

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลชั้น Pyrolysis

โดย

นายบุญยง พงศ์ธนากุล

นายพีรพัฒน์ ไหว้พรหม

นายสุเอช นราพงษ์

นายสมศักดิ์ ชาญชัยสนธิสกุล

ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปริญญาโท ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลชั้น Pyrolysis

ผู้จัดทำ

1. นายบุญยงค์ พงศ์ชนากุล
2. นายพีรพัฒน์ ไชว์พรหม
3. นายสุเชษฐ์ นราพงษ์
4. นายสมศักดิ์ ช่างชัยสนธิสกุล

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ปานนัส ศิริสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ประภากร สุวรรณะ)

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลขั้น Pyrolysis

นายอง พงศ์ธนากุล

พีรพัฒน์ ไหว้พรหม

สุเอษ นราพงษ์

สมศักดิ์ ช่างชัยสนธิสกุล

นางสาวปานภัส ศิริสมบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

นายประภากร สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลขั้น Pyrolysis ซึ่งเป็นกระบวนการเผาไหม้ในภาวะไร้ออกซิเจน หรือมีออกซิเจนอยู่น้อย ชีวมวลที่ใช้ในการทดลองนี้คือขี้ข้าวโพด และผักตบชวา ซึ่งเป็นเศษเหลือทางการเกษตร และวิจัยได้ผลผลิตนี้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง ถ่าน และน้ำมันดินองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงนี้ประกอบด้วยบีเทน อีเทน โพรเพน ไอโซ-บิวเทน นอร์มอล-บิวเทน ไอโซ-เพนเทน นอร์มอล-เพนเทน เป็นต้น โดยมีค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงจากขี้ข้าวโพด ประมาณ 64 55 และ 51 MJ/Nm³ ที่ช่วงอุณหภูมิ 450 °C 550 °C และ 650 °C ตามลำดับ ส่วนผักตบชวามีค่าประมาณ 60 59 และ 56 MJ/Nm³ ที่ช่วงอุณหภูมิ 450 °C 550 °C และ 650 °C ตามลำดับ ในช่วงการทดลองนี้พบว่า การ Pyrolysis ขี้ข้าวโพดควรใช้ช่วงอุณหภูมิต่ำคือ 450 °C แต่สำหรับผักตบชวาควรใช้ช่วงอุณหภูมิสูงคือ 650 °C เนื่องจากใช้ความร้อนจากขดลวดความร้อนน้อยกว่า ส่วนถ่านและน้ำมันดินที่เกิดขึ้นไม่ได้วิเคราะห์ค่าความร้อน จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย คาร์บอนคงที่และเถ้าของถ่าน วิเคราะห์ได้ว่าถ่านที่ได้จากระบวนการ Pyrolysis ของทั้งขี้ข้าวโพดและผักตบชวามีคุณภาพต่ำ โดยถ่านขี้ข้าวโพดและถ่านผักตบชวามีค่าคาร์บอนคงที่ ประมาณ 2.13 และ 3.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Gaseous fuel From biomass Pyrolysis

Boonyong Phongthanakul
 Perapat Hvaiprom
 Suache Naraphong
 Somsak Chanchaisontisakul
 Panmanus Sirisomboon Advisor
 Prapakorn Suwanna Advisor
 Academic Year, 1989

Abstract

Gaseous fuel from biomass pyrolysis which used in this combustion in the absence of oxygen or few oxygen or few oxygen. Biomass experiment are Corn cob and dried water hyacinth which are agricultural residue and weeds. From the pyrolysis gaseous fuel char and tar are produced. Gaseous fuel from this experiment are composed of methane, Ethane, propane, iso-butane, normal-butane, iso-pentane and normal-pentane. Net calorific value of gaseous fuel produced from corn cob is about 64,55 and 51 MJ/Nm³ and from water hyacinth is about 60,59 and 56 MJ/Nm³ at temperature range of 450°C, 550°C and 650°C, respectively. In this temperature experiment range, the pyrolysis of Corn cob and water hyacinth should conduct at 450°C, respectively, according to the energy input from heater is the least at those temperature. Although char and tar's calorific value are not measured. the volatile matter, fixed carbon and ash content of char are considered which indicate that char from the pyrolysis at temperature range of 450°C, 550°C and 650°C of both corn cob and water hyacinth have low quality due to the fixed carbon content are very low, (2.13 and 3.03%)

สารบัญ

เรื่อง

<u>บทที่ 1</u> บทนำ	หน้า
1.1 ชีวมวลและสภาพการใช้ชีวมวลในประเทศไทย	1
1.2 เป้าหมายของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล	5
1.3 การอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืช	5
1.4 วัตถุประสงค์	
 <u>บทที่ 2</u> หลักการและทฤษฎี	
2.1 คุณสมบัติของชีวมวล	34
2.2 การ Pyrolysis ชีวมวล	38
2.3 ก๊าซเชื้อเพลิง	47
2.4 สมดุลมวลและพลังงาน	54
 <u>บทที่ 3</u> การสร้างและการคำนวณ	
3.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของอุปกรณ์	57
3.2 ขั้นตอนการใช้งาน	60
3.3 หลักการทำงานของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล	60
3.4 การคำนวณ	61

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1	การหาปริมาณความชื้น	76
4.2	การทดสอบอัตราให้ความร้อนของเครื่องทำความร้อน	77
4.3	วิธีการตรวจสอบลักษณะก๊าซ	80
4.4	วิธีการทดลองหาปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล	81
4.5	การหาปริมาณสารระเหย	82
4.6	การหาปริมาณเข้ถ้ำ	83
4.7	การหาปริมาณคาร์บอนคงที่	83
4.8	การหาปริมาณน้ำมันดิน	84

บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์

5.1	ปริมาณความชื้นของขี้ข้าวโพดและผักตบชวา	178
5.2	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับช่องบรรจุชีวมวล	178
5.3	ลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมันดิน	180
5.4	ปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis	184
5.5	การหาค่าความร้อนต่ำขององค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิง	184
5.6	ปริมาณสารระเหยของถ่านขี้ข้าวโพดและถ่านผักตบชวา	213
5.7	ปริมาณเข้ถ้ำของถ่านขี้ข้าวโพดและถ่านผักตบชวา	213
5.8	ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านผักตบชวา	214
5.9	ปริมาณน้ำมันดินของการ Pyrolysis	214
5.10	ข้อเสนอแนะ	215

ภาคผนวก

หน้า

กิตติกรรมประกาศ

216

หนังสืออ้างอิง

233

234



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงเขตเศรษฐกิจเกษตรในประเทศไทย	33
รูปที่ 3.1 ผังการทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงจากชีวมวล	65
3.2 ผังวงจรตู้ควบคุม	66
3.3 เทอร์มอคัปเบิลชนิด CA(K) 1200°C	67
3.4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	67
3.5 ช่องบรรจุชีวมวลและตำแหน่งวัดอุณหภูมิ	68
3.6 ขนาดสายไฟฟ้าในตู้ควบคุม	69
3.7 การหั่นหลอดวัดความร้อนรอบช่องบรรจุชีวมวล	70
3.8 การหุ้มฉนวนและ Stainless Steel	71
3.9 อุปกรณ์หล่อเย็น	72
3.10 อุปกรณ์หล่อเย็น	73
3.11 ถังเก็บก๊าซและขาตั้ง	74
3.12 ถังเก็บตัวอย่างก๊าซ	75
รูปที่ 4.1 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	85

รูปที่ 5.1	อุณหภูมิในช่องบรรจุขี้มวลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป	182
5.2	ปริมาณความร้อนในช่องบรรจุขี้มวลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป	183
5.2.1-5.2.18	ปริมาณก๊าซของซิงค์ขาวโพดและผักตบชวา เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป	185-202
5.3	เปรียบเทียบค่าความร้อนต่างๆ	212



ภาคผนวก

หน้า

รูป A	ลักษณะก๊าซของซังข้าว โหนดที่อุณหภูมิ 450°C	223
B	ลักษณะก๊าซของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 450°C	223
C	ลักษณะก๊าซของซังข้าว โหนดที่อุณหภูมิ 550°C	224
D	ลักษณะเปลวไฟของซังข้าว โหนดที่อุณหภูมิ 550°C	224
E	ลักษณะก๊าซของซังข้าว โหนดที่อุณหภูมิ 650°C	225
F	ลักษณะเปลวไฟของซังข้าว โหนดที่อุณหภูมิ 650°C	225
G	ลักษณะก๊าซของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 550°C	226
H	ลักษณะเปลวไฟของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 550°C	226
I	ลักษณะก๊าซของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 650°C	227
J	ลักษณะเปลวไฟของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 650°C	227
K	การเก็บตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิง	228
L	การวัดปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง	228
M	ซังข้าว โหนดที่ใช้ในการทดลอง	229
N	ถ่านของซังข้าว โหนด	229
O	ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลอง	230
P	ถ่านของผักตบชวา	230
Q	ตุ๋บที่ใช้ในการทดลอง	231
R	เครื่องกลั่นน้ำมันดิน	231
S	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิง	232

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ปริมาณเปลือกข้าวในภูมิภาคและเขตเศรษฐกิจเกษตร	9
1.2	ปริมาณเปลือกข้าวตามความสามารถของเครื่องสี	11
1.3	ปริมาณผงข้าวในประเทศไทย	13
1.4	ปริมาณขี้เลื่อยที่ผลิตได้	15
1.5	ปริมาณชานอ้อย	17
1.6	ปริมาณเศษต้นฟ้ายในประเทศไทย	18
1.7	อัตราส่วนเมล็ดและขี้ข้าวโพด	21
1.8	ปริมาณขี้ข้าวโพดในประเทศไทย	22
1.9	ปริมาณเปลือกถั่วลิสง	24
1.10	ปริมาณเปลือกถั่วลิสงในประเทศไทย	26
1.11	ปริมาณน้ำมันลัมปะหลัง	28
1.12	ปริมาณเปลือกมะพร้าวและกะลามะพร้าว	30
1.13	ปริมาณเศษเหลือทั้งหมดในประเทศไทย	32
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีวิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis	35
ตารางที่ 3.1	อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงที่เข้า-ออก จากอุปกรณ์หล่อเย็น	63

ตารางที่	4.1	ปริมาณความชื้นของซังข้าวโพด	78
	4.2	ปริมาณความชื้นของผักตบชวา	79
	4.3	แสดงการทดสอบการให้ความร้อนของเครื่องทำความร้อน	86
	4.4	แสดงลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะน้ำมันดิน	89
	4.5	แสดงปริมาณก๊าซจากการ Pyrolysis	122
	4.6	การหาปริมาณสารระเหยของถ่านผักตบชวาและถ่านซังข้าวโพด	173
	4.7	การหาปริมาณเถ้าของถ่านผักตบชวาและถ่านซังข้าวโพด	174
	4.8	การหาปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านผักตบชวาและถ่านซังข้าวโพด	175
	4.9	ปริมาณน้ำมันดินซังข้าวโพดและผักตบชวา	176-177
ตารางที่	5.1	การหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับช่วงบรรจุชีวมวล	181
	5.2	ค่าต่างๆ ที่ใช้คำนวณค่าความร้อนรวมของก๊าซสำหรับซังข้าวโพด	209
	5.3	ค่าต่างๆ ที่ใช้คำนวณค่าความร้อนรวมของก๊าซสำหรับผักตบชวา	210
	5.4	คำนวณค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงของชีวมวล	
	5.4	คำนวณค่าความร้อนจากเครื่องทำความร้อน	211

ภาคผนวก

ตาราง	A	ตารางเทียบขนาดสายไฟ	217
	B	ตารางเทียบขนาดขดลวดความร้อน	218
	C	ISOBARIC-HEAT-CAPACITY-PER-VOLUME	219
	D	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	220
	E	FURTHER PROPERTIES REQUIRED	221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

F. PROPERTIES OF THE GASES CONCERNED 222

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชีวมวลและสภาพการใช้ชีวมวลในประเทศไทย

ชีวมวลหมายถึง มวลสารที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตหรือที่เป็นวัชพืชเช่น ผักตบชวา ไมยรา พืช เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงชีวมวลที่เป็นวัสดุทางการเกษตรที่สามารถใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงได้ เช่น เปลือกข้าว แกลบ ซึ่งข้าวโพด ชี้อเลื่อย ฯลฯ การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้ในการหุงต้มทั้งในครัวเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แต่ในงานวิจัยขั้นนี้ต้องการศึกษาแนวทางผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ ซึ่งต้องการความสะอาดและปราศจากกลิ่นตัวอย่างชีวมวลที่สำคัญพบในประเทศไทยที่ควรศึกษา คือ (S.C Bhattacharya 1989)

1.1.1 ข้าวเปลือก (Paddy Husk) และฟางข้าว (Paddy straw)

1. ข้าวเปลือก การประมาณปริมาณเปลือกข้าวที่ใช้ในการศึกษานี้ สามารถประมาณได้จาก 2 แหล่งคือ

ก. ประมาณจากผลผลิตของเปลือกข้าวในเขตเศรษฐกิจเกษตรและภาค (แสดงในตารางที่ 1.1)

ข. ประมาณจากผลผลิตเปลือกข้าวจากจำนวนประชากร และความสามารถของเครื่องสีข้าวเครื่องสีข้าวในประเทศไทยมีอยู่ 45844 เครื่องสามารถแบ่งได้ตามขนาดได้ 3 ขนาด

เล็ก : มีความสามารถสีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ตัน/วัน

กลาง : มีความสามารถสี 5-20 ตัน/วัน

ใหญ่ : มีความสามารถสีมากกว่า 20 ตัน/วัน

โดยเครื่องสีมีอัตราความสามารถในการผลิตเปลือกข้าวโดยประมาณดังนี้

เล็ก : กลาง : ใหญ่ = 1 : 4 : 16

ปริมาณเปลือกข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 26.7% ของการเก็บเกี่ยวข้าวที่ตากแห้งโดยน้ำหนักนอกเหนือจากนี้ปริมาณการผลิตเปลือกข้าวในภูมิภาคและเขตที่ทำการปลูกข้าวนี้ในปี 1986 ถึง 1987 แสดงไว้ใน (ตารางที่ 1.2)

2. ฟางข้าว ฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าวนาปีทั่วๆ ไปจะอยู่ระหว่างเดือนตุลาคมถึงมกราคมส่วนการปลูกข้าวนาปรังเก็บเกี่ยวในเดือนมีนาคมถึงสิงหาคม ฟางข้าวคิดเป็นจำนวน 44.7% ของข้าวที่เก็บเกี่ยวเฉพาะส่วนที่เหลือใบไว้ 3-5 ปี ใบจากที่นาส่วนในกรณีเก็บเกี่ยวสูงจากพื้นดินประมาณ 2 นิ้ว ฟางข้าวจะมีประมาณ 169.5% ของน้ำหนักต้นข้าวการประมาณปริมาณฟางข้าวประจำปี 2529/2530 ในประเทศไทยแสดงไว้ใน (ตารางที่ 1.3)

1.1.2 ชี้เลื่อย โรงเลื่อยทั่วๆ ไปจะมีเศษเหลืออยู่ 2 ชนิด คือส่วนที่เป็นชี้เลื่อยซึ่งเป็นผงและส่วนที่ตัดทิ้งไป เช่น ไม้ตัดผิดขนาดส่วนที่สั้นไปเป็นต้นชี้เลื่อยมักจะนำไปทำเชื้อเพลิงแท่งและถ่านชีวภาพการประมาณปริมาณชี้เลื่อยหากจากอัตราส่วนของไม้แปรรูปอัตราส่วนไม้แปรรูปกับชี้เลื่อยเปลี่ยนไปตามชนิดไม้และชนิดของการใช้งาน เนื่องจากยังไม่มีการทำอัตราส่วนของชี้เลื่อยและไม้แปรรูปที่เป็นเฉพาะในประเทศไทยจึงใช้อัตราส่วน 0.10 ซึ่งหาโดย Smith et al, (2566) มาใช้ปริมาณชี้เลื่อยประมาณได้จากจำนวนประชากร และความสามารถของโรงเลื่อยในประเทศไทยมีโรงเลื่อยที่มีความแตกต่างของขนาด 449 โรงสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 : กำลังน้อยกว่าหรือเท่ากับ 59 HP

กลุ่มที่ 2 : กำลังอยู่ระหว่าง 60-119 HP

กลุ่มที่ 3 : กำลังอยู่ระหว่าง 120-179 HP

กลุ่มที่ 4 : กำลังอยู่ระหว่างมากกว่า 180 HP

เอกสารนี้เป็นเอกสารอัตราส่วนโรงเลื่อยในกลุ่มต่างๆ เป็นดังนี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม 1 : กลุ่มที่ 2 : กลุ่มที่ 3 : กลุ่ม 4 = 1 : 3 : 5 : 7

จากการสมมติให้อัตราส่วนของชี้เลี้ยงกับไม้แปรรูปคือ 0.10 ปริมาณชี้เลี้ยงจำนวนของเครื่องเลี้ยง (number of sow mill) และการผลิตเฉลี่ยประจำปีของไม้แปรรูปจากกลุ่มที่แตกต่างกับการผลิตชี้เลี้ยงได้ประมาณไว้ใน (ตารางที่ 1.4)

1.1.3 ชานอ้อย (Bagasse) ปริมาณชานอ้อยต่างๆ ไปขึ้นอยู่กับปริมาณเยื่อใยและความชื้นของชานอ้อยมีความชื้นประมาณ 47-51% ประเทศไทยมีเครื่องหีบอ้อยอยู่ 44 เครื่องกระจายอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ปริมาณชานอ้อยในภูมิภาคและเขตเศรษฐกิจเกษตรแสดงใน (ตารางที่ 1.5)

1.1.4 เศษต้นฝ้าย (Cotton slalk) กับก้านประมาณ 1 : 3 : 232 อัตราส่วนและเปอร์เซ็นต์พื้นที่ของการปลูกของแต่ละชนิดเหล่านี้ ซึ่งจำนวนของ residue ที่นำไปของชนิดต่างๆ ที่หาได้แสดงใน (ตารางที่ 1.6)

1.1.5 ชิงข้าวโพด (corn cob) เศษเหลือ 2 ชนิดที่ได้จากการผลิตข้าวโพดคือลำต้นของข้าวโพดที่ออกจากไร่หลังการเก็บเกี่ยว และชิงข้าวโพดหลังการกระเทาะเมล็ดออกไปแล้วลำต้นของข้าวโพดใช้เป็นปุ๋ยพืชสด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินเพื่อลดการใช้ปุ๋ยของเกษตรกรให้น้อยลงชิงข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารต่อพืชต่ำจึงควรนำมาใช้ประโยชน์อื่น อัตราส่วนระหว่างเมล็ดและชิงข้าวโพดแสดงใน (ตารางที่ 1.7) ชิงข้าวโพดคิดเป็น 27.3% ของน้ำหนักรวมของเมล็ดที่ปริมาณความชื้นของเมล็ดและชิง 4.57% และ 7.53% ตามลำดับจากการประมาณที่จำนวนชิงข้าวโพดต่างๆ ไปในโซนและภูมิภาคการผลิตในปี 2529/2530 แสดงไว้ใน (ตารางที่ 1.8)

1.1.6 เปลือกถั่วลิสง (Groundnut shell) อัตราส่วนของฝักถั่วกับเปลือก ใช้ประมาณเท่ากับปริมาณต่างๆ ไป ในแต่ละโซนและภาคแสดงไว้ใน (ตารางที่ 1.9) จากข้อมูลของอัตราส่วนฝักถั่วกับเปลือกจากการศึกษาวิจัยของกรมส่งเสริมการเกษตรค่าเฉลี่ย อัตรา ส่วนของแต่ละพันธุ์คือ

- Tainan 9 : ฝักถั่ว : เปลือก = 1:0.240
- S.K. 38 : ฝักถั่ว : เปลือก = 1:0.295
- Lampang : ฝักถั่ว : เปลือก = 1:0.300

ปริมาณเปลือกถั่วลิสงของแต่ละพันธุ์แสดงใน (ตาราง 1.10)

1.1.7 เศษต้นมันสำปะหลัง (cassava stalk) โดยปกติหัวมันสำปะหลังจะ ส่งเข้าไปในโรงงานเพื่อทำการอัดเม็ด (Tapioca) ส่วนลำต้นและใบจะถูกทิ้งไว้ในไร่ส่วนที่ เหลือจะทำให้แห้งและเผาไปพร้อมกับใบเศษต้นมันสำปะหลัง จะประกอบด้วยค่าเฉลี่ย 8.8% ของการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง โดยน้ำหนักปริมาณเศษต้นมันสำปะหลังปี 2529/2530 แสดง ใน (ตารางที่ 1.11)

1.1.8 กะลามะพร้าว (coconut shell) และใบมะพร้าว (coconut hush) อัตราส่วนของมะพร้าวกับกะลามะพร้าวกับกะลาจะเป็น 1 : 0.12 (ARTHAYUKIT 2528) กะลามะพร้าวเป็นเศษเหลือจากโรงงานทำมะพร้าวตากแห้งสมมติว่าใบมะพร้าวประกอบด้วย 41.9% ของเนื้อมะพร้าว โดยน้ำหนักและกะลา 12% ภูมิภาคและโซนการผลิตใบมะ พพร้าวและกะลาสำหรับการปลูก 2528/2519 แสดงใน (ตารางที่ 1.12)

1.1.9 สรุปผล ตัวอย่างของวัสดุเศษเหลือต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วปริมาณวัสดุเศษเหลือที่มากที่สุดได้จากฟางข้าวและที่น้อยที่สุดได้จากเปลือกถั่วลิสง เขตเศรษฐกิจเกษตรที่มีปริมาณวัสดุเศษเหลือมากที่สุดเศษเหลือแต่ละชนิดแสดงไว้ใน (ตารางที่ 1.13) วัสดุเศษเหลือชานอ้อย ก้านฝ้าย ชิงข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง และเศษต้นมันสำปะหลัง จะมีมูลค่าสูงกว่าโดยที่ราคาจะสูงกว่าประมาณ 150 ถึงมากกว่า 200% พวกแกลบ ชานอ้อย และกะลามะพร้าวใช้เป็นเพลิง ในอุตสาหกรรมและภายในบ้านส่วนวัสดุอื่นๆ ไม่ค่อยมีความสำคัญในเชิงพาณิชย์มากนัก

1.2 เป้าหมายของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล

ก๊าซอันที่ได้จากการเผาโดยตรงมักจะมีเขม่า กลิ่น และไม่สะอาดเหมาะที่จะใช้ประโยชน์ในงานที่ต้องการความสะอาดได้ โดยตรงควรผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ลดประสิทธิภาพทางความร้อนลง เช่นการอบเมล็ดพันธุ์หรือขั้วพืชบางชนิด โดยทั่วไปเมล็ดเหล่านั้นควรมีความสะอาดไม่มีกลิ่น ดังนั้นเป้าหมายหลักของงานวิจัยชิ้นนี้จึงต้องนำก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลนี้มาอบแห้งเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เมื่อเผาไหม้แล้วจะไม่มีการเกิดเขม่าจึงเหมาะสำหรับการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ซึ่งต้องการความสะอาด การทดลองวิจัยในขั้นนี้เพียงเพื่อต้องการทราบองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงที่ออกจากกระบวนการ pyrolysis นี้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความร้อนรวมทั้งคุณสมบัติของถ่านที่ได้จากกระบวนการเพื่อทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อการอบแห้งเมล็ดพันธุ์และเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

1.3 การอบแห้งเมล็ดพันธุ์พืช

สำหรับเมล็ดพันธุ์ถ้ามีความชื้นสูง จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพันธุ์เป็นเหตุให้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์เสื่อมลง เช่น ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์เปอร์เซ็นต์ความงอก และอายุการเก็บรักษาจะลดลง สาเหตุอื่น เช่น พวกจุลินทรีย์โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เฉพาะเชื้อราที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (Seed storage fungi) ซึ่งทำให้ความชื้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุณหภูมิเมล็ดพันธุ์ สูงขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายดังได้กล่าวมาแล้ว การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการ จะช่วยเหลือเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น

เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นอยู่ในระดับที่จะเก็บรักษาไว้ได้อย่างปลอดภัย ควรจะตาก

