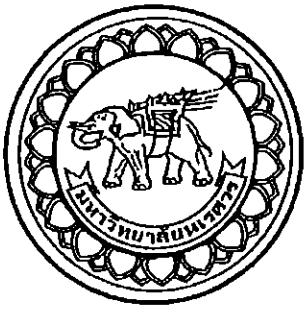


การเปรียบเทียบสมการค่าความร้อนของชีวมวลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

A Comparison of Biomass Heating-Value Equations from Proximate Analysis

นายธิติสรรค์ อินทนนท์ รหัส 49380882

นายวรัญญู วงศ์คำถือ รหัส 49381223

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 21 ก.ค. 2554
เลขทะเบียน 1555701X
เลขเรียกหนังสือ ว.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ธ 5871 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน : การเปรียบเทียบสมการค่าความร้อนของชีวมวลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ
(A Comparison of Biomass Heating-Value Equations from Proximate Analysis)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายธิติสรรค์ อินทนนท์ รหัส 49380882
: นายวรัญญู วงศ์คำลือ รหัส 49381223

ที่ปรึกษาโครงงาน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การเปรียบเทียบสมการค่าความร้อนของชีวมวลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายธิติสรรค์ อินทนนท์ รหัส 49380882
	: นายวรัญญู วงศ์คำลือ รหัส 49381223
ที่ปรึกษาโครงงาน	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2552

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาสมการสำหรับการประมาณค่าความร้อนทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในท้องถิ่น 20 ชนิด ทดลองตามมาตรฐาน ASTM เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว เพื่อนำค่าคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองไปใช้ทดสอบในสมการประมาณค่าความร้อนทางกายภาพของชีวมวล โดยการพิจารณาความแม่นยำของสมการที่ศึกษา จะดูจากการหาค่าความผิดพลาดยกกำลังสองมาเป็นตัวชี้วัด กล่าวคือถ้าสมการใดมีค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุดก็จะเป็นสมการที่มีความแม่นยำมากที่สุด จากการศึกษาพบว่า สมการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีค่าความผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุด คือ สมการของ Demirbas A, 1997 (HHV = 0.312FC+0.1534VM)

Project title : A Comparison of Biomass Heating-Value Equations from Proximate Analysis

Name : Mr.Thitisan Inthanon ID. 49380882

: Mr.Varunyu Vongkamlue ID. 49381223

Project advisor : Asst. Prof. Dr. Patomsok Wilaipon

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2009

.....

Abstract

This thesis studied the estimation equations of the thermal properties of biomass fuels. Using biomass in the local 20 species and Using ASTM standards for the property values from experiments to test the heat equation estimation of the physical biomass. By determining the accuracy of equations studied. Must see to find the error as a measure. That is, if the equation is the sum of any errors will be minimal equation is most accurate. The study found that the heat equation estimation of the biomass squared error is minimal equation Demirbas A, 1997 (HHV = 0.312FC +0.1534 VM).

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงงานจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ วาฤทธิ์ ภมร ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการหาค่าความร้อนของชีวมวลจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ขอขอบคุณอาจารย์ วรางค์ลักษณ์ ซ่อนกลิ่น อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวรรมโยธา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และคุณวิชญา อิ่มกระจ่าง ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดลอง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจสม่ำเสมอตลอดมา

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูปภาพ	ฌ
สารบัญกราฟ	ฎ
ลำดับสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของการทำโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 แผนการดำเนินโครงงาน	3
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน	3
1.8 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้	3
1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ลักษณะทั่วไปของชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง	5
2.2 คุณสมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการพิจารณา	16
2.3 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์	19
2.4 โถดูดความชื้น	21
2.5 เตาอบที่ใช้ในการทดลอง	22
2.6 เครื่องชั่งมวลสาร	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 สมการที่ใช้ทดสอบในการคำนวณค่าความร้อนจากการประมาณ 25

2.8 สมการที่ใช้ทดสอบในการคำนวณหาค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาด 25

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 ศึกษาการทดลองหาคุณสมบัติของชีวมวลตามมาตรฐาน ASTM 26

3.2 ลำดับการทดลองหาคุณสมบัติของชีวมวล ตามมาตรฐาน ASTM 27

3.3 การหาคุณสมบัติของชีวมวล และหาค่าความร้อนของชีวมวล 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติที่ใช้เพื่อทดสอบสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ 36

4.2 การเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์กับค่าความร้อนที่ได้จากสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ 38

4.3 ผลการทดลอง 40

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ 43

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ 49

5.2 ข้อเสนอแนะ 50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	54
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน	62

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าจากการทดลองตามมาตรฐานASTM	36
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าความร้อนของสารชีวมวลที่ได้จากการทดลองบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	37
ตารางที่ 4.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์กับค่าจากสมการ	38
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าผลรวมความผิดพลาดของแต่ละสมการ	47

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	ลักษณะต้นข้าวโพด	5
รูปที่ 2.2	ลักษณะเปลือกข้าวโพด	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะซังข้าวโพด	7
รูปที่ 2.4	ลักษณะลำต้นมันสำปะหลัง	7
รูปที่ 2.5	ลักษณะกากอ้อย	8
รูปที่ 2.6	ลักษณะยอดอ้อย	8
รูปที่ 2.7	ลักษณะฟางข้าว	9
รูปที่ 2.8	ลักษณะแกลบ	9
รูปที่ 2.9	ลักษณะรำข้าว	10
รูปที่ 2.10	ลักษณะกาบใยมะพร้าว	10
รูปที่ 2.11	ลักษณะกะลามะพร้าว	11
รูปที่ 2.12	ลักษณะกากถั่วเหลือง	11
รูปที่ 2.13	ลักษณะเปลือกถั่วเหลือง	12
รูปที่ 2.14	ลักษณะเปลือกถั่วเขียว	12
รูปที่ 2.15	ลักษณะเปลือกถั่วลิสง	13
รูปที่ 2.16	ลักษณะถ่านไม้	13
รูปที่ 2.17	ลักษณะขี้เลื่อย	14
รูปที่ 2.18	ลักษณะเศษไม้จามจุรี	14
รูปที่ 2.19	ลักษณะเปลือกทุเรียน	15
รูปที่ 2.20	ลักษณะไม้ยูคาลิปตัส	16
รูปที่ 2.21	ลักษณะเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	19
รูปที่ 2.22	ลักษณะโครงสร้างของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	19
รูปที่ 2.23	โถดูดความชื้น	21
รูปที่ 2.24	เตาอบลมร้อน	22
รูปที่ 2.25	เตาอบอุณหภูมิสูง	23
รูปที่ 2.26	เครื่องชั่งมวลสาร 3 ตำแหน่ง	24
รูปที่ 2.27	เครื่องชั่งมวลสาร 4 ตำแหน่ง	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.1	อบถ้วย crucible ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส	27
รูปที่ 3.2	นำถ้วย crucible ไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น	27
รูปที่ 3.3	ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible เปล่าหลังจากอบ	28
รูปที่ 3.4	ชั่งน้ำหนักสารชีวมวล	28
รูปที่ 3.5	อบสารชีวมวล	28
รูปที่ 3.6	สารชีวมวลเย็นตัวในโถดูดความชื้น	29
รูปที่ 3.7	ชั่งน้ำหนักสารชีวมวลหลังการอบ	29
รูปที่ 3.8	ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible พร้อมฝาปิด	29
รูปที่ 3.9	ชั่งน้ำหนักสารชีวมวลใส่ในภาชนะพร้อมปิดฝา	30
รูปที่ 3.10	ถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลปิดฝาแล้วเข้าเตาอบ	30
รูปที่ 3.11	ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible พร้อมปิดฝาหลังจากการอบ	30
รูปที่ 3.12	ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible	31
รูปที่ 3.13	ชั่งน้ำหนักสารชีวมวล	31
รูปที่ 3.14	นำถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลเข้าเตาอบ	31
รูปที่ 3.15	นำไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น	32
รูปที่ 3.16	ชั่งน้ำหนักหลังจากการอบ	32
รูปที่ 3.17	เปิดเครื่องเตรียมความพร้อม	33
รูปที่ 3.18	ชั่งน้ำหนักสารชีวมวล	33
รูปที่ 3.19	ร้อยลวดฟิวส์ให้สัมผัสกับสารชีวมวล	34
รูปที่ 3.20	อัดออกซิเจน	34
รูปที่ 3.21	นำลูกบอมบ์ใส่เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	34
รูปที่ 3.22	ใส่ค่าน้ำหนักสารชีวมวล	35

สารบัญกราฟ

		หน้า
กราฟที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.6	40
กราฟที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.7	40
กราฟที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.8	41
กราฟที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.9	41
กราฟที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.10	42
กราฟที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.11	42
กราฟที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.12	43
กราฟที่ 4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.6	44
กราฟที่ 4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.7	44
กราฟที่ 4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.8	45
กราฟที่ 4.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.9	45
กราฟที่ 4.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.10	46
กราฟที่ 4.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.11	46
กราฟที่ 4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.12	47

ลำดับสัญลักษณ์

		หน่วย
W_c	น้ำหนักภาชนะ	g
W_i	น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม	g
W_f	น้ำหนักสุดท้ายหลังจากการอบ (สารชีวมวล+ภาชนะ)	g
A	ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย	%
B	ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น	%
m_{ash}	น้ำหนักสุดท้ายหลังการอบพร้อมภาชนะ	g
m_{cont}	น้ำหนักภาชนะ	g
m_{od}	น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะ)	g
HHV	ความร้อนสูง	KJ/kg
LHV	ค่าความร้อนต่ำ	KJ/kg
M	ค่าปริมาณความชื้น	%
VM	ค่าปริมาณสารระเหย	%
Ash	ค่าปริมาณขี้เถ้า	%
FC	ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว	%

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากสภาวะของพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้หลายประเทศตระหนักถึงคุณค่าของพลังงานรวมไปถึงคิดค้นพลังงานทดแทนขึ้นมากมาย ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือพลังงานที่ได้จากสารชีวมวล รวมทั้งประเทศไทยเองก็ได้มีการนำสารชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นแกลบ ซังข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งชีวมวลดังกล่าวก็ได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่มีค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยสารชีวมวลบางชนิดก็มีคุณสมบัติที่เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง และบางชนิดก็ไม่เหมาะที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลดังนั้นโครงงานการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงศักยภาพของสารชีวมวลที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่มีอยู่ในท้องถิ่นว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ไม่ว่าจะเป็นปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัวและหาค่าความร้อนของสารชีวมวล

1.2.2 เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบสมการค่าความร้อนของสารชีวมวลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เข้าใจการออกแบบการทดลองแบบ ASTM (American Society for Testing and Materials) เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัวและหาค่าความร้อนของสารชีวมวล

1.3.2 ทราบถึงความสำคัญขององค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อการประมาณค่าความร้อนของสารชีวมวลจากการวิเคราะห์ข้อมูลใกล้เคียง

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 การทดลองแบบ ASTM (American Society for Testing and Materials) เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวของสารชีวมวล

1.4.2 ทำการทดสอบหาค่าความร้อนของสารชีวมวลจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เฉพาะค่าความร้อนสูง

1.4.3 วิเคราะห์ผลเพื่อหาสมการที่ผิดพลาดน้อยที่สุด จากสมการอย่างน้อย 7 สมการ สำหรับการประมาณค่าความร้อนของสารชีวมวลจากองค์ประกอบโดยประมาณ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาการออกแบบการทดลองแบบ ASTM (American Society for Testing and Materials) เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวของสารชีวมวล

1.5.2 ศึกษาการใช้เตาอบ

1.5.3 ออกแบบการทดลอง การประมาณค่าความร้อนของสารชีวมวลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ

1.5.4 ทำการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์การระเหย เปอร์เซ็นต์ขี้เถ้า เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการทดลอง

1.5.6 สรุปและจัดทำรายงานโครงการ

1.5.7 พิมพ์รูปเล่ม

1.6 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2553			
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล				
2. หาสารชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง				
3. ทำการทดลองหาค่าความร้อนของสารชีวมวลจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์				
4. ทำการทดลองหาค่าความชื้น สารระเหย ขี้เถ้า คาร์บอนคงตัว				
5. วิเคราะห์ข้อมูล หาสมการที่ดีที่สุดในการประมาณค่าความร้อนจากสารชีวมวล				
6. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และนำเสนอผลงาน				

1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลและอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.8 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1.8.1 สารชีวมวล 20 ชนิด

1.8.2 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1.8.3 เตาอบ

1.8.4 เตาอบความร้อนสูง

1.8.4 โถดูดความชื้น

1.8.5 เครื่องชั่งมวลสาร ความละเอียด 0.001 กรัม และ 0.0001 กรัม

1.8.6 ถ้วย crucible แบบมีฝาปิดกับแบบไม่มีฝาปิด สำหรับใส่ชีวมวลในการอบ

1.8.7 ซ้อนตักมวลสาร

1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1.9.1 สารชีวมวล	500	บาท
1.9.2 วัสดุสำนักงาน	500	บาท
1.9.3 ถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่ม	1,000	บาท
1.9.4 ถ้วย crucible ใส่ชีวมวล	3,400	บาท
1.9.5 ซิลิก้าเจล	150	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	5,550	บาท

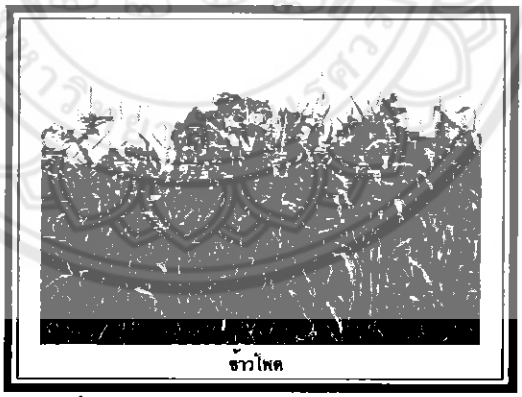
มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะมูลฝอย น้ำเสียจากโรงงาน มูลสัตว์ต่างๆ หรือแม้กระทั่งกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร พลังงานชีวมวลนี้มีสัดส่วนการใช้คิดเป็น 14.7% ของพลังงานรวมของโลก ประมาณกันว่า ประชากรกว่า 40% ของประชากรโลก อาศัยชีวมวลในการหุงต้มและให้ความอบอุ่น และหากพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้ในประเทศกำลังพัฒนาทั่วโลกนั้น การใช้พลังงานชีวมวลจะมีสัดส่วนที่ 38.1% ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยมีจีนและอินเดีย เป็นประเทศผู้ใช้หลัก

2.1 ลักษณะทั่วไปของชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 ลำต้นข้าวโพด



ที่มา : http://www.phetchabun.com

รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นข้าวโพด

ลำต้นข้าวโพดประกอบด้วยข้อ (node) และปล้อง (internode) ในส่วนของข้อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ วงเจริญ (growth ring) ปุ่มกำเนิดราก (root primodia) ตา (bud) และรอยกาบใบ (leaf scar) ตาในส่วนล่าง ๆ ของลำต้นสามารถเจริญเป็นหน่อ (tiller) ได้

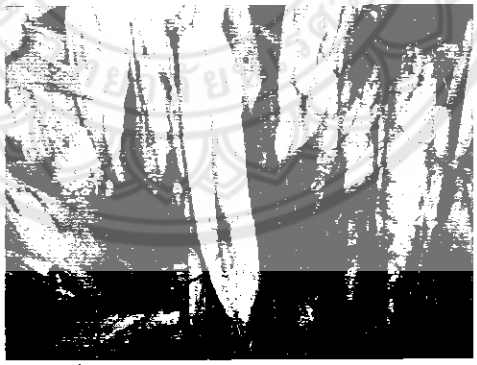
ลำต้นของข้าวโพดเรียกว่า Culm หรือ Stalk มีความสูงตั้งแต่ 30 เซนติเมตรจนถึง 7.5 เมตรขนาดเส้นศูนย์กลางประมาณ 2.5-5.0 เซนติเมตร รูปร่างของลำต้นตรงและค่อนข้างกลม แต่จะ

เรียวเล็กขึ้นไปที่ยอด ปล้องที่อยู่ส่วนล่าง ๆ ของลำต้นบริเวณเหนือตามักพบร่อง (bud groove) ที่มุมใบที่อยู่ใต้ดินสามารถเจริญเติบโตเป็นหน่อ แต่โดยทั่วไปข้าวโพดจะไม่แตกหน่อ และตาของข้อที่ 7 หรือ 8 บนลำต้นนับจากใบลงมาจะเจริญเป็นฝัก (ear shoot)

