค ข้อมูล ผลการทดลองและการคำนวณ	72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	87

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง 7
ตารางที่ 2	ประเภทเชื้อเพลิงชีวมวลทางการเกษตรและศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทย ปี 255611
ตารางที่ 3	แสดงจำนวนโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทยแบ่งตามภูมิภาค13
ตารางที่ 4	กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากปี 2552-255614
ตารางที่ 5	ความร้อนจากพลังงานทดแทนจากปี 2552-255615
ตารางที่ 6	แสดงวิธีการเผาไหม้ ชนิดของการเผาไหม้ และลักษณะสำคัญ22
ตารางที่ 7	ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....23
ตารางที่ 8	สภาพอากาศในพื้นที่ระหว่างทำการตากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....38
ตารางที่ 9	ปริมาณเชื้อเพลิงผสมที่ต้องการตามอัตราส่วน.....43
ตารางที่ 10	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวมตลอดระยะเวลา 1 ปี43
ตารางที่ 11	แสดงตัวอย่างผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) และมูลค่าปัจจุบันของ ผลประโยชน์สุทธิ (NPV).....49
ตารางที่ 12	ราคารับซื้อแกลบหน้าโรงสีในจังหวัดสุรินทร์72
ตารางที่ 13	ราคาและจำนวนรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในช่วงเดือนหน้าโรงไฟฟ้าชีวมวลใน จังหวัดขอนแก่น73
ตารางที่ 14	แสดงถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของห้องเผาไหม้.....73
ตารางที่ 15	ค่าการทดสอบเชื้อเพลิงแกลบ74
ตารางที่ 16	ค่าการทดสอบเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....75
ตารางที่ 17	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง 100 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ในการตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....76
ตารางที่ 18	ต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....77
ตารางที่ 19	ต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส.....77

สารบัญรูป

รูปที่ 1	เป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015	9
รูปที่ 2	เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่จากข้าวปี 2547-2556	10
รูปที่ 3	แสดงแผนที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในไทย	12
รูปที่ 4	การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย 2556	13
รูปที่ 5	ระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน	17
รูปที่ 6	ระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย	18
รูปที่ 7	ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง	18
รูปที่ 8	ระบบพัลเวอร์ไรส์	19
รูปที่ 9	ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบไฮโคลน	20
รูปที่ 10	ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟลูอิดไดซ์เบด	21
รูปที่ 11	แสดงแนวโน้มค่าความชื้นที่ลดลงหลังจากทำการตากแห้งเพื่อลดความชื้น	37
รูปที่ 12	เปลือกไม้ยูคาลิปตัสก่อนการตากแห้งและหลังการตากแห้ง	38
รูปที่ 13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	39
รูปที่ 14	สถิติราคาขายแกลบเพื่อใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์และราคาขายเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดขอนแก่น	40
รูปที่ 15	ต้นทุนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและต้นทุนการเพิ่มคุณภาพ	41
รูปที่ 16	เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัส	42
รูปที่ 17	สแลก (Slag) ที่เกิดขึ้นตามผนังของห้องเผาไหม้และตะกรับทำให้เกิดลมที่นำเข้ามาใช้ในห้องเผาไหม้ไม่สามารถไหลผ่านได้	44
รูปที่ 18	Clinker ที่เกิดจากการหลอมตัวของเชื้อเพลิงสาเหตุเกิดจากการกระจายตัวของเชื้อเพลิงไม่ดีพอในบางบริเวณมีการเผาไหม้ที่รุนแรงบางบริเวณมีการเย็นตัวลงสลับกัน	45
รูปที่ 19	แสดงให้เห็นถึงภายในห้องของหม้อต้มไอน้ำที่มีการอุดตันของซีเถ้าลอย (Fly Ash) เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนการผสมของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมากเกินไป	45

รูปที่ 20	เศษเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เหลือจากการเผาไหม้เนื่องจากมีค่าความชื้นสูงถูกลำเลียงออกมาจากห้องเผาไหม้.....	48
รูปที่ 21	การฝากตัว (Deposit) ของเถ้าลอยที่เกิดจากเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสบนท่อตรวจจับความร้อนของหม้อต้มไอน้ำ.....	48
รูปที่ 22	แสดงระยะเวลาการคืนทุนของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ที่การคำนวณหาต้นทุนจากค่ากำหนด.....	50
รูปที่ 23	ขนาดของถังตวงปริมาตรที่ใช้ในการทดลอง.....	56
รูปที่ 24	หน้าจอประมวลผลของ Moisture Analyzer.....	58
รูปที่ 25	ภายในห้องเผาไหม้ชนิดสโตเกอร์ (Stoker).....	62
รูปที่ 26	การเซตค่าศูนย์ของอุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความชื้น.....	65
รูปที่ 27	การใส่เชื้อเพลิงในงานทดลอง (Sample pan).....	66
รูปที่ 28	ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของวัสดุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	66
รูปที่ 29	การเตรียม vessel เพื่อทดลอง.....	67
รูปที่ 30	ใส่ขดลวดนำความร้อนและด้าย cotton ใน lid.....	68
รูปที่ 31	ทำการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงการนำไปทดลอง.....	68
รูปที่ 32	ขั้นตอนการนำเชื้อเพลิงใส่ใน Lid assembly.....	69
รูปที่ 33	ขั้นตอนการใส่ Lid assembly.....	69
รูปที่ 34	ขั้นตอนการอัดแรงดันเข้าไปใน vessel และนำ vessel ไปทำการทดลอง.....	70
รูปที่ 35	ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง Calorimeter และผลลัพธ์ที่ได้.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015 ที่มีการส่งเสริมการใช้ชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลจำนวน 5,570 เมกะวัตต์ และการผลิตพลังงานความร้อน 22,100 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบภายในปี 2579 [1] โดยการส่งเสริมและพัฒนาโครงการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตพลังงาน และสนับสนุนงานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบผลิตพลังงาน ที่สามารถใช้ชีวมวลที่มีภายในประเทศ เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด ครอบคลุม มีประสิทธิภาพ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และราคาที่แข่งขันได้ เพื่อสนับสนุนให้ประชาชนในท้องถิ่นมีส่วนร่วมในการผลิตระดับชุมชน

“ชีวมวล” [2] จัดเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่สะดวกนำมาใช้มากที่สุด โดยสามารถนำไปเผาไหม้เพื่อนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิต หรือนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมันดีเซล) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ตัวอย่างเช่น โรงงานน้ำตาลในประเทศไทย ได้นำขานอ้อยมาเผาให้ความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะถูกส่งเข้าสายส่งระบบไฟฟ้าต่อไป หรือโรงไฟฟ้าบางแห่งเผาแกลบเพื่อผลิตเป็นไฟฟ้าเพื่อขายให้กับการไฟฟ้า เป็นต้น

ประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เนื่องจากชีวมวลในประเทศไทยนั้นสอดคล้องกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของไทย ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวัตถุดิบจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ประเทศยังพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศในปริมาณที่สูง และการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวลจะเป็นการกระตุ้นรายได้ให้กับคนในภาคเกษตรกรรมของไทยซึ่งเป็นคนส่วนใหญ่ของประเทศ และพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศ

ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล (Biomass Energy Technology) ที่มีการใช้อยู่ภายในประเทศ และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในเทคโนโลยีใหม่ ๆ ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวลส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ (Direct Combustion) [3] ซึ่งมีความหลากหลายในการเผาไหม้และเหมาะสมกับวัตถุดิบที่เป็นชีวมวลจากการเกษตรภายในประเทศ เช่น แกลบ ขานอ้อย ชังข้าวโพด ฟืนบด เหง้ามันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลังบด เป็นชีวมวลจากการเกษตรที่มีอยู่มากมายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ แต่การที่มีโรงไฟฟ้าชีวมวลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 เปอร์เซ็นต์ ใน 10 ปี

(พ.ศ.2555-2564) เดิม [4] ทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลไม่เพียงพอ ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย และทำให้เกิดผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวลได้แก่

(1) ปริมาณชีวมวลที่ไม่แน่นอนขึ้นกับฤดูกาลและสภาพดินฟ้าอากาศซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้เชื้อเพลิงมีราคาที่สูงขึ้นตลอดทั้งปี

(2) ปริมาณชีวมวลที่มีอยู่ในโรงงาน และพื้นที่ใกล้เคียงมีไม่เพียงพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าที่ให้ผลตอบแทนในการลงทุนดีพอ

(3) ปริมาณของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เกิดขึ้นอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันมากเกินไปทำให้เกิดการแย่งชิงเชื้อเพลิงชีวมวลและเกิดการขาดแคลนเชื้อเพลิงชีวมวล

จากปัจจัยปัญหาที่ได้กล่าวมาโรงไฟฟ้าที่มีเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่เองและสามารถผลิตได้อย่างเช่น โรงสีข้าวที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าก็ได้รับผลกระทบนี้ด้วย เนื่องจากปัจจัยของฤดูกาลที่ไม่แน่นอน เช่น โรงไฟฟ้าศรีแสงดาว ขนาด 9.9 เมกะวัตต์ (จังหวัด ร้อยเอ็ด) โรงไฟฟ้ามุงเจริญพร ขนาด 18 เมกะวัตต์ (จังหวัดสุรินทร์) โรงไฟฟ้าสหกรีนฟลอเรส ขนาด 7.5 เมกะวัตต์ (จังหวัด กำแพงเพชร) จะพบว่าโรงไฟฟ้าเหล่านี้ตั้งอยู่ในพื้นที่ ที่มีการทำการเกษตรนาข้าวเป็นหลัก แต่กลับได้รับผลกระทบจากเชื้อเพลิงที่ไม่เพียงพอจากปัจจัยปัญหาที่ได้กล่าวไว้ จนเป็นสาเหตุให้ต้องจัดหาเชื้อเพลิงชนิดอื่นเข้ามาเป็นเชื้อเพลิงร่วมในโรงงานเพื่อให้โรงไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และเชื้อเพลิงที่สามารถจัดหาได้ง่าย ราคาถูก และไม่มีผลกระทบจากปัจจัยที่ได้กล่าวมาคือ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) [5] เป็นไม้ปลูกที่ส่งผลทางเศรษฐกิจสูง จากข้อมูลของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร สรุปไว้ว่า ไม้ยูคาลิปตัสจัดว่าเป็นไม้โตเร็วและเป็นไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายและเป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ จากรายงานของกรมพัฒนาที่ดินในปี พ.ศ.2544 พบว่ามีพื้นที่ปลูกยูคาลิปตัสทั้งสิ้น 2,408,78 ไร่ แยกเป็นสวนป่าในเขตป่าสงวน 754,332 ไร่ และสวนป่าเอกชนจำนวน 1,654,448 ไร่ ซึ่งสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัส ได้ประมาณ 6 ล้านตัน โดยนำมาใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ 60 เปอร์เซ็นต์ และเป็นเชื้อเพลิง 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้บริษัทเอกชนกลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัส เพื่อผลิตเยื่อกระดาษได้มีโครงการส่งเสริมการปลูกไม้ยูคาลิปตัสออกอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ปี พ.ศ. 2553 เกิดการขยายพื้นที่การเพาะปลูกไม้ยูคาลิปตัส อย่างรวดเร็ว จากเดิม 5 ล้านไร่ เป็น 10 ล้านไร่ โดยปัจจุบันสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัส ได้มากถึงปีละ 25 ล้านตัน เพียงพอและรองรับต่อการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเต็มที่ โดยต้นยูคาลิปตัสจะมีเปลือกไม้อยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ ของไม้สด หรือปริมาณเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 4.3 ล้านตันต่อปีคิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 1,120 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จากการสำรวจทั้ง 19 จังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า มีโรงงานสับไม้ยูคาลิปตัส 64 โรงงานเป็นโรงงานที่สับเฉพาะไม้ยูคาลิปตัส จำนวน 44 โรงงานและเป็นโรงงานที่สับไม้

ที่ปลูกขึ้นเฉพาะ 13 ชนิด อีก 20 โรงงาน จำนวนรับซื้อไม้ปีละ 5,092,393 ต้นจะมีเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ประมาณ 1,043,940 ต้นต่อปีและจากการประเมินพบว่าจำหน่ายให้โรงไฟฟ้าเพื่อเป็นเชื้อเพลิงคิดเป็น 49.82 เปอร์เซ็นต์ หรือ ประมาณ 520,130 ต้นต่อปี และจำหน่ายให้แก่เกษตรกรแต่เป็นจำนวนที่น้อยมาก โดยยังมีปริมาณเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เหลือ 50.18 เปอร์เซ็นต์ หรือ 523,810.18 ต้นต่อปี เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกของโรงไฟฟ้าชีวมวลในการนำมาผสมกับแกลบเพื่อให้ได้ปริมาณของเชื้อเพลิงที่มากขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการของโรงงาน แต่ต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนการผสมเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่อาจจะส่งกระทบ เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีส่วนผสมที่มีผลต่อระบบการทำงานของห้องเผาไหม้หรือหม้อต้มไอน้ำ

ซึ่งการนำแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาผสมกันเป็นเชื้อเพลิงร่วมนั้นจะต้องมีสัดส่วนที่ถูกต้องและเหมาะสมต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วม เนื่องจากแกลบมีค่าความชื้นค่อนข้างต่ำ ส่วนเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความชื้นที่สูง โดยส่วนมากกลุ่มโรงไฟฟ้าที่ใช้แกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกันเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วมจะมองข้ามและขาดความเข้าใจในส่วนนี้ไป ทำให้ประสิทธิภาพลดลงและการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ได้ไม่เป็นไปตามกำหนดของการออกแบบ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของการผสมเชื้อเพลิงชีวมวลระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เพื่อใช้ในการเผาไหม้ในส่วนของคุณสมบัติทางด้านเทคนิคของค่าความร้อน ความชื้น และอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงเมื่อนำมาผสมกันเป็นเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งจะนำมาพิจารณารวมกับข้อมูลเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นด้านความคุ้มค่าของราคาเชื้อเพลิงเมื่อนำมาผสมเป็นเชื้อเพลิงร่วมเพื่อเผาไหม้ และต้นทุนในการควบคุมค่าความชื้นของเชื้อเพลิงร่วม

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
2. เพื่อศึกษาค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ลักษณะทางการภาพที่เหมาะสมของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้เผาไหม้ร่วมกับแกลบ
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ความคุ้มค่าทางด้านราคาของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในแต่ละฤดูกาล ให้ความรู้ความต่อเนื่องต่อการใช้งานในโรงไฟฟ้าชีวมวลตลอดทั้งปี

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงหลักการผสมเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ได้ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการและลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
2. สามารถวางแผนการจัดเตรียมปริมาณเชื้อเพลิงแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสให้เหมาะสมในแต่ละฤดูกาล เพื่อความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ในเตาเผาของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์
3. สามารถวิเคราะห์ราคาของเชื้อเพลิงแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในแต่ละฤดูกาล
4. ลดต้นทุนการจัดซื้อเชื้อเพลิงซึ่งเป็นปัจจัย และลดผลกระทบของปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวล
5. สามารถคาดการณ์ถึงแนวโน้มของราคาแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในแต่ละฤดูกาล เพื่อนำไปวางแผนในการจัดเก็บเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อการใช้งาน
6. สามารถลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบในการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
7. สามารถจ่ายไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง และลดปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
8. เป็นแนวทางในการศึกษาเชื้อเพลิงร่วมชนิดอื่นนอกจากแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ค้นหาข้อมูลปริมาณของแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในแต่ละฤดูกาล
2. ค้นหาข้อมูลของราคาเชื้อเพลิงแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ณ ราคาปัจจุบันและย้อนหลัง
3. หาค่าคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อนำค่าที่ได้มาทำการวิจัย
4. หาค่าความชื้นที่เหมาะสมของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้ในการผสมกับแกลบ
5. นำค่าพารามิเตอร์ที่โรงไฟฟ้าชีวมวลกำหนดเพื่อใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงมาวิเคราะห์การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสม
6. หาอัตราส่วนของการผสมแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เหมาะสมจากค่าพารามิเตอร์ของห้องเผาไหม้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษา และเก็บข้อมูลรวบรวมกระบวนการเผาไหม้ของการทำงานและลักษณะของเตาเผาในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์
2. เก็บรวบรวม อัตราการใช้เชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ และคำนวณอัตราการใช้เชื้อเพลิงร่วมเปรียบเทียบกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงปกติ
3. ศึกษาผลกระทบจากการนำเชื้อเพลิงร่วมมาใช้ในการเผาไหม้ที่ก่อให้เกิดปัญหาการภายในห้องเผาไหม้ และหม้อต้มไอน้ำ
4. สรุปอัตราการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่เหมาะสมในโรงไฟฟ้าขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ความคุ้มค่าของราคาเชื้อเพลิงร่วม และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงร่วมในระยะเวลา 1 ปี



บทที่ 2

ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันความยั่งยืนทางด้านพลังงานในประเทศไทยถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศและการบริหารจัดการทรัพยากรพลังงานที่มีในประเทศถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อเสถียรภาพและความมั่นคงทางด้านพลังงานดังจะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากประเทศเพื่อนบ้านถึง 70 เปอร์เซ็นต์ [6] ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าประเทศไทยยังคงพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศทำให้เห็นชัดได้ว่าประเทศไทยยังขาดเสถียรภาพและความมั่นคงทางด้านพลังงานภายในประเทศ แต่เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งประชากรในประเทศไทยทำการเกษตรอยู่ที่ 22.7 ล้านคน หรือคิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรทั้งประเทศ [7] ทำให้มีสินค้าภาคการเกษตรที่หลากหลายมากมายออกสู่ตลาดและสิ่งที่ตามมาคือวัตถุดิบที่เหลือใช้ เศษวัตถุดิบทางการเกษตรที่ไม่มีการนำไปใช้แล้ว ก่อให้เกิดขยะทางการเกษตรที่มีปริมาณสูง แต่ขยะทางการเกษตรสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการก่อให้เกิดพลังงานได้ ซึ่งสร้างมูลค่าเพิ่มอย่างมากมายให้กับภาคการเกษตรในอีกด้านหนึ่ง และเรียกพลังงานนี้ว่า “พลังงานทดแทน”

2.1 นโยบายและการสนับสนุนจากภาครัฐบาล

ทางภาครัฐบาลได้มีการออกนโยบายเพื่อสนับสนุนพลังงานทางเลือกภายในประเทศ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานรูปแบบใหม่ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวภาพ เชื้อเพลิงชีวภาพ โดยในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015 เป็นแผนที่จัดทำขึ้นมาเพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลักและจากการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น อีกทั้งยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ

กระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคต โดยในปี 2579 คาดว่าจะมีความต้องการ 131,000 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 [7] และแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ได้มีเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ที่ 19,684.40 เมกะวัตต์ หรือคิดเป็นสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 20.11 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด ดังจะเห็นได้จาก

ตารางที่ 1 แสดงถึงสถานภาพและเป้าหมายการผลิตความร้อนจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง

ตารางที่ 1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง [1]

ประเภทเชื้อเพลิง	สถานภาพสิ้นปี 2557 (เมกะวัตต์)	สถานภาพสิ้นปี 2579 (เมกะวัตต์)
1. ขยะชุมชน	65.72	500.00
2. ขยะอุตสาหกรรม	-	50.00
3. ชีวมวล	2,415.82	5,570.00
4. ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย)	311.50	600.00
5. พลังงานน้ำขนาดเล็ก	142.01	376.00
6. ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)	-	680.00
7. พลังงานลม	224.47	3,002.00
8. พลังงานแสงอาทิตย์	1,298.51	6,000.00
9. พลังงานน้ำขนาดใหญ่	-	2906.40*
รวม(เมกะวัตต์)	4,494.03	19,684.40
สัดส่วนการผลิตจากพลังงานทดแทน (%)	9.81	20.11

*เป็นกำลังการผลิตติดตั้งที่มีอยู่ปัจจุบัน โดยพลังงานน้ำขนาดใหญ่ถูกรวมเป็นเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในแผน AEDP2015

2.1.1 ยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนของกระทรวงพลังงานในปี 2558-2579 มีดังนี้

ยุทธศาสตร์ที่ 1 การเตรียมความพร้อมด้านวัตถุดิบและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน

การพัฒนาความสามารถในการผลิต บริหารจัดการวัตถุดิบ ด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม

- กลยุทธ์ 1.1 พัฒนาวัตถุดิบทางเลือกอื่น และพื้นที่ที่มีศักยภาพเพื่อผลิตพลังงานทดแทน
- กลยุทธ์ 1.2 พัฒนาการรูปแบบการบริหารจัดการและการใช้วัตถุดิบพลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพ
- กลยุทธ์ 1.3 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับความสามารถการผลิตและการใช้พลังงานทดแทน
- กลยุทธ์ 1.4 ปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการผลิตการใช้พลังงานทดแทนอย่างเหมาะสม

ยุทธศาสตร์ที่ 2 การเพิ่มศักยภาพการผลิต การใช้ และตลาดพลังงานทดแทน

การผลักดันความสามารถในการผลิตและความต้องการพลังงานทดแทน

- กลยุทธ์ 2.1 สนับสนุนครัวเรือนและชุมชนให้มีส่วนร่วมในการผลิตการใช้พลังงานทดแทน
- กลยุทธ์ 2.2 ส่งเสริมให้เกิดการลงทุนด้านพลังงานทดแทนอย่างเหมาะสมแก่ผู้ผลิตและผู้ใช้ ทั้งในและต่างประเทศ
- กลยุทธ์ 2.3 ส่งเสริมการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพธุรกิจพลังงานทดแทน
- กลยุทธ์ 2.4 พัฒนากฎหมายด้านพลังงานทดแทน พร้อมทั้งเร่งรัดการปรับปรุงแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบเพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างเหมาะสม

ยุทธศาสตร์ที่ 3 การสร้างจิตสำนึกและเข้าถึงองค์ความรู้ ข้อเท็จจริงด้านพลังงานทดแทน