หรืออบให้มีความชื้นต่ำกว่า 13% ของ น้ำหนักสด (จวงจันท์ 2529) โดยจะต้องอบหรือลดความชื้นทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว (FAO 2524) ระดับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ 13% เป็นระดับความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาในระยะเวลา 1 ปี และระดับความชื้น 11% เป็นระดับความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาในระยะเวลา 5 ปี (brooker et, al 2531) ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ที่ต่ำกว่า 9% จะปลอดภัยต่อการเข้าทำงานของพวกแมลงเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้น 6% จะสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงถึง 90°C และเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นต่ำกว่า 5% จะทำให้เกิดเมล็ดแข็ง (Hard seed) หรือปฏิกิริยาบางอย่างเกิดขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อต้นอ่อนในเมล็ด (บุญนาค, 2526) ถ้าความชื้นของเมล็ดลดลงอีก 1% โดยที่เมล็ดพันธุ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 4-14% จะสามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ได้นานอีกเท่าตัว และถ้าอุณหภูมิในเมล็ดลดลง 5°C โดยที่อุณหภูมิในเมล็ดลดลง 5°C โดยที่อุณหภูมิของเมล็ดอยู่ระหว่าง 0-50°C จะสามารถเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ได้นานอีกเท่าตัว (Harrington 2503) เนื่องจากเมล็ดเป็นวัสดุที่ดูดและคายความชื้น (Hygroscopic material) คือมีความสามารถที่จะดูดความชื้นจากอากาศเข้ามาได้ในโครงสร้างของเมล็ด หรือคายความชื้นจากเมล็ดออกสู่อากาศที่ล้อมรอบเมล็ด (copeland 1519) สภาพดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ (relative humidity) ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงก็จะมีผลทำให้ความชื้นของเมล็ดสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศสูงก็จะมีผลทำให้ความชื้นของเมล็ดสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศลดลงก็จะมีผลทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลงด้วย เมล็ดพืชจะหยุดดูดความชื้นและคายความชื้น เมื่อความชื้นของเมล็ดถึงจุดสมดุลกับกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ (จวงจันท์, 2529) ดังนั้นการที่จะทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลงจะต้องทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศลดลงด้วย วิธีนี้จะลดความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศทำได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศรอบๆ เมล็ด (thomson, 2522)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังหน่วยงานด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดความชื้นของเมล็ดพืช เพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ทำได้โดยนำเมล็ดพืชมาอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 43°C แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 51°C จะทำให้เกิดความเสียหายแก่เมล็ดพืชในทางกายภาพและทางเคมี (อารมย์, 2524) ก่อนที่จะนำเมล็ดพันธุ์ไปอบลดความชื้นต้องมีการทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์เสียก่อน และในระหว่างการลดความชื้นจะต้องมีการทดสอบความงอกเป็นระยะๆ ถ้าเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลงมากกว่า 2% แสดงว่า การอบลดความชื้นนั้นไม่ถูกต้อง เช่นอุณหภูมิอบสูงเกินไป (จวงจันทร, 2529) วิธีการลดความชื้นของเมล็ดหลังการเก็บเกี่ยวมี 2 วิธี คือการลดความชื้นโดยอาศัยธรรมชาติ (Natural drying) และการลดความชื้นโดยการปรับสภาพอากาศ (Artificial drying) (Hall, 2513) การลดความชื้นโดยอาศัยธรรมชาติเป็นวิธีที่ทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง โดยการตากแดด ตากลม ส่วนวิธีการลดความชื้นโดยการปรับสภาพอากาศ เป็นวิธีที่ทำให้อุณหภูมิของภาคร้อนขึ้น และอากาศที่ร้อนนั้นจะถูกบังคับให้พัดผ่านเมล็ด (thomson, 2522) การลดความชื้นในระดับครอบครัวจะใช้วิธีธรรมชาติซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายแต่ความเสียหายของเมล็ดเนื่องจากจุลินทรีย์ เชื้อรา แมลง นก หนู มีมาก และใช้เวลามากในการลดความชื้น สำหรับในอุตสาหกรรมนิยมใช้วิธีการลดความชื้นโดยการปรับสภาพอากาศซึ่งค่าใช้จ่ายสูงกว่าเกิดความเสียหายและใช้เวลาน้อยกว่า (บัญญัติ และไมตรี, 2528)

1.4 วัตถุประสงค์

การศึกษาการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล ในงานทดลองนี้เป็นการศึกษาในระดับ Pyrolysis ซึ่งใช้ความร้อนในช่วง $450-650^{\circ}\text{C}$ ทำให้ชีวมวลสลายตัวเป็นก๊าซไอน้ำ ถ่าน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดก๊าซเชื้อเพลิงของชีวมวลแต่ละชนิด

วิธีการ Pyrolysis ของชีวมวลต่างๆ ไป จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ $100-900^{\circ}\text{C}$ โดยจะได้ผลผลิตที่เป็นถ่าน และก๊าซเชื้อเพลิงซึ่งเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ Tar โดยจะกำจัดออกโดยการนำก๊าซเชื้อเพลิงผ่านการ Condensate ใน cooler โดยผลผลิตก๊าซที่ออกจาก cooler ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pyrolysis เป็นการให้ความร้อนกับชีวมวลสภาพไร้ออกซิเจน จนกระทั่งชีวมวลนั้น สลายตัวให้ก๊าซอินทรีย์, ของเหลว และ/หรือ ถ่าน Pyrolysis เกิดในช่วงอุณหภูมิ 100–900°C แบ่งได้ดังนี้

1. ช่วงอุณหภูมิต่ำ (200–300°C) ให้ถ่าน (char) และน้ำ
2. ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (300–600°C) ให้โมเลกุลของเซลล์ูโลสแตกตัวออก และมีสาร Tar เกิดขึ้น
3. ช่วงอุณหภูมิ (มากกว่า 700°C) ให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอน สาร oxygenated hydrocarbons ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ, คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์



ตารางที่ 1.1 ปริมาณเปลือกข้าวในภูมิภาคและเขตเศรษฐกิจเกษตร (2529/2530)

เขต	ปริมาณเปลือกข้าว (ตัน)		ผลผลิตรวม (ตัน)	% เปลือกข้าว ที่ผลิตได้	ตัน/ตัน
	ข้าวนาปี	ข้าวนาปรัง			
ภาค:					
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,704,606	13,615	1,718,221	34.11	0.091
เหนือ	1,347,058	68,855	1,415,913	28.11	0.134
กลาง	1,206,244	444,986	1,615,231	32.78	0.093
ใต้	234,632	17,801	252,434	5.01	0.038
รวม	4,492,541	545,258	5,037,799	100	
เขตเศรษฐกิจเกษตร					
1	419,412	1,881	421,293	8.36	0.087
2	239,736	1,590	241,326	4.79	0.104
3	355,006	6,614	361,621	7.18	0.080
4	487,699	1,334	489,033	9.71	0.126
5	202,752	2,196	204,948	4.07	0.062
6	366,346	15,563	381,910	7.58	0.168
7	169,432	9,255	178,687	3.55	0.145
8	384,672	38,784	423,456	8.41	0.187
9	223,466	5,077	228,543	4.54	0.085
10	372,574	9,431	382,004	7.58	0.113
11	625,750	360,733	986,483	9.58	0.101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีปรากฏในใบ

เขต	ปริมาณเปลือกข้าว (ตัน)		ผลผลิตรวม (ตัน)	% เปลือกข้าว ที่ผลิตได้	ตัน/คัน
	ข้าวนาปี	ข้าวนาปรัง			
เขตเศรษฐกิจเกษตร					
12	120,548	16,210	136,759	2.71	0.063
13	210,315	40,508	250,823	4.98	0.181
14	18,264	16,398	34,662	0.69	0.027
15	42,395	1,883	44,277	0.88	0.034
16	19,540	0	14,540	0.39	0.033
17	172,464	13,442	185,906	3.69	0.047
18	33,837	211	34,048	0.68	0.024
19	28,331	4,149	32,480	0.64	0.024
รวม	4,492,541	545,258	5,037,799	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ปริมาณเปลือกข้าวตามความสามารถของเครื่องสีในภูมิภาคและเขตเศรษฐกิจเกษตร

เขต	ปริมาณเปลือกข้าว(1000 ตัน)			รวม	% การผลิต
	เล็ก	กลาง	ใหญ่		
ภาค:					
ตะวันออกเฉียงเหนือ	26.32	482.95	1,208.95	1,718.22	34.11
เหนือ	22.66	233.58	1,159.67	1,415.91	28.11
กลาง	54.70	409.48	1,187.06	1,641.23	32.78
ใต้	0.55	30.99	220.89	252.43	5.01
รวม	104.23	1,157.00	3,776.57	5,037.80	100.00
เขตเศรษฐกิจเกษตร					
1	2.30	144.74	274.25	421.29	8.36
2	13.83	227.50	0.00	241.33	4.79
3	1.61	47.69	312.32	361.62	7.18
4	17.85	156.45	314.72	489.03	9.71
5	3.19	48.73	153.02	204.95	4.07
6	9.600	296.77	75.54	381.94	7.58
7	21.57	110.44	46.68	178.69	3.55
8	29.66	341.47	52.33	423.46	8.41
9	3.07	8.48	216.99	228.54	4.54
10	2.64	28.07	341.29	382.00	8.59
11	116.53	524.59	345.36	986.48	19.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขต	ปริมาณเปลือกข้าว (1000 ตัน)			รวม	% การผลิต
เขตเศรษฐกิจเกษตร					
12	0.51	13.12	123.13	136.76	2.71
13	7.29	126.96	116.58	250.82	4.98
14	3.11	21.77	9.789	34.66	0.69
15	0.03	0.40	43.85	44.28	0.88
16	0.00	4.55	14.99	19.54	0.39
17	0.36	16.11	169.43	185.91	3.69
18	0.12	0.97	32.95	34.05	0.68
19	0.00	32.48	0.00	32.48	0.64
รวม	233.35	2,151.31	2,653.23	5,037.80	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 ปริมาณฟางข้าวในประเทศไทยประจำปี 2529/2530

เขต	ปริมาณเปลือกข้าว (ตัน)		ปริมาณฟางข้าว (ตัน)	
	กรรมที่ 1	กรรมที่ 2	กรรมที่ 1	กรรมที่ 2
ภาค:				
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2,908,748	11,306,794	0.154	0.599
เหนือ	2,396,977	9,317,454	0.226	0.880
กลาง	2,795,342	10,865,964	0.158	0.614
ใต้	427,341	1,661,147	0.064	0.247
รวม	8,528,409	33,151,359		
เขตเศรษฐกิจเกษตร				
1	713,200	2,772,328	0.147	0.570
2	408,537	1,588,050	0.176	0.686
3	612,182	2,379,653	0.135	0.524
4	827,877	3,218,097	0.213	0.829
5	346,953	1,348,666	0.106	0.411
6	646,529	2,513,165	0.285	1.106
7	302,496	1,175,853	0.246	0.956
8	716,862	2,786,563	0.316	1.230
9	386,898	1,503,936	0.144	0.561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขต	ปริมาณเปลือกข้าว (ตัน)		ปริมาณฟางข้าว (ตัน)	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
เขตเศรษฐกิจเกษตร				
10	646,689	2,513,789	0.192	0.747
11	1,670,001	6,491,576	0.171	0.666
12	231,517	899,944	0.107	0.415
13	424,614	1,650,545	0.307	1.193
14	58,679	228,094	0.046	0.176
15	74,957	291,369	0.058	0.227
16	33,079	128,584	0.056	0.217
17	314,717	1,223,357	0.080	0.311
18	57,639	224,054	0.041	0.158
19	54,985	213,736	0.040	0.157
รวม	8,528,409	33,151,359		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 ปริมาณซีเลื่อยที่ผลิตได้ในปี 2529

เขต	ปริมาณซีเลื่อยแบ่งตามขนาดโรงงาน(ตัน)				ทั้งหมด	% ซีเลื่อย	ปริมาณซีเลื่อย (ตัน/คน)
	0-59HP	60-119HP	120-179HP	>180HP			
ภาค:							
ตะวันออกเฉียงเหนือ	3,245	15,395	2,503	1,752	22,904	18.95	0.0012
เหนือ	4,977	15,506	7,657	0	28,140	23.28	0.0027
กลาง	907	6,402	5,335	11,391	24,036	19.88	0.0014
ใต้	8,230	21,471	3,578	12,524	45,804	37.89	0.0068
รวม	17,369	58,774	19,074	25,668	120,884	100	
เขตเศรษฐกิจ							
กิจกรรม							
1	946	5,677	1,577	0	8,201	6.78	0.0017
2	70	211	0	0	281	0.23	0.001
3	661	3,045	0	0	3,506	2.90	0.0008
4	614	3,686	614	860	5,774	4.78	0.0015
5	1,083	2,436	677	947	5,142	4.25	0.0016
6	447	2,234	3,724	0	6,405	5.30	0.0028
7	0	0	0	0	1	0.00	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	357	11,775	0	0	12,132	10.04	0.0054
9	1,717	1,472	613	0	3,802	3.15	0.0014
10	2,149	5,640	2,686	0	10,475	8.67	0.0031
11	31	287	311	871	1,501	1.24	0.0002
12	4,390	2,634	4,390	0	11,414	9.44	0.0053
13	115	949	287	201	1,552	1.28	0.0011
14	0	0	0	0	0	0.00	0.0000
15	0	636	265	371	1,271	1.05	0.0010
16	0	2,113	1,510	0	3,623	3.00	0.0061
17	4,260	14,798	0	9,417	28,475	23.56	0.0072
18	3,495	6,990	1,942	4,078	16,505	13.65	0.0116
19	169	337	187	131	824	0.68	0.0006
รวม	20,304	64,920	18,783	16,876	120,884	100	

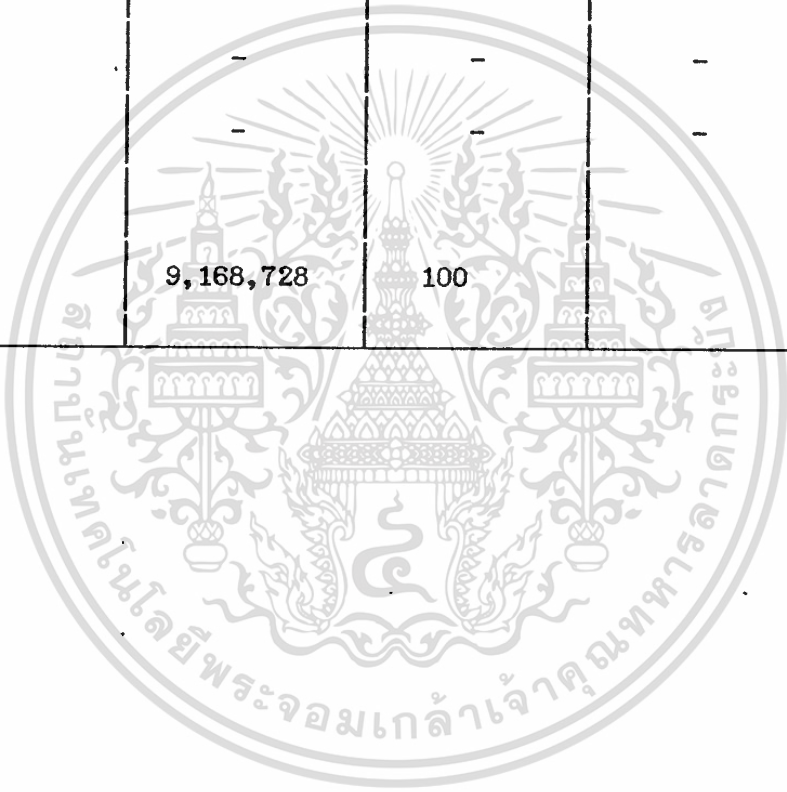
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.5 ปริมาณชานอ้อยในภูมิภาคและเขตเศรษฐกิจเกษตร

เขต	ปริมาณชานอ้อย 49% ความชื้น(ตัน)	%ชานอ้อย	ปริมาณชานอ้อย ตัน/คน
ภาค			
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,063,657	11.60	0.056
เหนือ	1,515,542	16.53	0.143
กลาง	6,589,529	71.87	0.373
ใต้	-	-	-
รวม	9,168,728	100	
เขตเศรษฐกิจเกษตร			
1	529,691	5.78	0.109
2	-	-	-
3	455,030	4.96	0.100
4	78,937	0.86	0.020
5	-	-	-
6	339,083	3.70	0.149
7	-	-	-
8	786,499	8.58	0.347
9	371,982	4.06	0.139
10	17,979	0.20	0.005
11	2,101,034	22.92	0.216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12	3,078,475	33.58	1.419
13	-	-	-
14	-	-	-
15	1,410,020	15.38	1.097
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-
19	-	-	-
รวม	9,168,728	100	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 ปริมาณเศษต้นฝ้ายในประเทศไทย (2529/2530)

เขต	ปริมาณเศษต้นฝ้าย (ตัน) ตามขนาดโรงงาน(ตัน)			ปริมาณ ทั้งหมด	% เศษต้น ฝ้าย	ปริมาณเศษ ต้นฝ้าย ตัน/คน
	พันธุศรี ลำโรง 2	พันธุศรีลำ โรง 3	พันธุศรี ลำโรง 3			
	ภาค:					
ตะวันออกเฉียงเหนือ	6,678	4,406	7,496	18,580	15.06	0.0010
เหนือ	22,010	14,523	24,708	61,241	49.64	0.0058
กลาง	15,649	10,326	17,567	43,543	35.30	0.0025
ใต้	-	-	-	-	-	-
รวม	44,337	29,255	49,771	123,363	100	
เขตเศรษฐกิจ พิเศษ						
1	2,337	1,542	2,623	6,502	5.27	0.0013
2	526	347	590	1,463	1.19	0.0006
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	3,815	2,517	4,283	10,615	8.60	0.0032
6	8,412	5,556	9,453	23,429	18.99	0.0103
7	3,740	2,468	4,198	10,406	8.44	0.0085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	1,333	880	1,497	3,710	3.01	0.0016
9	11,658	7,692	13,087	32,437	26.29	0.0121
10	599	395	672	1,665	1.35	0.0005
11	630	415	707	1,752	1.42	0.0002
12	7,165	4,728	8,044	19,937	16.16	0.0092
13	2,849	1,880	3,198	7,926	6.42	0.0057
14	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
16	1,266	835	835	3,522	2.86	0.0059
17	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-
รวม	44,337	29,255	49,771	123,363	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.7 อัตราส่วนระหว่างเมล็ดและขี้ข้าวโพด ปี 2529/2530

Ratio	Country	% M.C.	
		Grain	Cob
1 : 0.300	Napal	-	-
1 : 0.250	Thailand	-	-
1 : 0.250	Thailand	-	-
1 : 0.250	Ethiopia	-	-
1 : 0.600	-	23.0	-
1 : 0.198	-	28.0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา. และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.8 ปริมาณขังข้าวโพดในประเทศไทย ปี 2529/253

เขต	ปริมาณขังข้าวโพด (ตัน)	%ขังข้าวโพด	ปริมาณขังข้าวโพด ตัน/คน
ภาค			
ตะวันออกเฉียงเหนือ	286,514	24.36	0.0152
เหนือ	581,545	49.44	0.0549
กลาง	307,122	26.11	0.0174
ใต้	1,113	0.06	0.0002
รวม	1,172,294	100	
เขตเศรษฐกิจเกษตร			
1	146,404	12.45	0.0301
2	3,428	0.29	0.0015
3	10,245	0.87	0.0023
4	21,382	1.82	0.0055
5	105,055	8.93	0.0320
6	335,656	28.54	0.1477
7	154,695	13.15	0.1257
8	132,894	11.30	0.0586
9	67,548	5.74	0.0252
10	45,447	3.86	0.0135
11	8,693	0.74	0.0009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขต	ปริมาณชิงข้าวโพด (ตัน)	%ชิงข้าวโพด	ปริมาณชิงข้าวโพด ตัน/คน
เขตเศรษฐกิจเกษตร			
12	40,480	3.44	0.0187
13	82,210	6.99	0.0594
14	-	-	-
15	1,633	0.14	0.0013
16	19,412	1.65	0.0327
17	1,113	0.09	0.0003
18	-	-	-
19	-	-	-
รวม	1,176,294	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.9 ปริมาณเปลือกถั่วลิสง ประจำปี 2529/2530

เขต	ปริมาณเปลือกถั่ว ลิสง (ตัน)	%เปลือกถั่วลิสง	ปริมาณถั่วลิสง กก./คน
ภาค			
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13,524	24.75	0.72
เหนือ	31,238	57.16	0.29
กลาง	7,618	13.94	0.43
ใต้	2,267	4.15	0.34
รวม	54,647	100	
เขตเศรษฐกิจพิเศษ			
1	3,315	6.07	0.68
2	993	1.82	0.43
3	3,492	6.39	0.77
4	3,133	5.73	0.81
5	2,592	4.74	0.79
6	2,971	5.44	1.31
7	1,257	2.30	1.02
8	2,776	5.08	1.23
9	12,409	22.71	4.63
10	13,082	23.94	3.89
11	700	1.28	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขต	ปริมาณเปลือกถั่ว ลิสง (ตัน)	%เปลือกถั่วลิสง	ปริมาณถั่วลิสง กก./คน
เขตเศรษฐกิจเกษตร			
12	876	1.60	0.40
13	1,665	3.05	1.20
14	-	-	-
15	1,325	2.42	1.03
16	1,796	3.29	3.03
17	1,831	3.35	0.47
18	297	0.54	0.21
19	140	0.26	0.10
รวม	54,647	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.10 ปริมาณเปลือกถั่วลิสงในประเทศไทย ประจำปี 2529/2530

เขต	ปริมาณเปลือกถั่วลิสง (ตัน)		
	Tainan 9	S.K 38	ลำปางและอื่นๆ
ตะวันออกเฉียงเหนือ	7,034	2,470	1,256
เหนือ	16,247	5,706	2,901
กลาง	3,962	1,392	708
ใต้	1,179	414	211
รวม	28,423	9,982	5,076
เขตเศรษฐกิจเกษตร			
1	1,724	606	308
2	516	181	92
3	1,816	638	324
4	1,629	572	291
5	1,348	474	241
6	1,545	543	276
7	654	230	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	1,444	507	258
9	6,454	2,267	1,153
10	6,804	2,390	1,215
11	364	128	65
12	455	160	81
14	-		
15	689	242	123
16	934	328	167
17	952	334	170
18	154	54	28
19	73	26	13
รวม	28,423	9,982	5,076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.11 ปริมาณต้นมันสำปะหลัง

เขต	ปริมาณเศษต้นมันสำปะหลัง (ตัน)		% เศษต้นมันสำปะหลัง	ปริมาณเศษต้นมันสำปะหลัง (ตัน/คน)
	ในไร่	ความชื้น 30%		
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,346,758	983,403	57.15	0.1243
เหนือ	301,963	126,537	7.35	0.0285
กลาง	1,457,647	610,824	35.50	0.0284
ใต้	-	-	-	-
รวม	4,106,368	1,720,764	100	
เขตเศรษฐกิจเกษตร				
1	515,433	215,991	12.55	0.1059
2	77,554	32,499	1.89	0.0335
3	529,648	221,948	12.90	0.1167
4	199,603	83,643	4.86	0.0514
5	1,026,519	429,322	24.95	0.3121
6	83,603	35,034	2.04	0.0368
7	28,468	11,929	0.69	0.0231
8	178,370	74,746	4.34	0.0787
9	-	-	-	-
10	39,990	16,758	0.97	0.0119

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขต	ปริมาณเศษต้นมันสำปะหลัง (ตัน)		%เศษต้นมันสำ ปะหลัง	ปริมาณเศษต้น มันสำปะหลัง (ตัน/คน)
	ในไร่	ความชื้น 30%		
เขตเศรษฐกิจเกษตร				
11	63,160	26,467	1.54	0.0065
12	228,549	95,773	5.57	0.1054
13	394,368	165,259	9.60	0.2850
14	-	-	-	-
15	634,616	265,934	15.45	0.4937
16	108,487	45,461	2.64	0.1828
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
รวม	4,106,368	1,720,764	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.12 ปริมาณเปลือกมะพร้าวหนักลูกละ 1.25 กิโลกรัม เฉลี่ยและกะลามะพร้าวในประเทศไทย ปี 2528/2529

เขต	เปลือกมะพร้าว (ตัน)	กะลามะพร้าว (ตัน)	% เปลือกและ กะลา	ปริมาณเปลือก มะพร้าว	ปริมาณกะลา มะพร้าว
ภาค:					
ตะวันออกเฉียงเหนือ	48,115	13,780	6.34	0.0025	0.0007
เหนือ	47,391	13,573	6.25	0.0045	0.0013
กลาง	267,260	76,542	35.23	0.0151	0.0043
ใต้	395,865	113,375	52.18	0.0589	0.0169
รวม	758,631	217,269	100		
เขตเศรษฐกิจพิเศษ					
1	9,178	2,628	1.21	0.0019	0.0005
2	4,947	1,417	0.65	0.0021	0.0006
3	4,677	1,339	0.62	0.0010	0.0003
4	12,420	3,557	1.64	0.0032	0.0009
5	16,893	4,838	2.23	0.0051	0.0015
6	14,424	4,131	1.90	0.0063	0.0018
7	4,905	1,405	0.65	0.0040	0.0011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