ใบข้าวโพดประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) โดยกาบใบจะหุ้มลำต้นไว้ กาบใบที่อยู่ส่วนล่างของลำต้น มีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของปล้อง ในขณะที่กาบใบที่อยู่ส่วนบนของลำต้นจะหุ้มกาบใบที่อ่อนอยู่ไว้ กาบใบมีลักษณะค่อนข้างหนาและแข็งแรงกว่าแผ่นใบ เมื่อข้าวโพดยังเล็กส่วนของลำต้นไม่ค่อยแข็งแรง ดังนั้นความแข็งแรงของลำต้นจึงขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกาบใบ แผ่นใบมีเส้นกลางใบเรียกว่า midrib และมีเส้นใบขนานไปกับเส้นกลางใบมีลักษณะเป็นแผ่นเรียว ยาวประมาณ 80 เซนติเมตร กว้าง 9-10 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนมีขนกระจายทั่วไป และมีปากใบขนาดใหญ่ ส่วนผิวใบด้านล่างไม่มีขน มีปากใบเล็กแต่มีจำนวนมากกว่าผิวใบด้านบน

ที่บริเวณส่วนต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบจะพบลิ้นใบหรือเยื่อกันน้ำ (ligules) หูใบหรือเขี้ยวใบ (auricle) และรอยต่อระหว่างกาบใบกับแผ่นใบ (leaf coller) เยื่อกันน้ำอยู่ระหว่างกาบใบและแผ่นใบ มีลักษณะเป็นแผ่น โอบลำต้น ส่วนหูใบมีลักษณะคล้ายอักษรตัววี เกิดที่ฐานของใบทั้งสองข้างเหนือเยื่อกันน้ำเล็กน้อยและระหว่างฝักกับลำต้นจะพบอวัยวะที่มีลักษณะคล้ายใบที่มีเส้นกลางใบ มีลักษณะเป็นสัน 2 สัน เรียกว่า Propryllum

2.1.2 เปลือกข้าวโพด

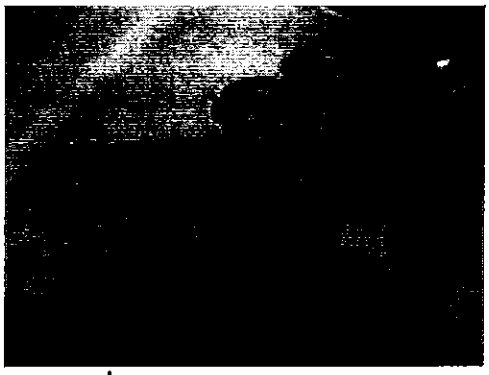


ที่มา : http://www.212cafe.com

รูปที่ 2.2 ลักษณะเปลือกข้าวโพด

ฝักข้าวโพดเกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ข้าวโพดต้นหนึ่งอาจให้ฝักมากกว่าหนึ่งฝักก็ได้ ฝักข้าวโพดหุ้มด้วยกาบบางหลายชั้น ฝักอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีนวล เราเรียกว่า เปลือกข้าวโพด

2.1.3 ซังข้าวโพด



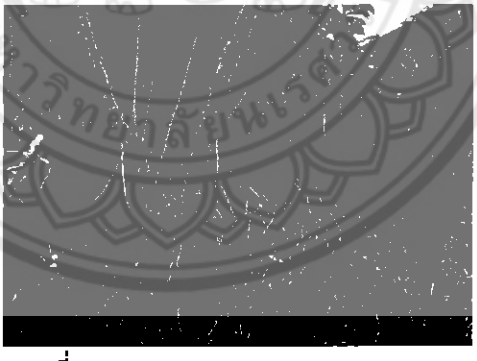
ที่มา : http://www.efe.or.th

รูปที่ 2.3 ลักษณะซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดมาใช้งานส่วนใหญ่เป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปัจจุบันการสีข้าวโพดจะใช้เครื่องจักรที่สามารถ เคลื่อนที่ไปตามไร่ข้าวโพด ดังนั้นจะสามารถหาซังข้าวโพดและต้นข้าวโพด ได้ตามไร่ข้าวโพดทั่วไป

ซังข้าวโพดมีประโยชน์หลายอย่าง นำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิง ผสมกับโมลาสเพื่อเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ส่วนลำต้น นำไปเลี้ยงสัตว์ได้เช่นกัน

2.1.4 ลำต้นมันสำปะหลัง



ที่มา : http://www.vcharkarn.com

รูปที่ 2.4 ลักษณะลำต้นมันสำปะหลัง

เป็นต้นเนื้อแข็ง สูง 1-5 เมตร ความสูงแตกต่างไปตามพันธุ์ พันธุ์ที่ไม่แตกกิ่งจะสูงกว่าพันธุ์ที่แตกกิ่ง กิ่งที่แตกออกจากลำต้นหลักเรียกว่า กิ่งชุดแรก(Primary branch) และกิ่งที่แตกจากกิ่งชุดแรกเรียกว่า กิ่งชุดที่สอง (secondary branch) พันธุ์ที่เริ่มแตกกิ่งเมื่อมีอายุน้อยจะเป็นพันธุ์ที่แตกกิ่งต่ำ ส่วนพันธุ์ที่เริ่มแตกกิ่งเมื่ออายุมากจะเป็นพันธุ์ที่แตกกิ่งสูง มันสำปะหลังบางพันธุ์แตกกิ่งหลายครั้งลำต้นมีสีแตกต่างกันไป เช่น เทา-เงิน เขียว เหลือง แดง หรือน้ำตาล ลำต้นที่มีอายุน้อยจะมีสีเขียว

2.1.5 กากอ้อย

ที่มา : http://www.thaimtb.com

รูปที่ 2.5 ลักษณะกากอ้อย

กากอ้อยมีลักษณะเป็นชุย ได้จากการผลิตน้ำตาลดิบ โดยนำอ้อยมาคั้นน้ำออก ส่วนที่เป็นน้ำนำไปผลิตเป็นน้ำตาลดิบ ส่วนที่เหลือคือกากอ้อย

กากอ้อยส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิต น้ำตาลดิบประมาณ 80 % ส่วนที่เหลืออีก 20 % นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษ และ MDF Board

2.1.6 ยอดอ้อย

ที่มา : http://www.dld.go.th

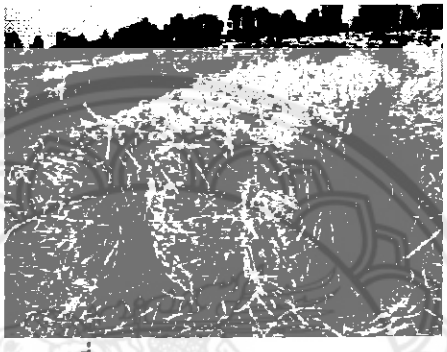
รูปที่ 2.6 ลักษณะยอดอ้อย

มีลักษณะเรียวยาวจะถูกตัดออกจากลำต้นอ้อยก่อนส่งไปโรงงาน ช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายน ดังนั้นใบอ้อยและยอดอ้อยจะกระจายไปทั่วไร่อ้อย แต่บางครั้งชาวไร่อ้อยจะใช้วิธีการเผาแทนการตัด ซึ่งจะทำให้ไม่มีใบอ้อยและยอดอ้อยหลงเหลืออยู่

ยอดอ้อย เป็นผลพลอยได้จากการปลูกอ้อยเพื่อทำน้ำตาล ในแต่ละปีระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม จะมียอดอ้อยจำนวนไม่น้อยกว่า 10 ตัน ที่ถูกเผา หรือฟันทิ้งหลังฤดูกาลตัดอ้อย ยอดอ้อยมีคุณค่าทางโภชนะใกล้เคียงกับฟางข้าว มีโปรตีนประมาณ 4-6% แต่มีเยื่อใยส่วนที่ใช้ประโยชน์ดีกว่า มีความหวาน และน่ากินมากกว่าฟางข้าว ช่วงแล้งขาดแคลนหญ้าสดเป็นระยะที่มี

ยอดอ้อยจำนวนมาก สามารถนำยอดอ้อยสดมาสับให้มีขนาดเล็กลง เพื่อเสริมหญ้า หรือใช้เป็นอาหารหยาบหลักแทนหญ้า และเสริมด้วยอาหารข้น หรือใบพืชตระกูลถั่วต่างๆ เช่นเดียวกับการใช้หญ้าเป็นอาหารหลัก ถ้ามียอดอ้อยปริมาณมากๆ สามารถนำมาหมัก ซึ่งอาจจะใส่ หรือไม่ใส่กากน้ำตาลลงไปด้วยก็ได้ โดยมีวิธีหมักเช่นเดียวกับการหมักหญ้า และสามารถนำออกมาใช้ในช่วงที่ขาดแคลนอาหาร จะสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ และเป็นการนำผลพลอยได้การเกษตรมาใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี

2.1.7 ฟางข้าว



ที่มา : http://www.efe.or.th

รูปที่ 2.7 ลักษณะฟางข้าว

ฟางข้าว มีขนาดเล็กยาวแต่กลวง ได้มาหลังการเกี่ยวข้าว ถ้าเกี่ยวข้าวด้วยแรงคน ฟางข้าวจะกองอยู่บริเวณลานตากข้าวตามหมู่บ้าน ถ้าเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องจักร ฟางข้าวจะถูกทิ้งไว้ในนาข้าว

ฟางข้าวมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารสัตว์ คลุมดิน เพาะเห็ดฟาง ทำโครงพวงหรีดดอกไม้ และใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ เป็นต้น แต่ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ คาดว่าประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้ง

2.1.8 แกลบ

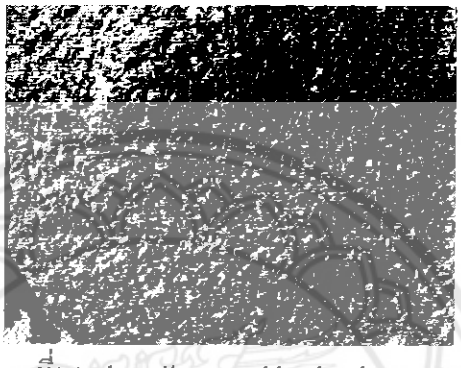
ที่มา : http://www.siamexotica.com

รูปที่ 2.8 ลักษณะแกลบ

แกลบ มีขนาดเล็ก ยาวไม่เกิน 5 มม. และหนาไม่เกิน 2 มม. สีเหลือง แกลบได้มาจากการสีข้าวเปลือก ซึ่งต้องมีความชื้นไม่เกิน 15% ดังนั้นความชื้นของแกลบจึงไม่เกิน 15% ส่วนใหญ่มาจากโรงสีข้าว

แกลบสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น เป็นเชื้อเพลิงผสมลงไปในดินเพื่อปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูก และใช้โปรยใต้โรงเลี้ยงไก่เพื่อรองรับมูลไก่ เป็นต้น

2.1.9 รำข้าว



ที่มา : http://www.rakbankerd.com

รูปที่ 2.9 ลักษณะรำข้าว

รำข้าว มีขนาดเล็กละเอียด มีสีเหลืองทอง รำข้าวได้มาจากการสีข้าวเปลือก รำข้าวสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเพราะมีราคาแพง ส่วนมากจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารสัตว์

2.1.10 กาบใยมะพร้าว

ที่มา : http://www.212cafe.com

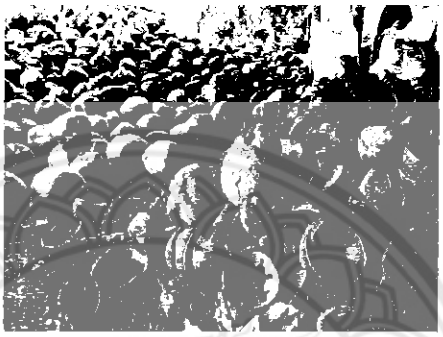
รูปที่ 2.10 ลักษณะกาบใยมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชตระกูลปาล์ม ซึ่งเส้นใยแข็งที่ได้มาจากกาบมะพร้าว จะเรียกว่า "ใยมะพร้าว" ด้วยเส้นใยที่มีลักษณะเฉพาะทางธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่หยุ่นเหนียว แข็งแรง ทนทาน มี

อายุการใช้งานที่ยาวนาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติจึงสามารถทำลายได้ง่าย ดังนั้นใยมะพร้าวจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรม รวมทั้งเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันส่วนใหญ่

เส้นใยมะพร้าวที่มาจากผลมะพร้าวอ่อนจะมีสีเหลืองทอง และเส้นใยที่มาจากผลมะพร้าวแก่จะมีสีน้ำตาลไหม้

2.1.11 กะลามะพร้าว

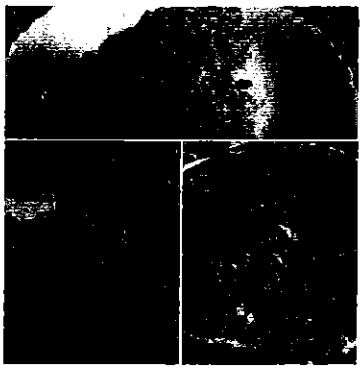


ที่มา : http://www.arunsawat.com

รูปที่ 2.11 ลักษณะกะลามะพร้าว

กะลามะพร้าวเป็นผลิตผลส่วนหนึ่งของลูกมะพร้าว นิยมมาทำเครื่องประดับ หรือนำมาทำเป็นถ้วยชามช้อนส้อม ในสมัยก่อนนิยมนำมาทำกระบวยตักน้ำมากกว่า ส่วนใหญ่แล้วชาวบ้านนิยมสับกะลามะพร้าวเป็นชิ้นเล็กๆเก็บไว้ทำเชื้อเพลิง ให้ไฟได้แรงดีนัก นอกจากนั้น ยังได้มีการค้นพบยาขนานใหญ่ที่มีสรรพคุณในการขจัดพิษของสารเคมีที่เป็นอันตรายออกจากร่างกายของคนเรา ยานี้สกัดจากกะลามะพร้าวชื่อ "ซอร์เบนต์" (serbent) สามารถลดปริมาณก้มันตภาพรังสีในร่างกายได้ถึง 500-1000 เท่า ภายในเวลาเพียง 6 สัปดาห์

2.1.12 กากถั่วเหลือง

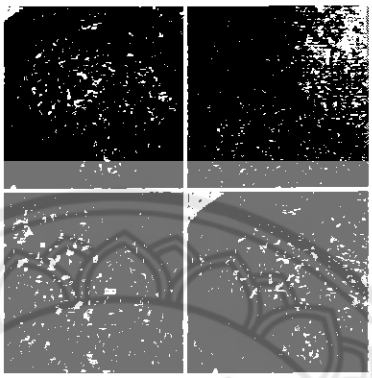


ที่มา : http://www.bloggang.com

รูปที่ 2.12 ลักษณะกากถั่วเหลือง

กากถั่วเหลือง ภาษาอังกฤษเรียกว่า Soy pulp หรือคำทับศัพท์ภาษาญี่ปุ่นที่เป็นที่รู้จักคือ okara ได้จากการทำน้ำเต้าหู้หรือน้ำมันถั่วเหลือง สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายอย่าง กากถั่วเหลืองที่ออกมาทีแรกนั้นจะมีความชื้นค่อนข้างสูงอยู่แล้ว ก่อนจะทำไปทำการทดลองควรมีการตากแห้งก่อน

2.1.13 เปลือกถั่วเหลือง



ที่มา : http://www.rakbankerd.com

รูปที่ 2.13 ลักษณะเปลือกถั่วเหลือง

เปลือกถั่วเหลือง หรือฝักเปลือกถั่วเลือง ซึ่งโดยทั่วไปเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ทางภาคเหนือเรียก ฟางถั่วเหลือง ซึ่งเป็นส่วนของต้นและเปลือก ฝักที่เหลือหลังจากแยกเอาเมล็ดถั่วเหลืองออก มีคุณค่าทางอาหารสัตว์คือ มีโปรตีน 5.94% ไขมัน 1.21% เยื่อใย 32.58% จัดเป็นพวกอาหารหยาบเหมาะที่จะใช้เป็นอาหารเลี้ยงโค กระบือ แทนหญ้าสดในช่วงแล้ง

ฟางถั่วเหลืองมักมีมากในภาคเหนือ ที่เป็นแหล่งเพาะปลูกถั่วเหลืองซึ่งประมาณว่า แต่ละปีจะมีฟางถั่วเหลืองประมาณ 6 แสนตัน