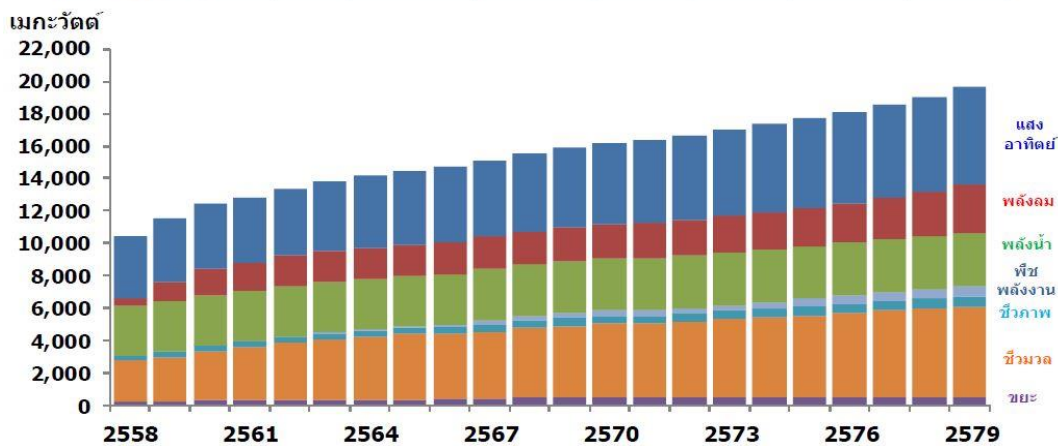
การสร้างความตระหนักและความรู้ความเข้าใจต่อการผลิตการใช้พลังงานทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

- กลยุทธ์ 3.1 พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการฐานข้อมูลด้านพลังงานทดแทน
- กลยุทธ์ 3.2 เผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสาร องค์ความรู้ และข้อมูลสถิติพลังงานทดแทน
- กลยุทธ์ 3.3 พัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความเข้าใจด้านพลังงานทดแทน เพื่อสร้างความสามารถในการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ
- กลยุทธ์ 3.4 พัฒนาเครือข่ายด้านพลังงานทดแทนที่เกี่ยวข้อง และสนับสนุนการมีส่วนร่วมของเครือข่ายทั้งในระดับประเทศและในระดับนานาชาติ

2.1.2 เป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015

เป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิงตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015 มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในภาพรวมของทั้งประเทศ ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิ ซึ่งสอดคล้องตามกรอบกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 ที่ระบุว่าจะให้มีส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ในช่วง 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ภายในปี 2579 ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นเป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015

ประเภท	ชยะ	ชีวมวล	ก๊าซชีวภาพ	พืชพลังงาน	พลังงาน	พลังงาน	แสงอาทิตย์	รวม
กำลังผลิตปี 2557	48	2,199	226	-	3,016	220	1,570	7,279
กำลังผลิตปี 2579	501	5,570	600	680	3,282	3,002	6,000	19,635



รูปที่ 1 เป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015 [1]

2.1.3 ผลประโยชน์ที่ประเทศจะได้รับ

การบรรลุเป้าหมายตามนโยบายที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนทั้งในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ ภายใต้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2015 เป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2579 จะเทียบเท่ากับการลดใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ราว 39,388 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งประเมินเป็นมูลค่าการลดใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ 590,820 ล้านบาท (ราคาน้ำมันดิบ 1 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ = 15 ล้านบาท) หรือประเมินเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อผลิตพลังงานได้ราว 140 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย

ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยแบ่งออกเป็นพื้นที่ตามภูมิภาคต่างๆ ในประเทศ โดยจากผลผลิตทางการเกษตรจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ซึ่งจากปริมาณการใช้ชีวมวลอย่างกว้างขวาง อาทิเช่น แกลบ กากอ้อย ชีวมวลเหล่านี้เป็นประเภทที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ประกอบการได้หาวิธีกำจัดโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ จนปัจจุบันเชื้อเพลิงเหล่านี้มีการซื้อ-ขาย และมีกลไกทางการตลาดจนครบวงจร ส่วนปริมาณชีวมวลอีกหลายชนิดพบว่ามามีปริมาณเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก อาทิเช่น ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์มเปล่า ทางใบและก้านปาล์ม เป็นต้น

2.2.1 ชีวมวลจากข้าว

จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปีเพาะปลูก 2556 ดังรูปที่ 2 มีปริมาณการผลิตข้าวทั้งประเทศเท่ากับ 28 ล้านตัน และคิดเป็นปริมาณแกลบเท่ากับ 3.95 ล้านตัน โดยเมื่อนำข้าวเปลือก 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆแล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 30-60 กิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อให้ได้ข้าวประมาณ 650-700 กิโลกรัม และมีวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิตหรือ แกลบประมาณ 220 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 90-125 กิโลวัตต์ชั่วโมง



รูปที่ 2 เนื้อที่ ผลิตผลผลิตต่อไร่จากข้าวปี 2547-2556 [8]

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.2 ชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส

ไม้ยูคาลิปตัสจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเป็นส่วนใหญ่ โดยผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัสทั้งประเทศอยู่ที่ 6 ล้านตันต่อปี มีชีวมวลเกิดขึ้นคือ ไม้พินและเปลือกไม้ โดยไม้พินจะถูกนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า สำหรับเปลือกไม้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน โดยปัจจุบันสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัส ได้มากถึงปีละ 25 ล้านตัน เพียงพอและรองรับต่อการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเต็มที่ โดยต้นยูคาลิปตัสจะมีเปลือกไม้อยู่ 20 เปอร์เซ็นต์ ของไม้สด หรือปริมาณเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 4.3 ล้านตันต่อปี คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 1,120 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสามารถนำมาเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงพลังงานได้

2.3 ศักยภาพการผลิตชีวมวลในประเทศไทย

ศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยจะประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นปริมาณชีวมวล ดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงประเภทเชื้อเพลิงชีวมวลทางการเกษตรและศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2556

ตารางที่ 2 ประเภทเชื้อเพลิงชีวมวลทางการเกษตรและศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2556 [4]

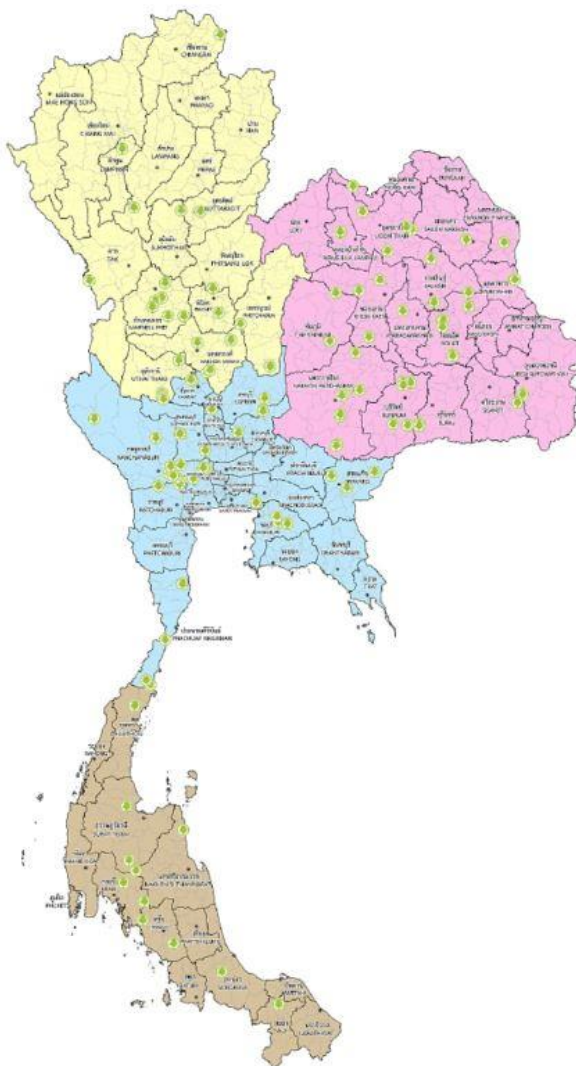
ประเภทชีวมวล	ปริมาณชีวมวลเหลือใช้** (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพการทดแทนพลังงาน	
			(TJ)	(ktoe*)
แกลบ	6,332,904	14.40	91,193.82	3,852.41
ซังข้าวโพด	956,875	16.78	16,056.36	678.29
ชานอ้อย	31,202,708	7.53	234,956.39	9,925.54
ทะลายปาล์ม	841,630	16.32	13,735.40	580.24
เปลือกไม้	4,970,157	8.38	41,649.92	1,759.47

*ktoe (Kiloton of Oil Equivalent) คือ พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

**ในการประเมินปริมาณชีวมวลเหลือใช้ ทำการประเมินจากปริมาณเศษพืชที่เหลือจากการแปรรูปทางการเกษตร เป็นเศษพืชที่ไม่มีการนำไปใช้ในขั้นตอนใด ๆ ในการแปรรูปแล้ว

จากศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยที่เหลือใช้อย่างมากมายทำให้มีการกำหนดแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ใหม่ ขึ้นโดยพลังงานชีวมวลถือเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่จะเข้ามาสร้างเสถียรภาพและความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศ โดยจากแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ใหม่ ได้มีการตั้งเป้าหมายของชีวมวลไว้ที่ 5,570 เมกะวัตต์ ภายในปี 2579 จากปี 2556 ที่มีกำลังการผลิตรวม 2,320.8 เมกะวัตต์ ทำให้มีการกระตุ้นการลงทุนในภาคพลังงานสูงขึ้น โดยรัฐบาลเป็นผู้เสนอให้นักลงทุนภาคเอกชนเข้ามาลงทุนในภาคพลังงานทดแทนและรัฐบาลเป็นผู้ประกันการรับซื้อเองตามเงื่อนไขสัญญาที่ทางภาครัฐได้กำหนด

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าชีวมวลในไทยได้รับการสนับสนุนมากมายจากภาครัฐบาลและสถาบันการเงินหลักของประเทศตลอดไปถึงการประกันการรับซื้อไฟฟ้าจากภาครัฐที่มีระยะเวลาการรับซื้อ 20 ปี และสำหรับกลุ่มโครงการเชื้อเพลิงชีวภาพในระยะเวลา 8 ปีแรกมีอัตรา FIT Premium เพิ่มขึ้น 0.3 บาทที่กำลัการผลิตมากกว่า 3 เมกกะวัตต์ของโรงไฟฟ้านั้นๆ ทำให้มีโรงไฟฟ้าชีวมวลเกิดขึ้นมากมายในประเทศไทย



รูปที่ 3 แสดงแผนที่ที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในไทย [9]

จากรูปที่ 3 แสดงถึงแผนที่ที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลในไทยในแต่ละภูมิภาคทั่วประเทศ ซึ่งมีโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีการกระจายตัว และมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยรวมมีโรงไฟฟ้าชีวมวลอยู่ทั้งหมด 542 แห่ง ตามระบบฐานข้อมูลของกองกำกับการกิจการพลังงานปี 2558 โดยแบ่งออกตามภูมิภาคดังตารางที่ 3

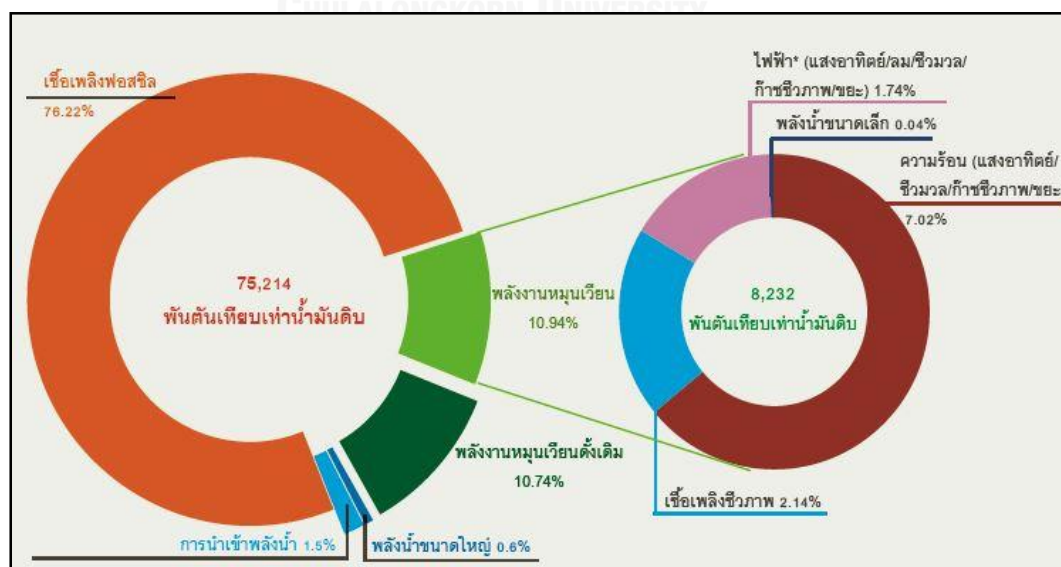
ตารางที่ 3 แสดงจำนวนโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทยแบ่งตามภูมิภาค [10]

แสดงข้อมูลจำนวนโรงไฟฟ้า(แห่ง) ทั่วประเทศ สถานะโรงไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน	
ภูมิภาค	โรงไฟฟ้าชีวมวล*
ภาคกลาง	131
ภาคตะวันออก	45
ภาคตะวันตก	50
ภาคเหนือ	60
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	174
ภาคใต้	82

*โรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีกำลังการผลิตไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ หรือผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมากที่มีกำลังการผลิตไม่เกิน 10 เมกะวัตต์

2.4 สถานการณ์พลังงานทดแทนในประเทศไทย

ในปี 2556 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 8,232 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปี 2555 ถึง 1.9 เปอร์เซ็นต์และคิดเป็น 0.9 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายส่งผลให้มีการลดการนำเข้าพลังงาน คิดเป็นมูลค่า 203,822 ล้านบาท ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25.25 ล้านตัน



รูปที่ 4 การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย 2556 [4]

โดยพบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงในรูปความร้อนมากที่สุด คิดเป็น 64.1 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมด โดยพลังงานความร้อนถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งกำลังผลิตติดตั้งไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน มีปริมาณรวม 3,788.46 เมกกะวัตต์ เพิ่มขึ้นจากปี 2555 ถึง 35.9 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4 โดยพบว่า มีกำลังการผลิตติดตั้งจากชีวมวลมากที่สุด คิดเป็น 61.3 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทดแทนทั้งหมด

ตารางที่ 4 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากปี 2552-2556 [4]

ไฟฟ้าจากพลังงาน ทดแทน	กำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้า*(MW)					อัตรา เปลี่ยนแปลง (เปอร์เซ็นต์) (2555-2556)
	2552	2553	2554	2555	2556	
แสงอาทิตย์	37.00	48.60	78.70	376.70	823.50	118.60
ลม	5.10	5.60	7.30	111.70	222.70	99.40
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	55.70	58.90	95.70	101.80	108.80	6.90
ชีวมวล	1,618.10	1,650.20	1,790.20	1,959.90	2,320.80	18.40
ก๊าซชีวภาพ	69.80	103.40	159.20	193.40	265.70	37.40
ขยะ	6.60	13.10	25.50	42.70	47.50	11.20
รวม	1,792.00	1,879.80	2,156.60	2,786.20	3,788.50	35.90

*รวมการผลิตไฟฟ้านอกกระบบ

ในแต่ละปีมีการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งเป็นผลมาจากนโยบายการพัฒนาพลังงานทดแทน ที่มีการกำหนดเป้าหมายให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นในทุกภาคส่วนของสังคม ซึ่งเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลแล้ว ยังเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศอีกด้วย จากรายงานการใช้พลังงานความร้อนจากชีวมวลจะเห็นว่า ชีวมวลมีการใช้พลังงานความร้อนมากที่สุด เนื่องจากชีวมวลได้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมากมายภายในประเทศ

2.4.1 ความร้อน

พลังงานความร้อนในการผลิตพลังงานทดแทนมีปริมาณ 5,279 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อน 8.1 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5 โดยพบว่าปริมาณการใช้ความร้อนจากพลังงานชีวมวลมีค่าสูงขึ้นทุกปี โดยในปี 2555-2556 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานความร้อนถึง 8 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเป็นปริมาณความร้อนได้ 348 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ตารางที่ 5 ความร้อนจากพลังงานทดแทนจากปี 2552-2556 [4]

ความร้อนจากพลังงานทดแทน	ความร้อน(พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)					อัตราเปลี่ยนแปลง (เปอร์เซ็นต์) (2555-2556)
	2552	2553	2554	2555	2556	
แสงอาทิตย์	0.90	1.80	2.00	3.50	4.50	13.50
ชีวมวล	2,987.00	3,449.00	4,123.00	4,346.00	4,694.00	8.00
ก๊าซชีวภาพ	188.00	311.00	402.00	458.00	495.00	8.10
ขยะ	1.00	1.10	1.70	78.00	85.00	8.90
รวม	3,177.00	3,763.00	4,529.00	4,886.00	5,279.00	8.00

จากข้อมูลทั้งหมดสรุปได้ว่าโรงไฟฟ้าชีวมวลมีกระจายอยู่ทั่วภูมิภาคของประเทศ จากการกระจายตัวของโรงไฟฟ้าชีวมวลและการลงทุนในภาคเอกชน โดยมีภาครัฐประกันราคาการรับซื้อกระแสไฟฟ้าทำให้เทคโนโลยีของโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทยมีความหลากหลายตามวัตถุดิบของแต่ละภูมิภาค แต่ก็จะมีเทคโนโลยีบางชนิดที่สามารถตอบสนองความต้องการทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่หลากหลายได้

2.5 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวล

ระบบการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวลมีความหลากหลายตามชนิดของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ ซึ่งองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลจะดูที่ ปริมาณ ขนาด ความชื้น และค่าความร้อน ดังนั้นจึงมีการออกแบบระบบการทำงานหลากหลายออกมาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการที่สูงที่สุด

2.5.1 เทคโนโลยีการผลิตพลังงานชีวมวล

เทคโนโลยีการผลิตพลังงานชีวมวล (Biomass Energy Technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานในรูปแบบของพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเทคโนโลยีปัจจุบันที่ใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ การเผาไหม้ตรง (Direct Combustion) การผลิตก๊าซชีวมวล (Gasification) และเทคโนโลยีที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ได้แก่ การผลิตน้ำมันจากชีวมวล (Bio-Oil) การผลิตพลังงานจากชีวมวลด้วยระบบ (Biomass Integrated Gasification Combine Cycle (BIGCC)) และการสกัดไฮโดรเจนจากชีวมวล

- (1) การเผาไหม้ตรง (Direct Combustion)

การเผาไหม้ตรงเป็นปฏิกิริยาเคมีที่มีการรวมตัวกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการลุกไหม้และการคายความร้อนออกมา โดยใช้ก๊าซออกซิเจน 23 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไนโตรเจน 77 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ก๊าซออกซิเจนสัมผัสกับผิวเชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ได้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกที่ผิว และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนนอกไซด์กับออกซิเจนเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และเทคโนโลยีที่ใช้การป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบการเผาไหม้ แบ่งรายละเอียดได้ดังนี้

(1.1) ระบบใช้แรงงานคนป้อนเชื้อเพลิง ระบบนี้ใช้คนที่มีประสบการณ์ในการทำงานโดยการกระจายเชื้อเพลิงให้สม่ำเสมอบนตะแกรงเตาไฟที่ทำจากเหล็กหล่อเป็นช่องๆคล้ายตารางหมากรุก อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ถูกส่งจากใต้เตาผ่านตะแกรงเผาไหม้ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ

(1.2) ระบบสโตรเกอร์ (Stoker) เป็นระบบที่อาศัยระบบเครื่องกลในการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาไหม้ ข้อดีของระบบนี้คือมีราคาถูก และสามารถเข้ากับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิดได้แต่ระบบสโตรเกอร์มีขีดความสามารถในการผลิตไอน้ำร้อนในระดับต่ำ ระบบสโตรเกอร์สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้สองชนิดคือ ระบบสโตรเกอร์ที่มีการป้อนเชื้อเพลิงจากทางด้านบนเข้าสู่เตา (Overfeed Stoker) และระบบสโตรเกอร์ที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

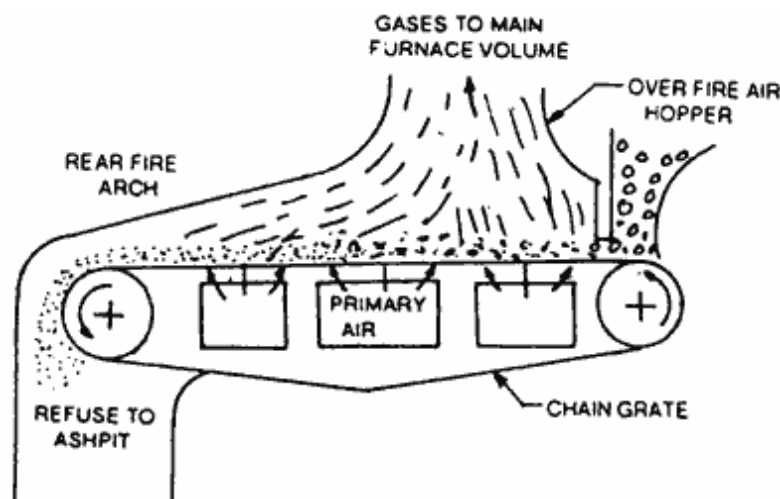
2.5.1.1 ระบบสโตรเกอร์ที่มีการป้อนเชื้อเพลิงจากทางด้านบนเข้าสู่เตา (Overfeed Stoker)

เชื้อเพลิงจะเข้าสู่เตาจากทางด้านบน หรือสูงกว่าตำแหน่งทางเข้าอากาศของส่วนแรกที่ถูกส่งไปช่วยในการเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงไปอยู่บนตะแกรง จากนั้นอากาศส่วนแรกจะถูกป้อนเข้าสู่ด้านล่างของตะแกรงผ่านขึ้นมาเผาไหม้เชื้อเพลิงบนตะแกรง อากาศอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของตะแกรงเพื่อช่วยในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ ข้อเสียของระบบนี้คือการควบคุมปริมาณของอากาศที่ป้อนเข้าได้ตะแกรงนั้นทำได้ยาก เพราะจะขึ้นอยู่กับความสูงและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่กองอยู่บนตะแกรง นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างสูง เพราะต้องป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากผนังห้องเผาไหม้เพื่อทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นคงที่

2.5.1.2 ระบบสโตรเกอร์แบบตะแกรงเลื่อน (Travelling Grate Stoker)

เชื้อเพลิงจะถูกป้อนออกจากถังเก็บ (Hopper) โดยใช้ระบบตีนตะขาบในการลำเลียงเชื้อเพลิงผ่านเข้าไปในเตาเผาไหม้ การลุกไหม้จะลุกคืบจากด้านบนของชั้นเชื้อเพลิงสู่ด้านล่างจน