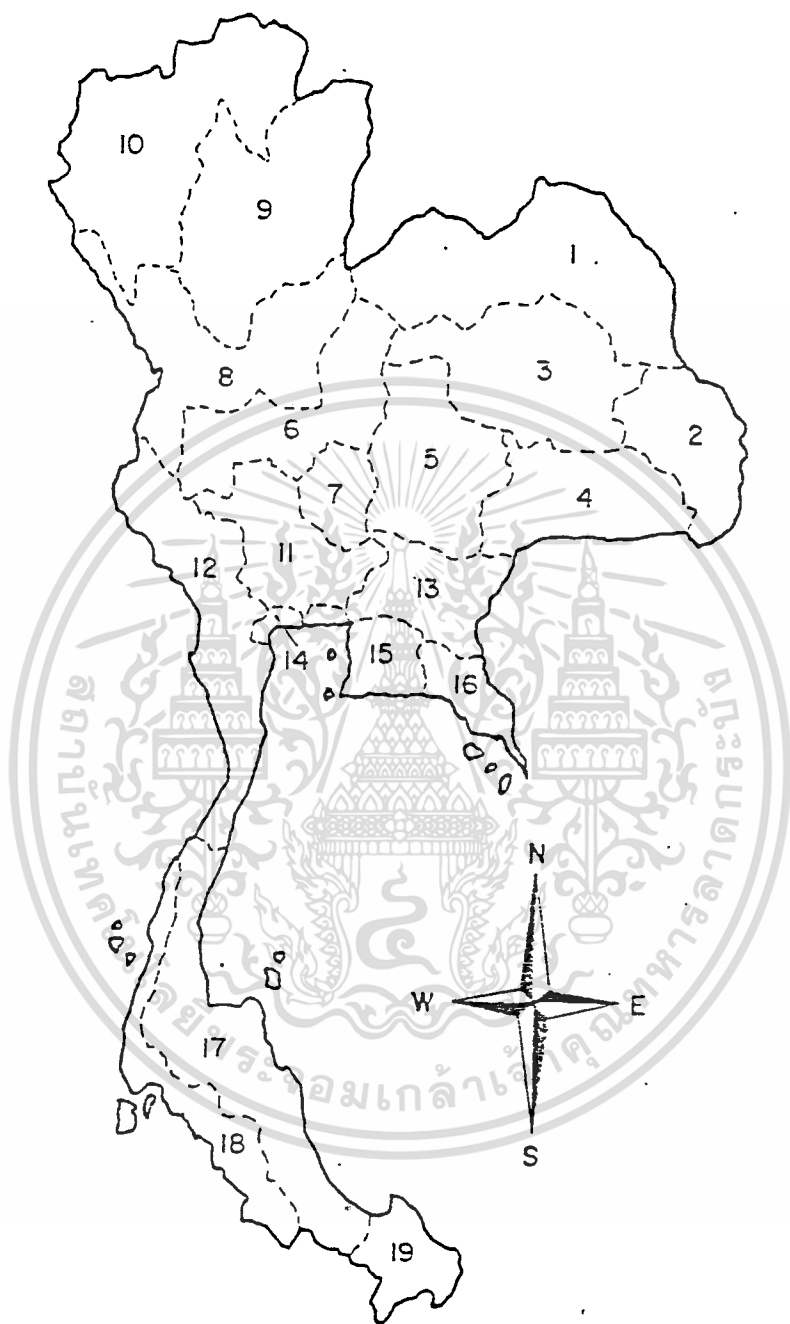
เขต	เปลือกมะพร้าว (ตัน)	กะลามะพร้าว (ตัน)	% เปลือกและ กะลา	ปริมาณเปลือก มะพร้าว	ปริมาณกะลา มะพร้าว
เขตเศรษฐกิจ พิเศษ					
8	12,740	3,649	1.68	0.0056	0.0016
9	11,442	3,277	1.51	0.0043	0.0012
10	3,785	2,516	1.16	0.0026	0.0007
11	27,373	7,839	3.61	0.0028	0.0008
12	126,290	36,169	16.65	0.0582	0.0167
13	18,185	5,208	2.40	0.0131	0.0038
14	24,052	6,889	3.17	0.0181	0.0054
15	55,840	15,992	7.36	0.0434	0.0124
16	10,614	3,040	1.40	0.0179	0.0051
17	303,488	86,918	40.00	0.0771	0.0221
18	45,514	13,035	6.00	0.0320	0.0092
19	46,864	13,422	6.18	0.0345	0.0099
รวม	758,631	217,269	100		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.13 ปริมาณเศษเหลือทั้งหมดในประเทศและเขตเศรษฐกิจเกษตรที่มีปริมาณวัสดุเหล่านั้นมากที่สุด

วัสดุเศษเหลือ	ปริมาณวัสดุเศษเหลือ (ตัน/ปี)	เขตเศรษฐกิจเกษตร ที่มีปริมาณสูงสุด (วัสดุเศษเหลือ)
ฟางข้าว	33,151,359	11 (19.58 %)
ฟางอ้อย	9,168,728	12
ข้าวเปลือก	5,037,800	11 (19.58 %)
เศษดินกับเสาปะหลัง	4,106,368	5 (24.95 %)
ขี้ข้าวโพด	1,176,294	6 (28.54 %)
โยมะพร้าว	758,631	17 (40.00 %)
กะลามะพร้าว	217,269	17
ใบฝ้าย	123,363	9 (26.29 %)
ขี้เลื่อย	120,884	17
เปลือกถั่วลิสง	54,647	10

หมายเหตุ: สำหรับเขตเกษตรกรรมในประเทศไทยแสดงไว้ในรูป 1.1 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงเขตเศรษฐกิจเกษตรในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 คุณสมบัติของชีวมวล

ในการทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงจากชีวมวลขั้น Pyrolysis นี้ได้เลือกใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและวัชพืช ได้แก่ ช้างข้าวโพดและหมักบดบั่ว

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีวิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบ Proximate analysis สำหรับชีวมวลนั้นใช้มาตรฐานของชีวมวลทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (ASTM) วัดหาความชื้น (moisture content) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ปริมาณเถ้า (ash content) และปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon) ปริมาณเถ้าสารระเหย คาร์บอนคงที่ในตัวอย่างชีวมวล อาจแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์แบบ Wet basis (Wb) หรือ dry basis (db) ได้ องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis ที่สำคัญคือ

2.1.1.1 ปริมาณความชื้น รายละเอียดและวิธีทดลองได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

หัวข้อ 4.1

2.1.1.2 ปริมาณเถ้า รายละเอียดและวิธีทดลองได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 หัว

ข้อ 4

2.1.1.3 ปริมาณสารระเหย รายละเอียดและวิธีทดลองได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

หัวข้อ 4

2.1.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงที่รายละเอียดและวิธีทดลองได้กล่าวไว้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 หัวข้อ 4

องค์ประกอบทางเคมีวิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis ' ซึ่งข้าวโพด และผักตบชวาแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีวิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis ซึ่งข้าวโพดและผักตบชวา

ชีวมวล	%ash	%vd	%fix carbon
ซึ่งข้าวโพด	2.67	75.83	21.50
ผักตบชวา	10.78	72.44	16.78

SIRISOMBOON (in press)

2.1.2 ค่าความร้อนของชีวะเชื้อเพลิง

เป็นปริมาณความร้อนที่ได้ต่อหน่วยน้ำหนักของเชื้อเพลิง มีหน่วยที่ใช้กันหลาย

ระบบเช่น จูลต่อกิโลกรัม (J/kg) แคลอรีต่อกิโลกรัม (cal/kg) และ บีทียูต่อปอนด์ (Btu/lb) เป็นต้น

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก) ค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนรวม (high or higher on gross heating Value) เป็นปริมาณความร้อนสัมผัสได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง เมื่อความชื้นของเชื้อเพลิงอยู่ในรูปของเหลวเมื่อเชื้อเพลิงถูกสันดาป นั่นคือเป็นปริมาณความร้อนที่รวมค่าความร้อนแฝงของไอน้ำที่มีอยู่ในสารที่ได้จากการสันดาป ค่าความร้อนสูงนี้ยังแบ่งออกเป็นมาตรฐานแห้งและมาตรฐานเปียกอีกด้วย เมื่อเชื้อเพลิงชื้นจะมีค่าความร้อนต่ำ เชื้อเพลิงแห้งต่อหน่วยน้ำหนักเนื่องจากเชื้อเพลิงถูกสันดาปความชื้นในเชื้อเพลิงต้องการความร้อนที่ใช้ในการระเหยเป็นไอน้ำคือความชื้น ในเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนเป็นของตัวเอง

เมื่อสัดส่วนมวลแห้งของเชื้อเพลิงเป็น 1-MC ค่าความร้อนสูงมาตรฐานแห้งสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงมาตรฐานเปียกดังนี้

$$HHV_{\text{m}} = HHV (1-MC) \quad (2.1)$$

เมื่อ HHV_{m} = ค่าความร้อนสูงมาตรฐานเปียก (เมื่อเชื้อเพลิงชื้น), kJ/kg

HHV = ค่าความร้อนสูงกว่ามาตรฐานแห้ง (เมื่อเชื้อเพลิงแห้งสนิท), kJ/kg

MC = ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของเชื้อเพลิง (ทศนิยม)

ข) ค่าความร้อนต่ำหรือค่าความร้อนสุทธิ (low หรือ lower หรือ net heating value) เป็นปริมาณความร้อนสัมผัสที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง เมื่อความชื้นของเชื้อเพลิงอยู่ในรูปของไอน้ำเมื่อเชื้อเพลิงถูกสันดาป นั่นคือเป็นปริมาณความร้อนที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงของไอน้ำที่มีอยู่ในสารที่ได้จากการสันดาป ค่าความสูงไม่สามารถบอกค่าจริงของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้ เพราะความชื้นในเชื้อเพลิงจะระเหยเป็นไอน้ำก่อน ในขั้นแรกของการสันดาปและส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไอน้ำ สมอก่อนที่ความร้อนของเชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ดังนั้นค่าความร้อนต่ำจึงเป็นค่าความร้อนสุทธิที่เชื้อเพลิงจะให้ประโยชน์ได้ค่าความร้อนต่ำและสูงสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้

$$LHV = HHV(1-MC) - r(MC) - (1-MC)r((18/2)*(H/100)) \quad (2.2)$$

เมื่อ LHV = ค่าความร้อนต่ำ, kJ/kg

H = ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

r = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของน้ำ KJ/kg

$r(MC)$ = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของความชื้นที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง $(1-MC)r(18H/200)$ = พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการรวมตัวเป็นน้ำของไฮโดร

เจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงกับออกซิเจนระหว่างสันดาป โดยที่น้ำ 1 โมล ต้องการไฮโดรเจน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมลและน้ำหนักโมเลกุลของน้ำเท่ากับ 18

เมื่อจัดรูปสมการใหม่

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= (1-\text{MC})(\text{HHV}-r[(\text{MC}/(1-\text{MC})+0.09\text{H})]) \\ &= (1-\text{MC})(\text{HHV}-r(\text{MC}_D + 0.09)) \end{aligned} \quad (2.3)$$

เมื่อ MC_D = ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งของเชื้อเพลิง ค่าเป็นทศนิยม
 $= \text{MC}/(1-\text{MC})$

การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งต้องใช้อุปกรณ์และเวลา แต่ก็ให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำตามความละเอียดของการทดลอง
2. การคำนวณจากสมการที่เชื่อถือได้ ซึ่งรวดเร็วแต่ค่าที่ได้เป็นการประมาณซึ่งเหมาะสำหรับการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในเบื้องต้น
3. การคำนวณจากองค์ประกอบที่สันดาปได้ของเชื้อเพลิง

เนื่องจาก r เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นค่าความร้อนต่ำจึงต้องระบุอุณหภูมิอ้างอิงเสมอ โดยมากมักจะใช้อุณหภูมิอ้างอิงเป็น 25°C r ของไอน้ำที่อุณหภูมินี้เท่ากับ 2.44 MJ/kg . ซึ่งเป็นค่าความร้อน 2.44 MJ ที่ใช้ในหาระเหยน้ำ 1 kg ตามมาตรฐานของ ASTM ค่าความร้อนต่ำสำหรับถ่านหินและถ่านโค้กให้ใช้อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20°C

ค่าความร้อนสูงในภาวะใช้ความชื้น (Anhydrous higher heating value) ของชีวมวลบอกค่าสูงสุดสำหรับไม้ที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่มากกว่า 50% จะมีค่าความร้อนประมาณ 27-30 MJ/kg สำหรับชีวมวลที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่น้อยกว่า 50% จะมีค่าความร้อนประมาณ 19.7 MJ การคำนวณค่าความร้อนจากของเหลือทางการเกษตรและวัชพืช

เอกสารสามารถหาได้เพียงคำนวณจากปริมาณสารระเหยเท่านั้นเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{HHV} = 34.663 - 0.250 (\text{vol}) \quad r^2 = 0.80 \quad (2.4)$$

สมการที่ (2.4) ใช้สำหรับชีวมวลทุกชนิด

เมื่อ HHV = ค่าความร้อนสูงในภาวะไร้ความชื้น (MJ/kg)

vol = ปริมาณสารระเหย (%wb)

r^2 = correlation coefficient

สำหรับไม้

$$\text{HHV} = 33.884 - 0.209 (\text{vol}) \quad r^2 = 0.94 \quad (2.5)$$

สำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Dinsified bio-fuel) การทำนายค่าความร้อนสูง โดยให้ปริมาณเถ้าหรือปริมาณสารระเหยเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ แต่สามารถคำนวณโดยใช้ค่าทั้งสอง

$$\text{HHV} = 38.163 - 0.345 (\text{Ash}) - 0.258 (\text{vol}) \quad r^2 = 0.85 \quad (2.6)$$

เมื่อ Ash = ปริมาณเถ้า (%wb)

2.2 การ Pyrolysis ชีวมวล (Pyrolysis Biomass)

การ pyrolysis เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแบบผันกลับไม่ได้ โดย

การให้ความร้อนแก่ชีวมวลในภาวะไร้ออกซิเจนระหว่างการ pyrolysis ชีวมวลจะ

แปรสภาพเป็นของผสมก๊าซ, ของเหลวและถ่าน ทั่วๆ ไป การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ

อย่างช้าๆ จะได้ถ่านปริมาณสูง การ pyrolysis ชนิดนี้จะให้ผลผลิตถ่านมากที่สุด

และเรียกว่า "Carbonization"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ชนิดของเตาปฏิกรณ์ pyrolysis (Type of Pyrolytic Reactor)

เตาปฏิกรณ์ที่ใช้ในการ pyrolysis ชีวมวล แบ่งได้ตามการเคลื่อนไหลของชีวมวลสู่เตาปฏิกรณ์ (BHATTACHAYA, 1989 Cited VAN GINNEKEN, 1980) ดังนี้

ชนิด A : ไม่มีการเคลื่อนไหลสู่เตาปฏิกรณ์ระหว่างการ Pyrolysis เรียกว่า batch reactor

ชนิด B: แบบ Moving bed, ซึ่งชีวมวลเคลื่อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ด้วยน้ำหนักของตัวเองอาจเรียกว่า Shaft furnances

ชนิด C: ชีวมวลเคลื่อนที่โดยแรงกล (mechanical forus) เช่นเตาโรตารี (rotary kiln), rotating screw เป็นต้น

ชนิด D: ชีวมวลเคลื่อนไหลโดยการพาของไหลเช่น fluidized bed, Sponted bed, entrained bed.

เตาปฏิกรณ์สำหรับการ pyrolysis ยังสามารถแบ่งได้ตามวิธีการให้ความร้อนชีวมวล

ชนิด 1: บางส่วนของชีวมวลที่ถูกเผาอยู่ในเตาปฏิกรณ์เพื่อให้ความร้อนในการ carbonzation ชีวมวลที่เหลืออยู่ก๊าซที่ผลิตออกมาใช้ให้ความร้อนต่อชีวมวลที่เหลืออยู่ในภาวะขาดออกซิเจน

ชนิดที่ 2: มีการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากก๊าซร้อนที่ผลิตได้จากการเผาไหม้ผลผลิตของการ pyrolysis 1 ชนิด หรือมากกว่านั้นหรือจากเชื้อเพลิงอื่นๆ ด้านนอกเตาปฏิกรณ์

ชนิดที่ 3 มีการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากวัตถุร้อนเฉื่อย (inert hot material) เช่น ก๊าซร้อนหรือทรายร้อน ที่น้ำเข้าสู่เตาปฏิกรณ์

ชนิดที่ 4: มีการถ่ายเทความร้อนทางอ้อมสู่ผนังเตาปฏิกรณ์ เช่น แหล่งให้ความร้อนภายนอกที่ได้รับความร้อนจาก หาเผาไหม้ผลผลิตจากการ Pyrolysis 1 ชนิด หรือมากกว่าหรือจากเชื้อเพลิงอื่นๆ

แม้ว่าชนิด 2 และชนิด 3 มีความคล้ายคลึงกันมาก แต่ยังมีข้อแตกต่างคือองค์ประกอบก๊าซร่วมที่ได้ ไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็สามารถทำปฏิกิริยากับถ่านซึ่งได้มาจาก pyrolysis และอาจมีผลกระทบต่อผลผลิตที่เกิดขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องผลิตถ่าน GABARNIZER

การระบุชนิดของเตาปฏิกรณ์ pyrolysis นั้น อาจระบุทั้งการเคลื่อนไหวยของชีวมวล และแบบการถ่ายเทความร้อนที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยใช้สัญลักษณ์ xi โดยที่ x คือแบบใช้การเคลื่อนที่ของชีวมวล และ i เป็นชนิดของการถ่ายเทความร้อน

ชื่อที่ใช้เรียกเครื่องปฏิกรณ์แตกต่างกันไป (CDGLISE and MAGNE, 1987) "kiln" จะใช้สำหรับ เตาที่ผลิตถ่านเพียงอย่างเดียว ส่วน retort และ convertor ใช้สำหรับเตาผลิตถ่านแล้วยังสามารถนำผลผลิตอื่นเข้ามาใช้อีกเฉพาะ converter โดยปกติใช้เรียกเตาปฏิกรณ์สำหรับการ pyrolysis ชีวมวลที่มีขนาดเล็กๆ ส่วน retort เป็นเตาปฏิกรณ์สำหรับ pyrolysis ถ่านไม้มีขนาดยาวไม่เกิน 30 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน

18 CM.

2.2.2 กลไกและผลผลิตของการ pyrolysis ชีวมวล (Mechanism and Products of Biomass Pyrolysis)

โครงสร้างหลักของชีวมวลไม้คือ เซลลูโลส (cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (lignin) โดยค่าเฉลี่ยของไม้หนัก (hard wood) ประกอบด้วยเซลลูโลส 43% เฮมิเซลลูโลส 35% และลิกนิน 23% ขณะที่ไม้เบา (Softwood) ประกอบด้วย เซลลูโลส 43% เฮมิเซลลูโลส 28% และลิกนิน 29% ระหว่างได้รับความร้อนโครงสร้างของไม้จะสลายตัวได้หลายหนทาง และเกิดผลผลิตหลายชนิด การ pyrolysis ไม้ สิ่งที่น่าสนใจจะพิจารณาการ pyrolysis ครั้งแรกของโครงสร้างหลักของไม้

2.2.2.1 การ pyrolysis เซลลูโลส (cellulose pyrolysis)

การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 250°C จะค่อยๆ สลายตัวและเกิดการ pyrolysis ขึ้นอย่างช้าๆ ผลผลิตหลักที่ออกมาคือ น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเศษเหลือพวกถ่าน (SHAEIZADEH, 1977)

ที่อุณหภูมิสูงกว่า 250°C เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดน้ำมันดิน (TAR) ที่สามารถกลั่นตัวได้ (CONDENSABLE TAR) ออกมาพร้อมกับก๊าซและมีถ่านเกิดขึ้น การ pyrolysis เซลลูโลสจะเป็นไปอย่างรวดเร็วมากที่ประมาณ 350°C (SHAFIZADEH, 1971) และมีอุณหภูมิสูงกว่า 500°C สารระเหยเริ่มสลายตัวโดยความร้อน (GAS-PHASE Pyrolysis) (ANTAL, 1982)

2.2.2.2 การ pyrolysis เฮมิเซลลูโลส (HEMICELLULOSE PHROLYSIS)

จากการเปรียบเทียบกับเซลลูโลส การ pyrolysis เฮมิเซลลูโลสจะเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าแต่การเผาไหม้เกิดขึ้น ในช่วงอุณหภูมิกว้างกว่า SHAFIZADEH, 1971) และผลิตถ่านได้น้อยกว่า

2.2.2.3 การ pyrolysis ลิกนิน LIGNIN PYROLYSIS)

ลิกนินเป็นองค์ประกอบที่ถาวรที่สุดของชีวมวล ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200°C อัตราการสลายตัวลิกนินต่ำมาก ลิกนินสลายตัวในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 230°C และ 500°C ผลิตถ่านได้มากกว่า เซลลูโลส (SOLTES AND ELDER, 1981) ที่อัตราการให้ความร้อนช้าๆ ลิกนินจะเปลี่ยนเป็นถ่านมากกว่า 50 % โดยน้ำหนัก

2.2.2.4 การ pyrolysis ชีวมวล

องค์ประกอบหลักจากการ pyrolysis ชีวมวลคือ เมื่อถ่านน้ำมันดิน (TAR) และก๊าซ ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีดำเนินการ ปริมาณถ่านสูงเมื่อ pyrolysis อุณหภูมิต่ำและให้ความร้อนอย่างช้าๆ ส่วนที่อุณหภูมิสูงและให้ก๊าซอยู่ในห้องเผาไหม้นาน (เมื่อ TAR แตกตัวทำให้เกิดก๊าซปริมาณสูง การให้อุณหภูมิปานกลาง (450°C) และอัตราความร้อนรวดเร็ว และให้เวลาที่ก๊าซอยู่ในห้องเผาไหม้สั้นจะทำให้ถ่านน้ำมันดินเกิดขึ้น (SOLTES EID., 1981)

2.2.3 กลศาสตร์ของการ pyrolysis ของชีวมวล (Kinetics of Biomaes Pyrolysis) อัตราการสลายตัวของชีวมวลระหว่างการ pyrolysis อาจแสดงได้ดังนี้

$$\frac{dv}{dt} = k(v^* - v)^n \quad (2.7)$$

เมื่อ $k = k_0 \exp(-E/RT)$

v^* = ปริมาณของสารระเหยทั้งหมดในชีวมวล เมื่อ $t \rightarrow \infty$

v = สารระเหยที่เกิดในเวลา t และ $v \rightarrow v^*$ เมื่อ $t \rightarrow \infty$

E = พลังงานกระตุ้นปฏิกิริยา pyrolysis

K_0 = pre-exponential factor

n = อันดับของปฏิกิริยา pyrolysis

การ pyrolysis ส่วนใหญ่จะประมาณให้เป็นกระบวนการอันดับ 1 ($n = 1$)
สำหรับปฏิกิริยาอันดับ 1 อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นจะเป็น

$$\frac{dw}{dt} = -k_0 (w - wc) \exp(-E/RT) \quad (2.8)$$

เมื่อ w = ความหนาแน่นที่เวลา t

w_c = ความหนาแน่นของถ่าน

พิจารณาให้กระบวนการ pyrolysis ที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการอันดับ 1
หลายๆ กระบวนการขึ้นพร้อมกัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ปฏิกิริยาใดๆ สามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

$$\frac{dv_i}{dt} = K_i (v_i^* - v_i)$$

$$= [K_0 \exp(-E/RT)]_i (v_i^* - v_i) \quad (2.10)$$

ค่า K_i , E_i และ v_i สำหรับแต่ละปฏิกิริยา i ประมาณได้จากการทดลอง

การแก้ปัญหาจะง่ายเข้า ถ้าสมมติว่าค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยามี K_0 เท่ากัน และจำนวนของปฏิกิริยามากเพียงพอ โดย $f(E) dE$ ซึ่งแสดงสัดส่วนการสลายของสารระเหย v^* และมีค่าพลังงานกระตุ้นระหว่าง E และ $E+dE$ (ANTHONY and HOWARD, 1976) ดังนั้น v_i เป็น differential ของ v^* (dv^*) และ

$$dv^* = v^* f(E) dE \quad (2.11)$$

และ $\int_0^1 f(E) dE = 1 \quad (2.12)$

2.2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการ Pyrolysis ที่รวมวล (Mathematic Modelling of Biomass Pyrolysis)

เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการใช้เวลาส่วนใหญ่ในการสร้างแบบจำลองของการ Pyrolysis เชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการออกแบบเตาปฏิกรณ์ในกระบวนการ pyrolysis

2.2.4.1 อนุภาคขนาดเล็ก (small particle)

แบบจำลองที่ใช้กับชีวมวลที่มีอนุภาคเล็กๆ จะสามารถตัดค่าความดันทานในการถ่ายเทความร้อนภายในได้ และสามารถสมมติให้อุณหภูมิของอนุภาคสม่ำเสมอในระหว่างการ pyrolysis ดังนั้นจึงสามารถ integrate สมการ (2.7) เพื่อหาปริมาณของสารระเหยที่เวลา t เมื่อ $n=1$ จะได้

$$v^* - v = v^* \exp \left[-K_0 \int_0^t \exp(-E/RT) dt \right] \quad (2.13)$$

ถ้า integrate สมการ (2.10) จะได้ปริมาณของสารระเหยจากปฏิกิริยาที่ i ดังนี้

$$v^* - v_i = v^* i \exp \left[-K_0 \int_0^t \exp(-E/RT) \right] dt \quad (2.14)$$

สมมติให้ $f(E)$ เป็นฟังก์ชันของการกระจาย Granssian โดยที่พลังงานกระตุ้นเฉลี่ย E_0 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S , สมการ (2.14) สามารถ integrate โดยใช้สมการ (2.11) จะได้

$$\frac{v^* i - v}{v^*} = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp \left[-K_0 \int_0^t \exp(-E/RT) dt \right] \frac{-(E - E_0)^2}{2S^2} dE \quad (2.15)$$

สมการ (2.15) แสดงความสัมพันธ์การ pyrolysis ชีวมวลโดยใช้พารามิเตอร์ 4 ตัว คือ $(v^*, E_0, S$ และ $K_0)$

ในกรณีของการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วใน fluidized bed อนุภาคชีวมวล จะถูกให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ ซึ่งจะคงที่อยู่ที่ระหว่างการ pyrolysis สมการ (2.13) จะลดรูปเป็น

$$v^* - v = v^* \exp [-K_0 t \exp (-E/RT)] \quad (2.16)$$

2.2.4.2 อนุภาคขนาดใหญ่ (Large partiveles)

การ pyrolysis ชีวมวลที่เป็นอนุภาคใหญ่ๆ เป็นกระบวนการที่ยุ่งยากมากและเกี่ยวข้องกับเป็นขั้นตอนต่อไปนี้

- ก. การถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่ผิวของอนุภาคบริสุทธิ์ โดยการพาความร้อนและการแผ่รังสี
- ข. การนำความร้อนสู่ชั้นของการเกิดคาร์บอนของอนุภาค
- ค. การเกิดถ่านของชีวมวลบริสุทธิ์จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิภายในของอนุภาค
- ง. การแพร่กระจายของสารระเหยจากภายในสู่ผิวหน้าของอนุภาค
- จ. การถ่ายเทของสารระเหยจากผิวหน้าของอนุภาคสู่ก๊าซเฉื่อยรอบๆ

ดังนั้นอัตราบางซึ่งสำหรับการ pyrolysis ในกรณีที่เห็นอกเห็นใจจากค่าทางจลน์ศาสตร์ยังเกี่ยวข้องกับค่าความร้อนและการถ่ายเทมวลสารด้วย กระบวนการ pyrolysis ยิ่งซับซ้อนขึ้นเมื่อมีกระบวนการ pyrolysis ครั้งที่สองของผลผลิตสารระเหย กระแสแพร่กระจายออกจากอนุภาค โดยมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของสารระเหย และแพร่ออกจากอนุภาคมีการหดตัวของอนุภาคชีวมวล ในระหว่าง pyrolysis เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งในปัญหาหลักของการออกแบบจำลองสำหรับทำนาศระบวนการ pyrolysis คือการขาดข้อมูลด้านจลนศาสตร์ปฏิกิริยาเริ่มต้น และปฏิกิริยาที่สอง

2.3 ก๊าซเชื้อเพลิง (Gaseous Fuels)

2.3.1 หน่วยและภาวะอ้างอิง (Unit and Reference condition)

2.3.1.1 ระบบอังกฤษ (Imperial Units)

เป็นหน่วยแผนกควบคุมการค้าและอุตสาหกรรมสาขามาตรฐานก๊าซ ประเทศอังกฤษ จัดทำขึ้นในปี 1984 ซึ่งมีหน่วยต่างๆดังนี้

ก. หน่วยปริมาตรก๊าซ (Unit volume of gas) เป็นการประมาณปริมาตรที่ แทนที่น้ำกลั่น น้ำหนัก 62.228 ปอนด์ ในอากาศที่อุณหภูมิ 62 °F และที่ความดัน 30 นิ้วปรอท ในหน่วยลูกบาศก์ฟุต

ข. อุณหภูมิมาตรฐาน (Standard temperature) หาได้จากการวัดก๊าซที่อุณหภูมิ 60 °F ของมาตรวัดอุณหภูมิสากล

ค. ความดันมาตรฐาน (Standard pressure) เป็นความดันที่วัดความสูงของลำปรอท 30 นิ้ว ที่ 60 °F และที่แรงโน้มถ่วงเฉลี่ยสำหรับประเทศอังกฤษวัดที่ 53° เหนือ ซึ่งเท่ากับความดันมาตรฐาน 1013.74 mbar.