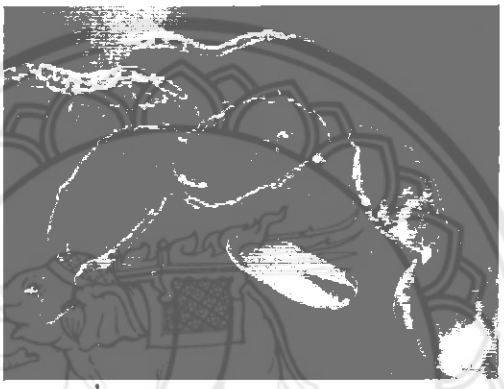
2.1.14 เปลือกถั่วเขียว

ที่มา : http://krunes.maepa.org

รูปที่ 2.14 ลักษณะเปลือกถั่วเขียว

เปลือกถั่วเขียวควรเลือกเปลือกของฝักถั่วเขียวที่มีลักษณะป่นเล็กน้อย หลังจากนวดเอาเมล็ดออกแล้วและต้องแห้งไม่ถูกน้ำหรือฝน นำเปลือกถั่วเขียวที่ได้มาทำการนวดหรือบด เพื่อให้เปลือกถั่วเขียวละเอียดหรือหยาบ ขึ้นอยู่กับการนำเอาเปลือกถั่วเขียวไปใช้งานตามแต่ละโอกาส ซึ่งส่วนใหญ่จะนำเปลือกถั่วเขียวไปใช้ประโยชน์อย่างเช่น การเพาะเห็ดฟางในโรงเรือน การทำหมอนจากเปลือกถั่วเขียว และเป็นอาหารของวัวโดยการนำมาบดให้ละเอียด เปลือกถั่วเขียวที่บดหยาบๆ ผสมกับเส้นใยของมันฝรั่งบด จะช่วยขัดเซลล์ผิวที่ตายแล้วออกไป ช่วยในการผลัดเซลล์ผิวใหม่ที่สดใสกว่าเดิม

2.1.15 เปลือกถั่วลิสง



ที่มา : http://krunes.maepa.org

รูปที่ 2.15 ลักษณะเปลือกถั่วลิสง

เปลือกถั่วลิสงได้มาจากการนำถั่วลิสงที่ผ่านขบวนการคัดแยกออกจากเมล็ด โดยไม่มีการต้ม โดยนำเมล็ดถั่วลิสงไปสกัดน้ำมัน ที่เหลือเป็นกากถั่วลิสง นำไปเป็นปุ๋ยในสวนผลไม้ได้ดี และนำมาล้างให้สะอาด ตำให้แหลก ชงน้ำร้อนดื่มต่างน้ำชา สามารถใช้กับผู้ที่เป็นโรคหัวใจ coronary ได้

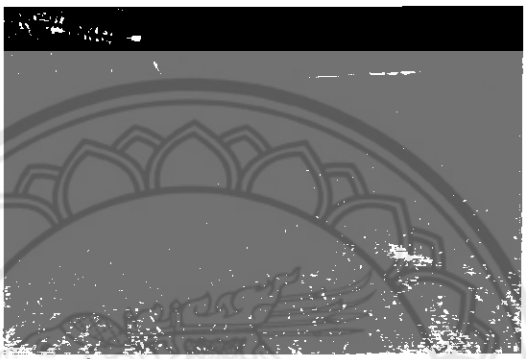
2.1.16 ถ่านไม้

ที่มา : http://learners.in.th

รูปที่ 2.16 ลักษณะถ่านไม้

ถ่านไม้ คือ ถ่านที่ได้จากการเผาไหม้ ซึ่งจะต้องตัดไม้ทำลายป่า ทำให้มีราคาต้นทุนสูง และสูญเสียทรัพยากรป่าไม้ทางธรรมชาติ วัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง สามารถให้ความร้อนได้ หลายระดับ ตามชนิดขององค์ประกอบ มีองค์ประกอบพื้นฐานด้วย ธาตุคาร์บอน เช่นเดียวกับเพชร (เพราะฉะนั้นถ่านกับเพชรก็คือสิ่งที่มีต้นกำเนิดจากสิ่งเดียวกัน แต่มนุษย์ให้คุณค่ากับหินใสๆ มากกว่า) ถ่านไม้ถูกใช้แทนฟืนเพราะไม่มีควัน และมีคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นอับเหม็น

2.1.17 ขี้เลื่อย



ที่มา : http://www.thaiselling.com

รูปที่ 2.17 ลักษณะขี้เลื่อย

ขี้เลื่อยได้จากการเลื่อยไม้แปรรูปต่างๆ ที่กำลังนำไปใช้ในการก่อสร้าง หรือเศษขี้เลื่อยที่ได้จากการแกะสลัก และทำเฟอร์นิเจอร์ไม้ต่างๆ ดังนั้นขี้เลื่อยจึงน่าจะได้มาจากไม้แห้ง เพราะมีเพียงไม้แห้งเท่านั้น ที่สามารถนำเอามาใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้

2.1.18 เศษไม้จามจุรี

ที่มา : http://202.29.22.173/localStudent2548/SumWeb/VAPEEPATHOM/NUCH/beer24.html

รูปที่ 2.18 ลักษณะเศษไม้จามจุรี

จามจุรี ถือว่าเป็นพืชตระกูลถั่ว (Family Leguminosae) อนุวงศ์สะตอ (Sub-Family Mimosaceae) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Samanea saman* Jacq Merr. ส่วนชื่อที่เป็นที่รู้จักในประเทศไทยได้แก่ จามจุรี ก้ามกลาม จามจุรีแดง ก้ามปู ก้ามกุ้ง (ไทย) ฉำฉา สารสา สำลา ตุ๊ดตู่ ลัง (พายัพ) ในภาษาอังกฤษชื่อที่เรียกกันแพร่หลาย คือ Rain tree ซึ่งน่าจะมาจากนิสัยของต้นไม้ชนิดนี้โตเร็วผิดกับต้นไม้อื่นๆ คือ เมื่อฤดูฝนผ่านไปครั้งหนึ่งต้นไม้ชนิดนี้โตเร็วผิดกับต้นไม้อื่นๆ คือ เมื่อฤดูฝนผ่านไปครั้งหนึ่งต้นไม้นี้จะโตขึ้นอย่างสังเกตเห็นได้ชัด จามจุรีเป็นไม้ผลัดใบโตเร็ว เรือนยอดแผ่กว้างคล้ายรูปร่มเรือนยอดสูงประมาณ 40 ฟุต สูง 20 – 30 เมตร เปลือกสีดำ แตกและร่อนลักษณะเนื้อไม้มีลวดลายสวยงาม แก่นสีดำคล้ำคล้ายมะม่วงป่าหรือวอลนัท เมื่อนำมาตกแต่งจะขึ้นเงาเป็นมันแวววาวนับเป็นพรรณไม้ที่มีลักษณะสวยงามตามธรรมชาติ กำลังของไม้มีความแข็งแรงเท่าเทียมไม้สมพง แต่มีลักษณะพิเศษคือมีกำลังดัดงอ (bending strenght) สูงมาก และความชื้นในเนื้อไม้สูง ทั้งต้นของจามจุรีมีสารพวกแอลคาลอยด์ (alkaloid) ชื่อพิธทิโคโลไบ (piththecolobine) ที่มีพิษใช้เป็นยาสลบ

2.1.19 เปลือกทุเรียน

ที่มา : http://www.tradethailand.com

รูปที่ 2.19 ลักษณะเปลือกทุเรียน

เปลือกทุเรียนจะมีลักษณะเป็นหนามแหลม เมื่อแก่ผลมีสีเขียว เมื่อสุกมีสีน้ำตาลอ่อน แตกตามแต่ละส่วนของผลเรียกเป็นพู เนื้อในมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนถึงแดง ขึ้นกับชนิด เนื้อในจะนิ่มกึ่งอ่อนกึ่งแข็ง มีรสหวาน เปลือกทุเรียนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายแบบ เช่น ขี้เถ้าจากการเผาเปลือกทุเรียน จะนำไปผสมในเค้กบางชนิดได้ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในรมควันปลา น้ำต้อย และเปลือกทุเรียนยังมีรสฝาดเฝื่อนใช้สมานแผล แก้น้ำเหลืองเสีย พุพอง แก้ฝี ตาน ซาง คุมธาตุ แก้คางทูม และไล่ยุงและแมลง

2.1.20 ไม้ยูคาลิปตัส

ที่มา : http://www.bloggang.com

รูปที่ 2.20 ลักษณะไม้ยูคาลิปตัส

โครงสร้างของต้นยูคาลิปตัสซึ่งประกอบด้วย เปลือกไม้ซึ่งอยู่ด้านนอกสุดและเนื้อไม้ที่ซ่อนอยู่ด้านใน โดยในส่วนของเนื้อไม้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรก คือ "กระพี้" หรือเนื้อไม้ด้านนอกซึ่งอยู่ติดกับเปลือกไม้และเป็นที่อยู่ของท่อลำเลียงน้ำ (xylem) จำนวนมาก

ส่วนที่สอง คือ "แก่น" หรือเนื้อไม้ด้านในสุดซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยกระพี้เมื่อต้นยูคาลิปตัสเติบโตเต็มที่พื้นที่ของกระพี้ก็จะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการสร้างท่อลำเลียงน้ำใหม่

2.2 คุณสมบัติของชีวมวลที่ใช้ในการพิจารณา

2.2.1 ปริมาณความชื้น (Moisture) เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีความชื้นสูงมากก็จะไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ความชื้นจะต้องถูกจัดการควบคุมและจัดเก็บเนื่องจากความชื้นจะเข้ามาแทนที่สสารที่เผาไหม้ได้ จึงทำให้ปริมาณความร้อนต่อกิโลกรัมของชีวมวลลดลงได้ โดยปกติแล้วความชื้นจะอยู่ในช่วง 6-12 เปอร์เซ็นต์ซึ่งผลจากความชื้น คือ

- เพิ่มการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอ และการที่ไอน้ำมีความร้อนมากเกินไป
- ช่วยให้มีการยืดเหนี่ยวของอนุภาคละเอียด
- ช่วยในการแผ่รังสีของการถ่ายเทความร้อน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น (ASTM : E871-82)

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น} = [(W_i - W_f)/(W_i - W_o)] \times 100 \qquad (2.1)$$

โดยที่ W_c = น้ำหนักภาชนะ, หน่วยกรัม

W_i = น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม

W_f = น้ำหนักสุดท้ายหลังจากการอบ (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม

2.2.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter, VM) สารระเหย ได้แก่ มีเทน ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซที่ไม่เผาไหม้อื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ซึ่งจะพบได้ในเชื้อเพลิง สารระเหยเหล่านี้จะช่วยให้เชื้อเพลิงติดไฟง่ายขึ้น ปริมาณของสารระเหยจะอยู่ในช่วง 70-90 เปอร์เซ็นต์ ผลจากสารระเหย คือ

- เพิ่มความยาวของเปลวไฟอย่างเป็นสัดส่วน และช่วยให้ชีวมวลจุดติดไฟได้ง่ายขึ้น
- เป็นตัวกำหนดค่าต่ำสุดของ ความสูงและปริมาตรของเตาเผา
- มีอิทธิพลต่อความต้องการอากาศและการกระจายของอากาศสำรอง
- มีอิทธิพลต่อการเสริมน้ำมันสำรอง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณสารระเหย (ASTM : E872-82)

ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย = $[(W_i-W_f)/(W_i-W_c)] \times 100 = A$ (2.2)

โดยที่ W_c = น้ำหนักภาชนะพร้อมฝาปิด, หน่วยกรัม

W_i = น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะพร้อมฝาปิด), หน่วยกรัม

W_f = น้ำหนักสุดท้ายหลังจากการอบ (สารชีวมวล+ภาชนะพร้อมฝาปิด), หน่วยกรัม

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณสารระเหย = A-B (2.3)

โดยที่ A = ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย

B = ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ASTM: E871-82)

2.2.3 ปริมาณขี้เถ้า (Ash) ปริมาณขี้เถ้ามีผลต่อการออกแบบเตาเผาเนื่องจากขี้เถ้าสามารถฟุ้งกระจายในอากาศจึงจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างถูกวิธี เพราะฉะนั้นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณขี้เถ้ามากจึงต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ ขี้เถ้าเป็นสิ่งเจือปนที่จะไม่ถูกเผาไหม้จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 5-39 เปอร์เซ็นต์โดยขี้เถ้าจะมีผล คือ

- ลดกำลังความสามารถในการจัดการควบคุมและการเผา
- เพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดการควบคุม
- มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

- เป็นสาเหตุของการเกิดเม็ดกรวดและขี้โลหะ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ ค่าปริมาณขี้เถ้า (ASTM : E1755-01)

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณขี้เถ้า = $[(m_{ash}-m_{cont})/(m_{od}-m_{cont})] \times 100$ (2.4)

โดยที่ m_{ash} = น้ำหนักสุดท้ายหลังการอบพร้อมภาชนะ, หน่วยกรัม

m_{cont} = น้ำหนักภาชนะ, หน่วยกรัม

m_{od} = น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม

2.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) คาร์บอนคงตัวเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เหลืออยู่ในเตาเผา หลังจากที่สารระเหยได้ถูกกลั่นไปแล้ว ค่าคาร์บอนคงที่จะเป็นการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอย่างคร่าว ๆ ค่าความร้อน (Heating Value) เป็นค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเมื่อเทียบต่อ 1 หน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงโดยมีหน่วยเป็น kJ/kg, kcal/kg, Btu/lb หรือ kcal/liter เป็นต้น และมีคำจำกัดความ คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทหรือคายออกจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เกิดอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion)เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ก๊าซไอเสีย) เย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นที่สภาวะมาตรฐานของเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ซึ่งคำว่าสภาวะมาตรฐานในที่นี้ คือ ความดันสัมบูรณ์1 บรรยากาศ (1 atm) และอุณหภูมิ 25°C (77°F) โดยปกติค่าความร้อน(Heating Value) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะถูกกำหนดขึ้นจากการทดลองเผาเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่เรียกว่า บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM 3D 3286-77 ซึ่งจะกำหนดค่าความร้อนไว้ 2 ค่า คือ

1) ค่าความร้อนสูง (High Heating Value หรือ Gross Heating Value หรือ HHV)

2) ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value หรือ Net Heating Value หรือ LHV)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM : D3172-73)

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณคาร์บอนคงตัว = 100 – (%ปริมาณความชื้น + %ปริมาณสารระเหย + %ปริมาณขี้เถ้า) (2.5)

ทั้งนี้ค่าความร้อนสูง (HHV) เป็นค่าที่นำเอาค่าความร้อนแฝง (Latent Heat) ของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในก๊าซไอเสียมารวมด้วยในขณะที่ค่าความร้อนต่ำ (LHV) จะไม่นำค่าดังกล่าวมารวมเพราะสมมติฐานที่ว่าในกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงนั้นปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นในก๊าซไอเสียจะไม่เกิดการควบแน่นและไม่คายพลังงานความร้อนแฝงออกมาให้ระบบ (อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของน้ำในก๊าซไอเสียเสมอ) แต่จะถูกทิ้งไปสู่บรรยากาศทางปล่องไอเสียแทน นั่น

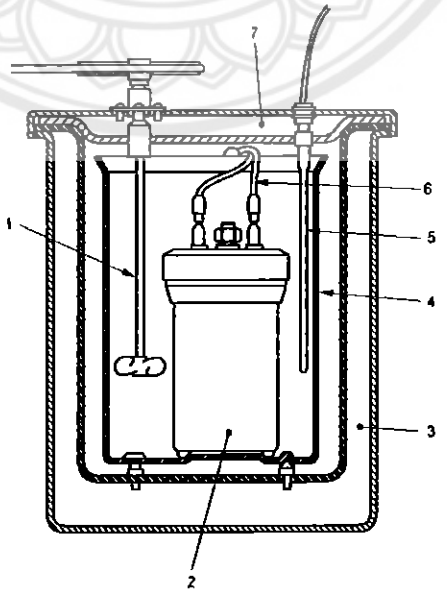
คือปริมาณความร้อนในส่วนนี้จะเป็นความร้อนที่ไม่ได้ถูกนำ มาใช้ประโยชน์เลยในกระบวนการเผาไหม้ดังนั้นจึงนิยมนำค่าความร้อนต่ำ(LHV) มาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์มากกว่าค่าความร้อนสูง (HHV) เนื่องจากให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและสะท้อนความเป็นจริงมากกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