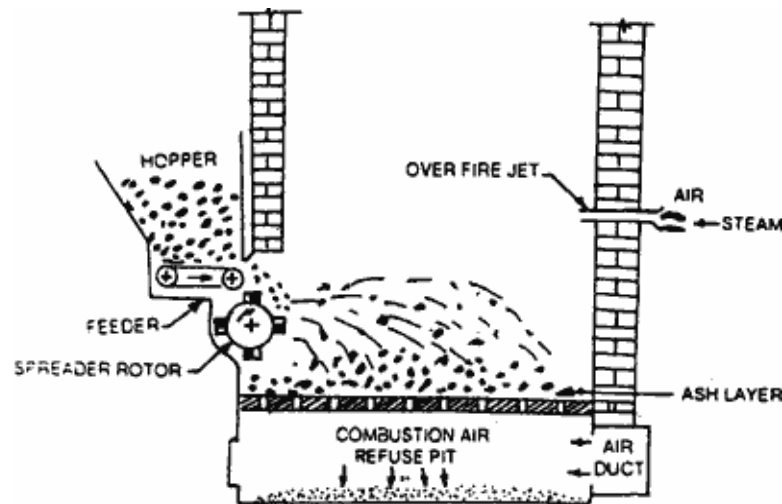
เชื้อเพลิงถูกเคลื่อนที่ไปยังอีกด้านหนึ่งของเตา เมื่อสายพานเคลื่อนที่ไปจนสุดเชื้อเพลิงก็จะถูกเผาไหม้จนหมดพอดี ถ้ำที่เหลือจากการเผาไหม้จะตกลงสู่ที่รองรับด้านล่าง ดังรูปที่ 5 ข้อดีของสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน คือ ระบบการทำงานไม่ยุ่งยาก เพราะมีอุปกรณ์น้อยและสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้หมด เนื่องจากสามารถควบคุมความเร็วของสายพานได้ และปริมาณควันเขม่าที่ปล่อยออกมามีน้อย



รูปที่ 5 ระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน [11]

2.5.1.3 ระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย (Spreader Fired Stoker)

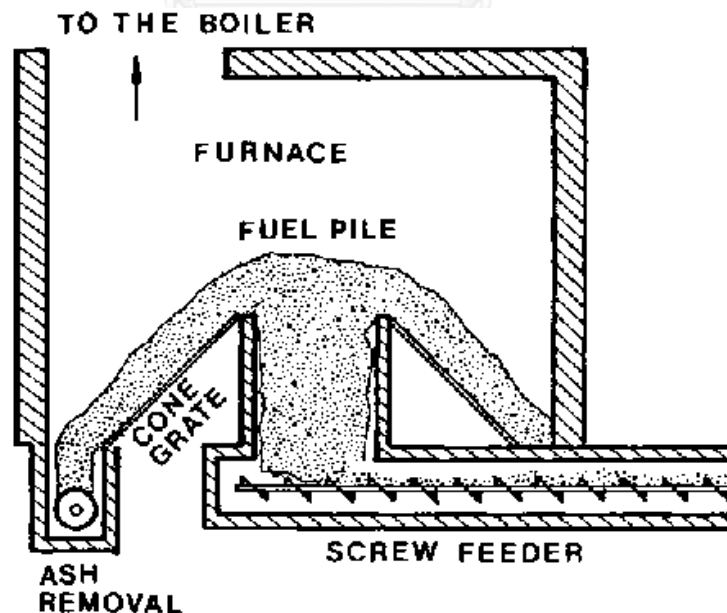
เชื้อเพลิงจะถูกส่งเข้าเตาในลักษณะกระจายไปทั่วห้องเผาไหม้ด้วยเครื่องป้อนลักษณะคล้ายใบพัดหมุนกั๊กเอาเชื้อเพลิงเข้าสู่เตา เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กหรือเป็นผงจะเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ลอยตัวอยู่ภายในเตา ส่วนเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่จะตกลงมาบนตะแกรง และเกิดการเผาไหม้ ตะแกรงจะมีการสั่นในบางจังหวะเพื่อให้ถ้ำตกลงสู่ด้านล่างดังรูปที่ 6 ระบบการเผาไหม้แบบนี้จำเป็นต้องใช้อากาศเหนือไฟที่ด้านหลังและด้านข้างเตาเผาไหม้ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ข้อได้เปรียบของการเผาไหม้ระบบนี้ คือการที่มีเชื้อเพลิงกองอยู่บางๆบนตะแกรง ทำให้อากาศไหลผ่านเชื้อเพลิงน้อยกว่าสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน จึงทำให้ควบคุมอากาศได้ง่ายกว่า ข้อเสียของระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย คือมีปริมาณเขม่าควันออกปล่องมากจึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับดักขี้ถ้ำที่ออกจากปล่องสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 6 ระบบสโตเกอร์แบบกระจาย [11]

2.5.1.4 ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker)

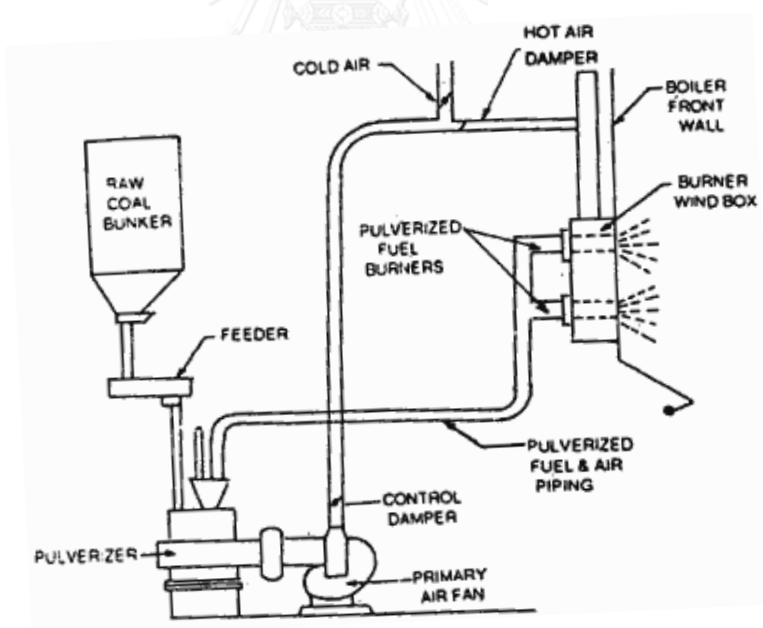
เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง และเตามีรูปแบบที่ลึกทำให้เกิดความดันขึ้นในเชื้อเพลิงส่วนล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงส่วนบนขยับขึ้นด้านบนได้ทำให้สารระเหยที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงระเหยขึ้นสู่ส่วนบนจึงทำให้ติดไฟง่ายขึ้นและเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่ลุกไหม้แล้วที่อยู่ส่วนบนสุดจะถูกเชื้อเพลิงตอนล่างดันกระจายลงสู่ที่รองรับเถ้า ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง [11]

2.5.1.5 ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverized)

การเผาไหม้ของระบบนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะที่เชื้อเพลิงแขวนลอยอยู่ เชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาแบบนี้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะแขวนลอยอยู่ในอากาศภายในเตา ส่วนแรกก่อนจะเข้าสู่ระบบเผาไหม้ เพื่ออบแห้งเชื้อเพลิงในขณะที่ส่วนที่สองถูกส่งเข้าระบบการเผาไหม้โดยตรง เพื่อช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกพัดพาออกจากเตาเผาไหม้พร้อมกับแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ดังรูปที่ 8 ข้อได้เปรียบของระบบการเผาไหม้นี้ คือไม่จำเป็นต้องมีตะแกรงที่จะต้องใช้ความร้อนในการเผาไหม้สูง เพราะระบบสต็อกเกอร์ เชื้อเพลิงจะเผาไหม้ได้ต้องรับความร้อนที่สูงเพียงพอที่จะทำให้ความร้อนภายในเตาเผามีค่าสูงพอแก่เชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ต่อไป ดังนั้นระบบพัลเวอร์ไรซ์นี้จะให้ความร้อนในการเผาไหม้ได้สูงกว่า ข้อเสียของระบบพัลเวอร์ไรซ์คือ การควบคุมถ้าทำได้ยาก ต้องมีระบบกำจัดเถ้าที่มีค่าใช้จ่ายสูง เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะแขวนลอยได้ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการย่อยเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาทำได้ยาก เพราะหากอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมตัวของเถ้าเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายกับเตาเผาได้ เชื้อเพลิงที่ใช้จะต้องมีความชื้นที่ต่ำพอ ซึ่งทั้งหมดนี้เพิ่มราคาต้นทุนของพลังงานที่ใช้

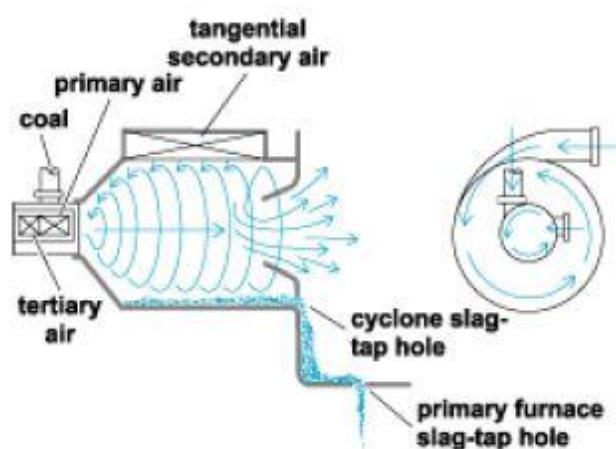


รูปที่ 8 ระบบพัลเวอร์ไรซ์ [11]

2.5.1.6 ระบบไซโคลน (Cyclone)

เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงคล้ายกับระบบพาวเวอร์ไรซ์ แต่ไม่จำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการบดอัดเชื้อเพลิง การเผาไหม้ในระบบ

ไซโคลนจะใช้หัวเผาแบบ Horizontal Water-Cooled ขนาดเล็ก ทำให้เตาเผาระบบไซโคลนมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาแบบพาวเวอร์โรสซ์เมื่อคิดต่อหน่วยปริมาตร อากาศเข้าสู่เตาเผาในแนวสัมผัสกับผนังห้องเผาไหม้ ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Turbulence) ในห้องเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น อุณหภูมิในการเผาไหม้ของเตาไซโคลนสูงถึง 1,650 องศาเซลเซียส ทำให้ขี้เถ้าถูกเผาไหม้กลายเป็นซีโลหะเหลว (Liquid Slag) ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์และเหลือขี้เถ้าปนออกมากับแก๊สร้อนเพียง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ซีโลหะเหลวที่เกิดขึ้นจากในเตาเผาสามารถปล่อยลงสู่ด้านล่างของเตาเผาได้



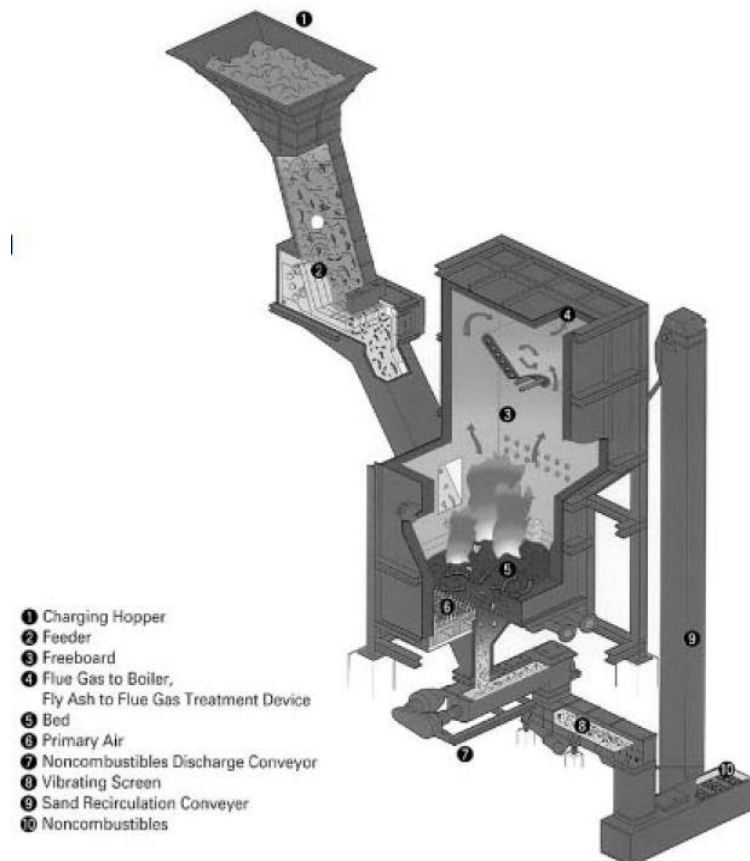
รูปที่ 9 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน [11]

2.5.1.7 ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed)

ระบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มค่าความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่ง เชื้อเพลิงที่วางอยู่จะลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล ในการเริ่มจุดเตานั้นจะได้รับความร้อนจากภายนอกจนถึงอุณหภูมิของจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นทั่วบริเวณเตา โดยปกติจะใส่สารเฉื่อย (Inert Material) หรือสารทำปฏิกิริยา (Reaction Material) หรือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดในระบบระบบฟลูอิดไดซ์เบดดังรูปที่ 10

ระบบฟลูอิดไดซ์เบดได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้กับเชื้อเพลิงแข็งได้ทุกชนิด เพราะอุณหภูมิภายในเตามีค่าใกล้เคียงตลอดทั่วเตาเผาทำให้อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงสม่ำเสมอและสามารถเผาเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงได้ดินนอกจากนี้ยังมีความคงที่ของเปลวไฟด้วย ข้อดีของระบบฟลูอิดไดซ์เบดคือ มีสารเฉื่อย เช่น ทราย เป็นเบด ทำให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนได้ดี เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว นอกจากนี้ตัวเบดยังช่วยอมความร้อนทำให้ออกซิเจนได้ดี

เตามีความเสถียร เกิดการเผาไหม้ในตัวเผาได้อย่างทั่วถึงจึงทำให้อุณหภูมิในเตาเผามีค่าเท่ากันและสม่ำเสมอ สามารถใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงในอุณหภูมิที่ต่ำ จึงช่วยแก้ปัญหาด้านมลพิษของอากาศ เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ได้ เชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ระบบฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ที่ต่ำทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์



รูปที่ 10 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟลูอิดไดซ์เบด [11]

ชนิดของเตา ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับชีวมวลที่มีขนาดเป็นชิ้นค่อนข้างใหญ่ เตาเผาแบบสโตกเกอร์มีความเหมาะสมมาก ในขณะที่ชีวมวลที่เป็นชิ้นเล็กหรือเป็นเม็ดเล็ก เช่น ชี้เลื่อย แกลบ มีความเหมาะสมกับเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดหรือไซโคลน เตาเผาแบบสโตกเกอร์นั้นสามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดและขนาด แต่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระต่ำ เตาเผาแบบไซโคลนตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระสูงกว่าเตาเผาแบบสโตกเกอร์ แต่ต้องการเชื้อเพลิงที่มีความแห้งมากเตาเผาแบบ ฟลูอิดไดซ์เป็นระบบค่อนข้างใหม่มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชื้อเพลิง และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระได้เร็ว

ในอุตสาหกรรมการเผาไหม้อากาศบางส่วนจะถูกเติมเข้าไปในระบบในปริมาณหนึ่งเพิ่มจากปริมาณอากาศทางทฤษฎีที่ใช้ในการเผาไหม้สารชีวมวล หากอัตราการเติมอากาศเข้าระบบสูงเกินไปจะทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดต่ำลงและทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลงไปด้วย ดังนั้นวิธีการเผาไหม้สารชีวมวลที่ถูกนำมาใช้ได้แก่ การเผาไหม้แบบตะกรับ (Fixed grate ,Moving grate) การเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized bed combustion) การเผาไหม้แบบหมุน (Cyclone Combustion) การเผาไหม้แบบเตาเผา (Burner Combustion) หากทำการแยกตามชนิดการทำงานและความเหมาะสมในการนำไปใช้งานสามารถแยกออกได้ 5 ชนิด ดังตารางที่ 6 ซึ่งแยกวิธีการเผาไหม้ ชนิดของการเผาไหม้ และลักษณะสำคัญออกเป็นหมวดหมู่ตามความเหมาะสมของชนิดเชื้อเพลิงชีวมวล

ตารางที่ 6 แสดงวิธีการเผาไหม้ ชนิดของการเผาไหม้ และลักษณะสำคัญ

วิธีการเผาไหม้	ชนิดของการเผาไหม้	ลักษณะสำคัญ
การเผาไหม้แบบ Fixed bed	ตะกรับวางแนวนอน/เอียง ตะกรับที่มีน้ำหล่อเย็น ตะกรับที่มีการทิ้งขี้เถ้า	ตะกรับเป็นชั้นหรือแบบเอียงชัน การเผาไหม้ของสารชีวมวลเป็นการเผาไหม้ที่พื้นผิว ใช้ในเตาเผาแบบ Batchขนาดเล็ก สำหรับสารชีวมวลที่มีขี้เถ้า น้อย
การเผาไหม้แบบ Moving bed	ตะกรับเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ตะกรับเคลื่อนที่ไปข้างหลัง ตะกรับแบบเป็นชั้น ตะกรับแบบคล้ายบานเกิด	ตะกรับจะค่อยๆเคลื่อนที่ ถูกแบ่งโซนการเผาไหม้และโซนหลังเผาไหม้ เนื่องจากมีการปล่อยขี้เถ้าอย่างต่อเนื่อง ทำให้ตะกรับมีขนาดใหญ่ เพื่อลดการกีดขวางของขี้เถ้าในการเผา สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้ตั้งแต่เป็นเศษเล็ก ๆ จนถึงขนาดใหญ่
การเผาไหม้แบบ Fluidized bed	การเผาไหม้ระบบฟลูอิดไคซ์เบด แบบฟองอากาศ การเผาไหม้ระบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน	ใช้ทรายเป็นเบดโดยให้ทรายและเชื้อเพลิงอยู่ในเตาหลอมที่อยู่ในสภาวะเดือดที่มีความดันของอากาศที่มีการเผาไหม้สูงและเกิดการเผาไหม้ผ่านความร้อนที่กักเก็บในทรายและผลการส่งผ่านความร้อนของทรายเหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงและมีคุณภาพต่ำ
การเผาไหม้แบบ Cyclone	เตาเผาแบบ Cyclone	ใช้สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณ ความชื้นสูง ความสามารถในการไหลถูกจำกัดโดยขนาดของเชื้อเพลิง
การเผาไหม้แบบ Burner	เครื่องพ่นไฟ Pulverized	เผาผงไม้หรือผงขนาดละเอียด เหมือนกับเผาเชื้อเพลิงเหลว

2.6 เชื้อเพลิง (Fuel)

เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เป็นประเภทของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้โดยองค์ประกอบของเชื้อเพลิงดังในตารางที่ 7 ได้แก่ ธาตุคาร์บอน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้ในเชื้อเพลิงยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่กำมะถัน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ น้ำ และโลหะอื่น ๆ เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้เป็นส่วนที่ไม่ต้องการให้ไหม้ในเชื้อเพลิงเนื่องจากไม่มีส่วนก่อให้เกิดประโยชน์ในการเผาไหม้

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

	เชื้อเพลิง		
	ก๊าซ	ของเหลว	ของแข็ง
ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง	$H_2, CO, C_m H_n$	$C_m H_n$	$C, C_m H_n$
สิ่งเจือปนในเชื้อเพลิง (Residuals)	$CO_2, N_2, H_2O,$ H_2S และ SO_2	S, V, H_2O และ โลหะอื่นๆ	$S,$ ซี้เก้ก และ H_2O
Oxidation specie	O_2 (residual elements, $H_2O, N_2(A)$)		
ก๊าซเสียจากการเผาไหม้ (Combustion Gas)	CO_2, H_2O, N_2 และ O_2		
ก๊าซซึ่งเป็นมลพิษ	$SO_2, NO_x,$ และ $(NO + NO_2)$	$SO_2, NO_x,$ และฝุ่น	$SO_2, NO_x,$ ฝุ่น และซี้เก้ก

2.7 การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้เชื้อเพลิงคือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วระหว่างเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ และมีการปล่อยพลังงานความร้อนออกมา โดยปฏิกิริยาดังสมการที่ 1



การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาที่มีการคายความร้อนร่วมที่ก่อให้เกิดความร้อนสูงและแสง เป็นปฏิกิริยาที่มีการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเมื่อใช้สารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีความร้อนเกิดขึ้นโดย คาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ที่เผาไหม้ได้ และไนโตรเจนที่อยู่ในสารชีวมวลทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเรียกว่าการเผาไหม้ กระบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเฟสแก๊ส ปฏิกิริยาบนพื้นผิว หรือทั้งคู่ตามด้วยกระบวนการหลอมเหลว การระเหยและไพโรไลซิส ในปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงมีปฏิกิริยาหลายอย่างที่เกิดขึ้นอย่างซับซ้อน การระเหย การแพร่ การผสม การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และการเกิดเปลวไฟที่อุณหภูมิสูง

2.7.1 รูปแบบของการเผาไหม้

รูปแบบการเผาไหม้ของสารชีวมวลซึ่งเป็นของแข็งได้แก่ การเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงระเหย (Evaporation Combustion) การเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงสลายตัว (Decomposition Combustion) การเผาไหม้ที่พื้นผิว (Surface Combustion) การเผาไหม้แบบช้าๆที่ไม่มีไฟแต่มีควัน (Smoldering Combustion) ในการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงระเหยเชื้อเพลิงจะประกอบไปด้วยสารประกอบพื้นฐานซึ่งโครงสร้างโมเลกุลจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ระเหยโดยการให้ความร้อนและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในเฟสแก๊สและเกิดการเผาไหม้ ในการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงสลายตัว ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวโดยการให้ความร้อน (H_2 , CO , C_mH_n , H_2O , CO_2) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในเฟสแก๊สทำให้เกิดเปลวไฟในการเผาไหม้ การเผาไหม้ที่ผิวเกิดในกรณีของสารองค์ประกอบประกอบด้วยคาร์บอนที่มีสารระเหยได้สะสมอยู่เล็กน้อยเท่านั้น เช่น ถ่านหิน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์หรือไอน้ำจะแผ่เข้าไปสู่รูที่มีอยู่หรือพื้นผิวของของแข็งของสารนั้นและเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่พื้นผิว การเผาไหม้ช้าๆแบบไม่มีไฟแต่มีควันนั้นเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดติดไฟของสารระเหยเชื้อเพลิงที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ เช่น ไม้ ถ้าการติดไฟทำให้เกิดควันหรืออุณหภูมิเกินกว่าจุดติดไฟการเผาไหม้ที่มีไฟจะเกิดขึ้น รูปแบบการเผาไหม้หลักของสารชีวมวลโดยตรงในอุตสาหกรรม ได้แก่ การเผาแบบเชื้อเพลิงสลายตัวและการเผาไหม้ที่พื้นผิว