ง. หน่วยปริมาณของก๊าซ (Unit quantity of gas) คือปริมาณก๊าซใน ft^3 ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานของไอน้ำอิ่มตัว

จ. หน่วยความร้อน (Heat unit) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1/b อู

นอกจากนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สำนักงานพลังงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ระบบเมตริกซ์ (Metric Units) มีดังนี้

- ก. หน่วยปริมาตรก๊าซคิดเป็น 1 ลูกบาศก์เมตร
- ข. อุณหภูมิมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 15°C
- ค. ความดันมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1013.25 mbar ซึ่งเท่ากับ 760 mmHg ที่ 0°C และแรงโน้มถ่วงมาตรฐาน (อัตราเร่ง 9.80665 m/s^2)

ง. หน่วยปริมาตรก๊าซคือปริมาตรก๊าซหนึ่งใน 1 ลูกบาศก์เมตรที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

จ. หน่วยความร้อนใช้เมกะจูล ($1\text{MJ} = 10^6\text{J}$)

หมายเหตุ: อุณหภูมิที่ใช้อ้างอิงในหัวข้อ 2.3.1.1 และ 2.3.1.1 และ 2.3.1.2 คือ 60°F และ 15°C แต่โดยทั่วไปในระบบนานาชาติใช้ที่ 25°C เป็นอุณหภูมิอ้างอิง

ค่าความร้อนที่ความดันคงที่ประมาณเท่ากับค่าลบของเอนทาลปีของการเผาไหม้ สมการเอนทาลปีของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่างๆ กันสามารถใช้สำหรับประมาณค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ

ค่าเอนทาลปีของการเผาไหม้ที่ 15°C สัมพันธ์กับค่าเอนทาลปีของการเผาไหม้ที่ 25°C โดยสมมติให้เป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas)

$$(\Delta H_c)_{15^{\circ}\text{C}} = (\Delta H_c)_{25^{\circ}\text{C}} - 10 \text{ K} [(\sum n_{\text{ep}})_{\text{p}} - (\sum n_{\text{cp}})_{\text{r}}] \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ΔH_c คือค่าเอนทาลปีของการเผาไหม้

N คือจำนวนโมลของตัวทำปฏิกิริยาหรือผลผลิตแต่ละตัว

C_p คือความจุความร้อนเฉลี่ยต่อ 1 โมล ของตัวปฏิกิริยาหรือผลผลิตแต่ละตัวในช่วงอุณหภูมิที่ความดันคงที่

P, R แสดงถึงผลผลิตและตัวทำปฏิกิริยาตามลำดับ

สำหรับสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวจะต้องปรับค่าของอุณหภูมิอ้างอิง ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25°C ถึง 15°C โดยใช้ช่วง -0.1% สำหรับมีเทนถึง -0.07% สำหรับดีเซน

2.3.2 ค่าความร้อนสูงของก๊าซเชื้อเพลิงที่ความดันคงที่ (Gross calorific Value at constant pressure pressure of an gaseous Fuel)

หมายถึงค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วยปริมาตร (วัดที่สภาวะมาตรฐาน) ที่ถูกเผาไหม้ในสภาพอากาศเหลือเฟือ ซึ่งเมื่อเผาไหม้แล้วให้ผลผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกซิเจน และมีน้ำ(ของเหลว) เท่ากับปริมาณที่เกิดขึ้นในระหว่างเผาไหม้ โดยที่ก๊าซเชื้อเพลิง อากาศและวัสดุต่างๆ หลังจากการเผาไหม้อยู่ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน โดยทั่วไปค่าที่วิเคราะห์ โดยสันดาปก๊าซใน calorimeter continuous flow

2.3.3 ค่าความร้อนสูงของก๊าซเชื้อเพลิงที่ปริมาตรคงที่ (Gross calorific value at constant volume of a Gaseous fuel)

หมายถึงค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วย ปริมาตร (วัดที่สภาวะมาตรฐาน) ที่ถูกเผาไหม้ในสภาพอากาศเหลือเฟือ ซึ่งเมื่อเผาไหม้แล้วให้ผลผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไอน้ำ ปริมาณเท่ากับที่มีอยู่ในก๊าซเชื้อเพลิง และอากาศก่อนจะถูกเผาไหม้ และน้ำ(ของเหลว) เท่ากับปริมาณที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใบเขียวระบบอัตโนมัติในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความดันของก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศก่อนการเผาไหม้เท่ากับมาตรฐานที่เลือกไว้ อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงอากาศและผลิตผลจากการเผาไหม้มีมาตรฐานใกล้เคียงกัน และปริมาตรของสามารที่เหลืออยู่หลังการเผาไหม้เท่ากับปริมาตรของก๊าซเชื้อเพลิง และอากาศ

2.3.4 การคำนวณค่าความร้อนสูงของก๊าซเชื้อเพลิงที่ปริมาตรคงที่

ค่าความร้อนสูงที่ความดันคงที่ของก๊าซ HHV_p และองค์ประกอบโดยปริมาตรของอากาศแห้ง คือ $CO_2(a)$ $O_2(b)$ $VO(c)$ $H_2(d)$ $CxHy(e)$ $N_2(f)$ รวมได้ 100% ที่ e คือเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไฮโดรคาร์บอนในก๊าซและ $C_x H_y$ คือสูตรเคมีเมื่อก๊าซปริมาตร 1 หน่วยถูกเผาที่ความดันคงที่ และให้น้ำ(ของเหลว)

$$\text{งานที่ทำโดยบรรยากาศ} = 0.01 n \left(\frac{c}{2} + 3\frac{d}{2} + e + \frac{ey}{4} \right) R_u T \quad (2.18)$$

เมื่อ n คือจำนวนโมลของอากาศแห้งใน 1 หน่วยปริมาตรภายใต้สภาวะมาตรฐาน R_u คือ ค่าคงที่ก๊าซสากล (Universal gas constant)
 T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

ที่อุณหภูมิอ้างอิง $15^\circ C$ ความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนสูงของก๊าซที่ความดันคงที่และค่าความร้อนสูงสำหรับก๊าซแห้งวัดที่ 1 บรรยากาศที่ปริมาตร โดยประมาณจะเป็น

$$HHV_p - HHV_v = 1.01 \left(\frac{c}{2} + 3\frac{d}{2} + e + \frac{ey}{4} \right) \text{ kJ/m}^3 \quad (2.19)$$

หรือสำหรับก๊าซอิมิตัวด้วยไอน้ำที่ความดันรวม 1 บรรยากาศและ $60^\circ F$ ($15.6^\circ C$)

$$HHV_p - HHV_v = 0.028 \left(\frac{c}{2} + 3\frac{d}{2} + e + \frac{ey}{4} \right) \text{ Btu/ft}^3 \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณดังกล่าวนี้จะต้องหักออกจากค่าความร้อนสูงที่ความดันคงที่ เพื่อหาค่าความร้อนสูงที่ปริมาตรคงที่ได้

2.3.5 ค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงที่ความดันคงที่

(Net calorific value at constant pressure of a gaseous fuel)

หมายถึง ค่าความที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วยปริมาตร (วัดที่สภาวะมาตรฐาน) ที่ถูกเผาในอากาศเหลือเพื่อ ผลิตผลหลังการเผาไหม้คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไอน้ำ เมื่อความดันและอุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงอากาศ และวัสดุหลังการเผาไหม้คือที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

2.3.6 การคำนวณค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงที่ความดันคงที่

สำหรับองค์ประกอบของก๊าซดังกล่าวมาแล้วปริมาตรจะถูกหักออกจาก HHV_p คือ

$$0.01n \frac{(d + ey)}{2} \text{ Ln} \quad (2.21)$$

เมื่อ Ln คือ เอนทัลปีต่อ 1 โมลก๊าซ (โมลสของความร้อนแฝง) ของการระเหยน้ำที่ 15°C

ที่อุณหภูมิอ้างอิง 15°C ความแตกต่างระหว่างความร้อนสูงของก๊าซแห้งที่ 1 บรรยากาศ (ความดันคงที่) และค่าความร้อนต่ำที่ความดันคงที่ ที่สภาวะแวดล้อมอันเหมาะสมได้

$$HHV_p - LHV_p = 18.78 (d + ey/2) \text{ kJ/m}^3 \quad (2.22)$$

หรือสำหรับก๊าซอัดตัวด้วยไอน้ำที่ความดันรวม 1 บรรยากาศ และ 60°F (15°C) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารของ $HHV_p - LHV_p$ หรือ $0.490 (d + ey)$ เท่า Btu/ft^3 (2.23) ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่หาได้นี้ต้องลบออกจากค่าความร้อนสูงที่ความร้อนสูงที่ความดันคงที่ เพื่อหาความร้อนต่ำที่ความดันคงที่

2.3.7 ค่าความร้อนต่ำที่ปริมาณคงที่ของก๊าซเชื้อเพลิง (Net calorific value at constant volume of a gaseous fuel)

หมายถึงค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วยปริมาตร (วัดที่ภาวะมาตรฐาน) ที่ถูกเผาในอากาศเหลือเฟือวัสดุ พลังการเผาไหม้คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไอน้ำ เมื่อความดันของก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศก่อนการเผาไหม้เท่ากับมาตรฐานที่เลือกไว้ อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงอากาศ และผลผลิตจากการเผาไหม้มีมาตรฐานใกล้เคียงกัน และปริมาตรของวัตถุที่เหลืออยู่หลังการเผาไหม้เท่ากับปริมาตรของก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศ

2.3.8 การคำนวณค่าความร้อนต่ำที่ปริมาตรคงที่

สำหรับองค์ประกอบของก๊าซตัวที่กล่าวมาแล้วปริมาณที่จะต้องลบออกจาก HHV_u คือ

$$0.01 n \frac{(L_u - R_u)T}{2} (d + \frac{ey}{2}) + 0.01 n \frac{(c + 3d + e + ey)R_u T}{4} \quad (2.24)$$

ที่อุณหภูมิอ้างอิง 15°C ความแตกต่างระหว่างค่าความร้อนสูงของก๊าซที่ความดันคงที่และค่าความร้อนต่ำที่ปริมาตรคงที่ ประมาณเท่ากับ

$$HHV_u - LHV_u = (0.51 + 19.27 d + 1.01e + 9.13 ey) \text{ kJ/m}^3 \quad (2.25)$$

สำหรับก๊าซแห้งวัดที่ 1 บรรยากาศ และ 15°C

สำหรับก๊าซอิ่มตัวกับไอน้ำที่ความดันรวม 1 บรรยากาศและ 60°C (15.6°C)

$$HHV_u - LHV_u = (0.014C + 0.504 d + 0.028e + 0.238ey) \text{ Btu/ft}^3$$

(2.26)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านี้ต้องลบออกจากค่าความร้อนสูงที่ความดันคงที่เพื่อหาค่าความร้อนต่ำที่ปริมาตรคงที่

2.3.9 การคำนวณหาค่าความร้อนจากองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากผลรวมของค่าความร้อนขององค์ประกอบ ในแต่ละองค์ประกอบจะคูณด้วยค่าสัดส่วนโมล (mole fraction) ผลรวมที่หาได้ต้องปรับค่าสำหรับก๊าซผสมที่ถูกจัดโดยใช้แฟกเตอร์อัด (Compressibility)

สถาบันเทคโนโลยีก๊าซ (Institute of Gas Technology, Research Bulletin NO.32, 1961) ได้เป็น 6 วิธีดังนี้ เมื่อค่าความร้อนของก๊าซผสมคือ

$$CV_m = X_1 cv_1 + X_2 cv_2 + \dots \quad (2.27)$$

เมื่อ X_1, X_2, \dots คือสัดส่วนโมลของแต่ละก๊าซขององค์ประกอบ

cv_1, cv_2, \dots คือค่าความร้อนขององค์ประกอบตัวที่ 1, 2, ... ในก๊าซผสม

แฟกเตอร์อัด Z_m สำหรับก๊าซผสมหาได้จาก

$$Z_m = 1 - (X_1 \sqrt{b_1} + X_2 \sqrt{b_2} + \dots)^2 + 5 \times 10^{-4} (2x_H - X^2 H) \quad (2.28)$$

b_1, b_2, \dots คือค่าเบี่ยงเบนของกฎของก๊าซขององค์ประกอบ (ยกเว้นไฮโดรเจน)

$$b = 1 - PV \quad \text{สำหรับค่า } b \text{ ได้แสดงไว้ในตารางที่ E ในภาคผนวก}$$

RT

R_H คือสัดส่วนโมลของไฮโดรเจนในก๊าซผสม

ค่าความร้อนเป็นดังนี้

$$cv = \frac{CV_m}{Z_m} \quad (2.29)$$

2.4 สมดุลมวลและพลังงาน (mass balance and energy balance)

2.4.1 วิธีการคำนวณสมดุลมวลและพลังงาน

2.4.1.1 สมดุลมวล

รายการของมวลสารที่ป้อนเข้าสู่ระบบและจากระบบในกระบวนการ pyrolysis มีดังต่อไปนี้

ด้านป้อนข้อมูล เข้าสู่ระบบ

$$\text{เศษวัสดุ (residues)} = m_r$$

ด้านออกจากระบบ:

$$\text{ถ่านแข็ง (dry charcoal)} = m_{ch}$$

$$\text{ก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่น (Non-condensable)} = m_g$$

$$\text{ส่วนที่เป็นของเหลว (condensate)} = m_{con}$$

ความสมดุลมวลเขียนได้ดังนี้

$$m_r = m_{ch} + m_g + m_{con} \quad (2.30)$$

ค่าต่างๆสามารถหาได้ดังนี้

ก) โดยการชั่งน้ำหนักวัสดุเศษเหลือ ถ่านที่มีความชื้นอยู่ ดังนั้นจึงรู้ค่า

m_r และ m_{ch}

ข) ปริมาณของส่วนที่เป็นของเหลวประมาณได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_{con} = m_r - m_{ch} + m_g$$

ค) โดยการคำนวณน้ำหนักของก๊าซจากองค์ประกอบก๊าซและปริมาตรทั้งหมดที่วัดได้ และปริมาตรก๊าซที่เหลืออยู่ในเตาปฏิกรณ์

ในกรณีของปริมาตรก๊าซที่วัด ได้ตั้งสมมุติฐานว่า

ก) ไม่ว่าจะมียุทธศาสตร์อยู่ในระบบใดก็ตามจะถือว่าไม่มีอากาศเป็นที่น่าสนใจ
 เกตุว่าสำหรับวัสดุเผาเหนือใด ๆ ปริมาณออกซิเจนที่วัด ได้น้อยกว่าปริมาณออกซิเจนที่ควรจะเป็น
 สัดส่วนกับไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ค่าแตกต่างของออกซิเจนนี้สมมุติว่าใช้ไปในการทำ
 ปฏิกริยากับก๊าซ pyrolysis ได้แก่เปลี่ยน CO เป็น CO₂ ดังนั้นจึงต้องแก้ไขค่า CO
 และ CO₂ ในปริมาตรก๊าซที่วัดได้

ข) ปริมาตรเตาปฏิกรณ์จำนวนจากพิกัดภายใน โดยสมมุติว่าไม่มีอากาศอยู่เลยใน
 ก๊าซที่ช่วงสุดท้ายของปฏิกริยาและยังมองค้ประกอบก๊าซ เช่นเดียวกับกับองค์ประกอบที่แก้ไขแล้ว

2.4.2 สมดุลพลังงาน

พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบและได้จากระบบมีดังต่อไปนี้

พลังงานป้อนเข้าสู่ระบบ:

$$\text{พลังงานที่มีในเศษวัสดุ} = E_r$$

พลังงานที่ได้จากระบบ:

$$\text{พลังงานจากถ่านแห้ง} = E_{ch}$$

$$\text{พลังงานที่เกี่ยวข้องกับก๊าซที่ควบแน่นไม่ได้} = E_g$$

$$\text{พลังงานที่เกี่ยวข้องกับของเหลว} = E_{con}$$

$$\text{พลังงานที่สูญเสียไป} = E_u$$

สมการสมดุลพลังงานเขียนได้ดังนี้

$$E_r = E_{ch} + E_g + E_{con} + E_u \quad (2.31)$$

ค่าเหล่านี้หาได้จาก

ก) ค่า E_r และ E_{ch} เท่ากับผลคูณของน้ำหนักแห้งของเศษวัสดุและถ่านกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ค่าความร้อนสูงของวัสดุเหล่านี้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของอุปกรณ์

ในการทดลองผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล มีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่

3.1 และแต่ละอุปกรณ์มีหน้าที่ดังนี้

3.1.1 ตู้ควบคุม (Control Box)

มีหน้าที่รับกระแสไฟและจ่ายกระแสไฟให้ระบบ พร้อมทั้งควบคุมการทำงานของระบบด้วย ดังรูปที่ 3.2 โดยมีอุปกรณ์ต่าง ดังนี้

1. AC magnetic Contactor H 35 มีหน้าที่ตัดต่อวงจรให้ได้กระแสตามที่ต้องการ
2. Temperature Control K 0-799°C มีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการเมื่อระบบมีอุณหภูมิสูงถึงที่กำหนดไว้ Temperature Control ซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของ Magnetic Contactor ทำให้ Magnetic contactor ตัดกระแสไฟยังผลให้ขดลวดความร้อน (Heater) หยุดการทำงาน Temperature Control สามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 799°C
3. เทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด CA(K) 1200°C มีหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในช่องบรรจุชีวมวล สามารถวัดอุณหภูมิสูงถึง 1200°C ดังรูปที่ 3.3 โดยวัดอุณหภูมิที่ตรงกลางของช่องบรรจุชีวมวลดังรูปที่ 3.4 และ 3.5
4. เครื่องตั้งเวลา (Timer) มีหน้าที่ตั้งเวลาในกรณีที่ต้องการใช้กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต้องการ สามารถตั้งเวลาได้นานถึง 24 ชั่วโมง
5. Breaker 30A มีหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 30 Amp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สวิตช์และไฟเตือน (Switch and Alarm bulb) สวิตช์มีหน้าที่ ปิด-เปิด การทำงานของขดลวดความร้อน ไฟเตือนสีเขียวสว่างแสดงว่ามีกระแสไฟจ่ายให้ขดลวดความร้อน ไฟเตือนสีแดงสว่างแสดงว่าหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวดความร้อน
7. Terminal เป็นจุดขั้วปลายสายไฟฟ้าที่ต่อเข้าและออกจากตู้ควบคุม
8. สายไฟฟ้า สายไฟฟ้าที่ใช้มี 3 ขนาดคือ

- ก. สายไฟฟ้าขนาดพื้นที่หน้าตัด 4 mm^2 ทนกระแสได้ 20 Amp ใช้ต่อวงจรในตู้ควบคุมระหว่าง Terminal , Breaker และ Magnetic Contactor ดังรูปที่ 3.6
- ข. สายไฟฟ้าขนาดพื้นที่หน้าตัด 6 mm^2 ทนกระแสได้ 25 Amp ใช้ต่อวงจรจาก Main Switch มายังตู้ควบคุมและจากตู้ควบคุมไปยังขดลวดความร้อน
- ค. สายไฟฟ้าขนาดพื้นที่หน้าตัด $1/10 \text{ mm}^2$ ทนกระแสได้ 3 Amp ใช้ต่อวงจรในตู้ควบคุมดังรูปที่ 3.6 (ขนาดสายไฟดูภาคผนวก A)

3.1.2 ขดลวดความร้อน (Heater) และช่องบรรจุชีวมวล

1. ขดลวดความร้อนมีหน้าที่ให้ความร้อนแก่ช่องบรรจุชีวมวลโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน การพันขดลวดความร้อนดังรูปที่ 3.7 ใช้แผ่น Mica ใสอย่างดีหุ้มช่องบรรจุชีวมวลซึ่งเป็นตัวป้องกันขดลวดความร้อนไม่ให้ถูกช่องบรรจุชีวมวลกันกระแสไฟลัดวงจร นำขดลวดความร้อนผ่านเป็นสปริงแล้วร้อยด้วยลูกถ้วยกระเบื้องพันรอบช่องบรรจุชีวมวล ฉาบด้วยบุทนความร้อน หุ้มด้วยใย Ceramic Fiber ซึ่งเป็นฉนวนความร้อนจากนั้นใช้แผ่น Stainless Steel หุ้มฉนวน Ceramic Fiber อีกชั้น ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่องบรรจุชีวมวลทำด้วยท่อประปา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 inch (10.16 cm) ยาว 30 cm ทำเกลียวที่หัวและท้าย ด้านนอกของท่อเพื่อปิดฝาปลายด้านหนึ่งของช่องบรรจุชีวมวล เชื่อมท่อหลักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1/2 inch (1.27 cm) ยาว 25 cm สำหรับเป็นท่อนำก๊าซออกจากช่องบรรจุชีวมวล ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1/2 inch (1.27 cm) เป็นท่อนำก๊าซซึ่งต่อจากท่อนำก๊าซ (เหล็ก) ที่ออกจากช่องบรรจุชีวมวล ไปสู่ อุปกรณ์หล่อเย็น (cooler) และจากอุปกรณ์หล่อเย็นไปยังถังเก็บก๊าซ

3.1.3 อุปกรณ์หล่อเย็น (cooler)

มีหน้าที่ควบแน่นก๊าซที่ออกมาจากช่องบรรจุชีวมวลให้เป็นของเหลว

- ดังรูปที่ 3.9 ทำด้วยท่อประปา เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 inch (10.16 cm) ยาว 30 cm ทำเกลียวด้านนอกที่ปลายท่อด้านบนสำหรับปิดฝา ด้านล่างเชื่อมปิดสนิท อุปกรณ์หล่อเย็นแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยมีแผ่นเหล็กบางขนาด 1mm เชื่อมปิดกั้นตรงกลาง ส่วนล่างเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2/5 inch (1.02 cm) แล้วเชื่อมท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2/5 inch (1.02 cm) สำหรับเป็นทางน้ำเข้าและออก
- ดังรูปที่ 3.10 ส่วนด้านบนเจาะรูที่ฝาปิด 2 รู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 inch (1.28 cm) โดยที่ท่อก๊าซเข้าเชื่อมด้วยท่อยาว 18.5 cm และท่อก๊าซออกเชื่อมด้วยท่อยาว 12.3 cm

3.1.4 ถังเก็บก๊าซ

มีหน้าที่เก็บก๊าซปริมาณก๊าซที่ออกมาจากอุปกรณ์หล่อเย็น ใช้ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร ทำสเกลด้านข้างถึงที่หน่วยเป็นลิตร โดยทำขาตั้งเป็นโครงเหล็ก ทำมาจากเหล็กแบนหนา 1/4 inch (0.635) และเหล็กฉาก 1 x 1 1/8 inch (2.54 x 0.3175) ดังรูปที่ 3.11 สเกลด้านข้างได้จากการตวงน้ำใส่ถังครั้งละ 1

litre แล้วทำสเกลจนกระทั่งได้สเกลครบ 20 ลิตรนั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ (Sample Bag)

ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์ที่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

ดังรูปที่ 3.12

3.2 ขั้นตอนการใช้งาน

3.2.1 ต่อไฟจาก Main switch เข้าสู่ตู้ควบคุมที่ Terminal ด้านบน ดังรูปที่ 3.2

3.2.2 ต่อไฟจากตู้ควบคุมที่ Terminal ด้านล่าง ดังรูปที่ 3.2 ไปยังขดลวดความร้อน

3.2.3 สับสวิตช์ Breaker ไปยังจุด ON

3.2.4 ตั้งอุณหภูมิที่ Temperature Control ตามที่ต้องการซึ่งอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 799°C

3.2.5 สับสวิตช์เปิดเมื่อต้องการใช้งาน ปิดเมื่อหยุดการทำงาน

3.2.6 หลังเลิกใช้งานจะต้องสับสวิตช์ Breaker ไปยังจุด off

3.3 หลักการทำงานของระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล

เปิดกระแสไฟฟ้า 220 V ต่อเข้ากับขดลวดความร้อนซึ่งพันรอบห้อง

บรรจุชีวมวล ภายในบรรจุไว้ด้วยชีวมวล (ซึ่งข้าวโพด หรือฝักตบชวาแห้ง) เมื่อกระแสไฟไหลผ่านขดลวดความร้อนจะทำให้อุณหภูมิ ภายในห้องบรรจุชีวมวลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ที่ Temperature Control ชีวมวลจะถูกเผาไหม้ทำให้เกิดก๊าซ ซึ่งประกอบด้วย มีเทน , อีเทน , โพรเพน , ไอโซ-บิวเทน , นอมอล-บิวเทน , ไอโซ-เพนเทน, นอมอล-เพนเทน และ ไฮโดรคาร์บอนออกมาจากห้องบรรจุชีวมวล ไหลไปตามท่อข้างเข้าสู่อุปกรณ์หล่อเย็นทำให้เกิดการควบแน่น ภายในอุปกรณ์หล่อเย็นจะมีน้ำหล่อเย็นตลอดเวลา ก๊าซจะไหลออกจากอุปกรณ์หล่อเย็นไปยังถังเก็บก๊าซแล้วใช้ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำก๊าซไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณ

3.4.1 ขนาดของขดลวดความร้อน (Heater) ใช้เบอร์ 17 SWG
(Standrad Wire Guide)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 mm.