2.3 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์

2.3.1 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ คือ การทดลองในสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความดัน ส่วนใหญ่จะอยู่ในการคำนวณ หรือสภาวะอุดมคติ เพราะในทางปฏิบัติจะไม่สามารถทำให้ปริมาตรเท่าเดิมทั้งระบบได้

รูปที่ 2.21 ลักษณะเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

2.3.2 ลักษณะโครงสร้างของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้



ที่มา : http://www.fire-testing.com

รูปที่ 2.22 ลักษณะโครงสร้างของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

2.3.2.1 Stirrer แท่งใบพัดสำหรับกวนน้ำ เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ตลอดทั้งระบบ ทำจากอะลูมิเนียมจะใช้เวลาประมาณ 1-5 นาทีในการกวน

2.3.2.2 Calorimeter bomb เป็นภาชนะทำด้วยอะลูมิเนียม มีความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ 0.22 cal/g °C โดยใส่สารตัวอย่างไม่เกิน 1-2 กรัม อยู่ภายใต้ความดัน ~300 psig ของก๊าซ

2.3.2.3 Jacket ภาชนะป้องกันความร้อนภายในบุด้วยโฟมซึ่งเป็นฉนวนกันความร้อน

2.3.2.4 Calorimeter vessel ถังเหล็กหรือภาชนะใส่ของเหลว

2.3.2.5 Thermometer เทอร์โมมิเตอร์ (0-100 °C) 1 อันพร้อมทั้งจุกยางสำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์ สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำ

2.3.2.6 Ignition lead ตัวนำหรือตัวเริ่มต้นจุดระเบิดเชื้อเพลิงของกระบวนการเผาไหม้

2.3.2.7 Jacket lid ฝาปิดภาชนะบุภายในด้วยฉนวนความร้อน เจาะรูตรงกลางสำหรับสวมจุกยาง และเจาะรูสำหรับสวมเครื่องกวน

2.3.3 วิธีใช้เพื่อทำการทดลอง

2.3.3.1 ชั่งหามวลของแคลอรีมิเตอร์และเครื่องกวนซึ่งเป็นอะลูมิเนียม (มีค่าความร้อนจำเพาะ = 0.22 cal/g °C)

2.3.3.2 เติมน้ำกลั่นลงในแคลอรีมิเตอร์ประมาณ 3/4 ของปริมาตรของแคลอรีมิเตอร์ แล้วนำไปชั่งเพื่อหาค่ามวลของน้ำ

2.3.3.3 นำแคลอรีมิเตอร์ที่เติมน้ำกลั่นแล้วใส่ลงในภาชนะป้องกันความร้อนพร้อมทั้งเอาฝาปิดภาชนะครอบปิดให้สนิท แล้วนำเทอร์โมมิเตอร์เสียบเข้าไปในจุกยาง แล้วนำไปสวมตรงช่องสวมจุกยางที่ฝาปิด ปรับให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงไปในน้ำประมาณครึ่งหนึ่งของความลึกของน้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที อ่านอุณหภูมิตั้งต้นของน้ำ แคลอรีมิเตอร์ และเครื่องกวนจากเทอร์โมมิเตอร์

2.3.3.4 นำสารที่จะหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ หรือความจุความร้อน หรือความร้อนแฝงจำเพาะไปอบให้อุณหภูมิสูงกว่าด้วยไอน้ำหรือเครื่องอบที่ทราบค่าอุณหภูมิ (หรือมีอุณหภูมิต่ำกว่าก็ได้) นำสารนี้ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์แล้วกวนน้ำด้วยเครื่องกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ปริมาณความร้อนแผ่ กระจายไปทั่วสารผสมอย่างสม่ำเสมอ คอยสังเกตดูอุณหภูมิผสมที่เทอร์โมมิเตอร์ เมื่อเห็นอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์อยู่คงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ให้รีบอ่านค่าอุณหภูมินี้ไว้เป็นอุณหภูมิผสม (อุณหภูมิสมดุล) หลังจากนี้ให้นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความร้อนลดของระบบ และปริมาณความร้อนเพิ่มของระบบ แล้วคำนวณหาค่าที่ต้องการวัดจากการทดลอง จาก

ปริมาณความร้อนลดของระบบ = ปริมาณความร้อนเพิ่มของระบบ

2.3.3.5 เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ล้างและทำความสะอาดชิ้นส่วนต่างๆของอุปกรณ์และเครื่องมือทดลองแล้วนำเก็บเข้าที่ เก็บให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

2.4 โถดูดความชื้น (desiccators)

โถดูดความชื้นใช้สำหรับดูดความชื้นออกจากสารเคมีต่างๆ ให้เหลือเฉพาะสารเคมี ไม่มีความชื้นหรือน้ำอยู่ในโมเลกุลของสาร โดยโถดูดความชื้นจะต้องใส่สารที่ใช้ดูดความชื้นลงไปด้วย (ด้านล่างโถ) สารที่ใช้ดูดความชื้นโดยมากแล้วจะใช้ซิลิกาเจล (silica gel) หรือสารจำพวกสารกรองโมเลกุล (molecular sieve) ซึ่งถ้าสารซิลิกาเจลดูดความชื้นไว้จนเต็ม สังเกตุได้จากสีของซิลิกาเจลจะเปลี่ยนจากสีฟ้า เป็นสีชมพู ในปัจจุบันมีการพัฒนามาเป็นตู้ดูดความชื้นโดยใช้ไฟฟ้า (desiccators cabinet)

ที่มา : http://glasswarechemical.com

รูปที่ 2.23 โถดูดความชื้น (desiccators)

2.4.1 วิธีการใช้โถดูดความชื้น

จะต้องทาวาสลีนที่ฝา ส่วนที่สัมผัสกับตัวของเดซิกเคเตอร์ เพื่อให้เปิดปิดได้ง่าย การเปิดทำได้โดยเลื่อนฝาออกอย่างช้าๆ หากดึงฝาขึ้นจะเปิดไม่ออก จากนั้นนำสารที่ต้องการดูดความชื้นวางลงบนแผ่นกระเบื้องเคลือบ และเลื่อนฝาปิดกลับคืนที่เดิม หากไม่สามารถเลื่อนเพื่อเปิดเดซิกเคเตอร์ได้ อาจเนื่องมาจากความดันภายใน และภายนอกมีความแตกต่างกันมากจะต้อง เปิดจุกด้านบนเพื่อทำให้ความดันภายในและภายนอกเท่ากันเสียก่อนจึงจะสามารถเปิดได้ ทั้งนี้จะต้องทำด้วยความรวดเร็วเพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้าไปภายในเดซิกเคเตอร์

หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจนกระทั่งสารดูดความชื้นอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารดูดความชื้น จะต้องนำไปอบไล่ความชื้นออกที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทำได้โดยการเปิดฝาและนำสารเคมีต่างๆ ออกให้หมด จากนั้นนำแผ่นกระเบื้องเคลือบ และสารดูดความชื้นออกมา นำไปอบจนกระทั่งสีของสารดูดความชื้นเปลี่ยนแปลงจากสีชมพูเป็นสีน้ำเงิน

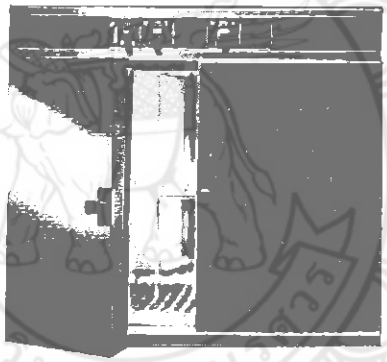
จากนั้นนำมาเทใส่เดซิกเคเตอร์โดยใช้กระดาษช่วยในการเท ดังภาพประกอบ และวางแผ่นกระเบื้องเคลือบลงไปวางสารเคมีที่ต้องการดูดความชื้น และปิดฝาให้เรียบร้อย

2.4.2 ข้อควรระวังในการใช้โถดูดความชื้น

เนื่องจากเดซิกเคเตอร์ทำด้วยวัสดุเป็นแก้ว และกระเบื้องเคลือบ ทำให้แตกได้ง่าย นอกจากนั้นยังมีน้ำหนักมากอีกด้วย จึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง และซิลิกาเจลมีลักษณะเป็นเม็ดกลมมีสีชมพูและสีน้ำเงิน เด็กๆ อาจนึกว่ารับประทานได้ แต่ไม่สามารถรับประทานได้เนื่องจากมีการเติมสารที่ทำให้เกิดสีลงไปโดยเป็นสารเคมีที่ประกอบด้วยโลหะหนัก ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย

2.5 เตาอบที่ใช้ในการทดลอง

2.5.1 เตาอบที่ใช้การทดลองหาค่าเปอร์เซนต์ปริมาณความชื้น (Moisture)



ที่มา : http://www.scilution.com

รูปที่ 2.24 เตาอบลมร้อน

ตู้อบอากาศร้อน (Oven) ใช้สำหรับอบตัวอย่างชิ้นทดสอบชีวมวล เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น เป็นตู้อบยี่ห้อ Memmert รุ่น 600 ประกอบด้วยพัดลมหมุนเวียนอากาศภายใน สามารถตั้งอุณหภูมิได้สูงสุด 225 องศาเซลเซียส และตั้งเวลาทดสอบได้ 0 ถึง 24 ชั่วโมง ผลิตโดยบริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน ลักษณะของตู้อบแสดงดังรูปที่ 2.24 คุณลักษณะจำเพาะของตู้อบความร้อนที่ใช้ในการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture)

1. เป็นตู้อบลมร้อน สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ถึง 225 องศาเซลเซียส
2. ขนาดความจุรวมภายใน 256 ลิตร
3. ขนาดภายใน (กว้าง x สูง x ลึก) 800 x 640 x 500 มิลลิเมตร น้ำหนักสุทธิ 87 กิโลกรัม

4. ควบคุมการทำงานด้วย Fuzzy-supported PID microprocessor controller
5. สามารถตั้งเวลาได้ 1 นาที ถึง 999 ชั่วโมง และแสดงค่าอุณหภูมิจริงขณะทำงาน , อุณหภูมิที่ตั้งและเวลาเป็นตัวเลขไฟฟ้า
6. มีระบบเตือนในกรณีเครื่องทำงานผิดปกติแบบ Signal lamps และมีระบบป้องกันกรณีอุณหภูมิสูงเกินตามมาตรฐาน DIN 12 880 Class 3.1
7. มีพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศภายในตัวตู้อบลมร้อนเป็นชนิด Enforce Air Circulation
8. ผนังภายในตู้อบลมร้อนเป็น Stainless Steel ง่ายต่อการทำความสะอาด พร้อมช่องระบายอากาศ
9. สามารถใส่ชั้นวางตัวอย่างภายในตู้ได้ถึง 7 ชั้น และมีชั้นวางตัวอย่างมาให้พร้อมกับเครื่องจำนวน 2 ชั้น
10. ตัวเครื่องมีประตูปิด-เปิดเป็นแบบบานพับ 2 บานซึ่งทำด้วย Stainless Steel ที่มีความทนทาน
11. ใช้กับไฟฟ้า 230 โวลท์
12. เป็นผลิตภัณฑ์ของประเทศเยอรมัน

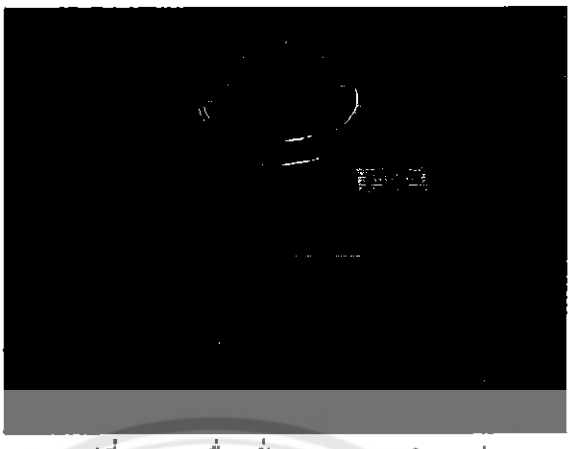
2.5.2 เตาอบที่ใช้การทดลองหาค่าเปอร์เซนต์การระเหย (Volatile matter) และ ขี้เถ้า (Ash)

รูปที่ 2.25 เตาอบอุณหภูมิสูง

เตาเผาอุณหภูมิสูง (Silica Muffle Furnace) ลักษณะการให้ความร้อนเป็นแบบขดลวด ให้อุณหภูมิสูงสุด 1100 °C มีปริมาตรขนาด 8 ลิตร ประตูเป็นแบบเปิดจากด้านล่าง บนล่าง (Parallel door) เป็นเตาเผาที่ designed เพื่อการใช้งานวิเคราะห์ที่เฉพาะ และเป็นเตาเผาที่เหมาะสำหรับงานที่มีขนาดเล็กเช่นในงานห้องแล็ปทั่วไปเพื่อทดสอบหาค่าจากการระเหยหรือเถ้า

2.6 เครื่องชั่งมวลสาร

2.6.1 เครื่องชั่งมวลสาร 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.26 เครื่องชั่งมวลสาร 3 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electronic balance) ใช้สำหรับชั่งชีวมวลและถ้วย crucible ใส่มวลสาร เพื่อหาน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณค่าความชื้น และค่าความร้อนของสารชีวมวลจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ เป็นเครื่องชั่งไฟฟ้า รุ่น TR-403 ให้ความละเอียดในการชั่งได้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง สามารถชั่งมวลได้สูงสุด 410 กรัมผลิตโดย บริษัท Denver Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา ลักษณะของเครื่องชั่งแสดงดังรูปที่ 2.26

2.6.2 เครื่องชั่งมวลสารแบบ 4 ตำแหน่ง

รูปที่ 2.27 เครื่องชั่งมวลสาร 4 ตำแหน่ง

เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electronic balance) ใช้สำหรับชั่งชีวมวลและถ้วย crucible ใส่มวลสาร เพื่อหาน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณสารระเหย และขี้เถ้า เป็นเครื่องชั่งไฟฟ้า รุ่น TC-205 ให้ความละเอียดในการชั่งได้ทศนิยม 4 ตำแหน่ง สามารถชั่งมวลได้สูงสุด 220 กรัมผลิตโดย บริษัท Denver Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา ลักษณะของเครื่องชั่งแสดงดังรูปที่ 2.27

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.7 สมการที่ใช้ทดสอบในการคำนวณค่าความร้อนจากการประมาณ

เป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบในการหาค่าความร้อน โดยการวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ

HHV = -10.81408+0.3133(VM+FC)	(Jimennez L&Gonzales F, 1991)	(2.6)
HHV = 19.914-0.2324Ash	(C. Sheng&J.L.T. Azevedo, 2005)	(2.7)
HHV = 0.196FC+14.119	(Demirbas A, 1997)	(2.8)
HHV = 0.312FC+0.1534VM	(Demirbas A, 1997)	(2.9)
HHV = 0.3543FC+0.1708VM	(Cordedo T etc., 2001)	(2.10)
HHV = -3.0368+0.2218VM+0.2601FC	(C. Sheng&J.L.T. Azevedo, 2005)	(2.11)
HHV = 0.3536FC+0.1559VM-0.0078Ash	(Carlo S. Alburo, 2010)	(2.12)

โดยที่ HHV = ค่าความร้อนสูง, หน่วย KJ/kg
M = ค่าปริมาณความชื้น, หน่วย %
VM = ค่าปริมาณสารระเหย, หน่วย %
Ash = ค่าปริมาณขี้เถ้า, หน่วย %
FC = ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว, หน่วย %

2.8 สมการที่ใช้ทดสอบในการคำนวณหาค่าความผิดพลาดยกกำลังสอง

เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าผลรวมของค่าผิดพลาดกำลังสองจากการทดลอง ใช้ในการวิเคราะห์สมการเพื่อที่จะหาสมการที่ดีที่สุดในการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ

ค่าความผิดพลาดยกกำลังสอง = (ค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ - ค่าความร้อนที่ได้จากสมการ)^2 (2.13)

153570 1X
มร.
ธ 5891
2552

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาการทดลองหาคุณสมบัติของชีวมวลตามมาตรฐาน ASTM(American Society for Testing and Materials)

ASTM (American Society for Testing and Materials) นับได้ว่าเป็น สมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุนทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน

ASTM ถือได้ว่าเป็นสมาคมที่ใหญ่ที่สุดในโลก ในด้านของระบบการพัฒนามาตรฐาน ที่ใช้โดยความสมัครใจ มาตรฐาน ASTM จัดขึ้น โดยมติของกรรมการวิชาการ เฉพาะสาขาวิชาต่างๆ ถึง 132 คณะ และมีการจัดพิมพ์มาตรฐานมากกว่า 9,800 เรื่อง ในแต่ละปี โดยมีสมาชิกที่ทรงคุณวุฒิทางวิชาการถึง 35,000 คน ประกอบด้วย ตัวแทนกลุ่มผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งองค์การที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน ทำให้เชื่อได้ว่า มาตรฐาน ASTM นี้ ครอบคลุมวิชาการต่างๆ มากมาย และมีความละเอียด ลึกซึ้ง นอกจากนี้ มาตรฐาน ASTM ยังได้รับการพิจารณา ทบทวนปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทันสมัยอยู่เสมอ

3.2 ลำดับการทดลองหาคุณสมบัติของชีวมวล ตามมาตรฐาน ASTM

3.2.1 ความชื้น (Moisture) ตามมาตรฐาน ASTM: E 871 - 82

3.2.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter, VM) ตามมาตรฐาน ASTM: E 872 – 82

3.2.3 ขี้เถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน ASTM: E 1755 – 01

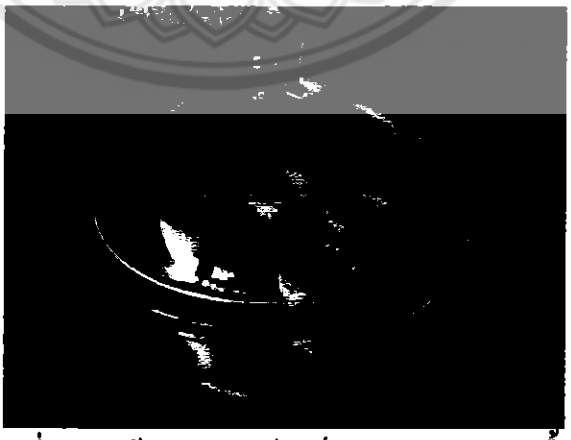
3.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) ตามมาตรฐาน ASTM: D 3172 – 73

3.3 การหาคุณสมบัติของชีวมวล และหาค่าความร้อนของชีวมวล

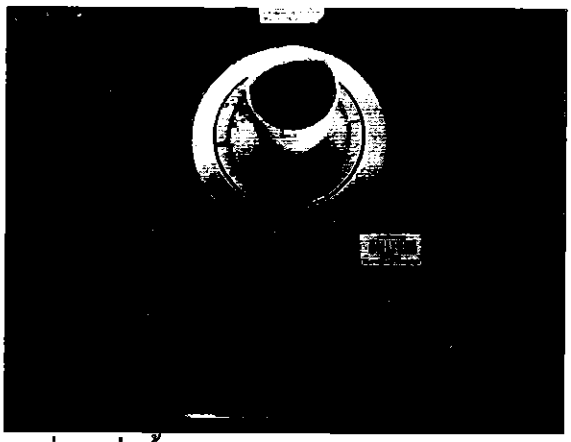
3.3.1 การหาค่าความชื้น (Moisture) ตามมาตรฐาน ASTM: E 871 - 82

ขั้นตอนที่ 1 นำถ้วย crucible มาอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง **แล้วนำไปเย็น** ตัวในโถดูดความชื้น และชั่งเพื่อบันทึกค่าเป็นน้ำหนักถ้วยเริ่มต้น

รูปที่ 3.1 อบถ้วย crucible ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส

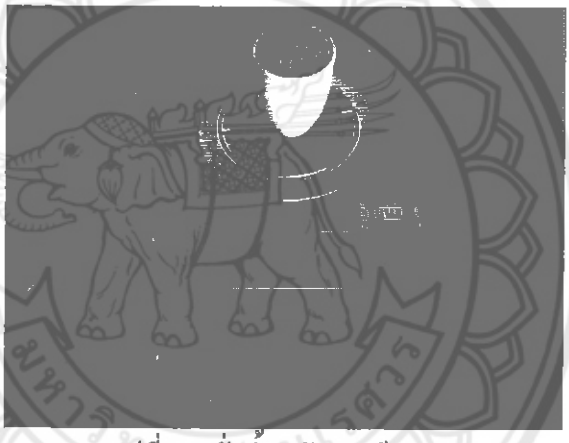


รูปที่ 3.2 นำถ้วย crucible ไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น



รูปที่ 3.3 ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible เปล่าหลังจากอบ

ขั้นตอนที่ 2 ชั่งสารชีวมวลประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อน แล้ว**บันทึกค่าเป็นน้ำหนักเริ่มต้น**



รูปที่ 3.4 ชั่งน้ำหนักสารชีวมวล

ขั้นตอนที่ 3 นำถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลแล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 103 องศา**เซลเซียส** อบเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

รูปที่ 3.5 อบสารชีวมวล

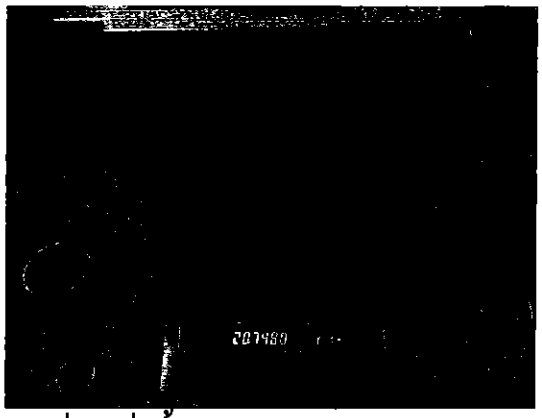
ขั้นตอนที่ 4 นำถ้วย crucible ใส่สารชีวมวลที่อบเสร็จแล้วไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น แล้วชั่งบันทึกผลเป็นน้ำหนักสุดท้าย

รูปที่ 3.6 สารชีวมวลเย็นตัวในโถดูดความชื้น

รูปที่ 3.7 ชั่งน้ำหนักสารชีวมวลหลังการอบ

3.3.2 การค่าปริมาณสารระเหย (Volatile matter, VM) ตามมาตรฐาน ASTM: E 872 – 82

ขั้นตอนที่ 1 นำถ้วย crucible พร้อมฝาปิดไปชั่งแล้วบรรทุกค่าเป็นน้ำหนักถ้วยเริ่มต้น



รูปที่ 3.8 ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible พร้อมฝาปิด

ขั้นตอนที่ 2 ชั่งสารชีวมวลประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อนปิดฝา แล้วบันทึกค่าเป็นน้ำหนักเริ่มต้น

รูปที่ 3.9 ชั่งน้ำหนักสารชีวมวลใส่ในภาชนะพร้อมปิดฝา

ขั้นตอนที่ 3 นำถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลปิดฝาแล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส อบเป็นเวลา 7 นาที

รูปที่ 3.10 ถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลปิดฝาแล้วเข้าเตาอบ

ขั้นตอนที่ 4 นำถ้วย crucible ใส่สารชีวมวลที่อบเสร็จแล้วไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น แล้วชั่งบันทึกผลเป็นน้ำหนักสุดท้าย

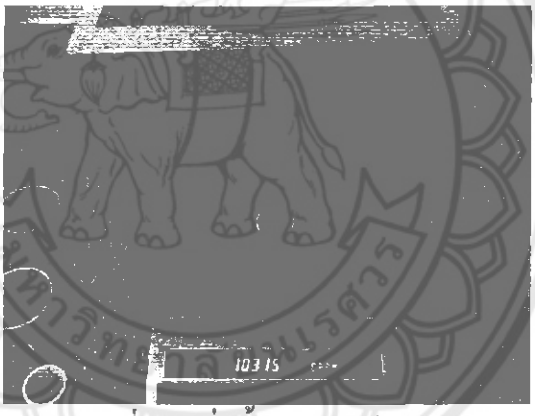
รูปที่ 3.11 ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible พร้อมปิดฝาหลังจากการอบ

3.3.3 การค่าปริมาณขี้เถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน ASTM: E 1755 – 01

ขั้นตอนที่ 1 นำถ้วย crucible ไปชั่งแล้วบรรทุกค่าเป็นน้ำหนักถ้วยเริ่มต้น

รูปที่ 3.12 ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible

ขั้นตอนที่ 2 ชั่งสารชีวมวลประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในภาชนะทนความร้อน แล้วบันทึกค่าเป็นน้ำหนักเริ่มต้น



รูปที่ 3.13 ชั่งน้ำหนักสารชีวมวล

ขั้นตอนที่ 3 นำถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลปิดฝาแล้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส อบเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

รูปที่ 3.14 นำถ้วย crucible ที่ใส่สารชีวมวลเข้าเตาอบ

ขั้นตอนที่ 4 นำถ้วย crucible ใส่สารชีวมวลที่อบเสร็จแล้วไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น แล้วชั่งบันทึกผลเป็นน้ำหนักสุดท้าย

รูปที่ 3.15 นำไปเย็นตัวในโถดูดความชื้น

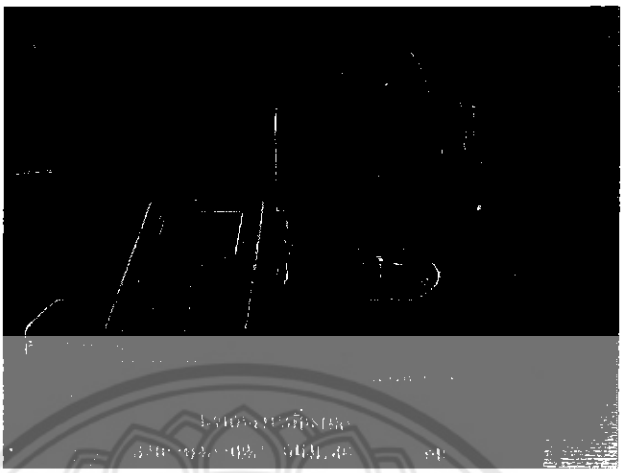
รูปที่ 3.16 ชั่งน้ำหนักหลังจากการอบ

3.3.4 หาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) ตามมาตรฐาน ASTM: D 3172 – 73 สามารถหาได้จากการคุลสมการ

$$\% FC = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Volatile matter} + \% \text{ Ash})$$

3.3.5 หาค่าความร้อนของสารชีวมวลโดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ขั้นตอนที่ 1 เปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ไว้ 30 นาที และเติมน้ำในแคลอรีมิเตอร์ 1ลิตร พร้อมทั้งปิดฝาครอบลง

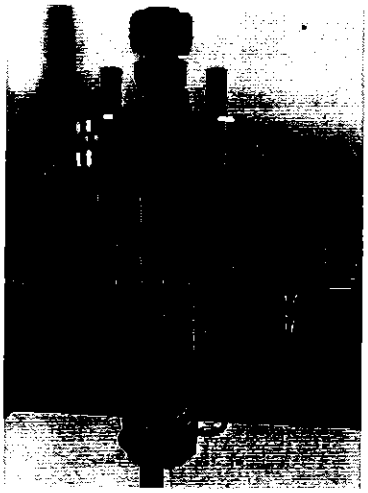


รูปที่ 3.17 เปิดเครื่องเตรียมความพร้อม

ขั้นตอนที่ 2 ชั่งน้ำหนักสารชีวมวลประมาณ 0.5 กรัม

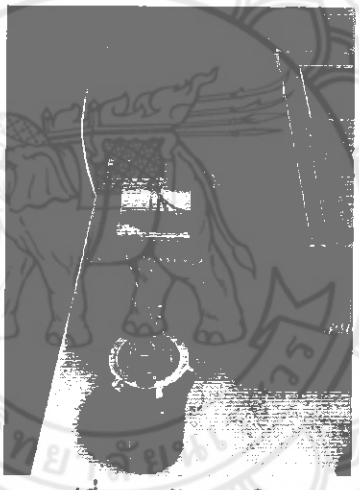
รูปที่ 3.18 ชั่งน้ำหนักสารชีวมวล

ขั้นตอนที่ 3 นำสารชีวมวลใส่ถ้วย crucible แล้วร้อยลวดฟิวส์โดยให้ลวดฟิวส์สัมผัสกับสารชีวมวล แล้วนำใส่ลูกบอมบ์แล้วปิดฝา



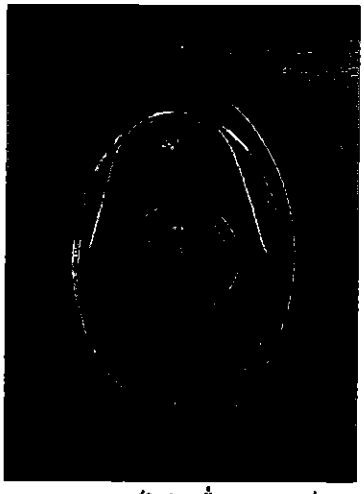
รูปที่ 3.19 ร้อยลวดฟิวส์ให้สัมผัสกับสารชีวมวล

ขั้นตอนที่ 4 นำลูกบอมบ์ไปอัดออกซิเจน 300 psig



รูปที่ 3.20 อัดออกซิเจน

ขั้นตอนที่ 5 นำลูกบอมบ์ใส่เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์แล้วให้เครื่องเริ่มทำการเผา



รูปที่ 3.21 นำลูกบอมบ์ใส่เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากเครื่องเผาเสร็จเครื่องจะให้เราทำการใส่ค่าน้ำหนักสารชีวมวล เราก็ใส่ค่าที่ได้จากการชั่งสารชีวมวล

รูปที่ 3.22 ใส่ค่าน้ำหนักสารชีวมวล

ขั้นตอนที่ 7 เครื่องก็จะทำการคำนวณค่าความร้อนของสารชีวมวล ออกมาในหน่วย cal/g เราก็ทำการจดบันทึกค่าจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติที่ใช้เพื่อทดสอบสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ

จากการทดลองตามมาตรฐานASTM เพื่อหาค่า ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว เพื่อที่จะได้นำค่าไปทำการทดสอบสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ

ตาราง 4.1 แสดงค่าจากการทดลองตามมาตรฐานASTM

ชนิดของสารชีวมวล	%ความชื้น	%สารระเหย	%ขี้เถ้า	%คาร์บอนคงตัว
1. ยอดอ้อย	7.8569	86.7574	6.68	6.5626
2. ถ่าน	6.5147	38.3974	23.2851	38.3175
3. เศษไม้จามจุรี	7.9570	89.5586	2.6521	7.7893
4. เปลือกถั่วลิสง	8.3118	88.4476	2.4351	9.1173
5. เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	8.4097	81.1339	12.0822	6.7839
6. แกลบ	8.9448	73.6746	18.641	7.6844
7. ใยมะพร้าว	9.5470	88.6246	3.7047	7.6707
8. กะลามะพร้าว	7.6032	83.7192	0.5998	15.6810
9. ฟางข้าว	9.6806	79.8594	12.6161	7.5245
10. เปลือกถั่วเขียว	8.2204	87.8513	6.3816	5.7671
11. ชานอ้อย	10.1941	89.7118	3.021	7.2672
12. เปลือกทุเรียน	9.2376	88.1273	4.7848	7.0879
13. เปลือกถั่วเหลือง	8.2455	86.3036	6.462	7.2344

14. ซังข้าวโพด	11.8145	87.7537	2.4607	9.7856
15. กากถั่วเหลือง	8.2694	89.9335	2.4656	7.6009
16. ขี้เลื่อย	11.4777	89.6405	1.17	9.1895
17. ลำต้นมันสำปะหลัง	10.6713	88.4048	3.9892	7.6060
18. ต้นข้าวโพด	8.6648	87.7356	5.4091	6.8553
19. เปลือกข้าวโพด	9.6906	89.2553	3.2824	7.4623
20. รำข้าว	9.0141	78.8581	7.7278	13.4141

* ค่า %สารระเหย %ขี้เถ้า และ%คาร์บอนคงตัว เป็นมาตรฐานน้ำหนักแห้ง (dry basis)

ค่าความร้อน (Heating Value) ได้จากการทดลองของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ เพื่อที่จะได้นำค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากสมการ เพื่อหาสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพที่มีความแม่นยำมากที่สุด