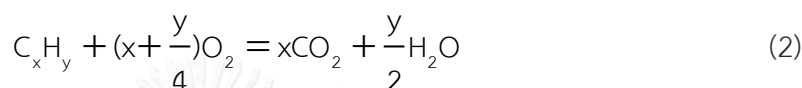
2.7.2 การประยุกต์ใช้

การเผาไหม้ของสารชีวมวลเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดเพื่อให้ได้พลังงานออกมาและถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางเพราะเทคโนโลยีของเชื้อเพลิงฟอสซิลสามารถใช้ประยุกต์ได้ เนื่องจากการเกิดขึ้นของ NO_x SO_x HCl และไดออกซินต่ำซึ่งเป็นข้อดีของการเผาไหม้สารชีวมวลและความสามารถในการเกิดเปลวไฟอยู่ในเกณฑ์ดี ความร้อนจากการเผาไหม้ถูกนำไปใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อนในรูปแบบต่างๆโดยการดึงความร้อนกลับคืนจากตัวกลางเช่นไอน้ำและน้ำร้อนโดยใช้หม้อต้มไอน้ำและ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของปริมาณความร้อนที่สามารถนำกลับไปใช้ได้ ในแหล่งอุตสาหกรรมพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงที่ผลิตพลังงานร่วมสองรูปแบบได้แก่พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน เช่น เศษไม้และของเสียจากการเกษตรซึ่งใช้อย่างกว้างขวาง โรงไฟฟ้าและโรงงานที่นำความร้อนไปใช้เป็นประโยชน์โดยไม่คำนึงถึงขนาดของเชื้อเพลิง

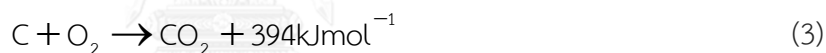
2.8 เคมีการเผาไหม้ (Combustion Chemistry)

สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่เป็นไฮโดรคาร์บอน (C) สามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้

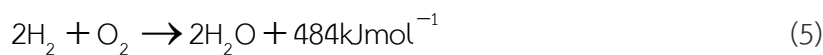


เนื่องจากเชื้อเพลิงประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีธาตุหลักคือธาตุคาร์บอน (C) และธาตุไฮโดรเจน (H) ทำให้สามารถเขียนในรูปปฏิกิริยาพื้นฐานอย่างง่าย เรียกว่า “ระบบปฏิกิริยาเคมีพื้นฐาน” (Simple Chemically Reacting System) ดังต่อไปนี้

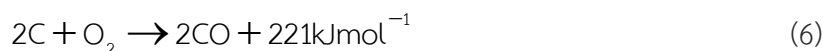
- ปฏิกิริยาออกซิเดชันสมบูรณ์คาร์บอนสมการที่ 3



- ปฏิกิริยาออกซิเดชันสมบูรณ์ของไฮโดรเจนสำหรับกรณีไอน้ำเกิดการควบแน่นและไม่เกิดการควบแน่น ตามลำดับสมการที่ 4 และสมการที่ 5



- ปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่สมบูรณ์คาร์บอน



- ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์



ในการเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับส่วนผสมเชื้อเพลิงชนิดนั้น ๆ ซึ่งสามารถวัดค่าความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเรียกว่า “ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง”

2.9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงคือปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ปลดปล่อยออกมาต่อหนึ่งหน่วยมวลเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงอยู่ในสภาวะเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาสมบูรณ์กับออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เย็นตัวลงมาที่ 25 องศาเซลเซียส โดยค่าความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- (1) Gross Calorific Value หรือ High Heating Value (HHV) คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยไอน้ำในผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำ
- (2) Net Calorific Value หรือ Low Heating Value (LHV) คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยไอน้ำในผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ไม่เกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำ

ค่าความร้อน HHV และ LHV ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้โดยวิธีทางเทอร์โมไดนามิก ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{HHV} = \sum_{i=1}^m x_i H_i \quad (8)$$

$$\text{LHV} = \sum_{i=1}^m x_i L_i \quad (9)$$

เมื่อ H_i คือ ค่า HHV ขององค์ประกอบ i ในเชื้อเพลิง

L_i คือ ค่า LHV ขององค์ประกอบ i ในเชื้อเพลิง

x_i คือ สัดส่วนของปริมาตรขององค์ประกอบ i ในเชื้อเพลิงต่อปริมาตรของเชื้อเพลิง

จากค่านิยามของ HHV และ LHV ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง HHV และ LHV ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{LHV} = \text{HHV} + y_{\text{H}_2\text{O}} \Delta h_{\text{v,H}_2\text{O}} \quad (10)$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{v_{\text{RG,H}_2\text{O}}}{v_f} \quad (11)$$

เมื่อ $y_{\text{H}_2\text{O}}$ คือ สัดส่วนของน้ำในเชื้อเพลิง
 $v_{\text{RG,H}_2\text{O}}$ คือ ปริมาตรของน้ำในเชื้อเพลิง
 $\Delta h_{\text{v,H}_2\text{O}}$ คือ ค่าเอนทาลปีของการระเหยเป็นไอของน้ำที่ 25 °C มีค่าเท่ากับ 1963 kJ/Nm³

2.10 ความชื้น (Moisture)

ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแกลบและเปลือกไม้ยูคาฯ โดยทั่วไปน้ำที่มีอยู่ในแกลบและเปลือกไม้ยูคาฯ จะเป็นน้ำภายในตัวของแกลบและเปลือกไม้ยูคาฯเอง (Inherent Water) เช่น น้ำที่อยู่ในพืช ผัก เศษอาหาร ซึ่งมรประมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก (Attached Water) เช่น น้ำฝน น้ำที่ออกมาจากเศษอาหาร จะมีประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมดการคำนวณ

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (12)$$

โดยที่

M = ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

W_1 = น้ำหนักแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังจากอบ

2.11 องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

องค์ประกอบต้นทุนการผลิตประกอบด้วย

- (1) วัตถุดิบทางตรง (Direct Material) หมายถึงวัตถุดิบที่เป็นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่คิดเข้าหน่วยผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง เช่น ในโรงไฟฟ้าชีวมวล วัตถุดิบสำคัญคือแกลบ
- (2) แรงงานทางตรง (Direct Labor) หมายถึง ค่าแรงงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสภาพวัตถุดิบทางตรงให้เป็นสินค้าที่มีราคาได้

- (3) ค่าใช้จ่ายโรงงาน (Overhead Cost) หมายถึง ต้นทุนการผลิตทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการผลิตสินค้าที่ไม่ใช่ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงและแรงงานทางตรง

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าชีวมวลและการผสมเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมเพื่อนำไปใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล ตลอดไปถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วย

งานวิจัยของ พุฒิชชาติ คิดหาทอง [12] ได้ศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกำลังผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ.2573 ตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 ชีวมวลที่นำมาศึกษา คือชีวมวลจากพืชเศรษฐกิจซึ่งแบ่งเป็นสองประเภทคือ แบบกระจุกตัว และแบบกระจายตัว ซึ่งศักยภาพชีวมวลทั้งสองประเภทคิดเป็น 2.7 เท่าของกำลังผลิตไฟฟ้าตามแผนดังกล่าว

งานวิจัยของ ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์ [13] ได้ศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดเบดแบบหมุนเวียนขนาด 3.5 เมกะวัตต์ โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาคือถ่านหินและแกลบ ทำการศึกษาแนวโน้มของอุณหภูมิและองค์ประกอบของแก๊สจากการเผาไหม้ ณ ตำแหน่งต่างๆตลอดโรเตอร์ เมื่อมีการปรับค่าตัวแปรต่างๆได้แก่ สัดส่วนของเชื้อเพลิงผสม อัตราการป้อนเชื้อเพลิง อัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิ พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากถ่านหินเป็นถ่านหินผสมแกลบ แนวโน้มอุณหภูมิตลอดโรเตอร์มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแกลบที่เพิ่ม ปริมาณ CO และ SO₂ ลดลงเมื่อสัดส่วนของแกลบในเชื้อเพลิงผสมสูงขึ้น

งานวิจัยของ จีรวัตร ตรีพิเชษฐกุล [14] ได้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการเผาไหม้ของเตาเผาเหล็กกล้าโดยประยุกต์ใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการเผาไหม้ด้วย การกระจายตัวของอุณหภูมิและลักษณะการไหลของก๊าซภายในเตาของการเผาไหม้ด้วยอากาศปกติและ oxygen enrichment combustion นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าการเผาไหม้ด้วยเทคนิค oxygen enrichment combustion นี้ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้และประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนภายในเตาเผาเหล็กดีขึ้น

งานวิจัยของ อากาศ พันธุ์ชวรพล [15] การตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดน้อยกว่า 1 เมกะวัตต์ ที่มีทางเลือกในการลงทุนทั้งขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้ง 5 ทางเลือก โดยการประเมินทางเลือกของโรงไฟฟ้านั้นคำนึงถึงความเสี่ยงของการลงทุนจากปัจจัยนำเข้าหลายประการ โดยพิจารณาจากชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ ปัจจัยที่ไม่แน่นอนต่อการลงทุน เช่น ต้นทุนราคาเครื่องจักร การก่อสร้าง อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้าผันแปร ที่มีผลต่อราคาจำหน่ายไฟฟ้าการ

เปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงดัชนีราคาผู้บริโภค การจัดการความเสี่ยงและลงทุนในขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้า ทั้งทางด้านการบริหารผลตอบแทนทางการเงินและการบริหารจัดการเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าที่สุด

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, โครงการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตชีวภาพจากหญ้าชนิดต่างๆในประเทศไทย [16] ทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าชนิดต่างๆในประเทศไทย จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของหญ้าจำนวน 17 ชนิด ได้แก่ หญ้าแพงโกล่า หญ้ารูซี่ หญ้าบาน่า หญ้าเนเปียร์ หญ้าอะตราตัม หญ้ากินนีสีม่วง หญ้ากรีนแพนิก หญ้าซิดาเรีย หญ้าชิกแนลนอน หญ้าขม หญ้าชันกาด หญ้ากินนีมอมบาศา หญ้าแขนอ หญ้าแขนใบเล็ก หญ้าแขนใบใหญ่ หญ้าขจรจบ หญ้าแฝก จากหญ้าทั้ง 17 ชนิด พบว่าหญ้าเนเปียร์มีผลผลิตต่อไร่มากที่สุด โดยมีผลผลิตเท่ากับ 70-80 ตันน้ำหนักสดต่อไร่ต่อปี มากกว่าหญ้าชนิดอื่นๆ เกือบ 7 เท่า ขณะที่ราคาต้นทุนการปลูกและราคาขายก็มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นหญ้าเนเปียร์จึงมีแนวโน้มที่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นพืชพลังงาน

งานวิจัยของ ศิริวรรณ ศุภดารัตนาวงศ์ [17] ศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงขยะพลาสติกและชีวมวลในเตา เเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและแบบจำลองกระบวนการเผาไหม้ที่ปรับปรุงขึ้น โดยขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาองค์ประกอบของเชื้อเพลิง เลือกแบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิก กำหนดขนาดของหน่วยปฏิบัติการ ผลจากการศึกษาพบว่าสถานะที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของคาร์บอนสูง ที่สุด ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 98 พร้อมทั้งลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกจากกระบวนการ คือ อุณหภูมิในการเผาไหม้ 900 องศาเซลเซียส อากาศส่วนเกินที่ร้อยละ 120 อัตราส่วนของปริมาณแคลเซียมต่อซัลเฟอร์เท่ากับ 1 และปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงในสายป้อนเข้า นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ออกแบบและสร้างห้องเผาไหม้จำลอง เพื่อศึกษารูปแบบลักษณะการหมุนวนและผลของวอร์เทคริง พบว่า การไหลแบบหมุนวน และวอร์เทคริงมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการกักอนุภาคซึ่งยังไม่เผาไหม้ ไม่ให้หลุดออกจากห้องเผาไหม้ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ให้ดีขึ้น

งานวิจัยของ เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร [18] ศึกษาและพัฒนาการกักอนุภาคเปียกจากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลมาใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งและทำการเพิ่มคุณภาพ โดยการนำไปผสมกับชีวมวล 3 ชนิด (เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียนและกะลามะพร้าว) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การศึกษาและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนเปียกผสมร่วมกับชีวมวลใน อัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำชีวมวล (เปลือกมังคุด เปลือกทุเรียนและกะลามะพร้าว) เข้ามาผสมรวมเพื่อเพิ่มคุณภาพของเชื้อเพลิง อัดแท่ง ใน 5 อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยจากผล

วิเคราะห์ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยที่มีกากตะกอน เปียกเป็นตัวผสมหลักคือ 5:5 ทั้ง 3 ตัวโดยมีค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้นแปรผันตรงตามอัตรา ส่วนผสมของชีวมวลที่เพิ่มขึ้น และยังทำให้ปริมาณเถ้าและสารระเหยน้อยลงตามอันดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกผสมร่วมกับกะลามะพร้าวให้ค่าความร้อนสูง สุด เปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียน ตามอันดับ วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งและวิเคราะห์ผลตอบแทนทาง เศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตะกอนเปียกผสมร่วมกับชีวมวลในอัตราส่วน 5:5 ที่เป็นอัตราส่วนที่เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด ทำให้ทราบว่าตะกอนเปียกมีความคุ้มค่าในการลงทุนสูง และสามารถคืนทุนในระยะ เวลาอัน จากผลการวิจัยนี้สามารถนำไปส่งเสริมและพัฒนาการนำวัสดุของเสียเหลือทิ้งจาก การผลิตและการบริโภคทางการเกษตรนำมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าและเป็นอีกหนึ่ง ทางที่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยของ ชัยณรงค์ หาญชนะ [19] ศึกษาผลของตัวแปรดำเนินการต่อการปล่อยฟลูแก๊สจากการเผาไหม้ร่วม ของถ่านหินและชีวมวลในหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดเบดแบบหมุนเวียน โดยใช้ถ่านหินซับบิทู มินัสและชีวมวลชนิดต่างๆ ได้แก่ กะลาปาล์ม กะลามะพร้าว กระถินยักษ์ และยูคาลิปตัส ป้อน เชื้อเพลิงที่อัตราคงที่ 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ป้อนอากาศปฐมภูมิอัตราคงที่ 300 ลิตรต่อ นาที จากนั้นทำการสร้างเครื่องผลิตไอน้ำ ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนอุ่นน้ำ ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน และส่วนเก็บไอน้ำ ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ สัดส่วนของชีวมวลกับถ่าน หิน ตำแหน่งการป้อนอากาศทุติยภูมิ และประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอน้ำ จากผลการ ทดลองพบว่าการเผาไหม้ของถ่านหินกับกะลาปาล์มจะให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดความสูง ของไรเซอร์สูงกว่าการเผาไหม้ของถ่านหินกับกะลามะพร้าว กระถินยักษ์ และยูคาลิปตัส ซึ่ง สอดคล้องกับค่าพลังงานความร้อนของกะลาปาล์ม การเพิ่มสัดส่วนส่วนของชีวมวลจะส่งผลให้ ความเข้มข้นของ (NO_x) มีปริมาณลดลง ในส่วนการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมชีวมวล การป้อน อากาศทุติยภูมิ ที่ตำแหน่ง 1 เมตร จะมีอัตราการปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์มากที่สุด สำหรับเครื่องผลิตไอน้ำ สามารถผลิตไอน้ำอุณหภูมิได้สูงสุดเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส และ ความดันเท่ากับ 2.6 บาร์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหินร้อยละ 100 ในการเผาไหม้ และอุณหภูมิไอน้ำ ผลิตได้สูงสุดเท่ากับ 145 องศาเซลเซียส และความดันเท่ากับ 2.3 บาร์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ต่อกะลาปาล์ม ที่สัดส่วน 70:30 ในการเผาไหม้ ประสิทธิภาพเครื่องผลิตไอน้ำที่ได้เท่ากับร้อยละ 22.44

งานวิจัยของ รติ แสงบุญ [20] ศึกษาแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลที่มีความโดดเด่นและน่าสนใจ เพราะเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยรวมของระบบสูง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ยังมีค่าความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากเตาผลิตแก๊สทั่วไปจะออกแบบให้การเผาไหม้และการผลิตแก๊สเกิดขึ้น พร้อมๆ กัน และใช้อากาศในการเผาไหม้ ทำให้มีแก๊สไนโตรเจนที่เหลือจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ปนอยู่ในผลิตภัณฑ์แก๊ส งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาเตาผลิตแก๊ส

แบบใหม่ ให้สามารถผลิตแก๊สที่มีค่าความร้อนสูงกว่าเตาผลิตแก๊สทั่วไป โดยใช้แนวคิดของเตาผลิตแก๊สแบบเบตคู ซึ่งมีการแยกส่วนเผาไหม้และส่วนผลิตแก๊สออกจากกันอย่างชัดเจน ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จึงไม่ปะปนกับแก๊สที่เหลือจากการเผาไหม้ เตาผลิตแก๊สในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรกเป็นเตาฟลูอิดไอส์แบบพองอากาศทำหน้าที่เป็นส่วนเผาไหม้ ส่วนที่สองเป็นเตาแบบเบตคูเคลื่อนที่สองชั้นตอนทำหน้าที่เป็นส่วนผลิตแก๊ส ความร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ในส่วนแรก จะถูกถ่ายโอนไปยังส่วนที่สองเพื่อใช้ในการผลิตแก๊สโดยอาศัยทราาย ซึ่งไหลเวียนอยู่ในระบบเป็นวัสดุในการถ่ายโอนความร้อน ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สโดยใช้เชื้อเพลิงเป็นสารป้อน และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในเตาผลิตแก๊สแบบใหม่ พบว่า สัดส่วนโดยปริมาตรของไฮโดรเจนเท่ากับ 31.14 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 23.79 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สัดส่วนโดยปริมาตรของไนโตรเจนเท่ากับ 2.87 เปอร์เซ็นต์ โดยมีร้อยละการเปลี่ยนของคาร์บอนไปเป็นแก๊สเท่ากับ 64.51 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปเชิงความร้อนไปเป็นแก๊ส 56.66 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้มีค่าความร้อน 12.52 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร จากผลข้างต้นจึงกล่าวได้ว่า เตาผลิตแก๊สแบบเบตคูในงานวิจัยนี้สามารถผลิตแก๊สที่มีคุณภาพสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง ทั้งยังใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากแก๊สได้อีกด้วย

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาหาความเหมาะสมของการผสมเชื้อเพลิงระหว่อกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยศึกษาที่คุณสมบัติของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นหลัก เนื่องจากมีค่าความชื้นที่สูงและค่าความร้อนต่ำ โดยการทำให้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจะต้องมีขั้นตอนในการลดค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยใช้แกลบเป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่าความร้อนที่เหมาะสมในการผสมกันของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด

3.1 แนวทางการดำเนินการศึกษา

จากขั้นการดำเนินการในบทที่ 1 ได้กำหนดไว้ดังนี้

3.1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงสถิติของแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร และจากหน่วยงานอื่นๆทั่วประเทศ ทำการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติของแกลบจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่ได้เผยแพร่ออกสู่สาธารณะตั้งแต่ปี 2550-2558 โดยการรวบรวมข้อมูลที่มีต้องได้รับความน่าเชื่อถือ เป็นข้อมูลที่สามารถเผยแพร่ออกสู่สาธารณะ เช่น ข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในพื้นที่ โรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ เป็นต้น

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลราคาซื้อขายเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดยเก็บจากโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ทำการวิจัย พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในพื้นที่นั้น โดยการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีการรับซื้อจากโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ทำการวิจัย มาวิเคราะห์หาขนาด คุณภาพ ความชื้น และค่าความร้อน ในการวิเคราะห์เปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีการรับซื้อจากโรงไฟฟ้างานวิจัยนี้ได้นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาจากโรงไฟฟ้าชีวมวลน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งอยู่ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ และเก็บข้อมูลของราคาการรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสประจำปี 2557

3.2 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัสดุ

3.2.1.1 แกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล 9.9 เมกะวัตต์ จังหวัดขอนแก่น

3.2.1.2 เปลือกไม้ยูคาลิปตัสจากโรงสับไม้ในเขตจังหวัดขอนแก่น

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2.1 เครื่องวัดค่าความชื้น (Moisture Analyzer PCE-MB 210C)

3.2.2.2 บอมแคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

3.2.2.3 อุปกรณ์ชั่ง ตวง วัด ได้แก่ ทรายชั่ง ถังตวง ตลับเมตร

3.2.2.4 ถังออกซิเจน (Oxygen)

3.3 สถานที่ทำการทดลอง

3.3.1 บริษัท ลาวี เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

3.3.2 โรงไฟฟ้าชีวมวล 9.9 เมกะวัตต์ บริษัท ชัยโย เอเอ จำกัด อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น

3.4 การวางแผนการทดลอง

3.4.1 การวางแผนการทดลองเชื้อเพลิงจากแกลบ

ขั้นตอน

1. ทำการเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือที่ใช้และสถานที่ในการทดลอง
2. นำแกลบที่เก็บจากแหล่งวัตถุดิบมาทดลอง โดยระหว่างจัดเก็บใช้ถุงซิปปเพื่อป้องกันความชื้นเข้าออก
3. ทำการทดลองหาค่าความชื้นจากเครื่องวัดค่าความชื้น โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
4. ทำการทดลองหาค่าความร้อนโดยใช้บอมแคลอริมิเตอร์ โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
5. ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นของแกลบจากถังตวง โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย
6. เก็บข้อมูลปริมาณของชี้แ่้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ จากห้องทดลองของโรงไฟฟ้านั้น

7. ทำการส่งเชื้อเพลิงกลับไปวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการ

3.4.2 การวางแผนการทดลองเชื้อเพลิงจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ขั้นตอน