มีความต้านทาน 0.821 50/m 20°C

พื้นที่ผิวสามารถทนกระแสได้ 47.1 Amp (ดูภาคผนวก B)

ขดลวดความร้อนให้อุณหภูมิถึง 1200°C

ขดลวดความร้อนใช้กระแสไฟ 15 Amp.

ตู้ควบคุมใช้กระแสไฟ 200 V

จากสูตร $P = IV$

$$P = (15) (220)$$

$$= 3300 \text{ w}$$

$P =$ กำลังไฟฟ้า (w)

$I =$ กระแสไฟฟ้า (A)

$V =$ ความต่างศักย์ (v)

$R =$ ความต้านทาน (Ω)

จากสูตร $P = \frac{V^2}{R}$

R

$$R = \frac{(220)^2}{3300}$$

$$= 14.66 \Omega$$

$$= 14.66 \Omega$$

∴ ความยาวของขดลวดความร้อนที่ใช้ = $\frac{14.66 \Omega}{0.821 \Omega/m} = 17.85 \text{ m}$.

0.821 Ω/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การคำนวณขนาดของอุปกรณ์หล่อเย็น

ในการทดลองนี้ ได้ใช้อุปกรณ์หล่อเย็น เพื่อใช้ในการควบแน่นไอน้ำ และน้ำมันดินที่อยู่ในก๊าซเชื้อเพลิงของชีวมวล

หลักการของอุปกรณ์หล่อเย็นนี้คือ เมื่อผ่านก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการ pyrolysis ชีวมวล ซึ่งมีอุณหภูมิสูงเข้าไปในอุปกรณ์หล่อเย็น ซึ่งมีน้ำปล่อยผ่านเข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นก๊าซเชื้อเพลิงให้มียุณหภูมิลดลง น้ำมันดินและไอน้ำที่อยู่ในก๊าซเชื้อเพลิงจะควบแน่นอยู่ภายใน โดยทั่วไปต้องการให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ออกจากอุปกรณ์หล่อเย็นมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (30°)

สำหรับการทดลองนี้ได้วิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงจากการ pyrolysis ซึ่ง ชาวโปแลนด์และผักตบชวา โดยการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยพบว่า มีองค์ประกอบหลักใหญ่ๆ ๗. ช่วงอุณหภูมิต่างๆ คือ มีเทน อีเทน โพรเทน ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ สมมติว่าไม่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนแต่ได้กล่าวละเอียดไว้ในบทที่ 5

ก่อนการคำนวณหาขนาดของพื้นที่การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หล่อเย็นต้อง คำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงเสียก่อน โดยใช้สูตร

$$q = c_{p,t} \cdot v \Delta T$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง (kJ/hr)

v = อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/hr)

$c_{p,t}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซเชื้อเพลิง (kJ/m^3K)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ เข้า-ออก ของก๊าซเชื้อเพลิง จากอุปกรณ์หล่อเย็น (K)

การคำนวณหาค่า c_{pt} ของก๊าซเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จาก

$$c_{pt} = x_1 c_{p1} + x_2 c_{p2} + x_3 c_{p3} + \dots + x_n c_{pn} \quad (3.2)$$

เมื่อวัดอุณหภูมิเข้า-ออกจากอุปกรณ์หล่อเย็น ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงที่เข้า-ออก จากอุปกรณ์หล่อเย็นในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

ชีวมวล	อุณหภูมิในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)			อุณหภูมิก่อในแต่ละช่วงอุณหภูมิ		
	450	550	650	450	550	650
ซังข้าวโพด	96	116	101	29	29	29
ผักตบชวา	96	105	95	30	30	30

จากตารางที่ 3.1 ที่การทดลองช่วงอุณหภูมิ 550°C ของซังข้าวโพดมีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด จึงใช้ค่าต่างๆ ที่ช่วงอุณหภูมิของ 550°C ของซังข้าวโพดใช้คำนวณ

ค่า v° ที่ได้จากการทดลอง คือ

v° ของช่วงอุณหภูมิ 550°C สำหรับซังข้าวโพด = $0.0318 \text{ m}^3/\text{hr}$

องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ 550°C ของซังข้าวโพดประกอบด้วย มีเทน 37.325% อีเทน 12.404% โพรเพน 13.481% จากตาราง c ในภาคผนวก

ค่า c_p ของมีเทนที่ $400 \text{ k} = 1.23 > 1 \text{ kJ/m}^3\text{K}$

ค่า c_p ของอีเทนที่ $400 \text{ k} = 1.995 \text{ kJ/m}^3\text{K}$

ค่า c_p ของโพรเพนที่ $400 \text{ k} = 2.873 \text{ kJ/m}^3\text{K}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.2) แทนค่า

$$\begin{aligned} C_{pt} &= (1.2371)(0.37325) + (1.995)(0.12404) + (2.873)(0.13481) \\ &= 0.4617 + 0.2475 + 0.3873 \\ &= 1.0965 \quad \text{kJ/m}^3\text{K} \end{aligned}$$

จากสมการ (3:1) แทนค่า

$$\begin{aligned} q \text{ ซิงข้าวโพด} &= (1.0965) (0.0318) (389-302) \\ &= 3.0336 \quad \text{kJ/hr} \end{aligned}$$

สามารถคำนวณหาขนาดของพื้นที่ถ่ายเทความร้อนได้จาก

$$q = UA \Delta T \quad (3.3)$$

เมื่อ $u =$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($\text{kJ/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C}$)

$A =$ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\Delta T =$ ความแตกต่างของอุณหภูมิ เข้า-ออก จากอุปกรณ์หล่อเย็น ($^\circ\text{C}$)

นำค่า q ที่ได้แทนค่าลงในสมการ (3.3) และค่า U ได้จากตาราง D ในภาคผนวกสำหรับเครื่องระบายความร้อน (อุปกรณ์หล่อเย็น) ที่สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.50 cp ได้ค่า $U = 370 - 730 \text{ kcal/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ เลือกใช้ $550 \text{ kcal/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ หรือเท่ากับ $2302.3 \text{ kJ/hr m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ แทนค่า

$$3.0336 = (2302.3) A \quad (116-29)$$

$$A = 1.515 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

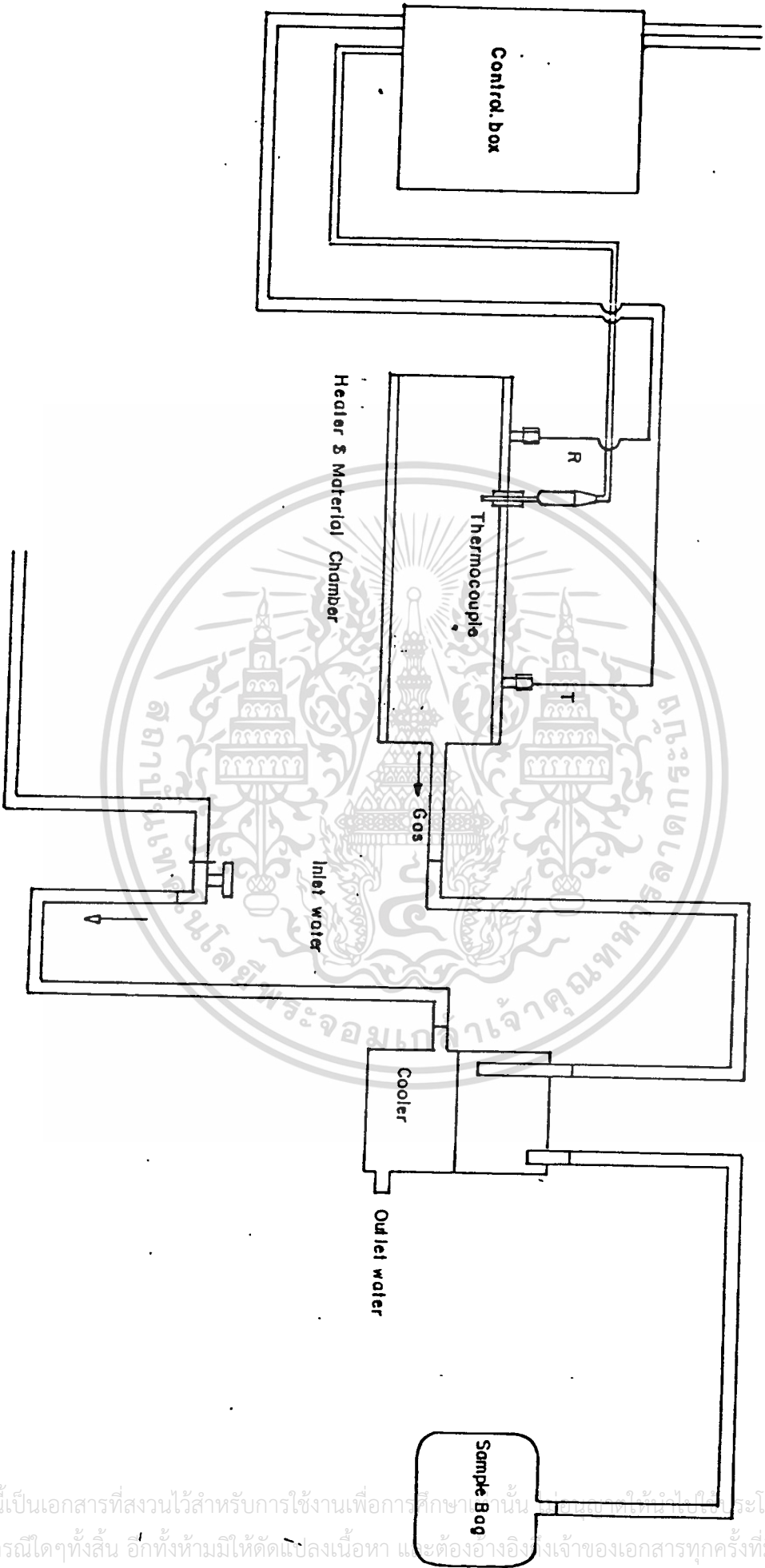
\therefore เส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ของอุปกรณ์หล่อเย็นจะเท่ากับ

$$D = 4.391 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (1.115 \text{ นิ้ว})$$

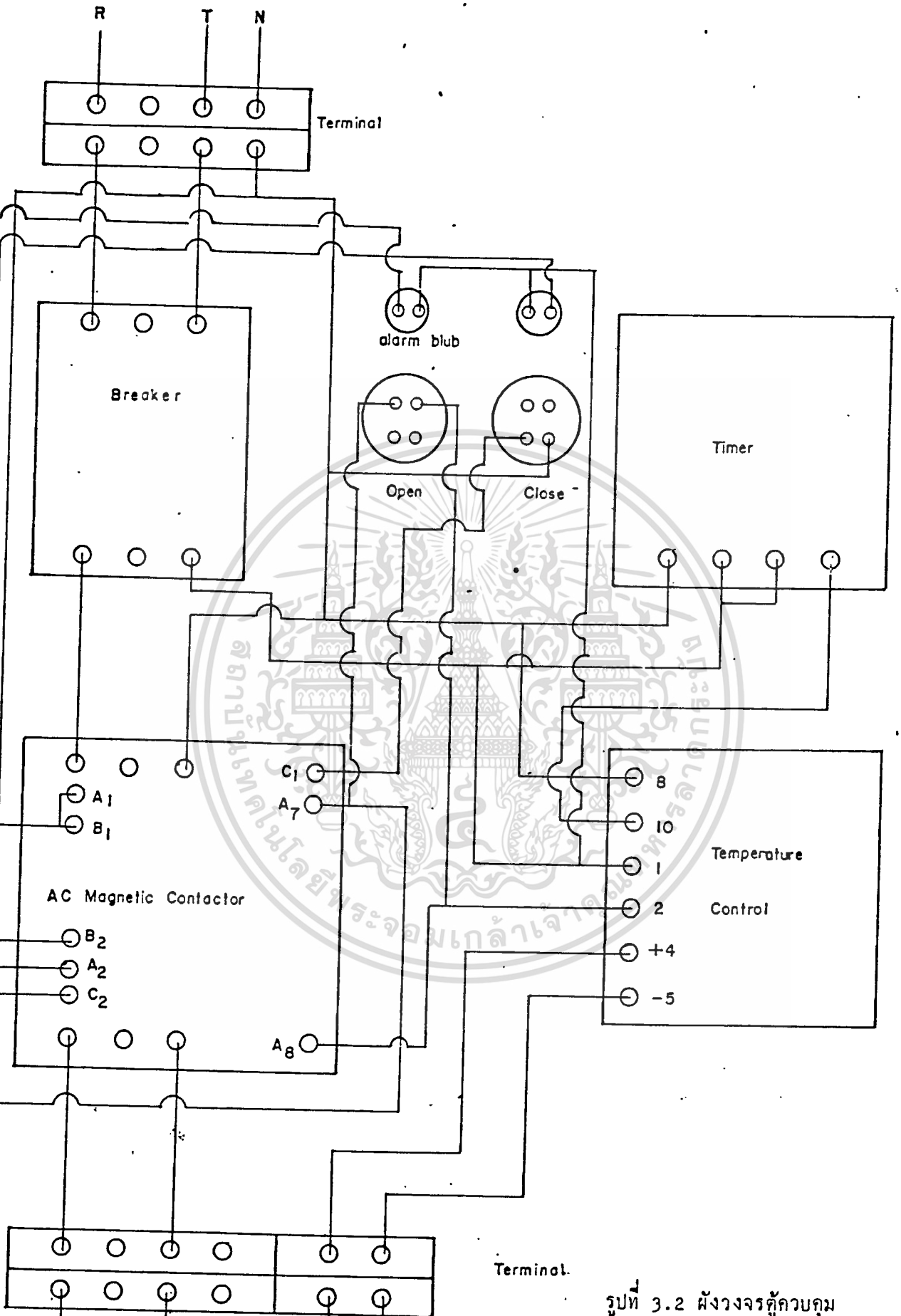
เลือกใช้นาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์หล่อเย็นเท่ากับ 4 นิ้ว

\therefore สรุปได้ว่าขนาดของอุปกรณ์หล่อเย็นที่ใช้มีขนาดใหญ่เพียงพอ ที่ทำให้การควบแน่นของ ไอน้ำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดไปเผยแพร่หรือ
นำมันคนออกมา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R T N



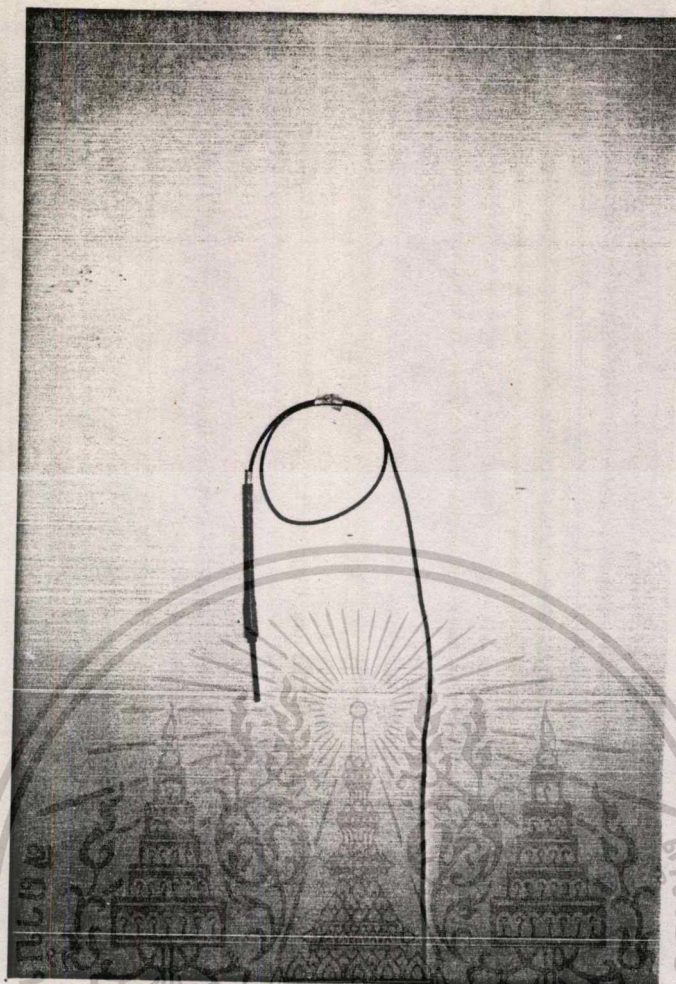
รูปที่ 3.1 แผนผังทดลองผลิตก๊าซเอทิลีนจากชีวมวล



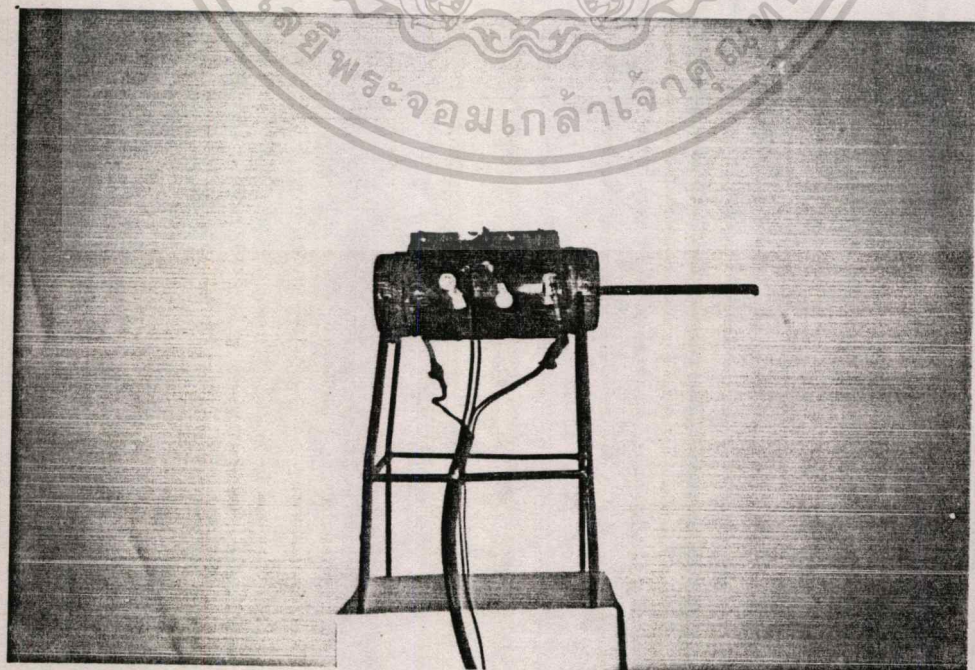
รูปที่ 3.2 ผังวงจรตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 R ว่ากรณีใดๆ T ลื่น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปรงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermocouple

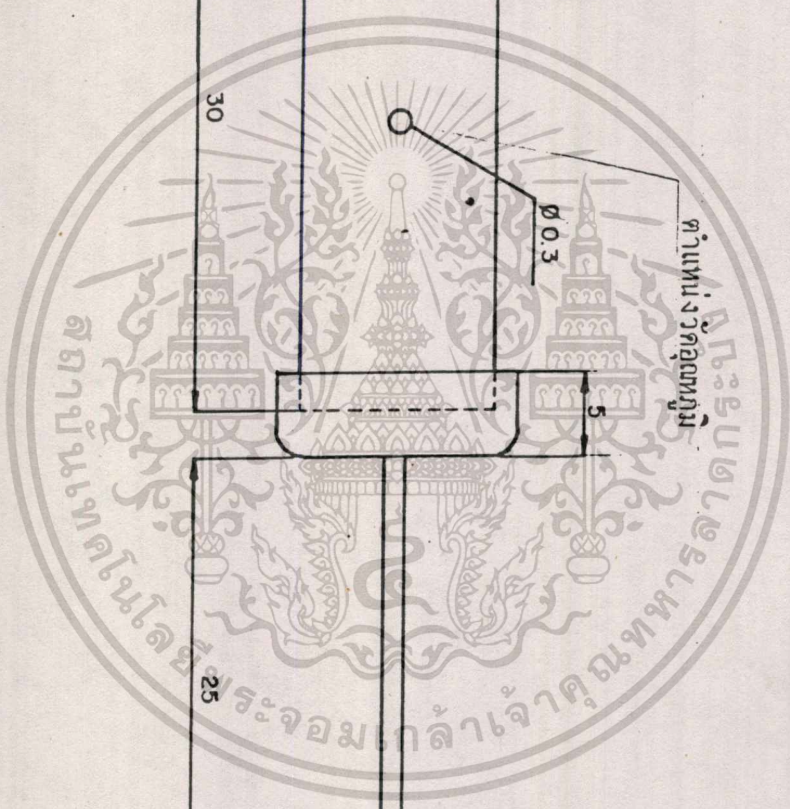
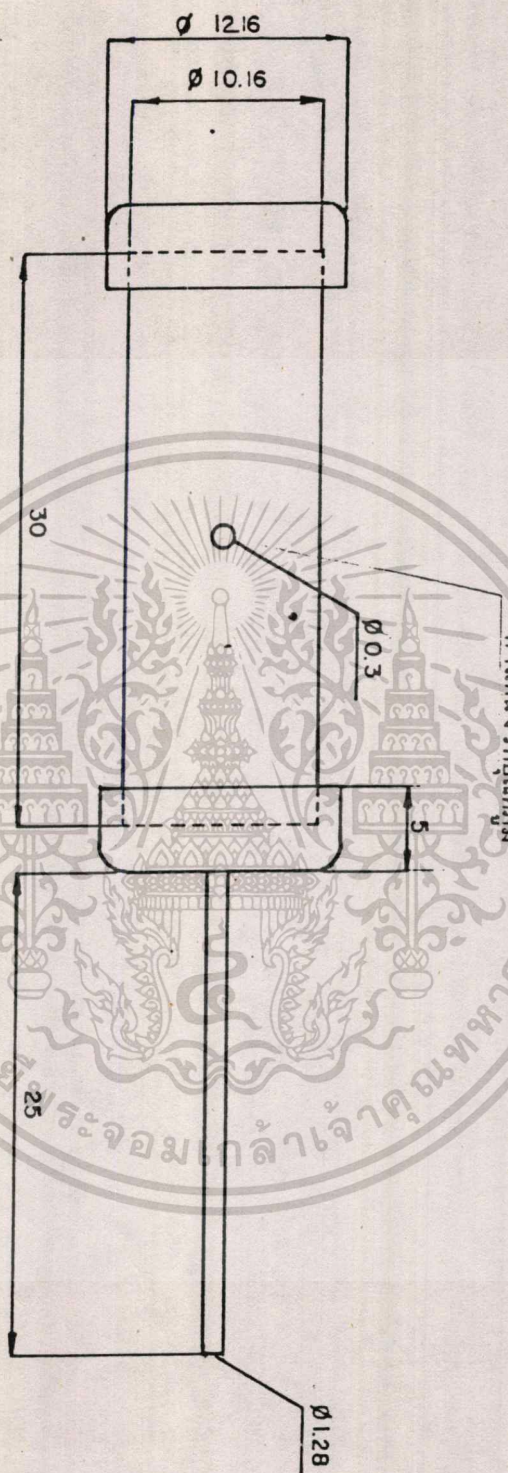