ตาราง 4.2 แสดงค่าความร้อนของสารชีวมวลที่ได้จากการทดลองบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ชนิดสารชีวมวล	ค่าพลังงานความร้อนที่ได้ (cal/g)	ค่าพลังงานความร้อนที่ได้ (MJ/kg)
1. ยอดอ้อย	3965.090	16.601
2. ถ่าน	4833.240	20.236
3. เศษไม้จามจุรี	4081.260	17.087
4. เปลืองถั่วลิสง	4308.240	18.038
5. เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	3556.130	14.889
6. แกลบ	3235.000	13.544
7. ใยมะพร้าว	3445.220	14.424
8. กะลามะพร้าว	4516.830	18.911
9. ฟางข้าว	3190.400	13.358
10. เปลือกถั่วเขียว	3771.410	15.790
11. ชานอ้อย	3696.140	15.475
12. เปลือกทุเรียน	3801.850	15.918
13. เปลือกถั่วเหลือง	3981.770	16.671
14. ซังข้าวโพด	3816.910	15.981

15. กากถั่วเหลือง	5387.820	22.558
16. ขี้เลื่อย	4152.670	17.386
17. ลำต้มมันสำปะหลัง	3992.880	16.717
18. ต้นข้าวโพด	3802.210	15.919
19. เปลือกข้าวโพด	3772.330	15.794
20. รำข้าว	3856.530	16.146

4.2 การเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์กับค่าความร้อนที่ได้จากสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ

จากการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์กับค่าความร้อนที่ได้จากสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ โดยการเปรียบเทียบใช้ค่าความร้อนสูงของชีวมวลในหน่วย MJ/kg ซึ่งผลของการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์กับค่าจากสมการ

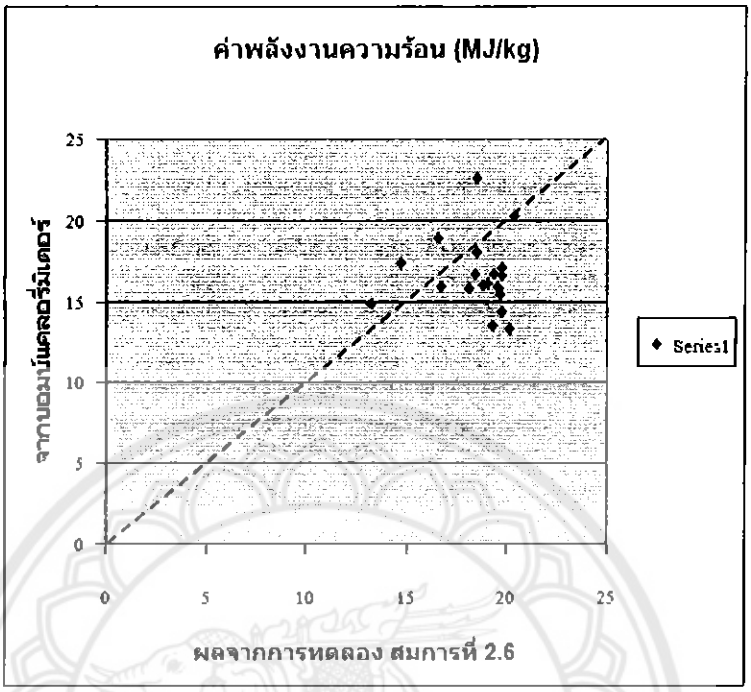
ชนิดของสารชีวมวล	ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.6	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.7	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.8	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.9	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.10	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.11	ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.12
1. ยอดอ้อย	16.7170	18.4231	18.3616	15.4053	15.3561	17.1433	17.9129	15.7939
2. ถ่าน	14.8890	13.2207	14.5025	21.6292	17.8452	20.1342	15.4461	19.3536
3. เศษไม้จามจุรี	15.4750	19.6850	19.2977	15.6457	16.1686	18.0564	18.8533	16.6958
4. เปลือกถั่วลิสง	14.4240	19.7530	19.3481	15.9060	16.4125	18.3371	18.9523	16.9939
5. เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	15.9180	16.7306	17.1061	15.4486	14.5625	16.2612	16.7232	14.9533
6. แกลบ	17.3860	14.6757	15.5818	15.6251	13.6992	15.3062	15.3029	14.0577
7. ใบมะพร้าว	16.6710	19.3552	19.0530	15.6225	15.9883	17.8548	18.6153	16.5000
8. กะลามะพร้าว	20.2360	20.3280	19.7746	17.1925	17.7350	19.8550	19.6107	18.5919
9. ฟางข้าว	18.9110	16.5633	16.9820	15.5938	14.5981	16.3059	16.6331	15.0123
10. เปลือกถั่วเขียว	22.5580	18.5166	18.4309	15.2494	15.2757	17.0483	17.9486	15.6855

11. ชานอ้อย	15.7900	19.5694	19.2119	15.5434	16.0292	17.8976	18.7515	16.5322
12. เปลือกทุเรียน	16.1460	19.0168	18.8020	15.5082	15.7302	17.5634	18.3534	16.2080
13. เปลือกถั่วเหลือง	18.0380	18.4914	18.4122	15.5369	15.4961	17.3038	17.9870	15.9624
14. ซังข้าวโพด	17.0870	19.7450	19.3421	16.0370	16.5145	18.4554	18.9722	17.1218
15. กากถั่วเหลือง	16.6010	19.7434	19.3410	15.6088	16.1673	18.0536	18.8874	16.6891
16. ขี้เลื่อย	13.3580	20.1494	19.6421	15.9201	16.6180	18.5664	19.2357	17.2152
17. ลำต้นมันสำปะหลัง	13.5440	19.2661	18.9869	15.6098	15.9344	17.7943	18.5497	16.4407
18. ต้นข้าวโพด	15.9810	18.8212	18.6569	15.4626	15.5975	17.4141	18.2060	16.0598
19. เปลือกข้าวโพด	15.9190	19.4875	19.1512	15.5816	16.0200	17.8887	18.7010	16.5280
20. รำข้าว	15.7940	18.0948	18.1181	16.7482	16.2820	18.2216	17.9429	16.9769

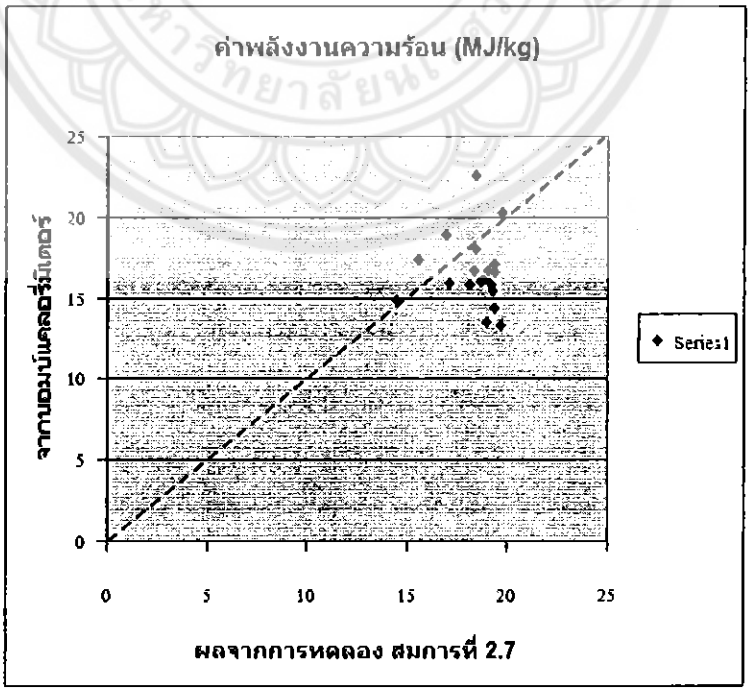
จากผลของการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์และค่าที่ได้จากสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ พบว่าค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์และค่าที่ได้จากสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพในแต่ละสมการนั้นค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก โดยขึ้นอยู่กับแต่ละสารชีวมวลด้วย โดยที่สมการแต่ละสมการให้ค่าที่ได้ในการประมาณออกมาในสารชีวมวลแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น บางสมการเหมาะกับการประมาณค่าความร้อนแกลบมากที่สุด แต่ไม่เหมาะกับการประมาณค่าความร้อนของลำต้นมันสำปะหลัง มองโดยรวมตอนนี้เราจึงทราบได้ว่าสมการใดมีความแม่นยำในการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพดีที่สุด ดังนั้นเราต้องใช้สมการ 2.13 หาค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของสารชีวมวลของแต่ละสมการ เราจึงได้สมการที่มีค่าความผิดพลาดรวมน้อยที่สุด คือ สมการที่ 2.9

4.3 ผลการทดลอง

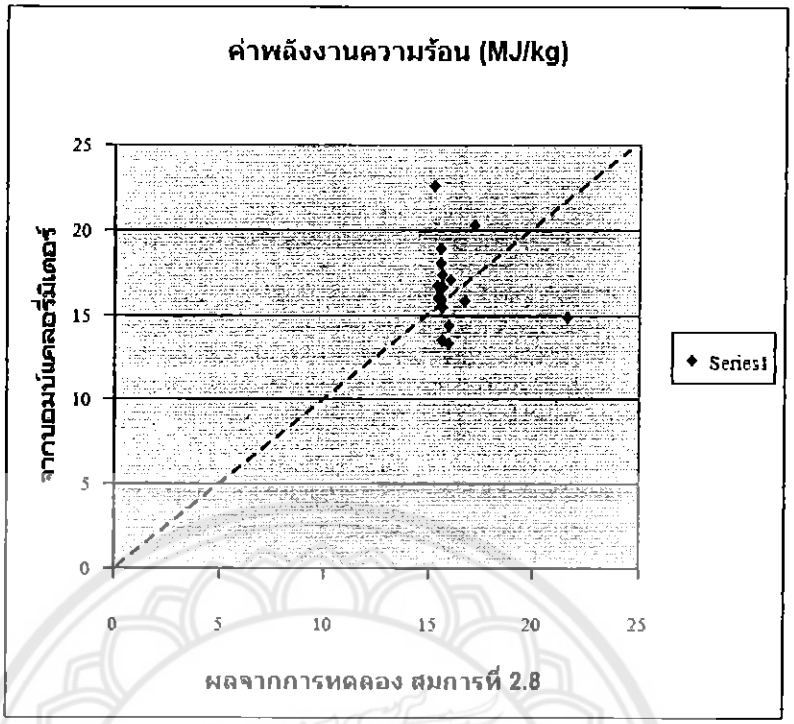
จากการทดลองและประมาณค่าความร้อนในแต่ละสมการ ทำให้ได้ค่าที่แสดงดังกราฟต่อไปนี้



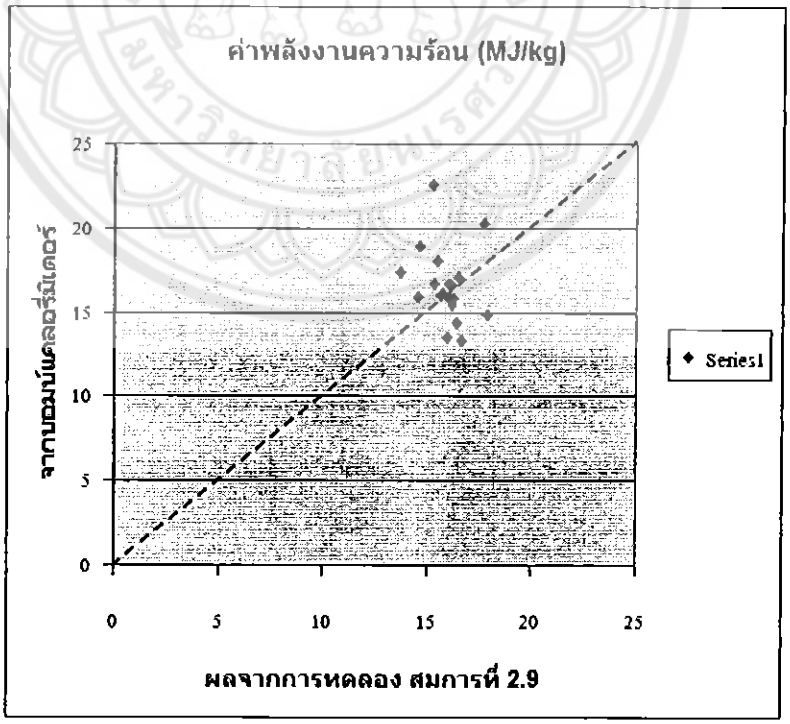
กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.6



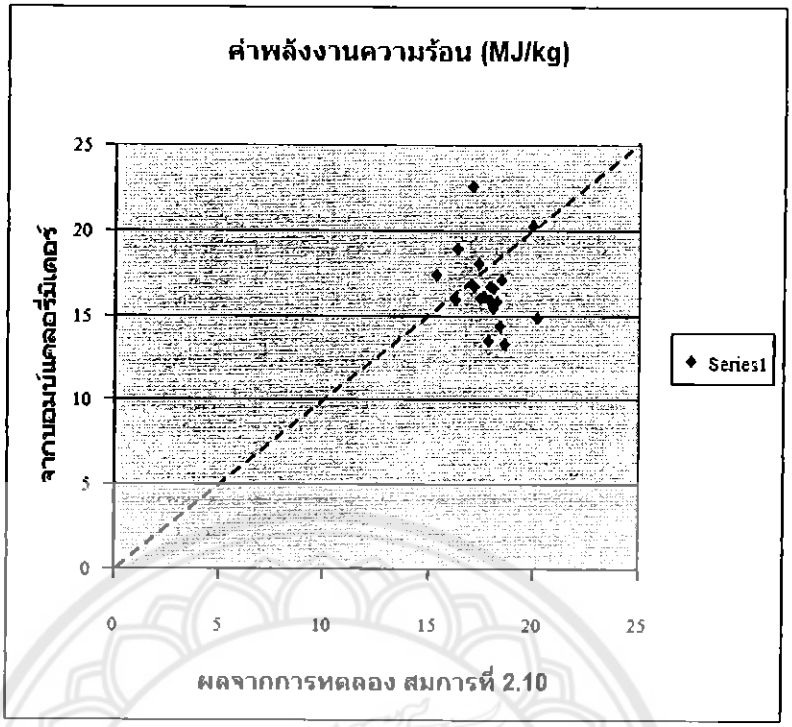
กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.7



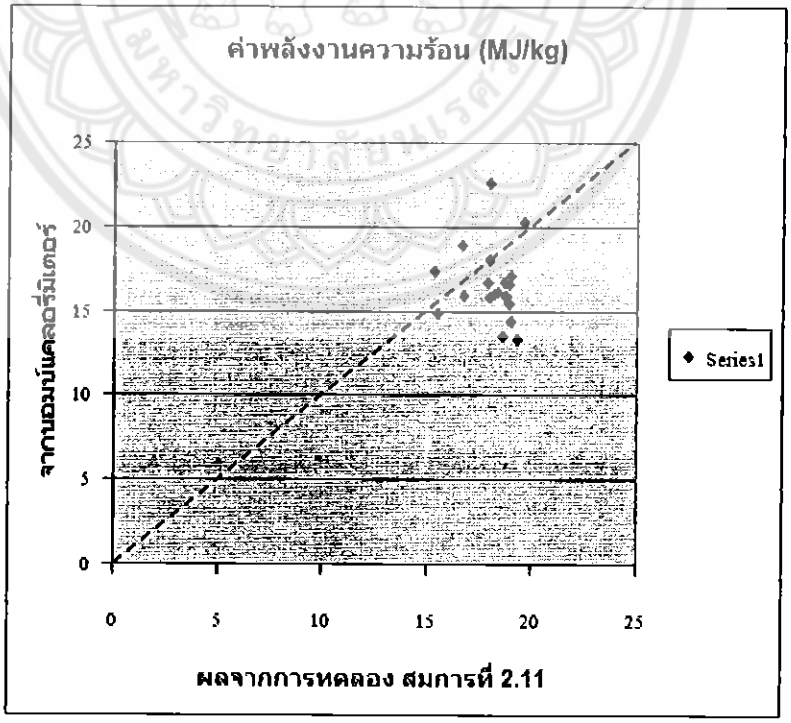
กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.8