1. ทำการเตรียมวัตถุดิบ เครื่องมือที่ใช้และสถานที่ในการทดลอง
2. นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เก็บจากแหล่งวัตถุดิบมาทดลอง
3. ทำการตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยในแต่ละวันในการตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัสใช้เวลาในการตากแห้งทั้งหมด 6 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่วันที่ 09.00-15.00 ของทุกวัน โดยทำการพลิกเชื้อเพลิงทุกๆ 1 ชั่วโมง เมื่อถึงกำหนดเวลาทำการจัดเก็บเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ระหว่างจัดเก็บใช้ถุงซิปปิดเพื่อป้องกันความชื้นเข้าออก
4. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 3 จนครบ 5 วัน หลังจากได้เชื้อเพลิงครบตามกำหนดแล้วนำไปทดลองหาค่าต่างๆต่อไป
5. ทำการทดลองหาค่าความชื้นจากเครื่องวัดค่าความชื้น โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
6. ทำการทดลองหาค่าความร้อนโดยใช้บอมแคลอรีมิเตอร์ โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย
7. ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นของแกลบจากถังตวง โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย
8. เก็บข้อมูลปริมาณของซีเถ้าเปลือกไม้ยูคาลิปตัส จากโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ในห้องทดลองของโรงไฟฟ้า
9. ทำการส่งเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสไปวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการ

3.4.3 การวางแผนการศึกษาราคาเชื้อเพลิงร่วมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ขั้นตอน

1. สุ่มเก็บรวบรวมข้อมูลราคารับซื้อแกลบหน้าโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจากปี พ.ศ. 2550-2558
2. สุ่มเก็บรวบรวมราคารับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังสับแล้วหน้าโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือปี พ.ศ. 2557

3. ทำการคำนวณหาต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจาก ต้นทุนวัตถุดิบ ค่าแรงงานที่ใช้ในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ไม่ใช่ต้นทุนทางตรงและแรงงานทางตรง
4. ทำการคำนวณหาต้นทุนในการจัดเก็บเชื้อเพลิงร่วม
5. ทำการประเมินปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ตลอดระยะเวลา 1 ปี

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำผลการทดลองเชื้อเพลิงจากแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ได้ค่าความชื้น ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น และปริมาณขี้เถ้า มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าคุณสมบัติ โดยกำหนดให้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหลักเพราะมีค่าเพียงค่าเดียว ส่วนเปลือกไม้ยูคาลิปตัสให้เป็นตัวแปรในการกำหนดอัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงผสม
2. นำพารามิเตอร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ที่มีอัตราการบริโภកเชื้อเพลิงเป็นหน่วยพลังงานมากำหนดหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ
3. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสผสมกับแกลบ ที่อัตราส่วนของการผสมเชื้อเพลิงเปรียบเทียบจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงร่วม 1 ตัน (ตัวอย่าง: ที่ปริมาณเชื้อเพลิงร่วม 1 ตัน อัตราส่วนการผสม 5:5 คือ ปริมาณแกลบ 5 ส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงร่วม 1 ตัน และ ปริมาณเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 5 ส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงร่วม 1 ตัน)
4. เปรียบเทียบต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในแต่ละวันของการตากแห้ง โดยคำนวณหาต้นทุนสุดท้ายในแต่ละวันของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
5. เปรียบเทียบต้นทุนในการจัดเก็บเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงต่าง ๆ เพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่สามารถกักเก็บได้ตลอดระยะเวลา 1 ปี
6. เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงร่วม และคำนวณหาปริมาณขี้เถ้าที่ได้หลังจากการผสมเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบ และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสถึงค่าความชื้น ค่าความร้อนที่เหมาะสมในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงผสม

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพของแกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยให้ความสำคัญกับพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ได้แก่

- (1) ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Density, kg/m^3)
- (2) ค่าความชื้นของเชื้อเพลิง (Moisture, %)
- (3) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value, kJ/kg)
- (4) ปริมาณเถ้าหลังจากการเผาไหม้ (Ash Content, %)

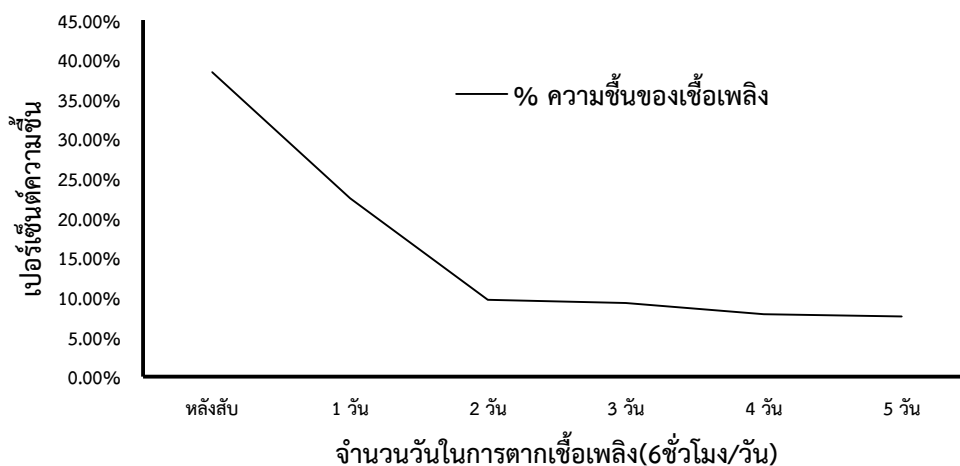
จากการศึกษาแกลบที่นำไปใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลพบว่าแกลบมีค่าความชื้นอยู่ที่ 7.9 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 125 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความร้อน 16,399 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และปริมาณเถ้าแกลบหลังจากการเผาไหม้ 19.93 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณภาพของแกลบที่ทั่วไปในประเทศพบว่าโดยเฉลี่ยแล้ว 16,244 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเฉลี่ย 6.9 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้าแกลบหลังจากการเผาไหม้เฉลี่ยอยู่ที่ 17.4 เปอร์เซ็นต์

จากการที่นำแกลบมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและการกระจายตัวของแหล่งวัตถุดิบทำให้แกลบมีราคาที่สูงขึ้นจากปัจจัยหลายด้านไม่ว่าจะเป็น ปริมาณโรงไฟฟ้าชีวมวลเอกชนที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการเผาไหม้ที่ให้ค่าความร้อนสูง สามารถนำเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้โดยตรงไม่ต้องนำมาแปรรูปหรือลดขนาด ซึ่งจากปัจจัยนี้ทำให้เกิดการแย่งชิงแกลบจากโรงไฟฟ้าขึ้น และสิ่งที่ตามมาคือราคาที่สูงเกินความคุ้มค่าในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง จึงมีการหาเชื้อเพลิงชีวมวลสำรองชนิดอื่นมาทดแทน โดยในประเทศไทยมีการปลูกไม้ยืนต้นมากมายหลายชนิด แต่ไม้ยืนต้นที่เป็นไม้เศรษฐกิจคือ ยูคาลิปตัสเนื่องจากยูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วที่มีการปลูกอย่างแพร่หลาย และได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐและภาคเอกชนในการเพาะปลูก เนื่องจากเนื้อไม้ของยูคาลิปตัสสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์และส่งออกได้ ส่วนที่เหลือคือเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ที่ไม่สามารถนำไปใช้อย่างอื่นได้เนื่องจากสี และคุณภาพของเปลือกไม้ไม่เหมาะต่อการแปรรูป จึงทำให้โรงไฟฟ้าชีวมวลมาสนใจเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมากขึ้น เนื่องจากราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่าย แต่เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความชื้นที่สูง ทำให้เกิดการเผาไหม้ยาก และผลที่ตามมาคือมีการเผาไหม้แบบไม่สิ้นสุดเกิดขึ้น ซึ่งในผลการทดลองครั้งนี้ได้นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นดังต่อไปนี้

- (1) การลดค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
- (2) การเพิ่มค่าความร้อนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
- (3) การบริหารต้นทุนของการพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงร่วมและต้นทุนในการจัดเก็บเชื้อเพลิงร่วม

โดยผลการเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสนี้ได้ค่าออกมาดังนี้

4.1.2 ผลจากการลดค่าความชื้นเปลือกไม้ยูคาลิปตัส



รูปที่ 11 แสดงแนวโน้มค่าความชื้นที่ลดลงหลังจากทำการตากแห้งเพื่อลดความชื้น

ผลลัพธ์ของการตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัสวันละ 6 ชั่วโมง โดยทำการพลิกเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 1 ชั่วโมงต่อครั้ง มีผลทำให้ค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสลดลงจนถึงวันที่ 5 ซึ่งมีแนวโน้มของค่าความชื้นที่คงที่จากค่าความชื้นเริ่มแรก 38.44 เปอร์เซ็นต์ ลดลงจนมาถึงค่าความชื้นสุดท้าย 7.60 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 11 โดยช่วงเวลาของการตากแห้งอุณหภูมิโดยรอบพื้นที่เป็นไปตามตารางที่ 8

จากการตากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่รับซื้อหลังจากการบดสับจะได้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีสีน้ำตาลซีด เนื่องจากเนื้อของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณของน้ำลดลงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 เปลือกไม้ยูคาลิปตัสก่อนการตากแห้งและหลังการตากแห้ง

ตารางที่ 8 สภาพอากาศในพื้นที่ระหว่างทำการตากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

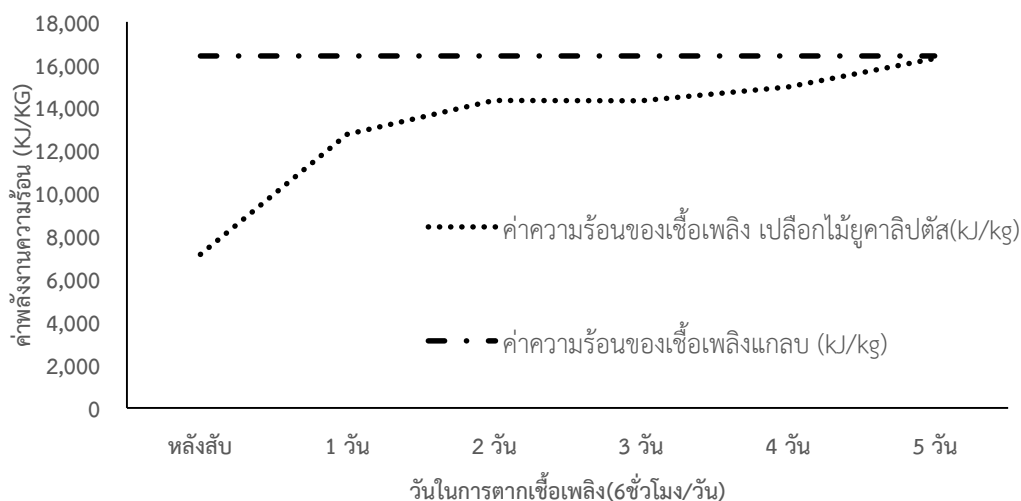
ตารางสภาพอากาศในพื้นที่ระหว่างตากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส						
	หลังลับ	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
อุณหภูมิสูงสุด	39.3	39	40	37.6	37.3	36
อุณหภูมิต่ำสุด	25.9	26.2	26.8	26.4	26.8	26.2
สภาพอากาศ	ไม่มีฝน	ไม่มีฝน	ไม่มีฝน	ไม่มีฝน	ฟ้าครึ้ม	ฟ้าครึ้ม

4.2 ผลจากการหาค่าความร้อนเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

หลังจากทำการลดค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและได้ผลลัพธ์ออกมาแล้ว ทำการหาผลลัพธ์ของค่าความร้อนจากระยะเวลาในการตากแห้งโดยผลลัพธ์ที่ได้ออกมาคือ ผลลัพธ์ของค่าความร้อน (Heating Value) ที่ได้ออกมานั้นจะพบว่ามีความโน้มเพิ่มสูงขึ้นแปรผกผันกับค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ลดลงดังรูปที่ 11 ทำให้สรุปได้ว่า เมื่อความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสลดลงมีผลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

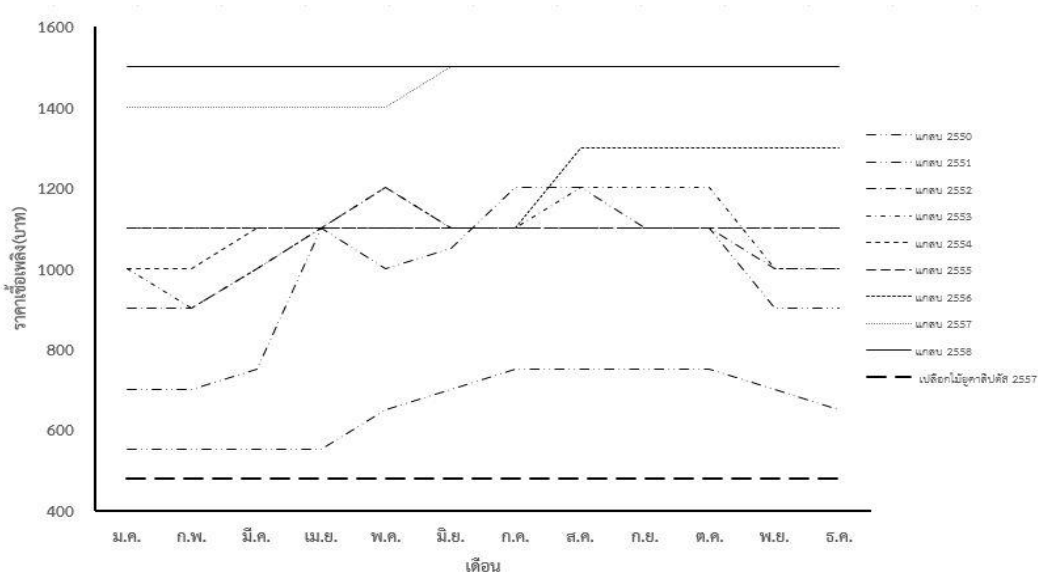
ที่ค่าความชื้น 7.90 เปอร์เซ็นต์ ของแกลบทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงคือ 16,399 กิโลจูลต่อกิโลกรัม แต่ในส่วนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเมื่อนำมาเพิ่มคุณภาพจะเห็นว่าค่าความร้อนสุดท้ายคือ 16,282 กิโลจูลต่อกิโลกรัม สามารถเทียบเคียงกับค่าความร้อนของแกลบได้ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

4.4 การเปรียบเทียบราคาเชื้อเพลิงระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ปัจจุบันราคาซื้อขายเชื้อเพลิงชีวมวลมีความผันผวนตามฤดูกาลที่ไม่แน่นอนโดยเฉพาะแกลบ เมื่อดูผลการรวบรวมข้อมูลของราคาการซื้อขายแกลบเพื่อมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลจะพบว่า มีแนวโน้มที่สูงขึ้น โดยราคาซื้อขายแกลบหน้าโรงไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ปัจจุบันอยู่ที่ตันละ 1,500 บาท ซึ่งมีราคาที่สูงมากเมื่อเทียบกับราคาซื้อขายแกลบเมื่อหลายปีก่อนดังในรูปที่ 14

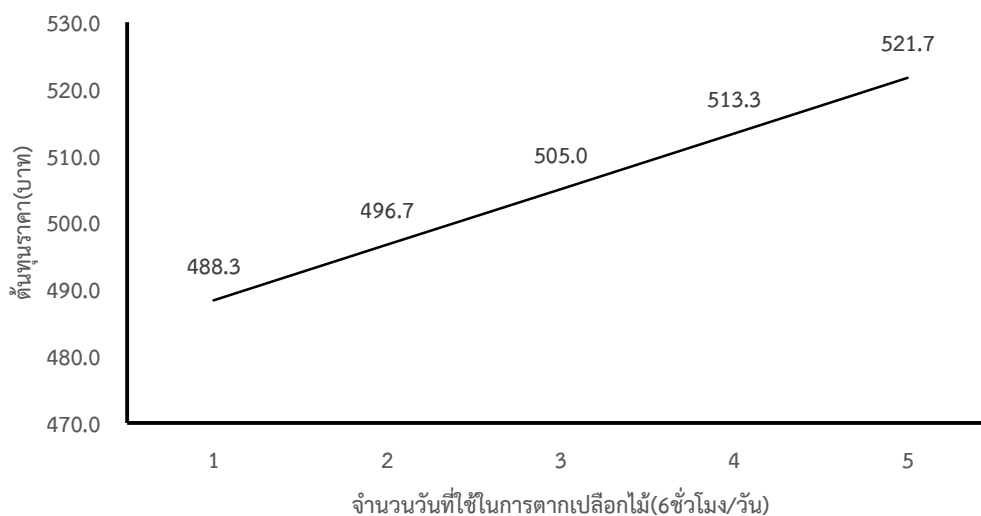


รูปที่ 14 สถิติราคาขายแกลบเพื่อใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์และราคาขายเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดขอนแก่น

ในส่วนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจากข้อมูลการรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดขอนแก่น พบว่ามีราคาที่ค่อนข้างคงที่ในแต่ละฤดูกาลทำให้เห็นได้ว่าเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณที่เพียงพอในทุก ๆ ฤดูกาล ขึ้นอยู่กับการจัดการในการรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสของโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งราคาซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังจากทำการบดย่อยแล้วอยู่ที่ 480 บาทต่อตันตลอดทั้งฤดูกาล และราคาซื้อเปลือกไม้หยาบอยู่ที่ 350 บาทต่อตันตลอดทั้งฤดูกาล

4.5 ต้นทุนในการเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ในการเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสคือการลดค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสโดยการนำไปตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัสวันละ 6 ชั่วโมง โดยทำการพลิกเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 1 ชั่วโมงต่อครั้ง เป็นระยะเวลา 5 วัน ต้นทุนที่เกิดขึ้นมาจาก ค่าแรงงาน และค่าเครื่องจักร จากผลลัพธ์ที่ได้มาต้นทุนในการเพิ่มคุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอยู่ที่ 121.7 บาทต่อตัน เมื่อนำมารวมกับราคาต้นทุนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสทำให้ได้ต้นทุนของราคาเปลือกไม้ยูคาลิปตัสของวันที่ 5 อยู่ที่ 521.7 บาทต่อตัน ดังรูปที่ 15



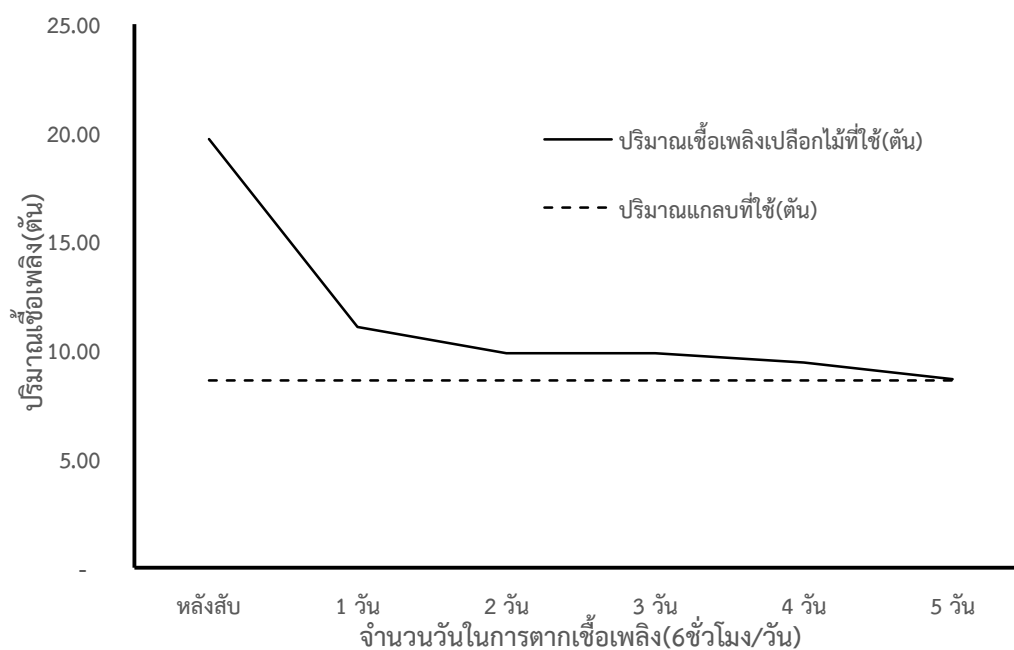
รูปที่ 15 ต้นทุนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและต้นทุนการเพิ่มคุณภาพ

4.6 อัตราส่วนของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

จากผลลัพธ์ของราคาแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ได้ การเพิ่มคุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสทำให้สามารถหาอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงได้จากปัจจัยดังต่อไปนี้

4.6.1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตามค่าความต้องการของเตาเผา

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ของห้องเผาไหม้จากกำหนดการทำงานและการออกแบบของห้องเผาไหม้โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ไว้ที่ 950 องศาเซลเซียส และค่าการต้องการความร้อนของห้องเผาไหม้คือ 141,195.8 เมกะจูล ซึ่งปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ได้ออกมาดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงระหว่างแกลบและเปลือกไม้ยุคาลิปตัส

4.7 การเตรียมปริมาณเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อความต้องการของโรงไฟฟ้า

จากความต้องการเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ที่มีความต้องการความร้อนอยู่ที่ 141,195.8 เมกะจูล ทำให้ต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพียงพอตลอดเวลาและต้องมีเชื้อเพลิงสำรองเพื่อใช้ในยามจำเป็น และจากรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงแต่ละประเภทที่ค่าความชื้นแตกต่างกันจะใช้ในปริมาณที่ต่างกันไปด้วยเพื่อให้ได้ค่าความร้อนตามที่ต้องการ ดังนั้นการเตรียมเชื้อเพลิงให้มีปริมาณเพียงพอจะต้องคำนึงถึงต้นทุนของเชื้อเพลิง และต้นทุนของการเพิ่มคุณภาพเชื้อเพลิงด้วย โดยใช้ค่าความร้อนที่ต้องการและราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงเป็นตัวกำหนดอัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิง

4.8 ต้นทุนของเชื้อเพลิงผสม ปริมาณความต้องการ และราคาเชื้อเพลิงผสม

จากผลการทดลอง ต้นทุนของการพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิงหลังจากมีการพัฒนา และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงหลังจากมีการพัฒนา ทำให้ได้ว่าคุณภาพของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเทียบกับวันที่ใช้ในการตากเชื้อเพลิงพบว่าค่าความร้อนของเปลือกไม้ยุคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงผสมที่ใช้ในการเผาไหม้ลดลงและมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง ส่วนของปริมาณของเชื้อเพลิงที่ต้องการเพื่อให้ได้ค่าความต้องการความร้อนที่กำหนดคือ 141,195.8 เมกะจูล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงได้ดังตารางที่ 9 โดยอัตราส่วนในการผสมเชื้อเพลิงอ้างอิงจากค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนำมาคำนวณย้อนกลับไปถึงค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการในห้องเผาไหม้