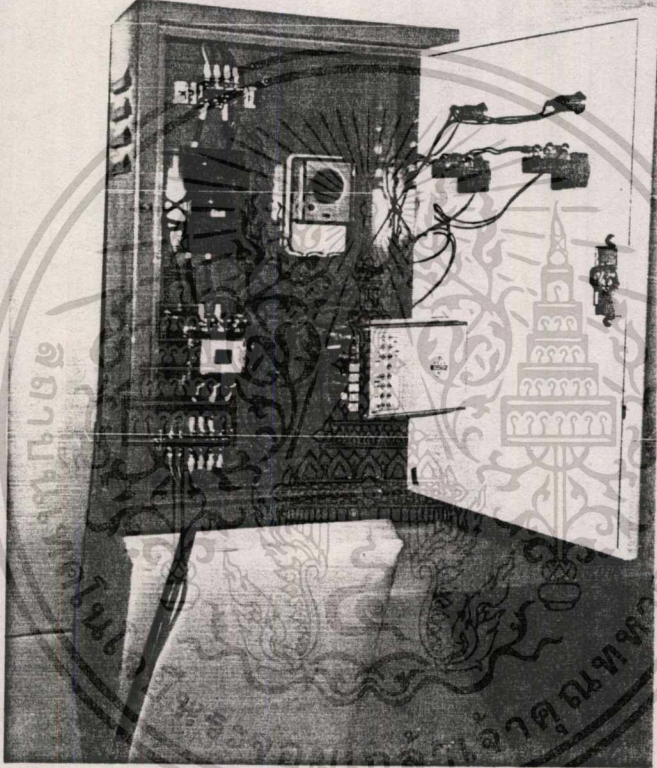
รูปที่ 3.3 เฮอร์มอคัมเปิล ชนิด CA(K) 1200 °C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.4 ตำแหน่งวัคคูดัททุมิ ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 ช่องบรรจุซีเมนต์ และตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

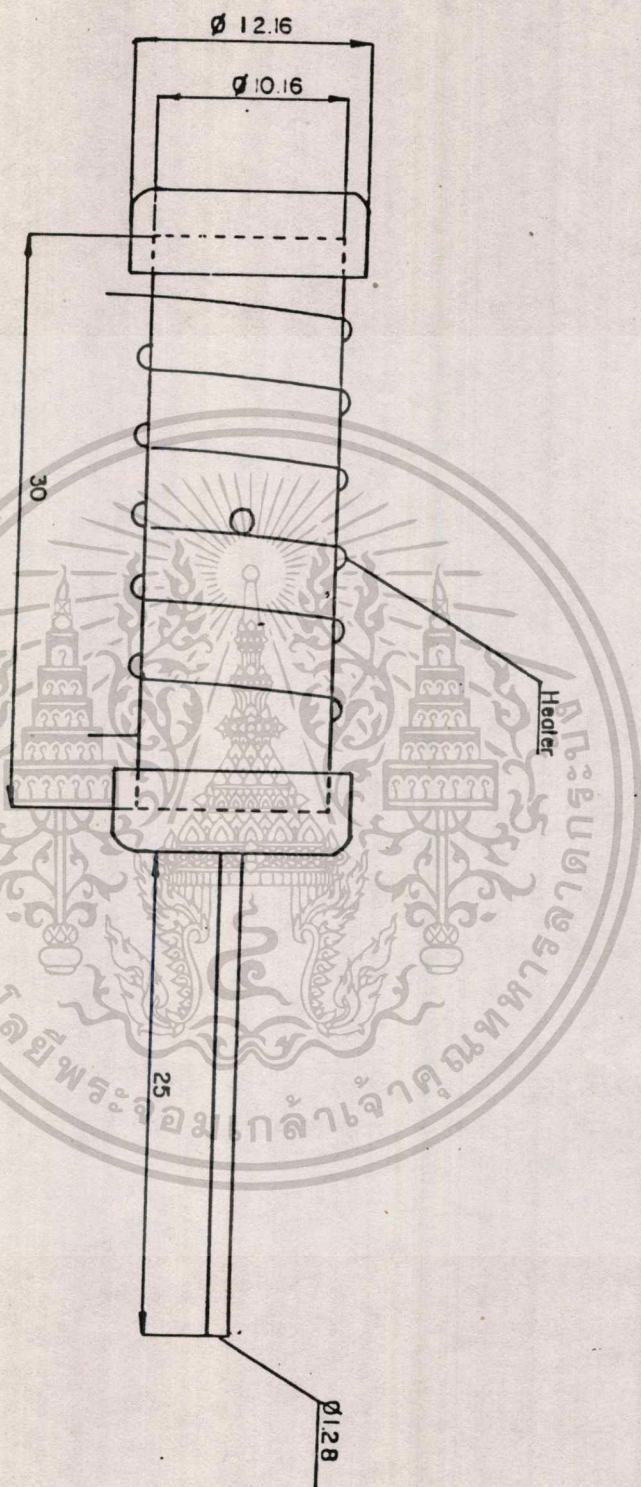




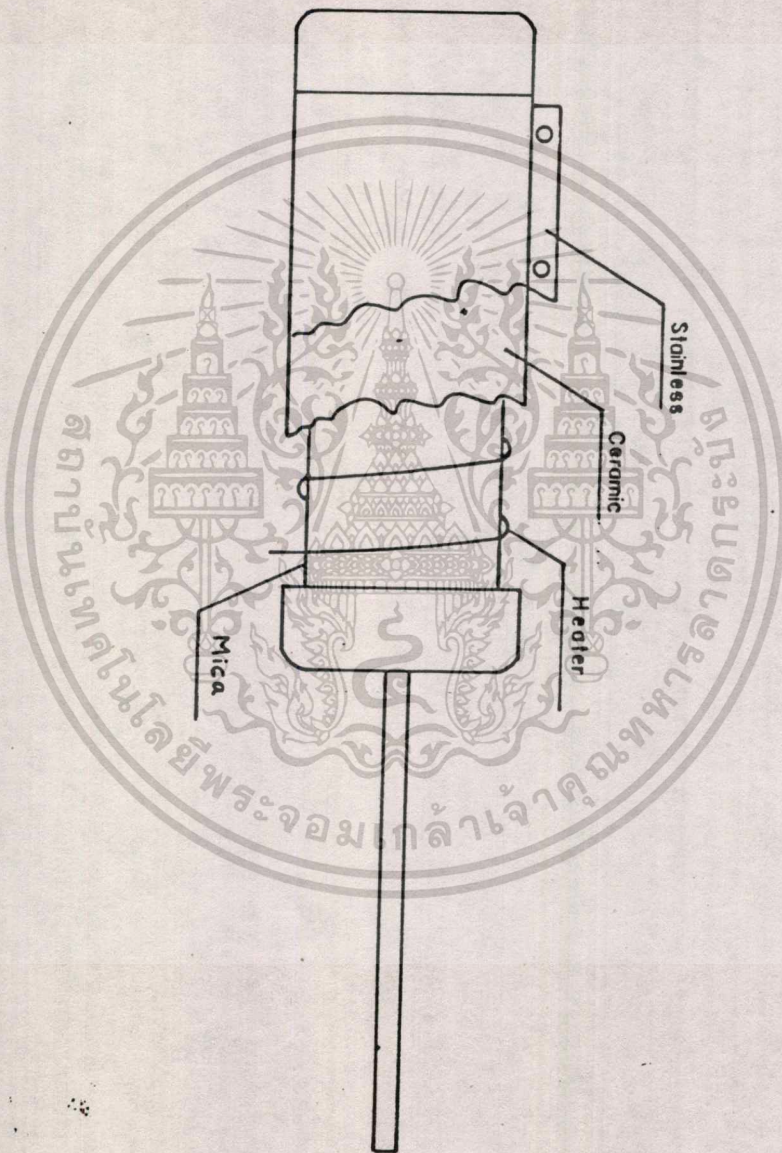
รูปที่ 3.6 ขนาดสายไฟฟ้าในตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

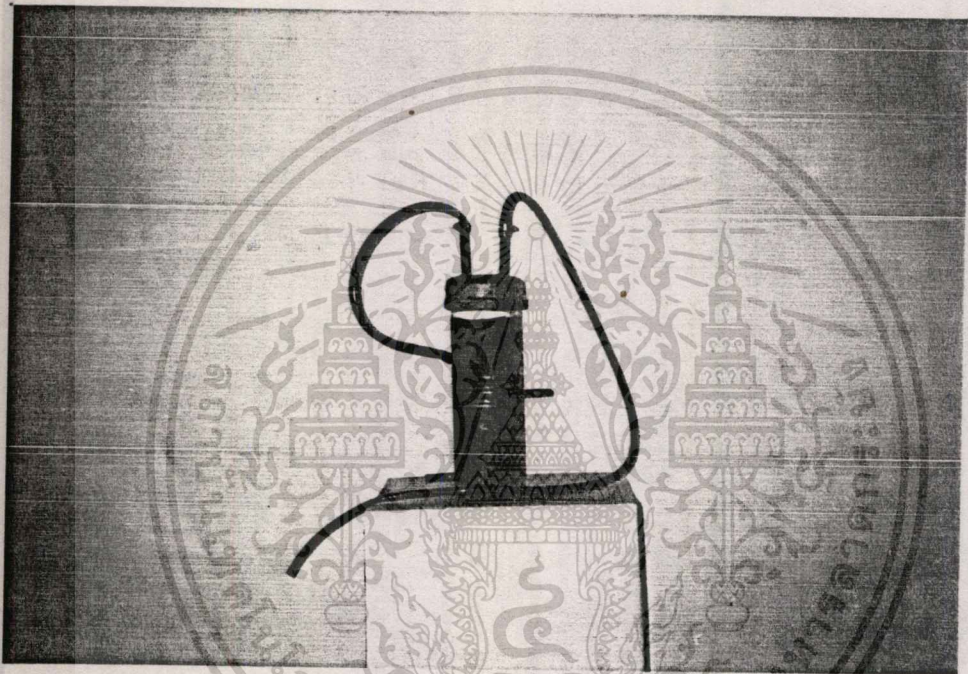
รูปที่ 3.7 การพัฒนาขดลวดความร้อนรอบท่อบรรจุสุวามล



รูปที่ 3.8 การหุ้มฉนวนและ Stainless Steel



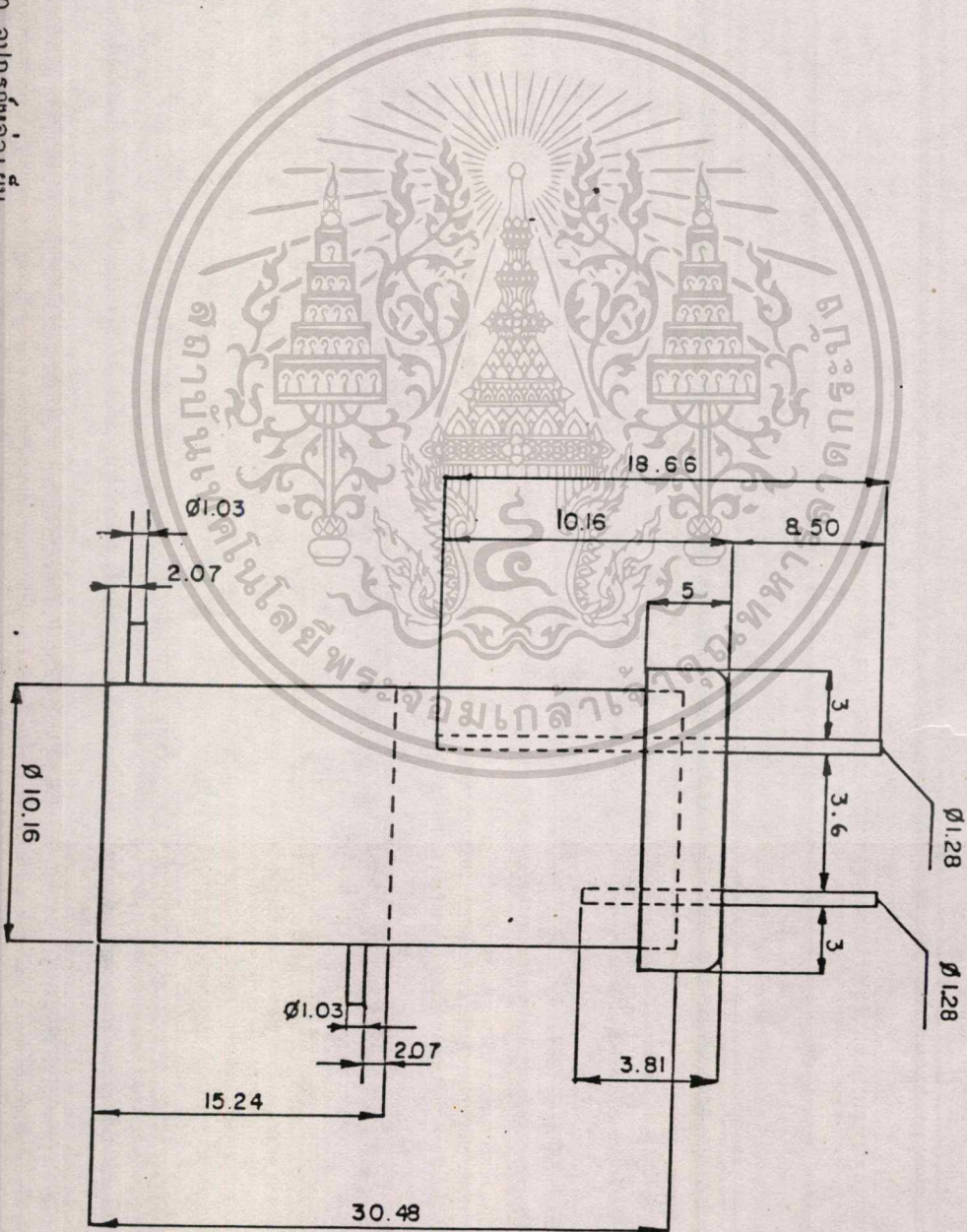
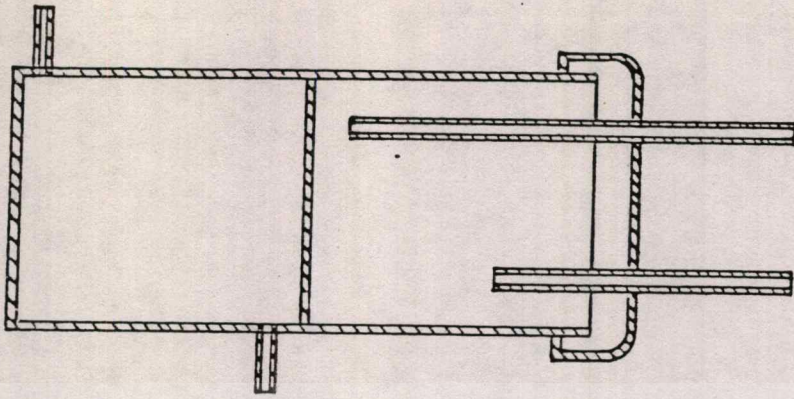
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



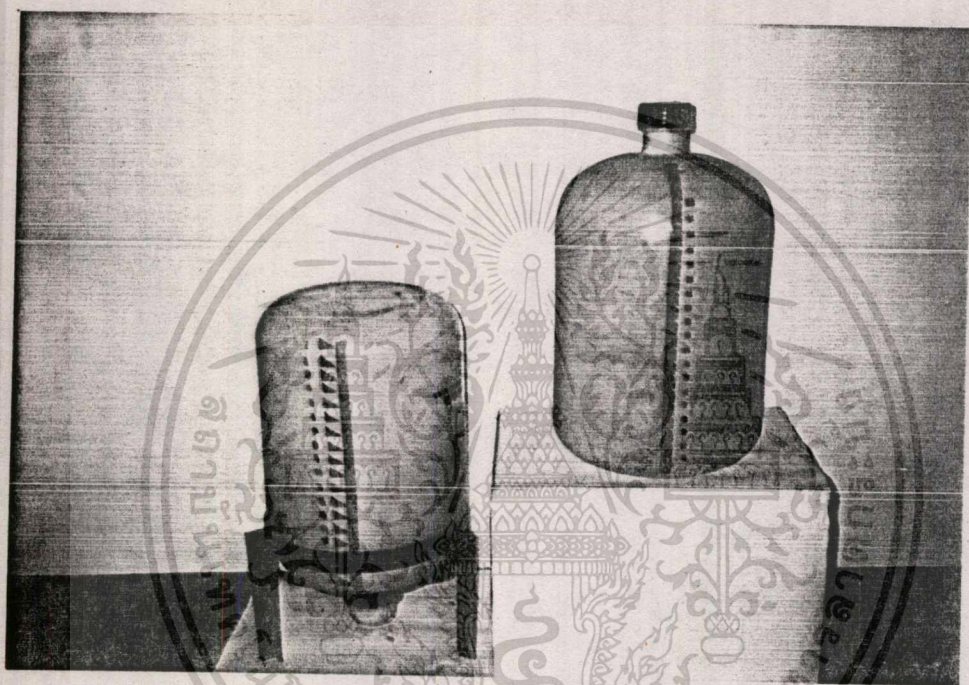
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ห่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 อุปกรณ์หล่อเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ถังเก็บก๊าซและขวดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การหาปริมาณความชื้น (moisture content)

4.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณความชื้นของซังข้าวโพดและผักตบชวา

4.1.2 วิธีทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดลองโดยการยกตัวอย่างให้มีขนาดเล็กกว่า 60 mesh และผ่านการแบ่งตัวอย่างตามกรรมวิธีเพื่อหลักสถิติ
2. อบ crucible ที่อุณหภูมิ 110°C 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในตู้ ความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงใน crucible ปิดฝา
4. นำไปอบใน oven ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น
5. ชั่งน้ำหนัก crucible ที่เย็นแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนให้น้ำหนักคงที่

4.1.3 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = (A-B) / A \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนที่จะนำไปอบ กรัม และ

B = น้ำหนักตัวอย่างที่อบที่ 100°C แล้ว กรัม

4.1.4 ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในครั้งนี้ ได้ผลแตกต่างจากการหาความชื้นของรายงานของคุณสมบัติของวัสดุและถ่านหินของประเทศ ไทยจากกองค้นคว้าและพัฒนางานสำนักงานพลังงานแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงานปี 2530 ได้หาความชื้นของซังข้าวโพด

7.28 และของผักตบชวาได้ 6.47 ครั้งนี้เนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้หาความชื้นไม่เที่ยงตรงพอ เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในกรณีนี้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจมีความชื้นจากอากาศเข้าไปในตัวอย่างที่ต้องการจึงทำให้การทดลองผิดพลาดได้ สำหรับผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 สำหรับซึ่งข้าวโพดและผักตบชวาตามลำดับ

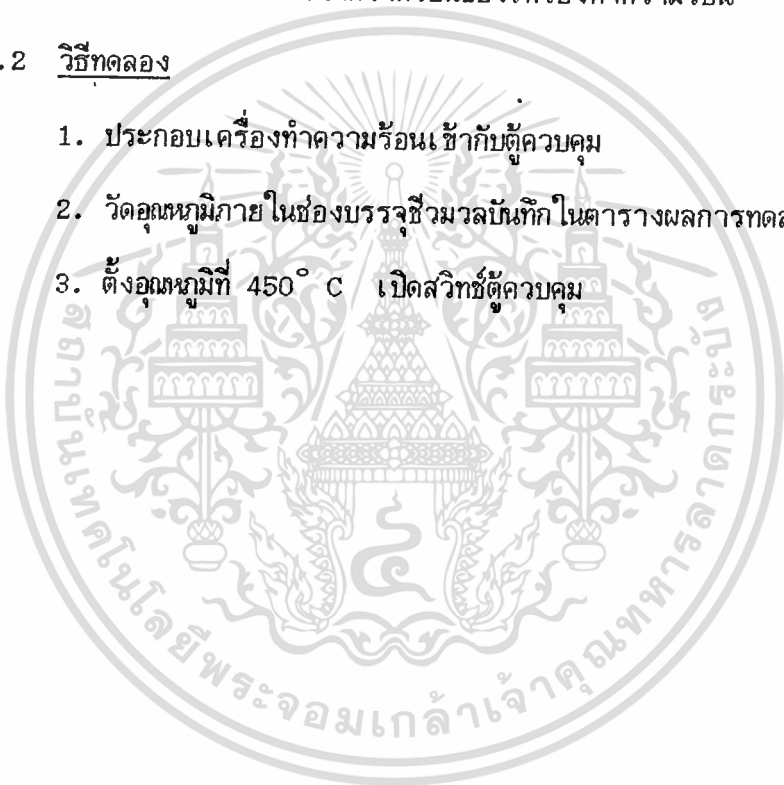
4.2 การทดสอบอัตราให้ความร้อนของเครื่องทำความร้อน

4.2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ทราบอัตราการให้ความร้อนของเครื่องทำความร้อน

4.2.2 วิธีทดลอง

1. ประกอบเครื่องทำความร้อนเข้ากับตู้ควบคุม
2. วัดอุณหภูมิภายในห้องบรรจุข้าวมวลบันทึกในตารางผลการทดลองที่ 4.3
3. ตั้งอุณหภูมิที่ 450°C เปิดสวิตซ์ตู้ควบคุม



ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาปริมาณความชื้นของซังข้าวโพด

ตัวอย่างที่	น.น. Crucible (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบ 110°C จนน้ำหนักคงที่ + น.น. Cruci- ble (กรัม)	น.น. ตัวอย่าง หลังอบจน นน. คงที่ (กรัม)	ปริมาณความชื้น (% WB)
1	7.866	1.000	8.778	0.915	8.500
2	8.066	1.000	8.980	0.914	8.600
3	7.933	1.000	8.842	0.909	9.100
4	7.866	1.000	8.789	0.923	7.700
5	8.142	1.000	9.066	0.924	7.600
6	8.087	1.000	9.000	0.913	8.700
7	44.906	1.000	45.816	0.910	9.000
					เฉลี่ย 8.600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาปริมาณความชื้นของผักตบชวา

ตัวอย่างที่	น.น. Crucible (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบ 110°C จนน้ำหนักคงที่ + น.น. Cruci- ble (กรัม)	น.น. ตัวอย่าง หลังอบจน นน. คงที่ (กรัม)	ปริมาณความชื้น (% WB)
1	8.92	1.000	8.925	0.913	8.700
2	8.055	1.000	8.959	0.904	9.606
3	8.068	1.000	8.972	0.904	9.600
4	7.873	1.000	8.770	0.897	10.300
5	7.980	1.000	8.889	0.909	9.100
6	8.027	1.000	8.926	0.899	10.100
7	7.854	1.000	8.789	0.935	6.500
					เฉลี่ย 9.129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาทีในตารางที่ 4.3 จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 438°C ผู้ควบคุมจะตัดการทำงานของเครื่องทำความร้อน
5. บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาทีในตารางที่ 4.3 จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึง 200°C
6. เมื่อเครื่องทำความร้อนเย็นตัวลงแล้วตั้งอุณหภูมิ 550°C แล้วทำซ้ำข้อ 1-5
7. ตั้งอุณหภูมิ 650°C แล้วทำซ้ำข้อ 1-5

4.3 วิธีการตรวจสอบลักษณะก๊าซที่อุณหภูมิ 450°C , 550°C , 650°C

4.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะของก๊าซและน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4.3.2 วิธีการทดลอง

1. ชั่งชั่งข้าวโพด 400 กรัม
2. ใส่ข้าวโพดในช่องบรรจุชีวมวลจนเต็มซึ่งน้ำหนักข้าวโพดที่เหลือลบบอกจาก 400 กรัม จดบันทึกในตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.4
3. ประกอบเครื่องทำความร้อนกับผู้ควบคุม
4. วัดอุณหภูมิภายในช่องบรรจุชีวมวลแล้วบันทึกผลในตารางที่ 4.4
5. บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาที สังเกตการเกิดก๊าซลักษณะก๊าซที่ปลายท่อก๊าซออก และลักษณะน้ำมันดิน บันทึกผลในตารางที่ 4.4 โดยบันทึกภาพลักษณะก๊าซ เมื่อเริ่มเกิดก๊าซและเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 450°C และอุณหภูมิภายในช่องบรรจุชีวมวลสูงถึง 438° ผู้ควบคุมจะตัดการทำงานของเครื่องทำความร้อนแต่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยความร้อนของเครื่องทำความร้อนและการปลดปล่อยความร้อนจากเชื้อเพลิงในชั้นสันดาป (Exothermic Process) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 450°C ใช้ไฟจุดก๊าซเชื้อเพลิงที่นำออกมาบันทึกภาพลักษณะการติดไฟและเปลวไฟในตารางที่ 4.4

6. ตั้งอุณหภูมิที่ 550°C แล้วทำซ้ำข้อ 1-6
7. ตั้งอุณหภูมิที่ 650°C แล้วทำซ้ำข้อ 1-7
8. เปลี่ยนชีวมวลจากซึ่งข้าวโพดเป็นผักตบชวาแล้วทำซ้ำข้อ 1-7

4.4 วิธีทดลองหาปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล

4.4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซจากชีวมวลที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