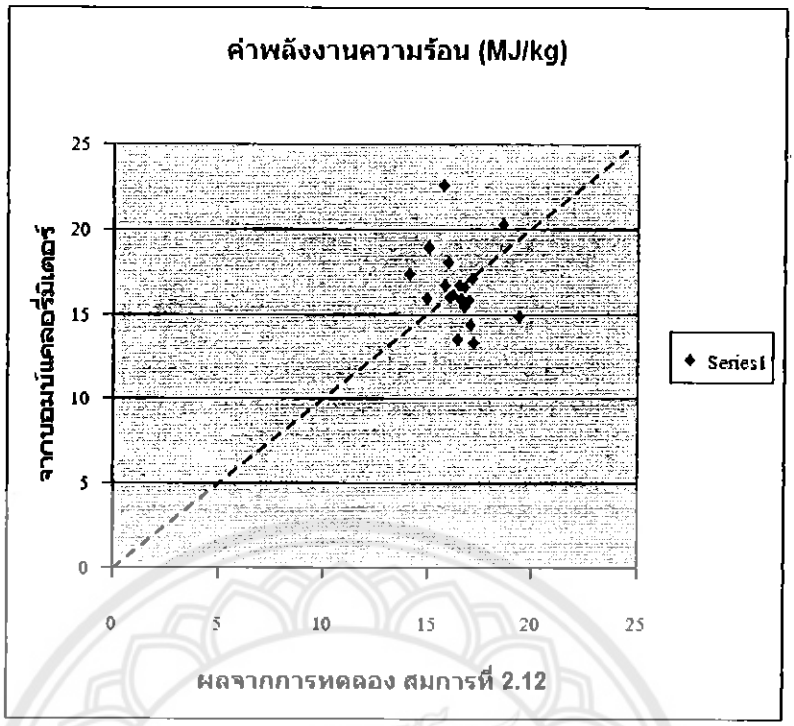
กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.9



กราฟที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.10



กราฟที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.11



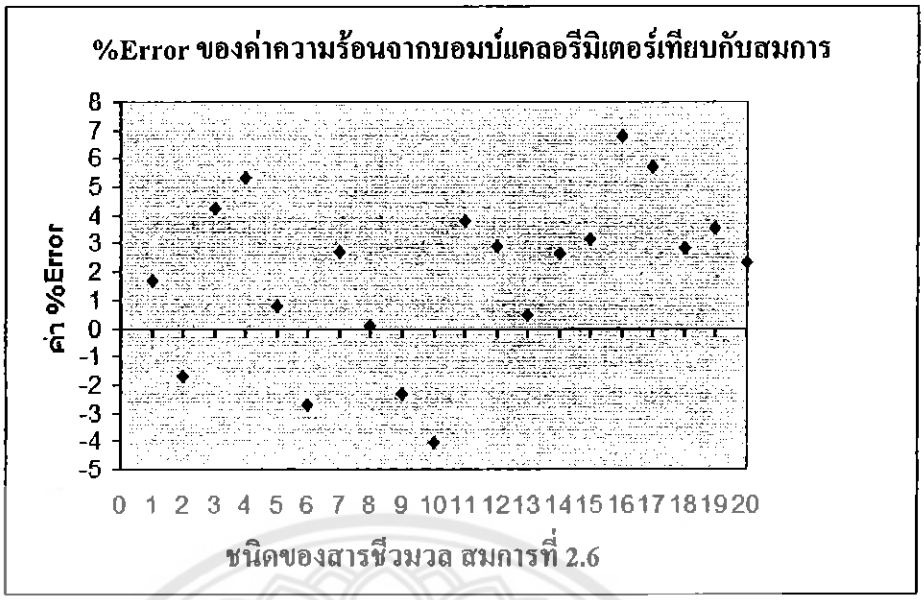
กราฟที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าความร้อนจากการประมาณของสมการที่ 2.12

จากกราฟที่ 4.1-4.7 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าการประมาณค่าความร้อนของแต่ละสมการนั้นไม่ได้แม่นยำ100%ในทุกสารชีวมวลแต่ส่วนใหญ่ก็จะใกล้เคียง สังเกตได้จากเส้น45องศา หรือเส้นทแยงมุม ถ้าหากว่าค่าความร้อนที่ได้จากสมการการประมาณค่าความร้อนกับค่าความร้อนที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เท่ากัน จุดของค่าความร้อนจะอยู่บนเส้นทแยงมุมพอดี

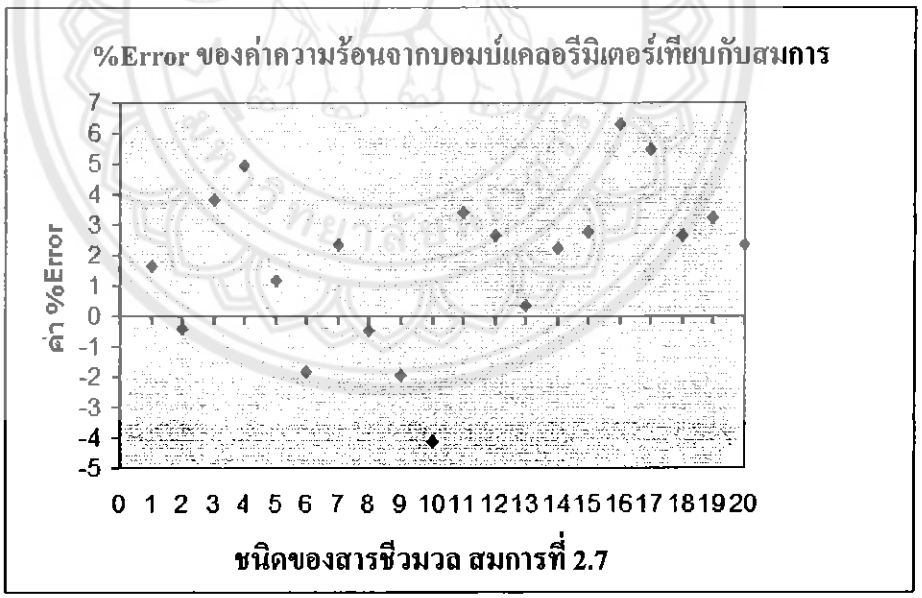
4.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ

จากข้อมูลการทดลองสามารถวิเคราะห์หาความแม่นยำของสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพซึ่งประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

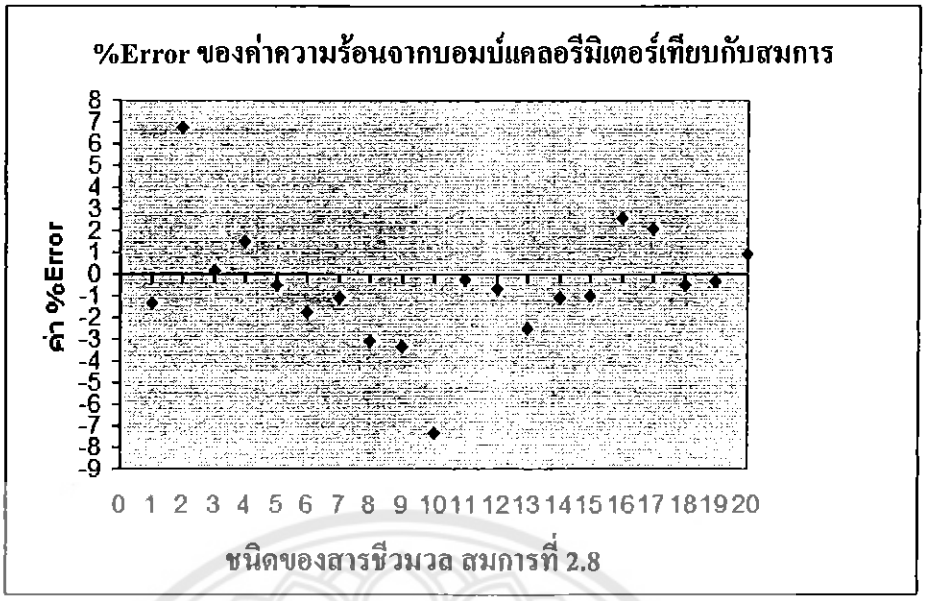
โดยค่าความผิดพลาดของแต่ละสมการจะแสดงดังกราฟที่ 4.8-4.14



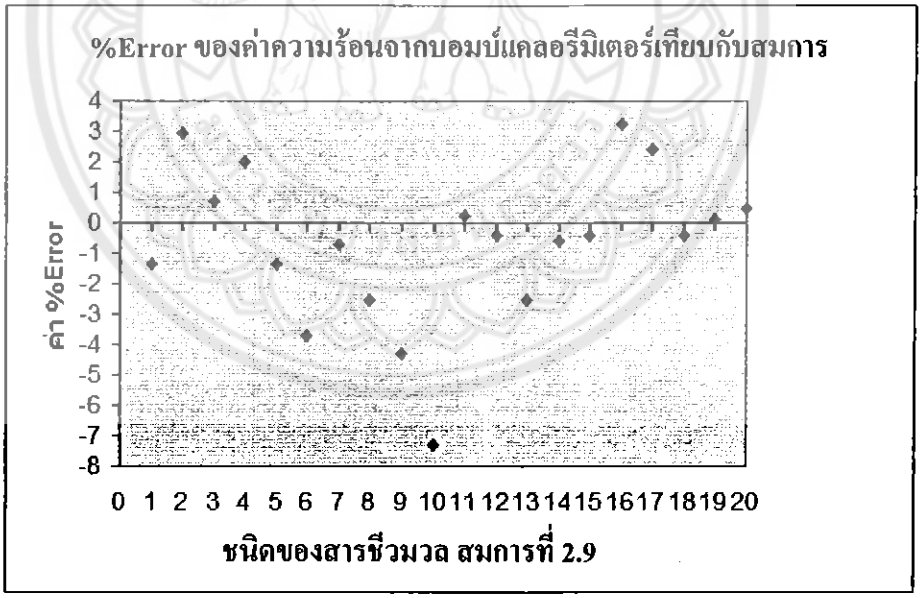
กราฟที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.6



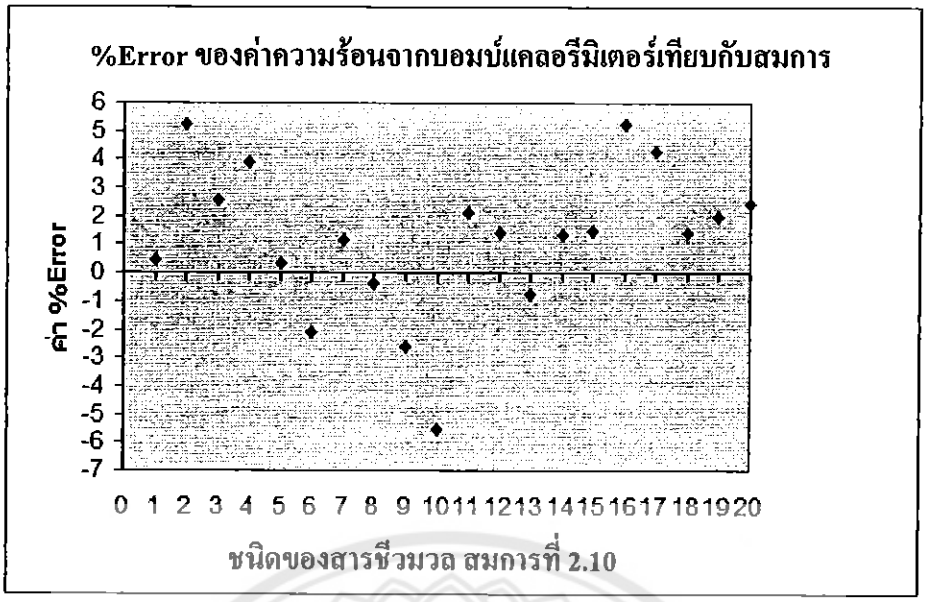
กราฟที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.7



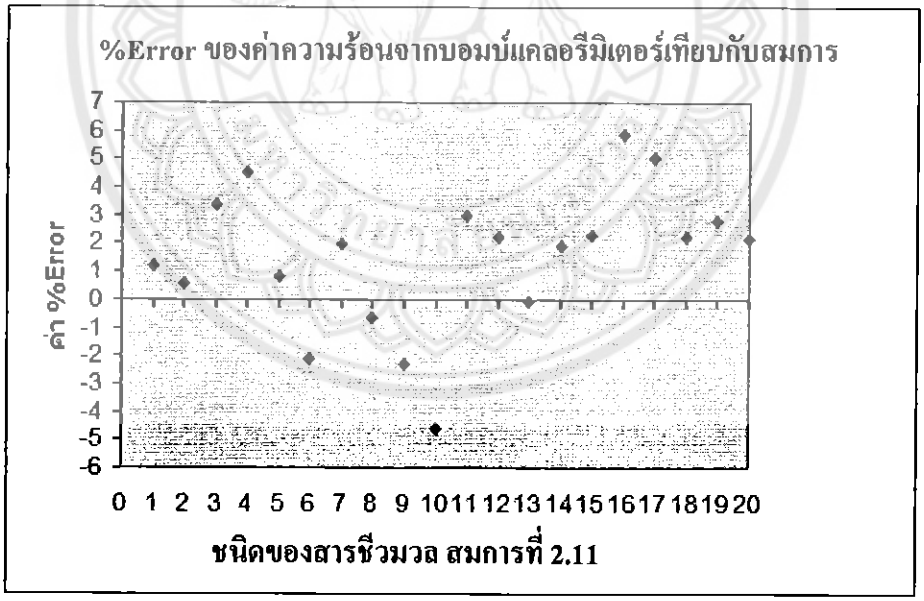
กราฟที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.8



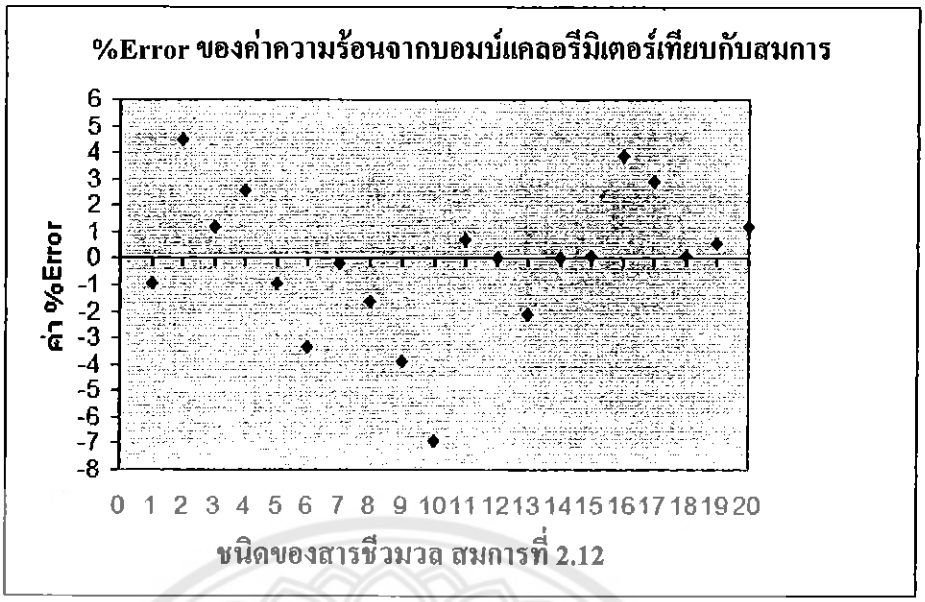
กราฟที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.9



กราฟที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.10



กราฟที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.11



กราฟที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับสารชีวมวล ของสมการที่ 2.12

จากกราฟที่ 4.8-4.14 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการประมาณค่าความร้อนของแต่ละสมการได้ว่าประสิทธิภาพการประมาณค่าความความร้อนของแต่ละสมการในแต่ละสารชีวมวลนั้น บางสมการให้ผลการประมาณค่าดีที่สุดกับสารชีวมวลชนิดนี้ดีแต่ให้ผลการประมาณค่าที่ไม่ดีกับอีกสารชีวมวลหนึ่ง เช่น สมการที่ 2.10สามารถประมาณค่าความร้อนของยอดอ้อยได้ดีที่สุดให้ค่าความร้อนที่ดีกว่าสมการที่ 2.11 แต่ สมการที่ 2.11สามารถประมาณค่าความร้อนของถ่านได้ดีที่สุดให้ค่าความร้อนที่ดีกว่าสมการที่ 2.10 เรายังบอกได้ไม่ชัดเจนว่าสมการไหนจะเป็นสมการที่มีความแม่นยำในการใช้งานรวมดีที่สุด แต่ละสารแต่ละสมการล้วนแต่มีค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันออกไป ไม่เป็นไปในทางเดียวกันทุกสาร

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของแต่ละสมการ

ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.6	233.5125 (MJ/kg)
ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.7	196.6416 (MJ/kg)
ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.8	148.4150 (MJ/kg)
ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.9	132.7538 (MJ/kg)
ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.10	160.7947 (MJ/kg)
ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.11	168.5916 (MJ/kg)
ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดของ สมการที่ 2.12	135.9678 (MJ/kg)