ตารางที่ 9 ปริมาณเชื้อเพลิงผสมที่ต้องการตามอัตราส่วน

จำนวนวัน ในการ ตาก เชื้อเพลิง	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด(ตันต่อชั่วโมง)									
	1:9*		2:8*		3:7*		4:6*		5:5*	
	แกลบ	เปลือกไม้	แกลบ	เปลือกไม้	แกลบ	เปลือกไม้	แกลบ	เปลือกไม้	แกลบ	เปลือกไม้
หลังสับ	1.75	15.71	3.13	12.54	4.26	9.95	5.20	7.80	5.99	5.99
1	1.08	9.69	2.09	8.38	3.06	7.14	3.97	5.96	4.84	4.84
2	0.97	8.74	1.92	7.66	2.83	6.61	3.73	5.59	4.60	4.60
3	0.97	8.75	1.92	7.67	2.84	6.62	3.73	5.59	4.60	4.60
4	0.93	8.41	1.85	7.41	2.75	6.42	3.64	5.45	4.50	4.50
5	0.87	7.80	1.73	6.93	2.60	6.06	3.46	5.19	4.32	4.32

*อัตราส่วนปริมาณน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยตันระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (เช่น 1:9 คือ แกลบ1ส่วน: เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 9 ส่วน)

ซึ่งในตารางที่ 9 จะพบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันตามอัตราส่วนการผสมและวันในการตากเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ต้องการออกมา จากตารางหากเปรียบเทียบปริมาณจากอัตราส่วนการผสมแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะพบว่าในวันที่ 5 ของอัตราส่วนการผสมแกลบ 1 ส่วน กับ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 9 ส่วน จะใช้ปริมาณแกลบน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ต้นทุนของเชื้อเพลิงมีราคาถูกลงเนื่องจากราคาแกลบสูงเป็น 4 เท่าของราคาเปลือกไม้ยูคาลิปตัส หลังจากได้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการทำให้ทราบถึงต้นทุนรวมของเชื้อเพลิงตลอดทั้งปี ซึ่งสรุปออกมาได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ต้นทุนเชื้อเพลิงรวมตลอดระยะเวลา 1 ปี

วันในการตาก เชื้อเพลิง	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(ล้านบาท)				
	1:9*	2:8*	3:7*	4:6*	5:5*
หลังสับ	80	85	88	91	94
1	50	57	64	70	76
2	46	53	60	66	73
3	47	53	60	67	73
4	45	52	59	65	72
5	43	49	56	63	69

*อัตราส่วนปริมาณน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยตันระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (เช่น 1:9 คือ แกลบ1ส่วน: เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 9 ส่วน)

จากตารางที่ 10 พบว่าต้นทุนของเชื้อเพลิงผสมตลอดทั้งปีขึ้นอยู่กับปริมาณของการนำเชื้อเพลิงไปเผาไหม้เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ต้องการจากอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสม และพบว่าวันที่ 5 ของการตากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในการผสมเชื้อเพลิงที่อัตราส่วน 1:9 มีต้นทุนรวมของเชื้อเพลิงต่ำที่สุด

แต่เชื้อเพลิงร่วมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าชีวมวลคือ หากใช้เชื้อเพลิงขนาดใหญ่มากจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ข้ามโซนเพราะในทางทฤษฎีอากาศควรสัมผัสกับพื้นที่ผิวของเชื้อเพลิงให้มากที่สุดเพื่อให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่เร็วขึ้น ซึ่งการเผาไหม้ข้ามโซนเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดสแลก (Slag) ดังรูปที่ 17 ทำให้เมื่อมีการเผาไหม้แล้วเชื้อเพลิงจะไหลลงไม่สะดวกในโซนการเผาไหม้ที่มีอากาศเข้าเท่าเดิมอัตราอากาศต่อเชื้อเพลิงจึงสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นสูง ซึ่งสูงพอที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดสแลกในเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นควรใช้อัตราส่วนในการผสมเชื้อเพลิงให้เหมาะสมต่อห้องเผาไหม้ จะทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีขึ้น และการกระจายตัวของเชื้อเพลิงที่ไม่สร้างปัญหาให้กับห้องเผาไหม้ หากการกระจายตัวของเชื้อเพลิงไม่ดีพอในบางบริเวณมีการเผาไหม้ที่รุนแรงบางบริเวณมีการเย็นตัวลงสลับกันจะทำให้เกิดการหลอมตัวกันเป็นก้อนปูนเม็ด (Clinker) ดังรูปที่ 18



รูปที่ 17 สแลก (Slag) ที่เกิดขึ้นตามผนังของห้องเผาไหม้และตะกรับทำให้เกิดลมที่นำเข้ามาใช้ในห้องเผาไหม้ไม่สามารถไหลผ่านได้



รูปที่ 18 Clinker ที่เกิดจากการหลอมตัวของเชื้อเพลิงสาเหตุเกิดจากการกระจายตัวของเชื้อเพลิงไม่ดีพอ
ในบางบริเวณมีการเผาไหม้ที่รุนแรงบางบริเวณมีการเย็นตัวลงสลับกัน

การใช้เชื้อเพลิงร่วมในอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมต่อพารามิเตอร์ของห้องเผาไหม้ไม่ก่อให้เกิดสแลก (Slag) หรือ ปูนเม็ด (Clinker) เพียงเท่านั้น ยังก่อให้เกิดปัญหาของขี้เถ้าเบา (Fly Ash) ในปริมาณที่สูงทำให้เกิดปัญหาการอุดตันในห้องเผาไหม้หรือห้องของหม้อต้มไอน้ำดังรูปที่ 19 ซึ่งต้องทำให้หยุดการทำงานของโรงไฟฟ้าเพื่อทำการแก้ไขทำให้สูญเสียรายได้ในการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าอย่างสูง



รูปที่ 19 แสดงให้เห็นถึงภายในห้องของหม้อต้มไอน้ำที่มีการอุดตันของขี้เถ้าลอย (Fly Ash) เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนการผสมของเปลือกไม้ยูคาลิปต์สมากเกินไป

จากรูปที่ 19 ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ที่เกิดจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะมีปริมาณที่สูงมาก เนื่องจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเมื่อแห้งแล้วจะมีฝุ่นของไม้ที่เบาเมื่อเข้าไปในห้องเผาไหม้ลมภายในห้องเผาไหม้จะพัดพาฝุ่นจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสให้เผาไหม้ในอากาศและไปตกยังห้องของหม้อต้มไอน้ำจึงทำให้เกิดปัญหาของการอุดตันจากขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ภายในห้องของหม้อต้มไอน้ำ

4.9 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิง

จากผลการศึกษาต้นทุนของการพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้อัตราส่วนของเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราส่วนต่างๆทำให้สะท้อนเห็นต้นทุนของเชื้อเพลิงร่วมที่แตกต่างกันไป แต่การที่จะนำเชื้อเพลิงร่วมมาใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆที่สำคัญไม่เฉพาะเพียงต้นทุนเท่านั้นหากยังต้องคำนึงถึงอัตราส่วนที่พอเหมาะกับการนำไปใช้ในห้องเผาไหม้ที่ถูกออกแบบมาเพื่อลดการเกิดปัญหาการอุดตันของขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ปัญหาการเกิดสแลก (Slag) และปัญหาการเกิดปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาเหล่านี้ขึ้นมากการแก้ไขหรือหาทางออกมีเพียงวิธีเดียวคือจะต้องหยุดการทำงานของโรงไฟฟ้าเพื่อกำจัดสิ่งเหล่านี้ออกจากระบบ

4.9.1 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงแกลบ

ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงแกลบ

1. เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นต่ำต่อการเผาไหม้ สามารถนำเข้าห้องเผาไหม้ได้โดยตรง
2. มีค่าความร้อนที่สูงเมื่อเทียบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
3. มีขนาดที่แน่นอนต่อการลำเลียงและเผาไหม้
4. มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงแกลบ

1. เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงเมื่อนำไปเป็นส่วนผสมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นจะเป็นตัวเร่งการเกิดปูนเม็ด (Clinker)
2. ปริมาณขี้เถ้ามีสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
3. ราคาสูงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพียงชนิดเดียว
4. มีส่วนผสมของรำข้าวและเศษขี้พืชสูงก่อให้เกิดการหลอมตัวกันเป็นก้อนปูนเม็ด (Clinker)

4.9.2 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

1. เป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำและคงที่ตลอดทั้งฤดูกาล
2. ปริมาณขี้เถ้าหลังจากการเผาไหม้ต่ำเมื่อเทียบกับแกลบ
3. ไม่ก่อให้เกิดปัญหาสแลก (Slag) ในห้องเผาไหม้

ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงเปลือกไม้ยุคาลิปตัล

1. มีค่าความชื้นที่สูงมากเมื่อเทียบกับแกลบทำให้เมื่อนำมาใช้ในปริมาณมากจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 20
2. หากมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักต้องมีการพัฒนาคุณภาพให้เหมาะสม
3. ปริมาณของเถ้าลอยสูงและก่อให้เกิดปัญหาการเกาะตัวของเถ้าลอยในท่อน้ำของหม้อไอน้ำดังรูปที่ 21
4. ขนาดของเชื้อเพลิงที่ไม่สม่ำเสมอต่อการเผาไหม้

4.9.3 ข้อดี ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงร่วม

ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงร่วม

1. ลดต้นทุนและความเสี่ยงในการใช้เชื้อเพลิงเพียงประเภทเดียว
2. สามารถควบคุมการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้นจากอัตราส่วนการผสมที่หลากหลาย
3. สามารถควบคุมต้นทุนของการใช้เชื้อเพลิงได้
4. ป้องกันการเกิดปัญหาสแลก (Slag) เม็ดปูน (Clinker) และซีเถ้าลอย (Fly Ash) ได้จากอัตราส่วนการผสม
5. สามารถควบคุมปริมาณซีเถ้าหลังจากการเผาไหม้ได้

ข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงร่วม

1. ต้องมีการควบคุมปริมาณของความชื้นของเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกันเมื่อนำไปใช้
2. มีต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงร่วม
3. เสียเวลาในการนำเชื้อเพลิงมาผสมที่อัตราส่วนที่ต้องการก่อนนำไปใช้



รูปที่ 20 เศษเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เหลือจากการเผาไหม้เนื่องจากมีค่าความชื้นสูงถูกลำเลียงออกมาจากห้องเผาไหม้



รูปที่ 21 การฝากตัว (Deposit) ของเถ้าลอยที่เกิดจากเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสบนท่อตรวจจับความร้อนของหม้อต้มไอน้ำ

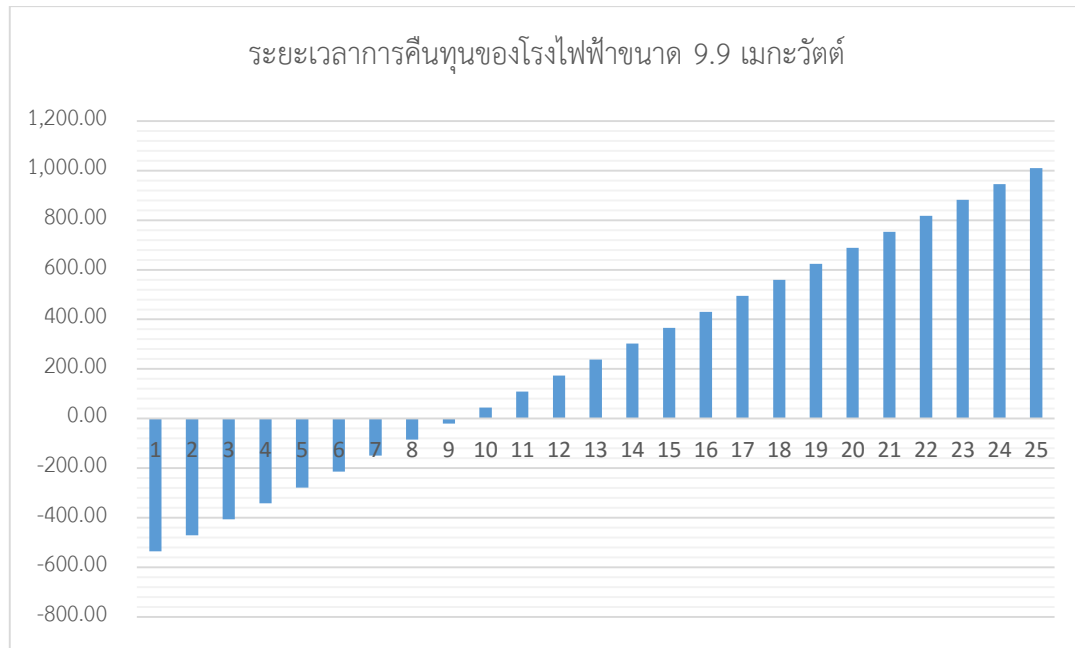
4.10 ความคุ้มค่าของการใช้เชื้อเพลิงร่วมในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์

จากการประเมินต้นทุนของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ที่มีการลงทุน 600 ล้านบาทต่อโครงการ หากมีการนำเชื้อเพลิงร่วมมาใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลนี้ จะทำให้ได้ค่าผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) ที่สูง และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV) ก็สูงตามไปด้วย ต่างจากการใช้เชื้อเพลิงจากแกลบเพียงประเภทเดียวคือ ค่าผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV) แตกต่างกัน และจากต้นทุนในการพัฒนาเชื้อเพลิงร่วมทั้งหมดคิดเป็น 0.01 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลทำให้สามารถคำนวณหาค่าผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV) ได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงตัวอย่างผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) และมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV)

การคำนวณผลตอบแทนต่อเงินลงทุน			
1	กำลังการผลิต	เมกะวัตต์	9.90
2	เทคโนโลยี		หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ
3	ความดันไอน้ำ	bar(a)	40
4	อุณหภูมิไอน้ำ	Celsius	400
5	เงินลงทุน	บาท	600,000,000
6	สัดส่วนความต้องการไฟฟ้าใช้ภายในโรงไฟฟ้า		12.00%
7	ชั่วโมงทำงานต่อปี	ชั่วโมง	8,760
8	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบ	kWh	74,790,778
9	ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า		20.00%
10	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	เมกะจูล/กก.	16.33
11	อัตราการบริโภคเชื้อเพลิง	ตัน/ปี	82,439
		ตัน/ชม.	9.41
12	ต้นทุนรวมของเชื้อเพลิง	บาท/ตัน	1,500
13	รวมค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง	บาท/ปี	123,658,971
14	รวมค่าใช้จ่ายค่าซ่อมบำรุงและพนักงาน	บาท/ปี	21,681,000
15	รายได้จากการขายไฟฟ้า	บาท/ปี	209,766,070
16	รายได้สุทธิ	บาท/ปี	64,426,099
17	ระยะเวลาคืนทุน	ปี	9.31

ซึ่งจากการคำนวณหาผลตอบแทนภายในของการลงทุน (IRR) ได้ค่าเท่ากับ 9.67% ส่วนของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV) ได้ค่าเท่ากับ 174.45 ล้านบาท โดยได้ระยะเวลากการคืนทุนคือ 9 ปี 3 เดือนดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 แสดงระยะเวลากการคืนทุนของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ ที่การคำนวณหาต้นทุนจากค่ากำหนด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้มี 3 ข้อได้แก่ 1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 2) เพื่อศึกษาค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ลักษณะทางการภาพที่เหมาะสมของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อใช้เผาไหม้ร่วมกับแกลบ และ 3) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ความคุ้มค่าทางด้านราคาของเชื้อเพลิงผสมระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในแต่ละฤดูกาล ให้มีความต่อเนื่องต่อการใช้งานในโรงไฟฟ้าชีวมวลตลอดทั้งปี จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปผลที่สำคัญได้ดังนี้

5.1.1 เชื้อเพลิงแกลบมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นปัญหาของการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในโรงไฟฟ้าชีวมวลเนื่องจากต้นทุนที่สูงและปริมาณแกลบไม่มีความต่อเนื่องขึ้นอยู่กับฤดูกาลทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและการแย่งชิงเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่เพื่อนำแกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในโรงไฟฟ้าชีวมวลทำให้เกิดการขาดแคลนเชื้อเพลิงและราคาสูงขึ้นตามไปด้วย

5.1.2 การนำเชื้อเพลิงร่วมเข้ามาใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลคือทางออกของปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า โดยการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับแกลบเพื่อลดต้นทุนของราคาเชื้อเพลิงโดยใช้ขั้นตอนการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวล

5.1.3 ในเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเมื่อนำมาพัฒนาคุณภาพพบว่า ค่าความร้อนที่มีขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสคือ เมื่อค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสค่าค่าความร้อนที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะมีค่าสูง ซึ่งที่ค่าความชื้นที่ 7.60 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะมีค่าใกล้เคียงกับแกลบที่มีค่าความชื้น 7.90 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความร้อนอยู่ที่ 16,282 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ส่วนแกลบมีค่าความร้อนอยู่ที่ 16,399 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

5.1.4 ที่ค่าความชื้นต่ำสุดของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเมื่อนำไปผสมกับแกลบเป็นเชื้อเพลิงผสมพบว่าต้นทุนต่ำกว่าการนำแกลบมาใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลเพียงชนิดเดียว และต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเมื่อรวมกับราคาต้นทุนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสแล้วยังมีค่าต่ำกว่าแกลบแต่ให้พลังงานความร้อนที่เท่ากัน ณ ค่าความชื้นต่ำที่สุดจากการทดลอง

5.1.5 ในการนำเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไปใช้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่อาจก่อให้เกิดปัญหาที่ระบบการทำงานที่เกี่ยวข้องในห้องเผาไหม้และในหม้อต้มไอน้ำ ซึ่งที่อัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงต่าง ๆ มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานและข้อมูลของปัญหาการนำเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่าง ๆ มาใช้งาน จึงควรให้ความสำคัญกับข้อดีข้อเสียของเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้จำกัดอยู่เพียงโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ เนื่องจากโรงไฟฟ้าชีวมวลปัจจุบันที่มีอย่างแพร่หลายในประเทศไทยคือโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 9.9 เมกะวัตต์ หากจะศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่านี้จะต้องศึกษาที่ความต้องการพลังงานของห้องเผาไหม้ของโรงไฟฟ้านั้นๆก่อนเพื่อหาปริมาณความต้องการเชื้อเพลิงชีวมวล

5.2.2 การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเชื้อเพลิงร่วมสองชนิดคือแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ควรศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นๆเพื่อทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติม

5.2.3 การปรับปรุงระบบการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวลสามารถส่งผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลได้อีกทางหนึ่ง หากจะมีการปรับปรุงระบบการทำงานของโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อลดการสูญเสียก็สามารถช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงได้เช่นกัน

5.2.4 ประเทศไทยพึ่งพาแหล่งเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติสูงมาก ไม่มีความหลากหลายของแหล่งเชื้อเพลิง ซึ่งเสี่ยงต่อความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศ พลังงานชีวมวลในประเทศถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถพัฒนาเป็นพลังงานหลักที่มีความสำคัญในประเทศได้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีความอุดมสมบูรณ์ทางด้านพืชเกษตรกรรมอย่างมาก

5.2.5 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการสับมาจากโรงสับ โดยโรงไฟฟ้าเป็นฝ่ายรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีการบดสับแล้วขนาดต่างๆไปของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยการตากแห้งบนลานกว้างกำหนดให้กองเชื้อเพลิงสูง 3,000 มิลลิเมตร หากต้องการศึกษาเพิ่มเติมในขนาดของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส สามารถศึกษาในส่วนของการลดขนาดเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อให้ได้คุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมากขึ้น แต่ควรศึกษาถึงผลกระทบจากปริมาณฝุ่นไม้ที่เกิดจากการบดย่อยเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วย

5.2.6 การศึกษาเชื้อเพลิงร่วมในครั้งนี้ได้ศึกษาจากแหล่งที่มีวัตถุดิบคือเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นหลัก ซึ่งส่วนมากปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีอากาศที่ร้อนและอุณหภูมิสูง หากมีการศึกษาเพิ่มเติมในภูมิภาคอื่นที่มีฤดูฝนมาเกี่ยวข้องควรศึกษาถึงขนาดของลานตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพราะขนาดของลานตากแห้งมีผลต่อปริมาณของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและระยะเวลาในการตากด้วย โดยปกติแล้วการจัดเก็บเปลือกไม้ยูคาลิปตัสขณะฝนตกจะใช้ผ้าใบพลาสติกคลุมเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเพื่อป้องกันน้ำฝนหรือน้ำค้าง แต่อาจจะใช้ระยะเวลาในการตากแห้งนานกว่าผลการศึกษาที่ได้ออกมาครั้งนี้

รายการอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579, 2558.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. พลังงานชีวมวล 2543 16 ธันวาคม 2558; Available from: http://www2.dede.go.th/renew/bio_p.htm.
3. สำนักวิจัยและค้นคว้ากรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. คู่มือพลังงานชีวมวล 2555 16 ธันวาคม 2558]; Available from: <http://www2.dede.go.th>.
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564), 2555.
5. ถิ่นสันติสุข, พ., วารสาร *Energy Saving*. สงครามแย่งชิงชีวมวล, 2557. ปีที่ 6(ฉบับที่ 64): p. หน้าที่ 68-69.
6. พึ่งประเสริฐ, ว. สมาคมนักลงทุนเน้นคุณค่า (ประเทศไทย). อนาคตประเทศไทย-พลังงาน 2556 3 สิงหาคม 2558]; Available from: <http://www.thaivi.org>.
7. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักเศรษฐกิจการเกษตรเผยแพร่ประชากรเกษตรมีแนวโน้มลดลงและเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุมากขึ้น 2556 3 สิงหาคม 2558]; Available from: <http://www.oae.go.th/>.
8. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ.2556, 2556.
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. แผนที่แสดงที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนในประเทศไทย 2557 10 กันยายน 2558]; Available from: <http://www.dede.go.th/>.
10. สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. ฐานข้อมูล *SPP/VSP*. 2558 13 ตุลาคม 2558]; Available from: <http://www.erc.or.th/ERCSP/default.aspx?x=0&muid=23&prid=41>.
11. Quizzes, E. *Electric Power Generation - Theory*. 2558 13 ตุลาคม 2558]; Available from: <http://www.electricalquizzes.com/electric-power-generation/electric-power-generation>.