4.4.2 วิธีทดลอง

1. ชั่งซึ่งข้าวโพด 400 กรัม
2. ใส่ซึ่งข้าวโพดในช่องบรรจุชีวมวลจนเต็มซึ่งน้ำหนักซึ่งข้าวโพดที่เหลือนอกจาก 400 กรัม จดบันทึกในตารางบันทึกผลจากการทดลองที่ 4.5
3. ประกอบเครื่องอุปกรณ์ตามรูปที่ 4.1 ตั้งอุณหภูมิ 450°C
4. วัดอุณหภูมิภายในช่องบรรจุชีวมวลบันทึกผลเปิดสวิตซ์ตู้ควบคุม
5. วัดอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาที บันทึกในตารางที่ 4.5 จนกระทั่งถึง 438°C ตู้ควบคุมจะตัดการทำงานของเครื่องทำความร้อนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยความร้อนของเครื่องทำความร้อนลดลงถึง 438°C เปิดเครื่องทำความร้อนทำงานต่อไประหว่างการภาคทดลองให้สังเกตการเกิดน้ำมันดินและก๊าซเชื้อเพลิงจดบันทึกอุณหภูมิและเวลาเมื่อเริ่มเกิดน้ำมันดินและก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิน
6. ทำซ้ำข้อ 5 จนกระทั่งก๊าซหมด
7. ปิดเครื่องทำความร้อนรอจนเครื่องทำความร้อนเย็นตัวลงนำถ่านออกจากช่องบรรจุชีวมวลมาซึ่งแล้วจดบันทึก เก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อส่งไปวิเคราะห์ต่อไป
8. น้ำมันดินจะกลั่นตัวอยู่ใน Cooler ให้นำอะซิโตนล้างแล้วเทใส่ขวดไว้นำไปกลั่นน้ำและอะซิโตนออกเพื่อหาปริมาณของน้ำมันดินที่เกิดขึ้น
9. ทำซ้ำข้อ 1-9 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตั้งอุณหภูมิที่ 550°C แล้วทำซ้ำข้อ 1-9
11. ตั้งอุณหภูมิที่ 650°C แล้วทำซ้ำข้อ 1-10
12. เปลี่ยนชีวมวลจากซึ่งข้าว โปดเป็นผักตบชวาแล้วทำซ้ำข้อ 1-10

4.5 การหาปริมาณสารระเหย (Volatile matter)

4.5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปริมาณสารระเหยจากถ่านของชีวมวล

4.5.2 วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดลอง โดยการบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กกว่า 60 mesh และผ่านการแบ่งตัวอย่างตามกรรมวิธีเพื่อผลทางสถิติ
2. ชั่งตัวอย่างใส่ลงใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนที่ 110°C จนน้ำหนักคงที่บันทึกในตารางผลการทดลองที่ 4.6
3. ปิดฝาแล้ววาง crucible บนที่วางในช่องของเตาเผาที่อุณหภูมิ 950°C เเผาประมาณ 7 นาที
4. นำออกจากเตาทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณหาปริมาณสารระเหยตามวิธีในข้อ 4.5.3 แล้วบันทึกผลในตารางที่

4.6

4.5.3 วิธีคำนวณ

$$\text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป (\%)} = (A-B)/A$$

$$\text{เมื่อ } A = \text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ กรัมและ}$$

$$B = \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังจากการเผา กรัม}$$

$$\text{ปริมาณสารระเหย (\%)} = C - D$$

$$\text{เมื่อ } C = \text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป \% และ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษา ความชื้น % อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การหาปริมาณที่เถ้า (ash content)

4.6.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาปริมาณที่เถ้าที่มีในถ่านซึ่งข้าวโพดและผักตบชวา

4.6.2 วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดลองโดยการบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กกว่า 60 mesh และผ่านการแบ่งตัวอย่างตามกรรมวิธีเพื่อผลทางสถิติ
2. ลบ crucible ที่อุณหภูมิ 110°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ทั้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกผลในตารางที่ 4.7
3. ชั่งตัวอย่างใส่ลงใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนชนิดฝา
4. นำไปเผาในเตาเผาโดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง $700-750^{\circ}\text{C}$ จนมีน้ำหนักคงที่แล้วทั้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นชั่งน้ำหนักบันทึกผลในตารางที่ 4.7

4.6.3 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณที่เถ้า (\%)} = C \times 100/A$$

$$\text{เมื่อ } A = \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนที่จะนำไปเผา กรัมและ}$$

$$B = \text{น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือหลังจากเผาที่}$$

$$700 - 750^{\circ}\text{C กรัม}$$

4.7 วิธีการหาปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาปริมาณคาร์บอนที่ได้จากการเผาไหม้ของชีวมวลโดยที่

$$\% \text{ คาร์บอนคงที่} = 100 - (\% \text{ เถ้า} + \% \text{ สารระเหย}) \text{ บันทึกในตารางที่ 4.8}$$

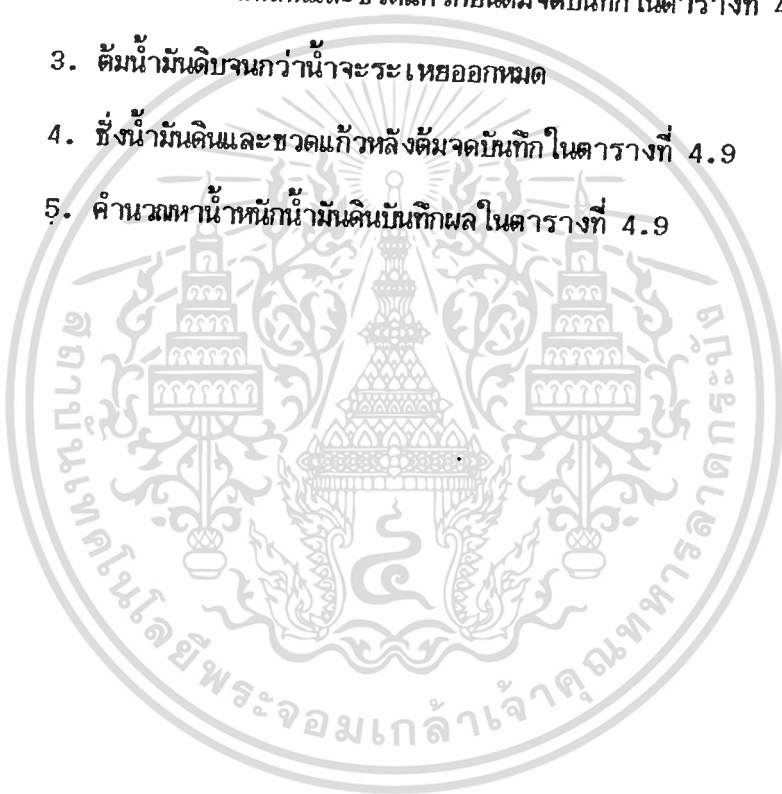
4.8 การหาปริมาณน้ำมันดิน

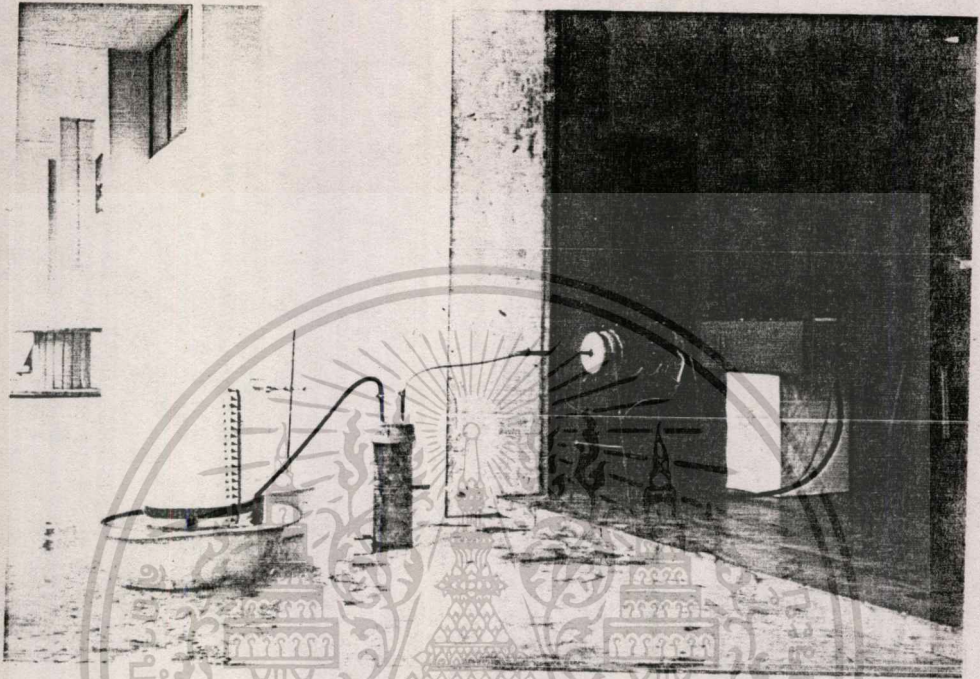
4.8.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณน้ำมันดินที่ได้จากการเผาไหม้ของซึ่งข้าวโพดและผักตบชวา

4.8.2 วิธีการลอง

1. เตรียมน้ำมันดินที่จะทำการทดลองโดยการเทลงในขวดแก้วที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งน้ำหนักน้ำมันดินและขวดแก้วก่อนต้มจذبึงกในตารางที่ 4.9
3. ต้มน้ำมันดิบจนกว่าน้ำจะระเหยออกหมด
4. ชั่งน้ำหนักดินและขวดแก้วหลังต้มจذبึงกในตารางที่ 4.9
5. คำนวณหาน้ำหนักน้ำมันดินบึงกผลในตารางที่ 4.9





รูปที่ 4.1 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองผลึกที่ขั้วเชื้อเพลิงจากชีวมวล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบการให้ความร้อนของเครื่องทำความร้อน

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)		
	450°	550°	650°
1	22	29	30
2	31	29	35
3	52	46	54
4	87	78	87
5	135	119	132
6	188	167	181
7	273	219	233
8	315	269	295
9	358	315	336
10	407	360	391
11	447 ตัดการทำงาน	399	420
12	470	431	455
13	472	462	496
14	461	489	515
15	446	514	541
16	427	537	562
17	409	551	593
18	391	547	601
19	374	531	617
20	360	511	632
21	346	472	642
22	332	452	638

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงการทดสอบการให้ความร้อนของเครื่องทำความร้อน (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)		
	450°	550°	650°
23	320	433	619
24	308	414	596
25	297	397	570
26	296	382	545
27	276	367	522
28	267	353	499
29	258	339	479
30	250	327	460
31	242	316	440
32	235	305	424
33	229	294	408
34	221	294	392
35	212	275	379
36	209	266	365
37	203	259	353
38	198	250	341
39		242	330
40		234	319
41		227	309
42		221	299
43		214	289
44		208	280

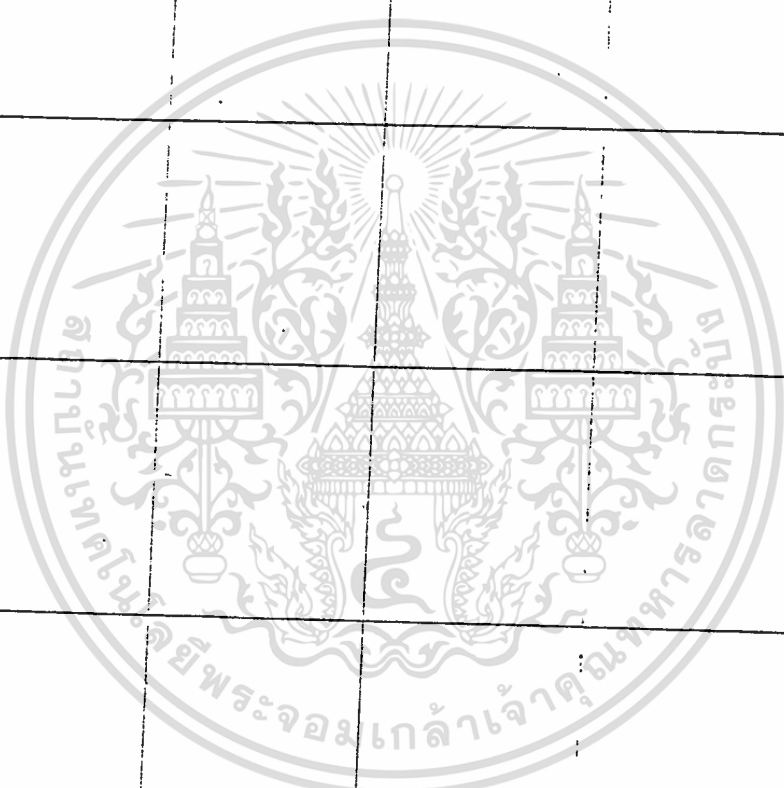
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ก่อนนำไปใช้ โปรดปรึกษาด้านการคัด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4

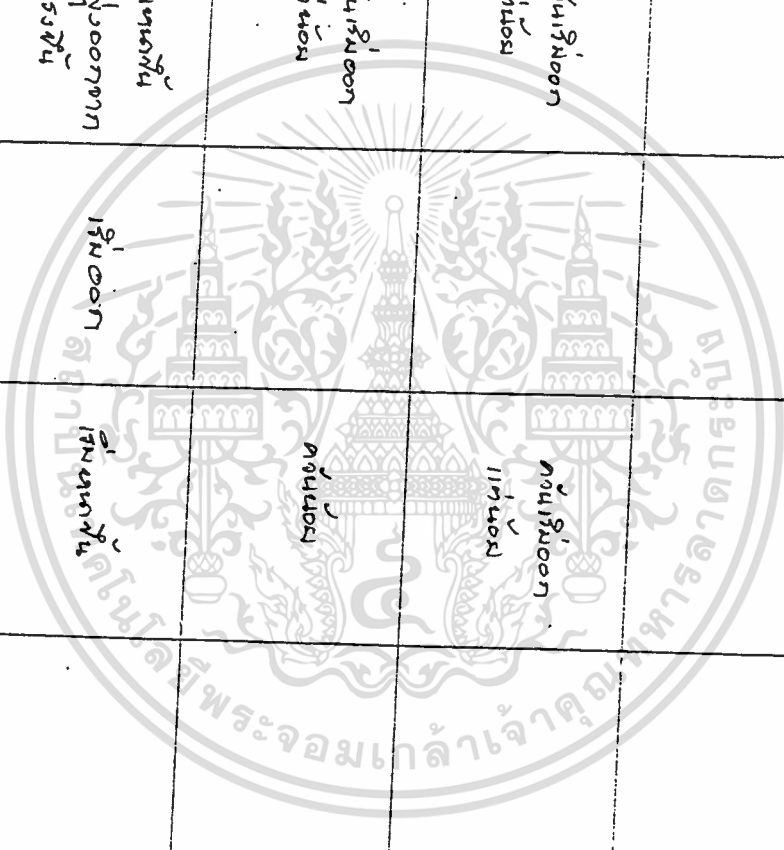
แสดงลักษณะของท่าขา ซื่อ 1 พลิ้ง และลักษณะของน้ำหนักที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซังข้าวโพค
 จำนวนซังข้าวโพค 390, 345, 340 กรัม ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C, 550°C, 650°C และอุณหภูมิในขอ 25°C, 20°C, 22°C ตามลัดกัน

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของท่าขา ซื่อ 1 พลิ้ง			ลักษณะของน้ำหนัก		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
1	29	28	24						
2	34	31	30						
3	49	40	39						
4	55	58	56						
5	110	83	80						



ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซไอเพลิงและลักษณะของน้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีงข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซไอเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิบ		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
6	149	112	111						
7	194	149	142	ควันเริ่มออก เล็กน้อย		ควันเริ่มออก เล็กน้อย			
8	230	174	172	ควันเริ่มออก เล็กน้อย		ควันออก เล็กน้อย			
9	267	205	200	ควันออกเล็กน้อย ไอ: พุ่งออกทาง ท่อไรร้อน	เริ่มออก	เริ่มออกเล็กน้อย			
10	296	236	231	ควันออกเล็กน้อย ไอ: พุ่งออกทาง ท่อไรร้อน	ควันออกเล็กน้อย เริ่มมีสีดำน	ควันออกเล็กน้อย ไอ: พุ่งไรร้อน	เริ่มแตกคว เริ่มมีสีดำน เริ่มมีสีดำ	สีดำน	สีดำน



ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของภาาที่ชื่อ เพลิงและลักษณะของปริมาณหินอุกกาภุมิต่าง ๆ ของชั้นข้าวโพด (ต่อ)

ชั้น เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของภาาที่ชื่อ เพลิง			ลักษณะของปริมาณหิน		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
11	329	288	253	พุ่งออกบริเวณ ภาาเดิมและ: ครึ่ง หนักขึ้นที่ภาาเดิม	พุ่งออกบริเวณ หนักขึ้นไม่ติด ที่	พุ่งออกบริเวณ หนัก: หนักขึ้น	เริ่มแตกคว เวตขึ้นที่ความ ดันขึ้นต่ำ	สีออกฟ้า	หนักขึ้น หนักขึ้น หนักขึ้น
12	362	308	248	พุ่งออกบริเวณ ที่ภาาเดิมและ: ครึ่ง หนักขึ้นที่ภาาเดิม	พุ่งออกบริเวณ หนักขึ้นไม่ติด ที่	ครึ่งหนักขึ้น หนัก: หนักขึ้น หนักขึ้น	เริ่มแตกขึ้น ความดันขึ้น เริ่มขึ้น	สีออกชมพู	หนักขึ้น หนักขึ้น หนักขึ้น
15	409	383	329	พุ่งออก บริเวณ	พุ่งออกบริเวณ หนักขึ้นไม่ติด ที่	ครึ่งหนักขึ้น หนัก: หนักขึ้น หนักขึ้น	เริ่มแตกขึ้น ความดันขึ้น เริ่มขึ้น	สีออกชมพู	สีออกชมพู หนักขึ้น
14	435 พุ่งออก ที่บริเวณ	354	372	ครึ่งหนักขึ้น หนัก: หนักขึ้น บริเวณ	พุ่งออกบริเวณ หนักขึ้นไม่ติด ที่	ครึ่งหนักขึ้น และ: พุ่งออกบริเวณ ที่	เริ่มแตกขึ้น ความดันขึ้น เริ่มขึ้น	สีออกชมพู หนักขึ้น	สีออกชมพู หนักขึ้น
15	491	397	425	ครึ่งหนักขึ้นและ: พุ่งออกบริเวณ ที่	พุ่งออกบริเวณ หนักขึ้นไม่ติด ที่	ครึ่งหนักขึ้นและ: พุ่งออกบริเวณ ที่	เริ่มแตกขึ้น ความดันขึ้น เริ่มขึ้น	สีออกชมพู หนักขึ้น	สีออกชมพู หนักขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของท่าเรือเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบอุณหภูมิต่าง ๆ ของขี้ขาวโพล (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของท่าเรือเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิบ		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
16	517	445	470	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น ที่ปลาย	พุ่งออกเร็ว ที่ปลาย สีฟ้า	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น ที่ปลาย	เป็นสีเทาเข้ม	สีน้ำตาล เข้ม	สีน้ำตาล เข้ม
17	520	490	524	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น	อุณหภูมิ: พุ่งออกเร็ว ที่ปลาย	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น ที่ปลาย	เป็นสีเทาเข้ม	สีน้ำตาล เข้ม	สีน้ำตาล เข้ม
18	511	520	556	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น	อุณหภูมิ: พุ่งออกเร็ว ที่ปลาย	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น ที่ปลาย	เป็นสีเทาเข้ม	สีน้ำตาล เข้ม	สีน้ำตาล เข้ม
19	496	561	582	อุณหภูมิ: พุ่งเร็ว	พุ่งเร็ว ที่ปลาย	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น ที่ปลาย	เป็นสีเทาเข้ม	สีน้ำตาล เข้ม	สีน้ำตาล เข้ม
20	486	586	619	อุณหภูมิ: พุ่งเร็ว	พุ่งเร็ว ที่ปลาย	อุณหภูมิ: พุ่งเร็วขึ้น ที่ปลาย	เป็นสีเทาเข้ม	สีน้ำตาล เข้ม	สีน้ำตาล เข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของปริมาณกับอุณหภูมิต่างๆ ของซังข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง				ลักษณะของปริมาณกับ	
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
21	458	524	632 พักกร ทำงาน	จุดหม้อต้ม ไอ: พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	เป็นเม็ดใหญ่ สีน้ำตาล	สีน้ำตาล คาบกลาง: หนา อบาก	เป็นผงหนา มาก
22	438 ปกติ	562	650	จุดหม้อต้ม ไอ: พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	เป็นเม็ดใหญ่ สีน้ำตาล	หนา อบาก	เป็นผงหนา มาก
23	421	546	652	จุดหม้อต้ม ไอ: พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	เป็นเม็ดใหญ่ สีน้ำตาล	หนา อบาก	เป็นผงหนา มาก
24	420	525	642	จุดหม้อต้ม ไอ: พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	เป็นเม็ดใหญ่ สีน้ำตาล	หนา อบาก	เป็นผงหนา มาก
25	485 พักกร ทำงาน	507	624	จุดหม้อต้ม ไอ: พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	พุ่งเข้ามา จุดหม้อต้ม	เป็นเม็ดใหญ่ สีน้ำตาล	หนา อบาก	เป็นผงหนา มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของกาฬเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดินอุณหภูมิต่าง ๆ ของซังข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของกาฬเชื้อเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิน		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
26	461	501	603	ตัวหนักขึ้นกว่าช่วงปกติที่ 2	ตัวหนืดกว่าเดิม	ตัวที่ฟุ้งกว่าปกติมาก	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้มกว่า	เหลืองปน
27	471	510	588	ตัวหนักขึ้นมาก	ตัวหนืดกว่าเดิม	ตัวที่ฟุ้งกว่าช่วงปกติ: ผนวกที่ฟุ้งที่หนักขึ้น	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้มกว่า	เหลืองปน
28	469	527	590	ตัวหนืดขึ้น	ตัวหนืดกว่าเดิม	ตัวที่ฟุ้งกว่าช่วงปกติ: ผนวกที่ฟุ้งที่หนักขึ้น	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้มกว่า	เหลืองปน
29	459	549	601	ตัวหนืดขึ้น	ตัวหนืดเท่าเดิม	ตัวที่ฟุ้งกว่าช่วงปกติ: ผนวกที่ฟุ้งที่หนักขึ้น	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้มกว่า	เหลืองปน
30	447	560	618	ตัวหนืดขึ้น	ตัวที่ฟุ้งกว่า	ตัวที่ฟุ้งกว่าช่วงปกติ: ผนวกที่ฟุ้งที่หนักขึ้น	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้มกว่า	เหลืองปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์ในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของกาฬเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดินอุณหภูมิต่าง ๆ ของขี้ง้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของกาฬเชื้อเพลิง					
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	ลักษณะของน้ำมันดิน		
31	492 กทสิทธิ์ ทรวง	557 กทสิทธิ์ ทรวง	694 กทสิทธิ์ ทรวง	450° คั้นผงคว มากแคะ: ชั่งเบา คองมาก	550° คั้นผงคว เริ่มคุดไฟแล้ว ยังไม่ค่อยเดือด	650° คั้นผงคว ของควแคะ: ใ เดือด: ฟูขึ้น คองมาก	450° สีน้ำตาลเข้ม มันข้นมาก	550° สีน้ำตาลเข้ม มันมาก	650° เหนียวจน จับมาก
32	421 กทสิทธิ์	544 กทสิทธิ์	692	450° คั้นผงคว มากแคะ: ชั่งเบา คองมาก	550° คั้นผงคว เริ่มคุดไฟแล้ว ยังไม่ค่อยเดือด	650° คั้นผงคว ของควแคะ: ใ เดือด: ฟูขึ้น คองมาก	450° สีน้ำตาลเข้ม มันข้นมาก	550° สีน้ำตาลเข้ม มันมาก	650° เหนียวจน จับมาก
33	423	531	651	450° คั้นผงคว มากแคะ: ชั่งเบา คองมาก	550° คั้นผงคว เริ่มคุดไฟแล้ว ยังไม่ค่อยเดือด	650° คั้นผงคว ของควแคะ: ใ เดือด: ฟูขึ้น คองมาก	450° สีน้ำตาลเข้ม มันข้นมาก	550° สีน้ำตาลเข้ม มันมาก	650° เหนียวจน จับมาก
34	441 กทสิทธิ์ ทรวง	524	638 กทสิทธิ์	450° คั้นผงคว มากแคะ: ชั่งเบา คองมาก	550° คั้นผงคว เริ่มคุดไฟแล้ว ยังไม่ค่อยเดือด	650° คั้นผงคว ของควแคะ: ใ เดือด: ฟูขึ้น คองมาก	450° สีน้ำตาลเข้ม มันข้นมาก	550° สีน้ำตาลเข้ม มันมาก	650° เหนียวจน จับมาก
35	463	529	623	450° คั้นผงคว มากแคะ: ชั่งเบา คองมาก	550° คั้นผงคว เริ่มคุดไฟแล้ว ยังไม่ค่อยเดือด	650° คั้นผงคว ของควแคะ: ใ เดือด: ฟูขึ้น คองมาก	450° สีน้ำตาลเข้ม มันข้นมาก	550° สีน้ำตาลเข้ม มันมาก	650° เหนียวจน จับมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใจเจ้าของผลงานการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของกาฬเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของช่วงช่วงโพลี (เชื้อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของกาฬเชื้อเพลิง					
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
36	491	546	621	ตะกอนผง มากและฟู เบาตกลง	ตะกอนแข็งติด ที่ผนังหม้อ ต้ม	แผ่นฟิล์ม ของของกาวเจือ ปน	สีน้ำตาลเข้ม ขึ้นชั้นมาก	สีน้ำตาล ขึ้นมาก	เหนียวขึ้น ชั้นมาก
37	466	556	634 เกิดการ หักการ หักการ	ตะกอนผง แข็งติดฟิล์ม หนัก	ตะกอนแข็งติด ที่ผนังหม้อ ต้ม	แผ่นฟิล์ม บาง	สีน้ำตาลเข้ม ขึ้นชั้นมาก	สีน้ำตาล ขึ้นมาก	เหนียวขึ้น ชั้นมาก
38	457	552	646	ตะกอนผง แข็งติดฟิล์ม หนัก	ตะกอนแข็งติด ที่ผนังหม้อ ต้ม	แผ่นฟิล์ม บาง	สีน้ำตาลเข้ม ขึ้นชั้นมาก	สีน้ำตาล ขึ้นมาก	เหนียวขึ้น ชั้นมาก
39	442	541	651	ตะกอนผง และฟูเบาตกลง	ตะกอนแข็งติด ที่ผนังหม้อ ต้ม	แผ่นฟิล์ม ของของกาว	สีน้ำตาลเข้ม ขึ้นชั้นมาก	สีน้ำตาล ขึ้นมาก	เหนียวขึ้น ชั้นมาก
40	431	526	642	ตะกอนผง และฟูเบาตกลง	ตะกอนแข็งติด ที่ผนังหม้อ ต้ม	แผ่นฟิล์ม ของของกาว	สีน้ำตาลเข้ม ขึ้นชั้นมาก	สีน้ำตาล ขึ้นมาก	เหนียวขึ้น ชั้นมาก