จากตารางที่ 4.4 สามารถวิเคราะห์ความแม่นยำในประมาณค่าความร้อนของแต่ละสมการได้ว่าความแม่นยำในการประมาณค่าความความร้อนของแต่ละสมการได้จากการหาค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาด จากสมการที่ 2.13 ทำให้เราสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสมการไหนสามารถใช้ในการประมาณค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลได้ดีที่สุด นั่นก็คือ สมการที่ 2.9 เป็นสมการที่ดีที่สุดในการประมาณค่าความร้อน เนื่องจากมีค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ผลการวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองและผลการวิเคราะห์

จากการทดลองชีวมวลของไทยจำนวน 20 ชนิด ได้แก่ ยอดอ้อย ถ่าน เศษไม้จามจุรี เปลือกถั่วลิสง เปลือกไม้ยูคาลิปตัส แกลบ ใยมะพร้าว กะลามะพร้าว ฟางข้าว เปลือกถั่วเขียว ชานอ้อย เปลือกทุเรียน เปลือกถั่วเหลือง ซังข้าวโพด กากถั่วเหลือง ขี้เลื่อย ลำต้นมันสำปะหลัง ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด และรำข้าว พบว่า ความชื้นมีค่าระหว่าง 6-12 เปอร์เซ็นต์ สารระเหยมีค่าระหว่าง 70-90 เปอร์เซ็นต์ ขี้เถ้ามีค่าระหว่าง 2-13 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนคงตัวมีค่าระหว่าง 5-39 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาเปรียบเทียบสมการการประมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ จำนวน 7 สมการ โดยใช้ค่าจากการทดลอง พบว่า สมการแต่ละสมการจะเหมาะแก่การประมาณค่าความร้อนของสารชีวมวลแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นที่จะต้องทำการหาค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองมาเป็นตัวชี้วัด กล่าวคือถ้าสมการใดมีค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุดก็จะเป็นสมการที่มีความแม่นยำในการประมาณค่าความร้อนมากที่สุด จากการหาค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองทำให้เราสามารถทราบได้ว่าสมการการประมาณค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลได้ดีที่สุด นั่นก็คือ สมการ HHV = 0.312FC+0.1534VM (Demirbas A, 1997)

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการพัฒนาที่ได้เสนอแนะมีดังต่อไปนี้

1. จากการทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติที่จะทำมาใช้ในการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล ตามมาตรฐาน ASTM ควรดำเนินการตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด การที่ทำผิดพลาดไปแค่นิดเดียวอาจทำได้ผลการทดลองที่ได้คลาดเคลื่อน ควรรักษา อุณหภูมิ เวลา ให้เป็นไปตามมาตรฐาน การปฏิบัติตามมาตรฐานจะทำให้ได้ผลการทดลองที่เป็นไปตามเป้าหมายสูงสุด

2. ในการอบสารชีวมวลควรใช้เตาอบที่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว และภาชนะในการอบก็ควรเป็นภาชนะที่ทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่นกัน จะทำให้เราสามารถดำเนินการตามมาตรฐานกำหนดไว้ได้ โดยที่ไม่ต้องเปิดตู้อบทิ้งไว้รอจนเย็นนั่นซึ่งอาจทำให้ค่าความชื้นสูงขึ้นไปจากเดิมได้ การมีอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานก็ทำให้เราสามารถได้ค่าที่เป็นไปตามมาตรฐานเช่นกัน

3. ในการชั่งสารตัวอย่างทุกครั้งเราต้องคุม อากาศ อุณหภูมิ ความชื้น และสิ่งอื่นๆที่เป็นปัจจัยเกี่ยวข้อง เพราะในการชั่งสารตัวอย่างเราใช้สารตัวอย่างในการชั่งน้อยมาก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถทำให้ผลการชั่งของเราคลาดเคลื่อนได้

บรรณานุกรม

[1] M. Erol, H. Haykiri-Acma, S.Kucukbayrat. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. Renewable Energy 2010;35:170-173 [in Turkey]

[2] Jianfeng Shen, Shuguang Zhu, Xinzhi Liu, Houlei Zhang, Junjie Tan. The prediction of elemental composition of biomass based on proximate analysis. Energy Conversion and Management 2010;51:983-987 [in China]

[3] Changdong SHen, J.L.T. Azevedo. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. Biomass and Bioenergy 2005;28:499-507 [in Portugal]

[4] Carlo S. Alburo, Radzwell H. Conje, Maria Gracelda B. Pino, Engr. Patrick U. Tan. Calorific Values and Proximate Analysis of. USC Chemical Engineering Student Research Annual 2010; Page 1-13 [in Philippines]

[5] ASTM-E 871-82. Standard Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. Annual Book of ASTM Standards; 1998.

[6] ASTM-E 872-82. Standard Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. Annual Book of ASTM Standards; 1998.

[7] ASTM-E 830-87. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel. Annual Book of ASTM Standards; 2004

[8] ASTM-E 1755-01. Standard Test Method for Ash in Biomass.

[9] ASTM-E 870-82. Standard Method for Analysis of Wood Fuels. Annual Book of ASTM Standards; 1998.

[10] http://www.phetchabun.com/information/phetchabun08-10-01.html

[11] http://www.212cafe.com/boardvip/user_board/siamindu/picture/29165_1.jpg

[12] http://www.efe.or.th/image.php?d=3&file=08-10-02-GRHcWO.jpg

[13] http://www.vcharkarn.com/varticle/39617

[14] http://www.thaimtb.com/cgi-bin/viewkatoo.pl?id=164295

[15] http://www.dld.go.th/nutrition/Nutrition_Knowlage/ARTICLE/ArtileH.htm

บรรณานุกรม (ต่อ)

[16] http://www.efe.or.th/home.php?ds=preview&back=content&doc=Bgqtvz94LrZj7Hf2

[17] http://www.siamexotica.com/Carnivorous-Growing.html

[18] http://www.rakbankerd.com/agriculture/wb/show.php?Category=agriculture&No=15202

[19] http://www.212cafe.com/freewebboard/view.php?user=fernkorat&id=7115

[20] http://www.arunsawat.com/board/index.php?topic=6418.0

[21] http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=ghostbuster&group=7

[22] http://www.rakbankerd.com/agriculture/page.php?id=1147&s=tblanimal

[23] http://krunes.maepa.org/stu/project2/menu5.html

[24] http://krunes.maepa.org/stu/project2/menu5.html

[25] http://learners.in.th/blog/dif/323722

[26] http://www.thaiselling.com/thaiselling_Postview.asp?key=242445

[27] http://202.29.22.173/localStudent2548/SumWeb/VAPEEPATHOM/NUCH/beer24.html

[28] http://www.tradethailand.com/pages/?94

[29] http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=skit&month=28-05-2008&group=4&gblog=4

[30] http://www.fire-testing.com/html/instruments/iso1716.htm

[31] http://glasswarechemical.com/equipment/desiccator/

[32] http://www.scilution.com/product.detail.php?id=329468

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณนี้ จะแสดงวิธีการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลทางกายภาพ โดยจะใช้ยอดอ้อยเป็นตัวอย่างในการคำนวณดังนี้

การคำนวณหาค่าปริมาณความชื้น (Moisture)

จากการทดลองจะได้ค่าดังนี้

น้ำหนักถ้วย (ก่อน), W_c	=	11.6973	กรัม
น้ำหนักสารชีวมวล (ก่อน)	=	0.9813	กรัม
น้ำหนักก่อนอบ (ถ้วย+สารชีวมวล), W_i	=	12.6786	กรัม
น้ำหนักหลังอบ (ถ้วย+สารชีวมวล), W_f	=	12.6015	กรัม

สูตรในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น (ASTM : E871-82)

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น $= [(W_i-W_f) / (W_i-W_c)] \times 100$

โดยที่ W_c = น้ำหนักภาชนะ, หน่วยกรัม

W_i = น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม

W_f = น้ำหนักสุดท้ายหลังจากการอบ (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น $= (12.6786-12.6015) / (12.6786-11.6973) \times 100$

$= 7.8569$ %

การคำนวณหาค่าปริมาณสารระเหย (Volatile matter)

จากการทดลองจะได้ค่าดังนี้

น้ำหนักภาชนะพร้อมฝาปิด, W_c	=	20.1642	กรัม
น้ำหนักเปียกขณะชั่งก่อนอบ	=	1.0031	กรัม
%ความชื้น (น้ำหนักแห้ง)	=	7.8569 %	
น้ำหนักที่หายไปจากความชื้น	=	(น้ำหนักเปียก × %ความชื้น) / 100	
	=	(1.0031 × 7.8569) / 100	
	=	0.0788 กรัม	

น้ำหนักหลังอบ (ถ้วย+ฝา+สารชีวมวล), W_f = 20.2866 กรัม

น้ำหนักสารชีวมวลก่อน (น้ำหนักแห้ง) = น้ำหนักเปียก – น้ำหนักที่หายไปจากความชื้น

= 1.0031 - 0.0788

= 0.9243 กรัม

น้ำหนักก่อนอบ (ถ้วย+ฝา+สารชีวมวล), W_i = น้ำหนักถ้วย+ฝา + น้ำหนักสารชีวมวล

= 20.1642 + 1.0031

= 21.1673 กรัม

น้ำหนักที่หายไปของสารระเหย = น้ำหนักก่อนอบ – น้ำหนักหลังอบ

= 21.1673 - 20.2866

= 0.8807 กรัม

สารระเหยที่ได้ = หนักที่หายไปของสารระเหย – น้ำหนักที่หายไปจากความชื้น

= 0.8807 - 0.0788

= 0.8019 กรัม

ค่าเปอร์เซ็นต์สารระเหย = (สารระเหยที่ได้ / น้ำหนักแห้ง) × 100

= (0.8019 / 0.9243) × 100

= 86.7574 %

การคำนวณหาค่าปริมาณขี้เถ้า (Ash)

จากการทดลองจะได้ค่าดังนี้

น้ำหนักถ้วย (ก่อน), m_{cont} = 11.3613 กรัม

น้ำหนักเปียกขณะชั่งก่อนอบ = 1.0609 กรัม

%ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) = 7.8569 %

น้ำหนักที่หายไปจากความชื้น = (น้ำหนักเปียก × %ความชื้น) / 100

= (1.0609 × 7.8569) / 100

= 0.0834 กรัม

น้ำหนักสารชีวมวลก่อน (น้ำหนักแห้ง) = น้ำหนักเปียก – น้ำหนักที่หายไปจากความชื้น

= 1.0609 - 0.0834

= 0.9775 กรัม

น้ำหนักก่อนอบ (ถ้วย+สารชีวมวล), m_{od} = น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักสารชีวมวล

= 11.3613 + 0.9775

= 12.3388 กรัม

น้ำหนักหลังอบ (ถ้วย+สารชีวมวล), m_{ash} = 11.4266 กรัม

สูตรในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณขี้เถ้า (ASTM : E1755-01)

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณขี้เถ้า = $[(m_{ash}-m_{cont}) / (m_{od}-m_{cont})] \times 100$

โดยที่ m_{ash} = น้ำหนักสุดท้ายหลังการอบพร้อมภาชนะ, หน่วยกรัม

m_{cont} = น้ำหนักภาชนะ, หน่วยกรัม

m_{od} = น้ำหนักเริ่มต้น (สารชีวมวล+ภาชนะ), หน่วยกรัม

%ปริมาณขี้เถ้า = $[(11.4266 - 11.3613) / (12.3388- 11.3613)] \times 100$

= 6.6800 %

การคำนวณหาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

จากการคำนวณในข้างต้นจะได้ค่าดังนี้

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณสารระเหย = 86.7574 %

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณขี้เถ้า = 6.6800 %

สูตรในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณขี้เถ้า (ASTM : D3172-73)

ค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณคาร์บอนคงตัว = 100 – (%ปริมาณความชื้น + %ปริมาณสารระเหย + % ปริมาณขี้เถ้า)

= 100 – (0 + 86.7574 + 6.6800)

= 6.5626 %

*หมายเหตุ เนื่องจากการทดลองนี้อ้างอิงมาตรฐานน้ำหนักแห้ง (dry basis) จึงทำให้ไม่มีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0%

การคำนวณค่าความร้อนสูงจากข้อมูลการทดลอง

จากการที่ได้ทำการทดลองหาค่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณขี้เถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัวในข้างต้น ทำให้สามารถนำค่าปริมาณของสารชีวมวลต่างๆ มาทำการคำนวณหาค่าความร้อนจากสูตรที่ 2.6 - 2.12 ดังนี้

$$HHV = -10.81408+0.3133(VM+FC) \quad (2.6)$$

$$HHV = 19.914-0.2324Ash \quad (2.7)$$

$$HHV = 0.196FC+14.119 \quad (2.8)$$

$$HHV = 0.312FC+0.1534VM \quad (2.9)$$

$$HHV = 0.3543FC+0.1708VM \quad (2.10)$$

$$HHV = -3.0368+0.2218VM+0.2601FC \quad (2.11)$$

$$HHV = 0.3536FC+0.1559VM-0.0078Ash \quad (2.12)$$

ซึ่งตัวอย่างการคำนวณค่าความร้อนได้ยกตัวอย่างสารชีวมวล 1 ชนิด ได้แก่ ยอดอ้อย มาใช้ในการคำนวณ โดยที่ค่าปริมาณสารชีวมวลของยอดอ้อยชนิดต่างๆ มีค่าดังนี้

ปริมาณความชื้น, M = 7.8569 %

ปริมาณสารระเหย, VM = 86.7574 %

ปริมาณขี้เถ้า, Ash = 6.6800 %

ปริมาณคาร์บอนคงตัว, FC = 6.5626 %

สมการที่ 2.6 HHV = -10.81408 + 0.3133(VM + FC)

= -10.81408 + 0.3133(86.7574 + 6.5626)

= 18.4231 MJ/kg

สมการที่ 2.7 HHV = 19.914 - 0.2324Ash

= 19.914 - 0.2324(6.6800)

= 18.3616 MJ/kg

สมการที่ 2.8 HHV = 0.196FC + 14.119

= 0.196(6.5626) + 14.119

= 15.4053 MJ/kg

สมการที่ 2.9 HHV = 0.312FC + 0.1534VM

= 0.312(6.5626) + 0.1534(86.7574)

= 15.3561 MJ/kg

สมการที่ 2.10 HHV = 0.3543FC + 0.1708VM

= 0.3543(6.5626) + 0.1708(86.7574)

= 17.1433 MJ/kg

สมการที่ 2.11 HHV = -3.0368+0.2218VM + 0.2601FC

= -3.0368+0.2218(86.7574) + 0.2601(6.5626)

= 17.9129 MJ/kg

สมการที่ 2.12 HHV = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078Ash

= 0.3536(6.5626) + 0.1559(86.7574) - 0.0078(6.680)

= 15.7939 MJ/kg

การคำนวณหาค่าความผิดพลาดกำลังสอง

การหาค่าผลรวมของค่าผิดพลาดกำลังสองจากการทดลองสารชีวมวลทั้ง 20 ชนิด โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เทียบกับค่าจากสมการในการทดลองสารชีวมวล โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

ผลรวมของค่าผิดพลาด = (ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ - ค่าความร้อนจากสมการ)^2

ซึ่งตัวอย่างการคำนวณค่าผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองจากการทดลองได้ยกตัวอย่างสารชีวมวล 1 ชนิด ได้แก่ ยอดอ้อย มาใช้ในการคำนวณดังนี้

ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.6	=	18.4231	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 18.4231)^2$	
	=	2.9107	
ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.7	=	18.3616	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 18.3616)^2$	
	=	2.7046	
ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.8	=	15.4053	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 15.4053)^2$	
	=	1.7206	
ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.9	=	15.3561	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 15.3561)^2$	
	=	1.8520	

ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.10	=	17.1433	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 17.1433)^2$	
	=	0.1817	
ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.11	=	17.9129	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 17.9129)^2$	
	=	1.4302	
ค่าความร้อนจากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	=	16.7170	MJ/kg
ค่าความร้อนจากสมการที่ 2.12	=	15.7939	MJ/kg
ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง	=	$(16.7170 - 15.7939)^2$	
	=	0.8521	

เมื่อทำการคำนวณผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของสารชีวมวลทั้ง 20 ชนิดแล้ว ให้ทำการนำค่าที่ได้จากการคำนวณสารชีวมวลทั้ง 20 ชนิดนั้นมารวมกัน หลังจากนั้นเปรียบเทียบค่าผิดพลาดยกกำลังสองที่ได้ของแต่ละสมการ สมการที่มีค่าผิดพลาดยกกำลังสองน้อยที่สุดจะเป็นสมการที่ดีที่สุด