12. คิดหาทอง, พ., วารสารวิจัยพลังงาน. การศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย, 2557. ปีที่ 11(ฉบับที่ 1).
13. พรหมภูเบศร์, ช., การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไธซ์เบดแบบหมุนเวียน. 2547, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. ตรีพิเชษฐกุล, จ., การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการเผาไหม้ของเตาเผาเหล็กกล้าโดยการประยุกต์ใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล. 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
15. พันธุ์ชรรพล, อ., การประเมินมูลค่า ความยืดหยุ่นโดยวิธีเรียลอปชัน : กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลระบบแก๊สซิฟิเคชัน แบบเชื้อเพลิงหลายชนิด ขนาดน้อยกว่า 1 เมกกะวัตต์. 2556, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
16. สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, โครงการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตชีวภาพจากหญ้าชนิดต่างๆในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
17. ศุภาดาร์ตนาวงค์, ศ., การอพติไมซ์การเผาไหม้ร่วมในฟลูอิดไธซ์เบดแบบหมุนเวียนของขยะพลาสติกและชีวมวล. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
18. กิติภัทร์ถาวร, เ., เชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลและตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. 2555, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. หาญชนะ, ช., ผลของตัวแปรดำเนินการต่อการปล่อยแก๊สระหว่างการเผาไหม้ร่วมของถ่านหินและชีวมวลในหม้อกำเนิดไอน้ำฟลูอิดไธซ์เบสแบบหมุนเวียน. 2554.
20. แสงบุญ, ร., การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีเลื้อยในเตาผลิตแก๊สแบบเบดคู่. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การหาผลการทดลองจากอุปกรณ์ทดลอง

1. การหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงผสม

ในการหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงผสมนั้น จะเก็บข้อมูลจากการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ ในการหาค่าความหนาแน่นคือ ใช้ปริมาณของเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าบรรจุลงในถังตวงที่กำหนดปริมาตรไว้ ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 ขนาดของถังตวงปริมาตรที่ใช้ในการทดลอง

โดยสมการที่ใช้หาค่าความหนาแน่นคือ

$$\rho = \frac{m}{v}$$

(13)

Fuel mass $m = \text{mass filled container} - \text{mass empty [kg]}$

Container volume $v \quad (\text{m}^3)$

ในการศึกษาหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงผสมเพื่อดูปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวมคือ ความชื้น เพราะเมื่อเชื้อเพลิงมีการคายความชื้นจะมีการหดตัว และมีขนาดที่เปลี่ยนแปลง

2. การหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงผสม

ในการศึกษาหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงผสมในที่นี่จะทำการศึกษาในส่วนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่นำมาผสมเพื่อลดปริมาณการใช้แกลบเนื่องจากแกลบมีราคาที่สูง ณ ปัจจุบัน และเป็นวัตถุดิบของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีการแย่งชิงกัน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงคือ Moisture Analyzer PCE-MB 210C โดยทั่วไปน้ำที่มีอยู่ในแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัส จะเป็นน้ำภายในตัวของแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัส เอง (Inherent Water) เช่น น้ำที่อยู่ในพืช ผัก เศษอาหาร ซึ่งมรประมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก (Attached Water) เช่น น้ำฝน น้ำที่ออกมาจากเศษอาหาร จะมีประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด

การคำนวณ

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (14)$$

โดยที่

M = ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

W_1 = น้ำหนักแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักแกลบและเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังจากอบ

โดยการวิเคราะห์หาค่าความชื้นของเชื้อเพลิงผสมจะแยกออกเป็นสองส่วนคือแกลบที่เป็นเชื้อเพลิงหลัก และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งการหาค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจะหาค่าความชื้นหลังจากกระบวนการตากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยแสงแดดเพื่อลดค่าความชื้น ซึ่งในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสได้มีการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสไปตากในลานกว้าง กำหนดระยะเวลาในการตากวันละ 6 ชั่วโมง และมีการพลิกเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสลับไปมาจำนวน 5 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลา 5 วัน หลังจากได้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านกระบวนการตากด้วยแสงแดดแล้ว นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นโดยแยกการวิเคราะห์ตามระยะเวลาของการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสไปตาก

3. การใช้ Moisture Analyzer ในการหาค่าความชื้นของเชื้อเพลิง

เครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Analyzer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความชื้นของเชื้อเพลิงโดยหลักการทำงานจะดึงไอน้ำออกจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองและเก็บค่าความชื้นของวัตถุดิบนั้นโดยการเทียบอัตราส่วน ซึ่งจะได้ค่าออกมาที่หน้าจอของเครื่องดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 หน้าจอประมวลผลของ Moisture Analyzer

4. การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสม

ในการศึกษาเพื่อหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลในที่นี่ได้ศึกษาหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อไปใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้ระบบการทำงานของห้องเผาไหม้ (Combustion) แบบสโตกเกอร์ (Stoker) เนื่องจากชนิดของเชื้อเพลิงผสมมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยกำหนดการทำงานของห้องเผาไหม้ไว้ที่ 950 องศาเซลเซียส ให้ห้องเผาไหม้มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 35,493 กิโลวัตต์ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความร้อนที่ต้องการจากเชื้อเพลิงและปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา สรุปคือจะใช้ปริมาณเชื้อเพลิงหน่วยกิโลกรัมต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ค่าความชื้นเหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงสุด

การทดลองหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลได้ใช้อุปกรณ์หาค่าความร้อนที่เรียกว่า บอม แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งการทำงานของ Bomb Calorimeter จะใช้หลักการของ Direct Calorimeter เป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงจะถูกบรรจุใน Chamber และ Charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ ความดันสูง (High Pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิด (Ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงและออกซิเจน (Fuel-Oxygen Mixture) เนื่องจาก Calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกัน ไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากเชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงจะปลดปล่อยปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิด

4.1 การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) และ พลังงานต่อหน่วยมวล (ΔH) ที่ เกิดขึ้น ใน Bomb calorimeter

เนื่องจาก Bomb Calorimeter ถูกออกแบบให้ไม่มีความร้อนเคลื่อนที่เข้าและออกจากระบบโดยการหุ้มด้วยฉนวนจึงสามารถกล่าวได้ว่า Reactant (เชื้อเพลิงและออกซิเจน) จัดเป็นระบบ (System) และส่วนที่เหลือของ Calorimeter (Bomb) จัดเป็นสถานะแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของ Reactants จากปฏิกิริยาการเผาไหม้สามารถ คำนวณได้จาก

$$dU_{\text{tot}} = dU_{\text{sys}} + dU_{\text{surr}} = 0 \quad (15)$$

$$\begin{aligned} dU_{\text{sys}} &= -dU_{\text{surr}} \\ &= -\left[\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV \right] \end{aligned} \quad (16)$$

เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร, $dV = 0$

$$dU_{\text{sys}} = -C_v dT$$

C_v ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของ surrounding คือ Bomb

4.2 การเปลี่ยนแปลงพลังงานต่อหน่วยมวล (Enthalpy, ΔH)

จากนิยามของพลังงานต่อหน่วยมวล

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV) \quad (17)$$

Expansion Work ($\Delta(pV)$) ใน กรณีของแข็งและของเหลวมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$\Delta H = \Delta U \quad (18)$$

ในกรณีของ Ideal Gas

$$\Delta H = \Delta U + RT\Delta n_{\text{gas}} \quad (19)$$

ความแตกต่างระหว่าง ΔU และ ΔH

$\Delta U = q_v$ เป็นความร้อนที่ถ่ายเทภายใต้สภาวะที่มีปริมาตรคงที่ (Constant Volume)

$\Delta H = q_p$ เป็นความร้อนที่ถ่ายเทภายใต้สภาวะที่มีความดันคงที่ (Constant Pressure)

ดังนั้นความแตกต่างระหว่าง ΔU และ ΔH จึงอยู่ที่ pV work สามารถเกิดภายใต้สภาวะที่ ปริมาตรคงที่ (Constant Volume Condition)

พิจารณาในกรณี $\Delta n_{\text{gas}} > 0$ ตัวอย่างเช่นระบบระบบมีการขยายตัวระหว่างการเกิดปฏิกิริยา พลังงานบางส่วนจะถูกปล่อยในรูปของงานภายใต้สภาวะความดันคงที่ (Constant Pressure) ดังนั้น ความร้อนที่ถูกละปล่อยจะน้อยกว่า Constant Volume

$$\text{Heat Released} < \text{Energy Released}$$

$$-\Delta H < -\Delta U$$

$$\Delta H > \Delta U$$

ในกรณี $\Delta n_{\text{gas}} < 0$ เช่น ระบบมีการหดตัว (System Contract) ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาใน กรณีนี้ สิ่งแวดล้อมทำงานให้ระบบ

$$\text{Heat Released} > \text{Energy Released}$$

$$-\Delta H > -\Delta U$$

$$\Delta H < \Delta U$$

4.3 การ Calibrate Calorimeter

การวัดค่า C_v ของ Calorimeter ทำได้โดยการเผาไหม้สารมาตรฐานที่ทราบค่า ΔU เช่น Benzoic Acid

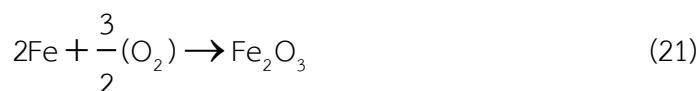
4.4 Correction ใน Bomb Calorimeter

(1) การเผาไหม้ (Combustion of Fuel)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ Nickel และ iron fuse เป็นไปตามสมการที่ 20 และ 21



หรือ



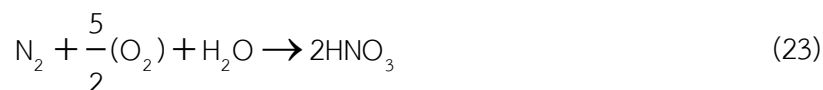
ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้ Fuse หาได้จาก

$$\Delta U = \Delta U_{\text{sample}} \cdot m_{\text{sample}} + \Delta U_{\text{burn fuse}} \cdot m_{\text{burn fuse}} = -C_v \Delta T \quad (22)$$

โดยน้ำหนักของ Fuse หาโดยชั่งน้ำหนัก Fuse ก่อนและหลังการเผาไหม้ใน Bomb

(2) การเกิดกรดไนตริก

การเผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิสูง Nitrogen สามารถเปลี่ยนเป็น Nitric Acid ในสถานะที่มีออกซิเจนและน้ำ



ดังนั้นการ Flushing Bomb โดยใช้ ออกซิเจนก่อนการเผาไหม้จะสามารถไล่ Nitrogen และกำจัดกรเกิด Nitric Acid

5. การทดลองหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

เถ้า คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ ซึ่งได้แก่แร่ธาตุต่างๆ เมื่อนำเชื้อเพลิงไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ส่วนที่เป็นอินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไป เหลืออยู่แต่ส่วนของสารอนินทรีย์ ค่าของเถ้าที่หาได้สามารถบอกถึงคุณภาพของเชื้อเพลิงที่นำมาทดลอง ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติอาจจะมีการปลอมปนของเศษดินหรือทรายได้

การคำนวณ

$$V = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (24)$$

V = ร้อยละของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้

W_1 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนทำการเผา

W_2 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังทำการเผา

การคำนวณหาค่า Ash content คือ %Ash Content = 100-V

6. สภาวะของห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาจากเตาเผาชนิดสโตกเกอร์ (Stoker) ดังรูปที่ 25 โดยกำหนดสภาวะการทดลองให้มีตัวแปรคงที่ดังต่อไปนี้

- ความจุความร้อนของห้องเผาไหม้ 141,195.6 เมกะจูล
- กำลังการผลิตไฟฟ้า 9.9 เมกะวัตต์



รูปที่ 25 ภายในห้องเผาไหม้ชนิดสโตเกอร์ (Stoker)

7. การคำนวณหาความคุ้มค่าของราคาเชื้อเพลิง

ในการคำนวณหาความคุ้มค่าของราคาเชื้อเพลิงเพื่อที่จะนำไปใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลนั้น ปัจจุบันราคาของเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลคือ แกลบ มีราคาที่สูงเกินจุดคุ้มทุนของการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวล จึงได้มีการนำเชื้อเพลิงผสมมาใช้ทดแทนการใช้ แกลบ โดยการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ไม่มีการนำไปใช้ในกระบวนการโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผสม แต่ด้วยคุณสมบัติของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีค่าความชื้นสูงทำให้กระบวนการเผาไหม้ของห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แล้วมีปริมาณของเศษเปลือกไม้ที่เผาไหม้ไม่หมด (Unburned) ปนออกมากับเถ้า และจากค่าความชื้นที่สูงทำให้ค่าความร้อนของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสต่ำลงไปด้วย ในการทดลองนี้ได้นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมาพัฒนาคุณภาพให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับแกลบ โดยใช้ขั้นตอนพื้นฐานเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาคุณภาพคือ นำเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีการสับย่อยก่อน นำเข้าสู่เตาเผาไหม้มาพัฒนาคุณภาพโดยการตากเพื่อลดค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และเพิ่มค่าความร้อนเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ในขั้นตอนการพัฒนาประสิทธิภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสนี้ คำนึงถึงองค์ประกอบของต้นทุนในการเพิ่มประสิทธิภาพเป็นหลักเพราะถือว่าเป็นต้นทุนที่จะต้องเพิ่มเข้าไปในราคาของเชื้อเพลิงที่ได้มา คือ

1. ราคาของวัตถุดิบ (Raw Material) คือ ราคาของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส
2. ค่าแรงงานทางตรง (Direct Labor) คือ ค่าแรงของคนงานที่ทำหน้าที่ในการเพิ่มประสิทธิภาพเชื้อเพลิง

3. ค่าใช้จ่ายการผลิต (Manufacturing Overhead) คือ ค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพ

โดยข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บเป็นสถิติเพื่อนำไปคำนวณหาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส หลังจากนั้นจะได้ราคาที่เป็นราคาต้นทุนที่แท้จริงของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการนำมาเป็นเชื้อเพลิงผสม และประมาณการปริมาณการใช้เชื้อเพลิงผสมจากอัตราส่วนตลอดระยะเวลา 1 ปีเพื่อให้มีความเพียงพอต่อการใช้งานเชื้อเพลิงร่วมในแต่ละฤดูกาล

7.1 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ Net Present Value: NPV

เป็นหลักการใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ หรือความคุ้มค่าของการลงทุน โดยหลักการจะต้องมีการประมาณการกระแสเงินสดตลอดอายุของโครงการ จากจุดนี้จะเห็นว่า การลงทุนในปีนี้ แต่กระแสเงินสดที่ได้รับจากโครงการนั้นจะเข้ามาในอนาคต และด้วยหลักการของมูลค่าของเงินตามเวลานั้นทำให้ทราบว่ากระแสเงินสดในอนาคตจะมีค่าไม่เท่ากับกระแสเงินสดในปัจจุบันทำให้ไม่สามารถเอามูลค่าที่อยู่กันคนละเวลามาหักกลบกันได้ ดังนั้นต้องมีการแปลงค่ากระแสเงินสดในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบันก่อน จากนั้นหาผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคตแล้วค่อยนำมาหักกลบกับเงินลงทุนที่ใช้ไปในปัจจุบันดังสมการของ Net Present Value

$$NPV = - CF_0 + PV(CF_1) + PV(CF_2) + PV(CF_3) + \dots + PV(CF_n) \quad (25)$$

โดย

CF_0 คือ เงินลงทุนที่ใช้ในปัจจุบัน

$PV(CF_1) \dots PV(CF_n)$ คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในปีที่ 1 - ปีสุดท้ายของโครงการ (ปีที่ n)

ทั้งนี้

$$PV(CF_i) = \frac{CF_i}{(1 + \text{Cost of Capital})^i} \quad (26)$$

7.2 การคำนวณช่วงเวลาการชำระคืน (Payback Period)

การคำนวณหาช่วงเวลาการชำระคืนเป็นการคิดคำนวณหาจำนวนปีที่ส่วนลด ของกระแสเงินสดของการลงทุนในโครงการนั้นมีค่าเท่ากับการลงทุนตอนเริ่มแรกโดยสมการ

$$\text{ค่าช่วงเวลาชำระคืน} = \text{การลงทุนเริ่มแรก} / (\text{ค่า NPV ในการลดค่าใช้จ่าย} / \text{ปีที่ทั้งหมดที่คิดค่าคำนวณ})$$



ภาคผนวก ข

วิธีการหาค่าจากอุปกรณ์การทดลอง

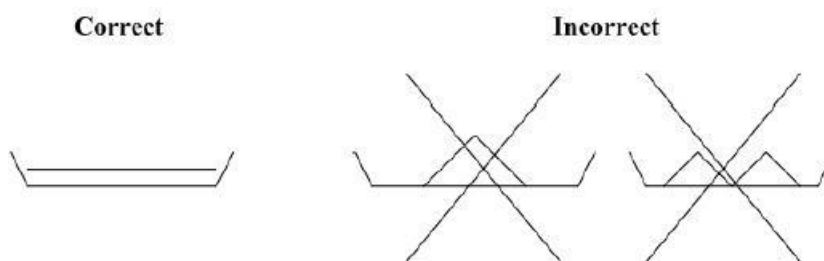
1. วิธีการหาค่าความชื้น

- (1) ทำการเปิดเครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Analyzer) เพื่ออุ่นระบบทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
- (2) เตรียมวัตถุดิบที่จะใช้ในการทดลองไว้โดยบดย่อยยเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็กพอที่จะนำไปใส่ในงานทดลองเพื่อนำไปอบในเครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Analyzer)
- (3) ทำการเปิดฝาเครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Analyzer) เพื่อเซตค่าศูนย์โดยกดที่ปุ่ม Press Tar ดังรูปที่ 26



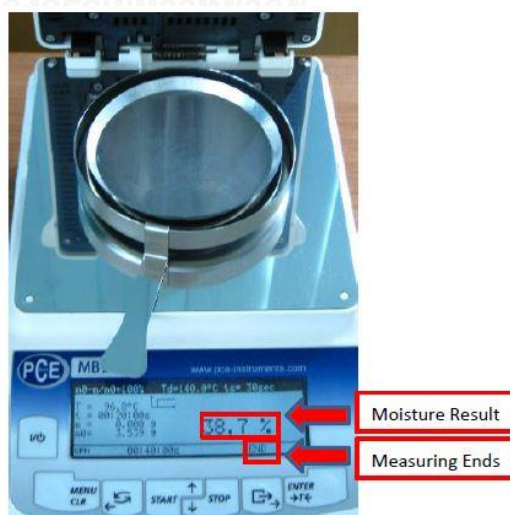
รูปที่ 26 การเซตค่าศูนย์ของอุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความชื้น

- (4) หลังจากเซตค่าศูนย์เรียบร้อยแล้วให้นำวัตถุที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในจานทดลอง (Sample pan) โดยเกลี่ยวัตถุให้กระจายไปทั่วจานทดลอง (Sample pan) เพื่อให้การวัดค่าความชื้นและการแผ่ความร้อนไปยังเชื้อเพลิงทั่วถึงและได้ผลของการทดลองที่มีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 การใส่เชื้อเพลิงในจานทดลอง (Sample pan)

- (5) นำวัตถุใส่เข้าไปในเครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Analyzer) และทำการปิดฝา และกดปุ่ม start เพื่อเริ่มทำงาน พยายามดูที่กระจก (Sight glass) และหน้าจอ (Monitor) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ หลังจากทีวัตถุถูกอบจนเกิดการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture Analyzer) จะหยุดทำงาน และผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าความชื้นจะแสดงขึ้นที่หน้าจอ (Monitor) ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของวัตถุที่ใช้ในการทดลอง

(6) ทำการบันทึกผลการทดลองที่ได้และทำในรูปแบบเดิมซ้ำกันอีก 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ
 วัตถุที่ใช้ในการทดลอง และนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในผลลัพธ์ของการทดลอง ในการทดลอง
 แต่ละครั้งจะต้องจัดเก็บวัตถุดิบที่ได้มาอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่า
 ความชื้นวัตถุดิบระหว่างที่ทำการทดลองวัตถุดิบชนิดอื่นอยู่ เพราะอาจจะทำให้ผลการ
 ทดลองที่ได้ออกมามีความคลาดเคลื่อนและผลลัพธ์ที่ได้ออกมาไม่มีความสมบูรณ์

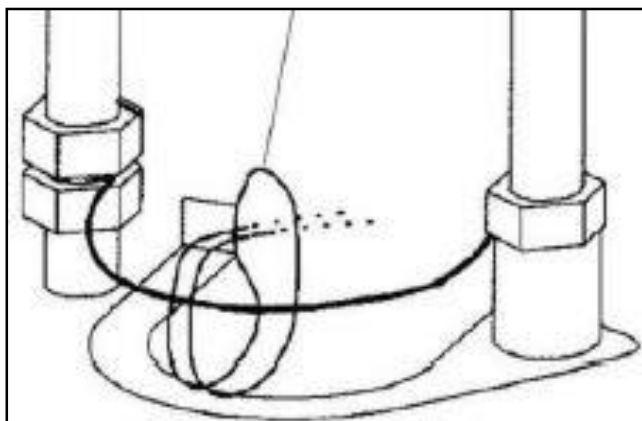
2. วิธีการหาค่าความร้อน Bomb Calorimeter

1. เตรียม vessel เพื่อใช้ในการทดลอง โดยตรวจสอบความสะอาดภายใน vessel และแยก
 ส่วนประกอบต่างๆที่อยู่ภายใน vessel ออกดังรูปที่ 29 ทำการตรวจสอบอีกครั้งว่าไม่มีเศษ
 ผุ่นหรือเศษวัสดุใดๆอยู่ภายใน vessel



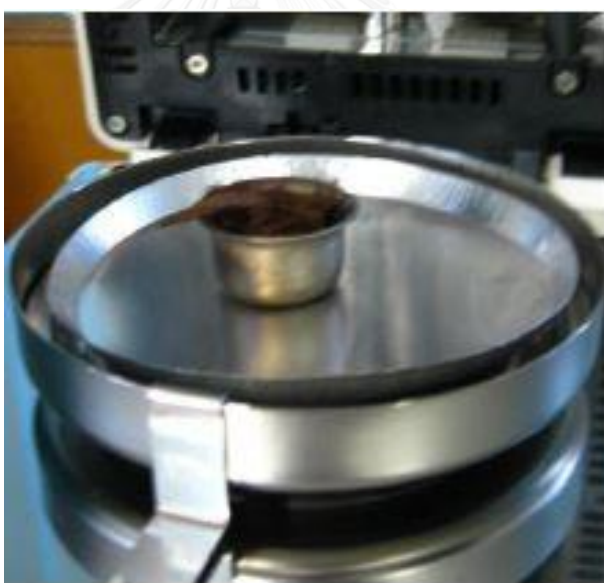
รูปที่ 29 การเตรียม vessel เพื่อทดลอง

2. ทำการใส่ชดลวดนำความร้อนและด้าย cotton ดังในรูปที่ 30 เพื่อหาค่าความร้อนในการเผา
 ไหมอย่างสมบูรณ์



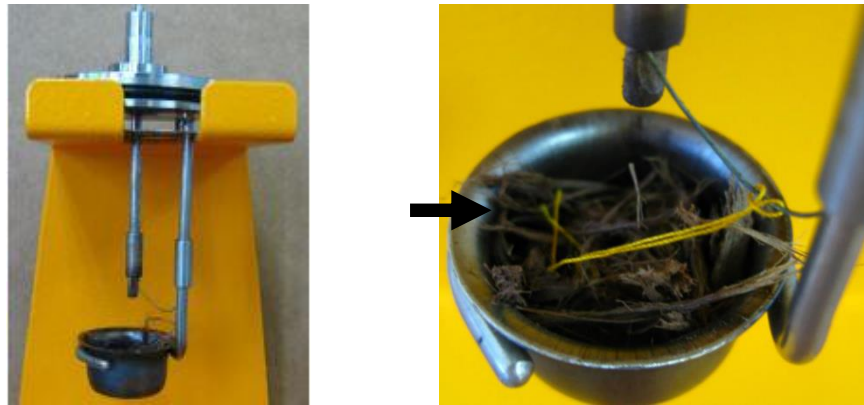
รูปที่ 30 ใส่ขดลวดนำความร้อนและด้าย cotton ใน lid

3. นำเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองมาบดให้ละเอียดและนำไปใส่ในถ้วย (cup) เพื่อชั่งน้ำหนักก่อนทำการทดลองดังรูปที่ 31



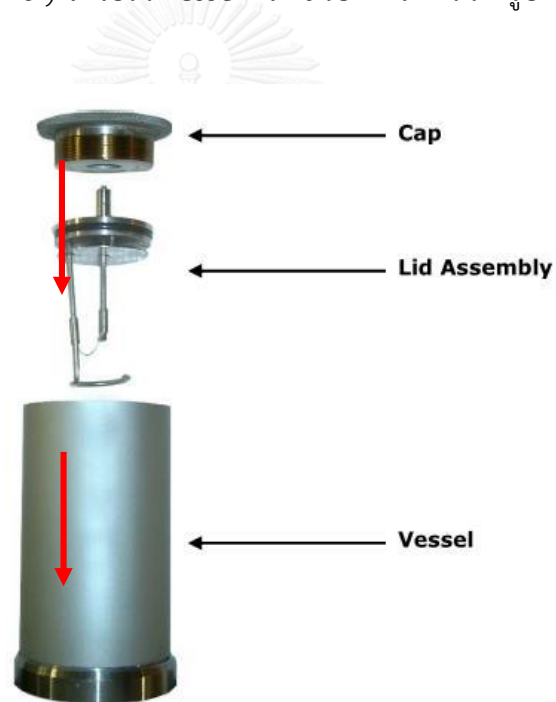
รูปที่ 31 ทำการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงการนำไปทดลอง

4. นำเชื้อเพลิงที่อยู่ในถ้วย (cup) ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วไปใส่ลงใน electrode's cup หลังจากนั้นทำการตรวจสอบด้าย cotton ว่าได้สัมผัสกันอยู่ที่เชื้อเพลิงที่ทำการทดสอบหรือไม่ หากไม่ให้นำมาจัดเรียงเชื้อเพลิงและด้าย cotton ให้สัมผัสกัน ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 ขั้นตอนการนำเชื้อเพลิงใส่ใน Lid assembly

5. ทำการใส่ Lid assembly ลงไปใน vessel และขันปิดฝาให้แน่นดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 ขั้นตอนการใส่ Lid assembly

6. นำ vessel ที่ปิดฝาสนิทแล้วมาที่เครื่อง filling station เพื่อทำการอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปใน vessel โดยกำหนดแรงดันไว้ที่ 30 bar ดังรูปที่ 34 หลังจากอัดแรงดันเสร็จแล้วนำ vessel ไปเข้าเครื่อง calorimeter หลังจากนั้นนำ vessel ไปใส่ในเครื่อง calorimeter หน้าจอของเครื่องจะแจ้งให้ทำการปิดฝา หลังจากนั้นระบบจะทำงานอัตโนมัติเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ทำการทดลอง



ก่อนอัดแรงดันเข้าไปใน vessel



หลังอัดแรงดัน 30 bar เข้าไปใน vessel



นำ vessel เข้าเครื่อง filling station



นำ vessel ที่ผ่านการอัดแรงดัน 30 bar มาใส่

รูปที่ 34 ขั้นตอนการอัดแรงดันเข้าไปใน vessel และนำ vessel ไปทำการทดลอง

7. ในระหว่างที่ calorimeter ทำงานหน้าจอก็จะแสดงผลต่างๆตามลำดับและจะได้ค่าสุดท้ายของการทดลองออกมาดังรูปที่ 35 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสมการการเผาไหม้ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



ค่าสุดท้ายหลังจากการทำงานของ calorimeter เสร็จสิ้น

รูปที่ 35 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง Calorimeter และผลลัพธ์ที่ได้

8. นำผลลัพธ์ที่ได้ไปแทนค่าเพื่อหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงในหน่วยของ กิโลจูลต่อกิโลกรัม เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

3. วิธีการทดลองหาค่าเถ้า (Ash content)

1. นำตัวอย่างของเชื้อเพลิงมาทำการบดย่อยให้ละเอียด
2. อบเชื้อเพลิงที่ทำการบดย่อยละเอียดแล้วไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 75°C ประมาณ 2 ชั่วโมง
3. ปล่อยทิ้งให้เย็นใน Desiccators
4. สุ่มตัวอย่างประมาณ 3-6 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องทนความร้อนที่ทราบน้ำหนักแล้ว ซึ่งน้ำหนักรวมของเชื้อเพลิงและถ้วยกระเบื้อง
5. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 °C ประมาณ 1-2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ปล่อยทิ้งให้เย็นใน Desiccators ประมาณ 1-2 ชั่วโมง
7. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงพร้อมถ้วยกระเบื้อง

ภาคผนวก ค

ข้อมูล ผลการทดลองและการคำนวณ

1. ราคาซื้อเพลิงแกลบในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดสุรินทร์)

ราคาแกลบในจังหวัดสุรินทร์ เป็นราคาที่รวบรวมจากมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส.) รวบรวมไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2550-2558 ซึ่งข้อมูลราคาที่ได้มีดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ราคารับซื้อแกลบหน้าโรงสีในจังหวัดสุรินทร์

	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
แกลบ 2550	550	550	550	550	650	700	750	750	750	750	700	650
แกลบ 2551	700	700	750	1100	1000	1050	1200	1200	1100	1100	900	900
แกลบ 2552	900	900	1000	1100	1200	1100	1100	1100	1100	1100	1000	1000
แกลบ 2553	1000	900	1000	1100	1200	1100	1100	1200	1200	1200	1000	1000
แกลบ 2554	1000	1000	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
แกลบ 2555	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
แกลบ 2556	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1300	1300	1300	1300	1300
แกลบ 2557	1400	1400	1400	1400	1400	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
แกลบ 2558	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

*หน่วย: บาท/ตัน

2. ราคาเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดขอนแก่น)

ราคาในการรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสแบ่งเป็นสองราคาคือราคาเปลือกไม้ยูคาลิปตัสหยาบ และราคาเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสด ซึ่งเป็นราคารับซื้อหน้าโรงไฟฟ้าชีวมวลในจังหวัดขอนแก่นในปี พ.ศ. 2557 มีข้อมูลราคาการรับซื้อดังตารางที่ 13 ซึ่งบริษัทที่ขายเปลือกไม้ยูคาลิปตัสให้โรงไฟฟ้าชีวมวลมีอยู่ 2 แห่ง ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น

ตารางที่ 13 ราคาและจำนวนรับซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในช่วงเดือนหน้าโรงไฟฟ้าชีวมวลในจังหวัดขอนแก่น

ลำดับ	บริษัท	เปลือกหยาบ			เปลือกบด			รวม	
		จำนวน (ตัน)	ราคา (ตัน/บาท)	รวม (บาท)	จำนวน (ตัน)	ราคา (ตัน/บาท)	รวม (บาท)	ตัน (ตัน)	จำนวนเงิน (บาท)
1	A	7,190.43	350.00	2,516,650.50	2,302.71	480.00	1,105,300.80	9,493.14	3,621,951.30
2	B	108.13	350.00	37,845.50	816.70	480.00	392,016.00	924.83	429,861.50
รวมทั้งสิ้น		7,298.56		2,554,496.00	3,119.41		1,497,316.80	10,417.97	4,051,812.80

3. ระบบห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองเป็นเทคโนโลยีจาก บริษัท ลาวี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ประเทศเยอรมันนี โดยเป็นระบบการทำงานแบบตะกรับเผาไหม้ควบคุมการทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) ดังตารางที่ 14 แสดงถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ความจุความร้อน อุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ปริมาณออกซิเจน (Oxygen) จากการเผาไหม้

ตารางที่ 14 แสดงถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลของห้องเผาไหม้

Manufacturer	LAWI Engineering
Type	EtaComb© 400 adiabatic type with post combustion chamber
Thermal capacity	141,195.6 MJ (39.2 MW.h)
Combustion temperature	950 °C
Combustion air total	up to 57,000 Nm ³ /h
Flue gas at furnace outlet	up to 107,000 Nm ³ /h
Flue gas at furnace outlet	950 °C
Flue gas oxygen content	4 Vol% (wf)
Flue gas at boiler outlet	up to 86,000 Nm ³ /h
Flue gas at boiler outlet	140 °C

4.ผลการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง

4.1 คุณสมบัติของแกลบ

หลังจากนำเชื้อเพลิงแกลบเข้าห้องทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติความร้อน ความชื้น ความหนาแน่น และคุณสมบัติทางเคมี ได้ผลของการทดลองออกมาดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าการทดสอบเชื้อเพลิงแกลบ

Parameter	Unit	Result analysis
Fuel water content	%	7.9
Ash content	%	19.93
High heating value (HHV)	kJ/Kg	13,586
Low heating value (LHV)	kJ/kg	16,399
Carbon (C)	%	48.44
Hydrogen (H)	%	6.84
Oxygen (O)	%	44.53
Nitrogen (N)	%	0.12
Sulfur (S)	%	0.07
Chlorine (Cl)	%	0.09
Fuel bulk density	Kg/m ³	125

4.2 คุณสมบัติของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

หลังจากนำเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสเข้าห้องทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติความร้อน ความชื้น ความหนาแน่น และคุณสมบัติทางเคมี ได้ผลของการทดลองออกมาดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าการทดสอบเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

Parameter	Unit	Result analysis
Fuel water content	%	38.44
Ash content	%	3.74
High heating value (HHV)	kJ/Kg	9,213
Low heating value (LHV)	kJ/kg	7,163
Carbon (C)	%	45.49
Hydrogen (H)	%	6.50
Oxygen (O)	%	47.73
Nitrogen (N)	%	0.26
Sulfur (S)	%	0.03
Chlorine (Cl)	%	0.4
Fuel bulk density	Kg/m ³	240

5. ผลการคำนวณการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

จากการศึกษาต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยคำนึงถึงต้นทุนต่ำสุดในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจากต้นทุนหลักคือ ต้นทุนการซื้อเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ต้นทุนแรงงานในการตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และต้นทุนเครื่องจักรในการตากแห้งและจัดเก็บเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยคำนวณจากปริมาณการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยแล้วใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 20 ตันต่อชั่วโมงหรือ 480 ตันต่อวัน ซึ่งพื้นที่ในการตากแห้งกองเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ความสูงของกองเปลือกไม้ยูคาลิปตัส 0.3 เมตร ต้องใช้พื้นที่ลานตากกว้าง 80 เมตร ยาว 80 เมตร จึงจะได้ปริมาณเปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่ค่าความหนาแน่น 240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เท่ากับอัตราการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 100 เปอร์เซ็นต์ใน 1 วัน ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง 100 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ในการตากแห้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

Capacity Calculation

Storage duration	1	days
Fuel consumption(Full load)	20	ton/h
Minimum Bulk density of fuel	240	kg/m ³
Calculation volume	2,000	m ³

Fuel volume

Volume/hour	83.33	m ³ /h
Volume per storage duration	28,000	m ³

fuel dumping high max	0.3	m
average fuel dumping high	0.3	m
required area for fuel	2,000	m ²
sizing for building(length)	80	m
width	80	m

dimension of building(W x L)	6,400	m ²
total volume with fuel dumping high	1,920	m ³

assume fuel dumping angle	60	degree
---------------------------	----	--------

และต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสคำนวณจากตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ต้นทุน	ราคา (บาท)	หน่วย
ราคาวัตถุดิบ (เปลือกไม้ยูคาลิปตัสหลังจากสับมาจากโรงงาน 480 ต้นต่อวัน)	480.00	บาท/ ต้น
ค่าแรงงานทางตรง (แรงงานในการพลิกและเก็บเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจำนวน 10 คน)	3,000.00	บาท/วัน
ค่าใช้จ่ายในการผลิต (ค่าน้ำมัน, ค่าอุปกรณ์อื่นๆ)	1,000.00	บาท/วัน
ราคาวัตถุดิบรวม	230,400.00	บาท
ค่าแรงงานทางตรงรวม	15,000.00	บาท
ค่าใช้จ่ายในการผลิตรวม	5,000.00	บาท
ค่าใช้จ่ายรวม	250,400.00	บาท

ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าต้นทุนเฉลี่ยในการพัฒนาเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในระยะเวลา 5 วันของการตากแห้งเป็นไปตามตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ต้นทุนในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ค่าแรงงานทางตรงรวมและค่าใช้จ่ายในการ ผลิตรวม			Day				
			1	2	3	4	5
			4000	8000	12000	16000	20000
พื้นที่ลาน	80x80	เมตร	480	480	480	480	480
ความสูงกองเชื้อเพลิง	0.3	เมตร	8.3	16.7	25.0	33.3	41.7
ปริมาณเชื้อเพลิง	480	ตัน					
		บาท/ตัน	488.3	496.7	505.0	513.3	521.7

ตัวอย่างการคำนวณตารางที่ 19

กำหนดให้ใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัส 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความหนาแน่นต่ำสุด 240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร(ที่ค่าความชื้นเริ่มต้น 38.88 เปอร์เซ็นต์) จะได้ว่า

1. ปริมาณการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสสูงที่สุด 480 ต้นต่อวัน
2. ค่าแรงงานทางตรงรวมและค่าใช้จ่ายในการผลิตรวม คือ 4,000 บาทต่อวัน

เมื่อนำปริมาณการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสสูงที่สุดหารด้วยค่าแรงงานทางตรงรวมและค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมจะมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาคุณภาพเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอยู่ที่ 8.3 บาทต่อตัน ซึ่งเมื่อนำไปรวมกับต้นทุนเปลือกไม้ยูคาลิปตัสแล้วจะได้ต้นทุนรวมคือ 488.3 บาทต่อตัน

6. การคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงและความจุความร้อนของห้องเผาไหม้การคำนวณความจุความร้อนของห้องเผาไหม้คำนวณจาก

ความจุความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมดที่กำลังพิจารณามีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย เช่น หากต้องการทราบค่าความจุความร้อนของน้ำ ก็ทำได้โดยนำน้ำปริมาณที่เราสนใจใส่หม้อแล้วนำไปตั้งไฟ โดยใส่เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเริ่มต้นและบันทึกค่าไว้ปริมาณความร้อนที่เข้าไปและทำให้น้ำทั้งหมดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส คือ ค่าความจุความร้อน ในการออกแบบห้องเผาไหม้มีการกำหนดความจุความร้อนอยู่ที่ 141,195.6 เมกะจูล เพื่อผลิตฟ้าได้ 9.9 เมกะวัตต์โดยส่งออกไปยังหน่วยงานภายนอก 8 เมกะวัตต์ และใช้ในโรงไฟฟ้าเอง 1.9 เมกะวัตต์

การคำนวณหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงคำนวณได้จาก

การเผาไหม้เพื่อให้ได้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้ 950 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิปกติ ต้องใช้ปริมาณความร้อนเท่ากับ 141,195.6 เมกะจูล โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้คือเปลือกไม้ยูคาลิปตัส มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยไอน้ำในผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ไม่เกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำ (Low Heating Value) อยู่ที่ 7,163 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

จะได้ว่า

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ คือ } \frac{141,195.6 \text{ MJ}}{7,163 \text{ kJ / kg}} = 19,818 \text{ kg}$$

หรือ 19.8 ตันต่อชั่วโมง เพื่อให้ได้พลังงานออกมา 39.2 MW.h

โดยพารามิเตอร์ของห้องเผาไหม้ถูกกำหนดไว้ให้ทำงานอัตโนมัติเพื่อให้ได้พลังงานออกมาตามค่าการออกแบบของห้องเผาไหม้ เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าสุดท้ายที่ 9.9 เมกะวัตต์

7. การคำนวณหาอัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงระหว่างแกลบกับเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ในการคำนวณหาอัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงอ้างอิงจากค่ากำหนดหลักคือ ห่อเผาไหม้ที่มีการออกแบบความจุความร้อนไว้ที่ 141,195.6 MJ ด้วยการนำเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยไอน้ำในผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ไม่เกิดการกลั่นตัวเป็นน้ำ (Low Heating Value) ที่แตกต่างกันมาผสมและหาค่าพลังงานความร้อนรวมเพื่อนำกลับไปคำนวณหาต้นทุนของอัตราส่วนการผสมนั้น

ตารางแสดงการคำนวณค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้ ต้นทุนเชื้อเพลิง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อชั่วโมง ความต้องการเชื้อเพลิง และต้นทุนเชื้อเพลิงรวม

หลังสับ

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.1	1,640	150	582	17.46	138,287	80,482,854
เปลือก	0.9	6,447	432				

1 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.1	1,640	150	589.5	10.76	85,255	50,258,042
เปลือก	0.9	11,477	439.5				

2 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.1	1,640	150	597	9.72	76,950	45,939,190
เปลือกไม้	0.9	12,893	447				

3 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.1	1,640	150	604.5	9.72	77,022	46,559,567
เปลือกไม้	0.9	12,879	454.5				

4 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.1	1,640	150	612	9.35	74,043	45,314,224
เปลือกไม้	0.9	13,463	462				

5 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.1	1,640	150	619.5	8.67	68,632	42,517,521
เปลือกไม้	0.9	14,654	469.5				

หลังสับ

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.2	3,279.8	300	684	15.67	124,111	84,892,244
เปลือกไม้	0.8	5,730.4	384				

1 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.2	3,279.8	300	691	10.47	82,949	57,290,135
เปลือกไม้	0.8	10,201.6	391				

2 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.2	3,279.8	300	697	9.58	75,867	52,904,813
เปลือกไม้	0.8	11,460.0	397				

3 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.2	3,279.8	300	704	9.59	75,929	53,454,113
เปลือกไม้	0.8	11,448.0	404				

4 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.2	3,279.8	300	711	9.26	73,344	52,122,818
เปลือกไม้	0.8	11,967.2	411				

5 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.2	3,279.8	300	717	8.66	68,583	49,196,692
เปลือกไม้	0.8	13,025.6	417				

หลังสับ

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.3	4,920	450	786	14.21	112,572	88,481,704
เปลือกไม้	0.7	5,014	336				

1 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.3	4,920	450	792	10.20	80,764	63,951,784
เปลือกไม้	0.7	8,926	342				

2 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.3	4,920	450	798	9.45	74,815	59,677,132
เปลือกไม้	0.7	10,028	348				

3 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.3	4,920	450	804	9.45	74,867	60,155,808
เปลือกไม้	0.7	10,017	354				

4 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.3	4,920	450	809	9.17	72,657	58,804,009
เปลือกไม้	0.7	10,471	359				

5 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.3	4,920	450	815	8.65	68,534	55,866,284
เปลือกไม้	0.7	11,397	365				

หลังสับ

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.4	6,560	600	888	13.00	102,996	91,460,479
เปลือกไม้	0.6	4,298	288				

1 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.4	6,560	600	893	9.94	78,691	70,271,508
เปลือกไม้	0.6	7,651	293				

2 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.4	6,560	600	898	9.32	73,791	66,264,085
เปลือกไม้	0.6	8,595	298				

3 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.4	6,560	600	903	9.32	73,835	66,672,634
เปลือกไม้	0.6	8,586	303				

4 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.4	6,560	600	908	9.09	71,984	65,361,338
เปลือกไม้	0.6	8,975	308				

5 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนกำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.4	6,560	600	913	8.65	68,484	62,526,318
เปลือกไม้	0.6	9,769	313				

หลังสับ

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนที่กำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.5	8,200	750	990	11.99	94,921	93,972,198
เปลือกไม้	0.5	3,582	240				

1 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนที่กำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.5	8,200	750	994	9.69	76,723	76,274,976
เปลือกไม้	0.5	6,376	244				

2 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนที่กำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม (บาท)
แกลบ	0.5	8,200	750	998	9.19	72,795	72,673,179
เปลือกไม้	0.5	7,163	248				

3 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ต้องการต่อค่าความร้อนที่กำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการเชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุนเชื้อเพลิงรวม(บาท)
แกลบ	0.5	8,200	750	1,003	9.20	72,830	73,012,135
เปลือกไม้	0.5	7,155	253				

4 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ ต้องการต่อค่า ความร้อน กำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการ เชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุน เชื้อเพลิง รวม(บาท)
แกลบ	0.5	8,200	750	1,007	9.01	71,323	71,798,219
เปลือกไม้	0.5	7,480	257				

5 วัน

อัตราส่วนการผสม		ค่าความร้อนที่ได้ (kJ/kg)	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ปริมาณที่ ต้องการต่อค่า ความร้อน กำหนด (ตันต่อชั่วโมง)	ความต้องการ เชื้อเพลิงต่อปี (330 วัน)	ต้นทุน เชื้อเพลิง รวม(บาท)
แกลบ	0.5	8,200	750	1,011	8.64	68,435	69,176,814
เปลือกไม้	0.5	8,141	261				

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย กำชัย วงศ์วัฒนเกียรติ เกิดเมื่อวันที่ 11 เมษายน พ.ศ.2527 จบการศึกษาปริญญาบัณฑิตวิศวกรรมเครื่องกล จากสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี 2550 ปัจจุบันทำธุรกิจส่วนตัวในนามบริษัท ชุง คอนสตรัคชั่น จำกัด ตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ และเข้ารับการศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ภาควิชาสหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2556 เป็นต้นมา