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของช่วงช่วงหัวโปก (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิน		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
41	419	514	629	ควันน้อย มากแฉะเล็กน้อย	ควันขาวจัดไป แต่ไม่ต่อเชื้อ	ควันไฟที่ขึ้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก
42	421	519	615	ควันน้อย มากแฉะเล็กน้อย	ควันขาวจัดไป แต่ไม่ต่อเชื้อ	ควันไฟที่ขึ้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก	ความเหนียว ลดลง	สีดำเหนียว มันข้นมาก
43	438	533	619	ควันน้อย มากแฉะเล็กน้อย	ควันขาวจัดไป แต่ไม่ต่อเชื้อ	ควันไฟที่ขึ้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก	ความเหนียว ลดลง	สีดำเหนียว มันข้นมาก
44	462	553	690	ควันน้อย มากแฉะเล็กน้อย	ควันขาวจัดไป แต่ไม่ต่อเชื้อ	ควันไฟที่ขึ้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก	ความเหนียว ลดลง	สีดำเหนียว มันข้นมาก
45	492	561	653	ควันน้อย มากแฉะเล็กน้อย	ควันขาวจัดไป แต่ไม่ต่อเชื้อ	ควันไฟที่ขึ้นมาก	สีดำเหนียว มันข้นมาก	ความเหนียว ลดลง	สีดำเหนียว มันข้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซในท่อเพลิงและลักษณะของน้ำมันตามอุณหภูมิต่างๆ ของช่วงข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซในท่อเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิบ		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
46	469	556	644	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	สีน้ำตาลเข้ม นวลเล็กน้อย	ไม่เหม็นมาก สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้ม สดตามเข้มน้ำ
47	462	544	634	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	สีน้ำตาลเข้ม นวลเล็กน้อย	ไม่เหม็นมาก สีน้ำตาลเข้ม ออก	สีน้ำตาลเข้ม สดตามเข้มน้ำ
48	450	524	622	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	สีน้ำตาลเข้ม นวลเล็กน้อย	ไม่เหม็นมาก สีน้ำตาลเข้ม ออก	สีน้ำตาลเข้ม สดตามเข้มน้ำ
49	437	514	610	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	สีน้ำตาลเข้ม นวลเล็กน้อย	ไม่เหม็นมาก สีน้ำตาลเข้ม ออก	สีน้ำตาลเข้ม สดตามเข้มน้ำ
50	425	512	590	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	กลิ่นฉุนคาวมาก แต่ไม่เหม็น	สีน้ำตาลเข้ม นวลเล็กน้อย	ไม่เหม็นมาก สีน้ำตาลเข้ม ออก	สีน้ำตาลเข้ม สดตามเข้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ภายนอก การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซฯ ชื่อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบอุณหภูมิต่าง ๆ ของช่วงข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซฯ เพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิบ			
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°	
51	426	526	576	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	เปลวไฟสีน้คง จนเกือบจะดับ	ฟุ้งออกม่นพ่น	ฟุ้งเหนียว สีน้ำตาล ออกม่น	สีน้ำตาล สีน้ำตาลเหนียว มาก
52	449	546	584	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	เปลวไฟสีน้คง จนเกือบจะดับ	ฟุ้งออกม่นพ่น	ฟุ้งเหนียว สีน้ำตาล ออกม่น	สีน้ำตาล สีน้ำตาลเหนียว มาก
53	463	561	596	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	เปลวไฟสีน้คง จนเกือบจะดับ	ฟุ้งออกม่นพ่น	ฟุ้งเหนียว สีน้ำตาล ออกม่น	สีน้ำตาล สีน้ำตาลเหนียว มาก
54	469	559	616	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	เปลวไฟสีน้คง จนเกือบจะดับ	ฟุ้งออกม่นพ่น	ฟุ้งเหนียว สีน้ำตาล ออกม่น	สีน้ำตาล สีน้ำตาลเหนียว มาก
55	465	549	635	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	จุดน้ยมั้แห้ง หนักกว่าตอน เริ่มต้น	เปลวไฟสีน้คง จนเกือบจะดับ	ฟุ้งออกม่นพ่น	ฟุ้งเหนียว สีน้ำตาล ออกม่น	สีน้ำตาล สีน้ำตาลเหนียว มาก

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบอุณหภูมิต่าง ๆ ของซังข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง	ลักษณะของน้ำมันดิบ		
	450°	550°	650°		450°	550°	650°
56	454	654	450°	จุดหม้อไอน้ำ ต่ำกว่าตอน เริ่มต้มน้ำ	ไม่พบฟอสเฟต พบกำมะถัน	พบออกซิเจน	สีน้ำตาล สีเทาหม่น บาง
57	445	654	450°	ไม่พบฟอสเฟต	พบฟอสเฟต พบกำมะถัน	พบออกซิเจน	สีน้ำตาล สีเทาหม่น บาง
58	481 พบกำมะถัน	645 พบกำมะถัน	450°	ไม่พบฟอสเฟต พบกำมะถัน	พบฟอสเฟต พบกำมะถัน	พบออกซิเจน	สีน้ำตาล สีเทาหม่น บาง
59	418	629	450°	ไม่พบฟอสเฟต	พบฟอสเฟต พบกำมะถัน	พบออกซิเจน	สีน้ำตาล สีเทาหม่น บาง
60	421	622	450°	ไม่พบฟอสเฟต	พบฟอสเฟต พบกำมะถัน	พบออกซิเจน	สีน้ำตาล สีเทาหม่น บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของภาาที่ชื่อเพลิงและลักษณะของปริมาณดินอุณหภูมิต่าง ๆ ของรังข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของภาาชื่อเพลิง					
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
61	435 อัตราการ ทำงาน	630	น้อยมาก	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	ที่หลอดแก้วขึ้น		เตี้นมมาก
62	462	648 อัตราการ ทำงาน	น้อยมาก	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	ที่หลอดแก้วขึ้น		เตี้นมมาก
63	472	651	น้อยมาก	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	ที่หลอดแก้วขึ้น		เตี้นมมาก
64	471	624 อัตราการ ทำงาน	น้อยมาก	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี มากกว่าเดิม	ที่หลอดแก้วขึ้น		เตี้นมมาก
65	464	609	น้อยมาก ยังไม่พบ ของ	เมล็ดพืชมี น้อยกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี น้อยกว่าเดิม	เมล็ดพืชมี น้อยกว่าเดิม	ที่หลอดแก้วขึ้น		เตี้นมมาก

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดินอุณหภูมิต่าง ๆ ของซังข้าวโพด (ต่อ)

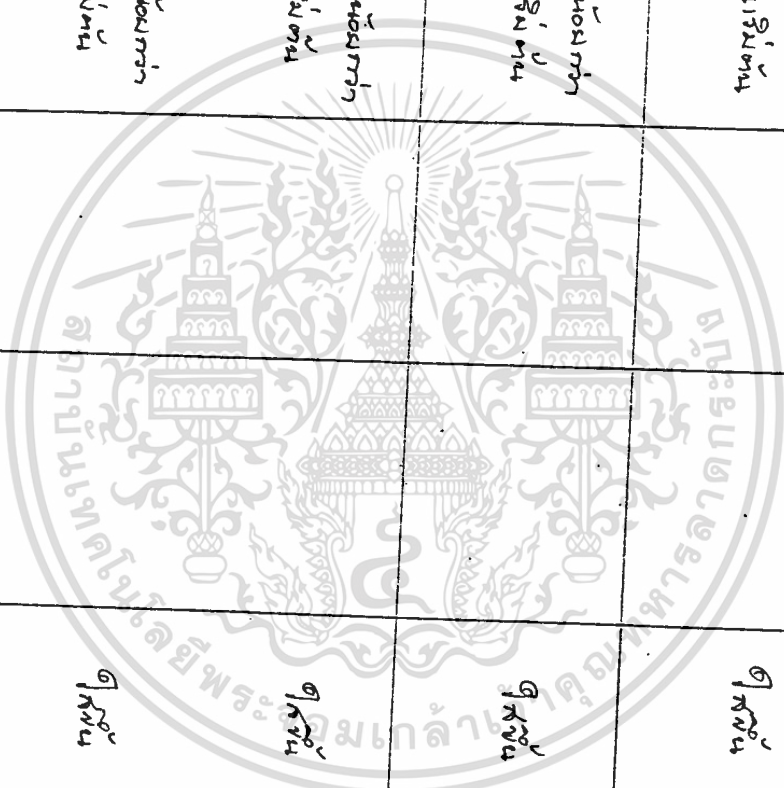
ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิน		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	
66.	453	590	590	450° นมผงมาก น้ำขุ่นนม	550°	650° เกือบแห้ง	450° ฟlocs ของแข็ง	550°	650° เหนียวมาก
67	488 กตกริบ	589	589	450° นมผงเทา ก้นของเริ่มตัน	550°	650° เกือบตัน	450° ฟlocs ของแข็ง	550°	650° เหนียวมาก
68	428	583	583	450° นมผงเทา ก้นของเริ่มตัน	550°	650° เกือบตัน	450° ฟlocs ของแข็ง	550°	650° เหนียวมาก
69	430 สีเทา ขุ่นมาก	600	600	450° นมผงเทา ก้นของเริ่มตัน	550°	650° เกือบตัน	450° ฟlocs ของแข็ง	550°	650° เหนียวมาก
70	449	616	616	450° นมผงเทา ก้นของเริ่มตัน	550°	650° เกือบตัน	450° ฟlocs ของแข็ง	550°	650° เหนียวมาก

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของซีงข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิบ	
	450°	550°	650°	550°	650°	450°	550°	650°
Y1	465		638	น้อยเท่ากัน ตอนเริ่มต้น	น้อยเท่ากัน ตอนเริ่มต้น (ที่ร้อนมาก)	น้อยมาก		เค็มจืดมาก
Y2	460			น้อยเท่ากัน ตอนเริ่มต้น		น้อยมาก		
Y3	464			น้อยเท่ากัน ตอนเริ่มต้น		น้อยมาก		
Y4	455			น้อยเท่ากัน ตอนเริ่มต้น		จืดปน		
Y5	448			น้อยเท่ากัน ตอนเริ่มต้น		จืดปน		

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของขังข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง		ลักษณะของน้ำมันดิบ	
	450°	550°	650°	550°	650°	450°	550°
76	430 ปกติ			น้อยกว่าที่ ตอนเริ่มต้น		๑ ครั้ง	
77	417			น้อยกว่า ตอนเริ่มต้น		๑ ครั้ง	
78	418			น้อยกว่า ตอนเริ่มต้น		๑ ครั้ง	
79	434 ผิดปกติ			น้อยกว่า ตอนเริ่มต้น		๑ ครั้ง	
80	463			น้อยกว่า ตอนเริ่มต้น		๑ ครั้ง	

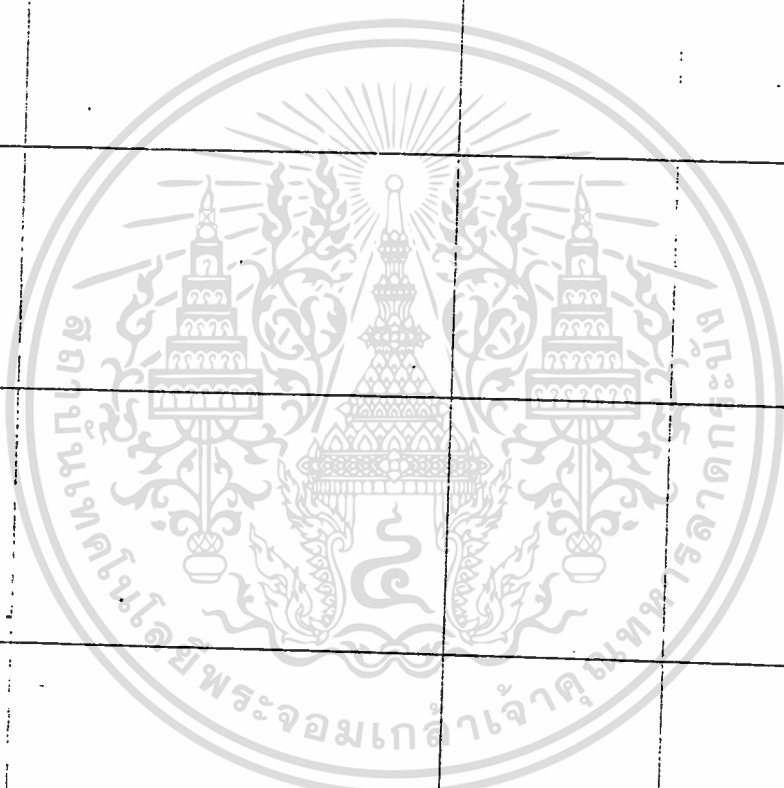


ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันกับอุณหภูมิต่าง ๆ ของซังข้าวโพด (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง		ลักษณะของน้ำมันกับ	
	450°	550°	650°	450°	550°	450°	650°
q1	475			ออกหมอก ตอนเริ่มต้น		กลิ่น	
q2	473			ออกหมอก ตอนเริ่มต้น (กลิ่นหอม)		กลิ่น	
q3							

นาฬิกาแดดที่วัดพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร 290, 290, 300 องศา ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C, 550°C, 650°C และอุณหภูมิในหอ 22°C, 32°C, 22°C ตามที่ต่อ

ช่วง (mln)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของท่งที่ขื่อเพลิง			ลักษณะของใบไม้ที่ใบ		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
1	28	32	28						
2	31	34	34						
3	41	42	43						
4	65	58	60						
5	71	81	86						



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซที่ ซัก เพลิง และลักษณะของปริมาณดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผักตบชวา (ต่อ)

สูง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซที่ ซัก เพลิง			ลักษณะของปริมาณดิน		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
6	121	108	101	ควันขาวแรง พุ่งขึ้น	ควันเริ่มลดลง				
๗	1๗6	186	121	ควันขาวแรง พุ่งขึ้น ที่ตลอดจนมาก	ควันสีขาว เบาบางมาก	ควันเริ่มลดลง			
8	1๑9	164	145	ควันขาวแรง พุ่งขึ้น ที่ตลอดจนมาก	ควันเริ่มพุ่ง ลดลงแรงขึ้น	ควันขาว 11ตัว หนักกว่าเดิม			
9	233	1๑4	1๗4	ควันหนาขึ้น พุ่งแรงขึ้น	ควันเริ่มพุ่ง ลดลงแรงขึ้น	ควันขาว 11ตัว หนักกว่าเดิม			
10	2๗6	224	204	ควันพุ่งแรงขึ้น 11ตัวค่อนข้างมาก ช่วงแรก	ควันพุ่งลดลง แรงขึ้น	ควันเบาแล้ว หนักกว่าเดิม			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ให้สำหรับการใช้งานของนักศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซโซลิ่งและลักษณะของน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผักตบชวา (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซโซลิ่ง	ลักษณะของน้ำมันดิน				
	450°	550°	650°		450°	550°	650°		
11	324	257	235	450° ควันพุ่งแรงขึ้น แก๊สสีเทาขาว ช่วงแรก	550° พุ่งแรงขึ้น	650° ควันพุ่งออก ๆ	450° สีฟ้าเข้มแดง	550° สีฟ้าเข้มแดง	650° ควันพุ่งออก ๆ
12	364	289	269	450° ควันหนาขึ้น พุ่งแรงขึ้น	550° สีฟ้าเข้ม ออกเร็ว	650° ควันพุ่งออก ๆ	450° สีฟ้าเข้ม ความหนืด เล็กน้อย	550° สีฟ้าเข้มแดง	650° ควันพุ่งออก ๆ
15	400	322	312	450° ควันพุ่งแรงขึ้น แก๊สสีเทาเข้ม	550° สีฟ้าเข้ม ออกเร็ว	650° ควันพุ่งออก ๆ	450° สีฟ้าเข้ม ความหนืด เล็กน้อย	550° สีฟ้าเข้มแดง	650° ควันพุ่งออก ๆ
14	447	358	345	450° ควันหนาขึ้น พุ่งแรงขึ้น แก๊สสีเทา	550° สีฟ้าเข้ม ออกเร็ว	650° ควันพุ่งออก ๆ	450° สีฟ้าเข้ม ความหนืด เล็กน้อย	550° สีฟ้าเข้มแดง	650° ควันพุ่งออก ๆ
15	490	395	395	450° ควันหนาขึ้น พุ่งแรงขึ้น แก๊สสีเทา	550° สีฟ้าเข้ม ออกเร็ว	650° ควันพุ่งออก ๆ	450° สีฟ้าเข้ม ความหนืด เล็กน้อย	550° สีฟ้าเข้มแดง	650° ควันพุ่งออก ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซในชื่อเพลิงและลักษณะของปริมาณดินอุณหภูมิต่าง ๆ ของผักตบชวา (ต่อ)

ช่วงเวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซในชื่อเพลิง	ลักษณะของปริมาณดิน				
	450°	550°	650°		450°	550°	650°		
16	500	432	430	450° ดินเหนียวขึ้น ฟูแรงขึ้นแต่ ฟูไม่ค่อย ฟูดี	550° ดินสีขาวออก ทาสีเทา	650° ดินฟู ออกมาก	450° ฟูเพิ่มขึ้น ความฟูดี เกือบเต็ม	550° เริ่มดำเพิ่มขึ้น	650° สีดำเพิ่มขึ้น ฟูเกือบเต็ม
18	504	469	436	ดินเหนียวขึ้น ฟูแรงขึ้นแต่ ฟูไม่ค่อย	ดินสีขาว ออกมาก	ดินฟู ออกมาก	ฟูเพิ่มขึ้น ความฟูดี เกือบเต็ม	เริ่มดำเพิ่มขึ้น	สีดำเพิ่มขึ้น
19	499	506	518	ดินเริ่มฟู ฟูแรงขึ้น ฟูดี	ดินสีขาว ฟูมาก	ดินเริ่มฟู ฟูดี	ฟูเพิ่มขึ้น ฟูดี เกือบเต็ม	สีดำเพิ่มขึ้น	สีดำเพิ่มขึ้น
20	493	521	540	ดินฟู ฟูดี	ดินสีขาว ฟูมาก	ดินเริ่มฟู ฟูดี	ฟูเพิ่มขึ้น ฟูดี เกือบเต็ม	สีดำเพิ่มขึ้น	สีดำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ประกอบการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบอุณหภูมิต่าง ๆ ของฝักขี้หว้า (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง				ลักษณะของน้ำมันดิบ:		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°	
21	458	547	614	ควันขาวและ ฟูบดกปนผสม	กลิ่นเหม็นหืน บวก	กลิ่นเริ่มขมขื่น และฟูบดกเร็วมาก คือฟูบดกต่อเนื่อง	สีใสลดก เหลืองปน ของเหลว	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน
22	448 ปกติมาก	590	645 ปกติมาก หรือขาว	ควันขาวปกติ และฟูบดกเล็กน้อย	กลิ่นฉุนเล็กน้อย	กลิ่นเริ่มขมขื่น และฟูบดกเร็วมาก ฟูบดกปกติ	สีใสลดก เหลืองปน ของเหลว	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน
23	422	542	663	ควันขาวปกติ และฟูบดกเล็กน้อย	กลิ่นฉุนเล็กน้อย	กลิ่นขมขื่น และฟูบดกเร็วมาก ฟูบดกปกติ	สีใสลดก เหลืองปน ของเหลว	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน
24	415	569	666	ควันขาวปกติ และฟูบดกเล็กน้อย	กลิ่นเริ่มขมขื่น	กลิ่นขมขื่น และฟูบดกเร็วมาก ฟูบดกปกติ	สีใสลดก เหลืองปน ของเหลว	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน
25	414	553	659	ควันขาวปกติ และฟูบดกเล็กน้อย	กลิ่นเริ่มขมขื่น	กลิ่นขมขื่น และฟูบดกเร็วมาก ฟูบดกปกติ	สีใสลดก เหลืองปน ของเหลว	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน	สีใสเพิ่มปน

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฝักตบขวา (ต่อ)

เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง				ลักษณะของน้ำมันดิน	
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
26	496 ผู้ถูกรบกวน	532 ปกติ	645 ปกติ	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	สีใส	สีใส	สีใส
19	464	524	622 ปกติ	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	สีใส	สีใส	สีใส
24	485	522	612	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	สีใส	สีใส	สีใส
24	482	531	614	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	สีใส	สีใส	สีใส
30	486	544 ผู้ถูกรบกวน	681	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	ส่วนใหญ่เหลว	สีใส	สีใส	สีใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการพิธีกรรมเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซซีโอไลต์ และลักษณะของน้ำมันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผักขบขาว (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซซีโอไลต์				ลักษณะของน้ำมันดิน	
	450°	550°	650°	550°	650°	450°	550°	650°	
31	428	565	614 พักการ ทำงาน	ควันสีขาว เมื่อดอกซีโอ ไลต์ มาก	กลิ่นสีออก ขาว มาก กลิ่นเค็ม มาก	สีน้ำตาล เข้ม ปน	สีน้ำตาล ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	
32	466	521	662	ควันขาว มาก กลิ่น ฉุน	กลิ่นสีออก ขาว ปน กลิ่นเค็ม ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	สีน้ำตาล ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	
33	452	568	661	ควันขาว มาก กลิ่น ฉุน	กลิ่นสีออก ขาว ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	สีน้ำตาล ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	
34	492	560	653	ควันขาว มาก กลิ่น ฉุน	กลิ่นสีออก ขาว ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	สีน้ำตาล ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	
35	428	542	692	ควันสีออก ขาว มาก กลิ่น ฉุน	กลิ่นสีออก ขาว ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	สีน้ำตาล ปน	สีน้ำตาล เข้ม ปน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในท้องถิ่นเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซที่ปล่อยและลักษณะของกากที่เหลือจากชุดปฏิกรณ์ต่าง ๆ ของฝักเตาเผา (ต่อ)

ช่วงเวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			อุณหภูมิของก๊าซที่ปล่อย	ลักษณะของกากที่เหลือ				
	450°	550°	650°		450°	550°	650°	550°	650°
41	490	560	664	450°	ออกหมอก สีดำ	ควันออกน้อย มากเมื่ออากาศเย็น ๆ	สีใสออกเหลืองปน นวลเทา	สีดำเข้ม เทาปนขาว	สีดำเทาปน ค่อนข้างขาว
42	445	574	654	450°	ออกหมอก สีเทา	ควันออกน้อย มากเมื่ออากาศเย็น ๆ	สีใสออก เหลืองปน นวลเทา	สีดำเข้ม เทาปนขาว	สีดำเทาปน ค่อนข้างขาว
43	475	572	644	450°	ออกหมอก สีเทา	ควันออกน้อย มากเมื่ออากาศเย็น ๆ	สีใสออก เหลืองปน นวลเทา	สีดำเข้ม เทาปนขาว	สีดำเทาปน ค่อนข้างขาว
44	463	571	631 ลดสิทธิ์	450°	ออกหมอก สีเทา	ควันออกน้อย มากเมื่ออากาศเย็น ๆ	สีใสออก เหลืองปน นวลเทา	สีดำเข้ม เทาปนขาว	สีดำเทาปน ค่อนข้างขาว
45	444	560	614	450°	ออกหมอก สีเทา	ควันออกน้อย มากเมื่ออากาศเย็น ๆ	สีใสออก เหลืองปน นวลเทา	สีดำเข้ม เทาปนขาว	สีดำเทาปน ค่อนข้างขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นสังกัด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซไอเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบอุณหภูมิต่าง ๆ ของฝักทบขาว (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซไอเชื้อเพลิง			ลักษณะของน้ำมันดิบ		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°
46	435 ปกติ ปกติ	546 ปกติ	608 ปกติ	450° กลิ่นเหม็น ฉุนๆ	550° กลิ่นออกฉุน เหม็นคาว	650° กลิ่นออกฉุน เหม็นไหม้	450° สีออก เหลืองปน ขุ่น	550° สีน้ำตาล ปน	650° สีน้ำตาล ปน
47	422	531	612	450° กลิ่นเหม็น ฉุนๆ	550° กลิ่นออกฉุน เหม็นคาว	650° กลิ่นออกฉุน เหม็นไหม้	450° สีออก เหลืองปน ขุ่น	550° สีน้ำตาล ปน	650° สีน้ำตาล ปน
48	415	519	635	450° กลิ่นเหม็น ฉุนๆ	550° กลิ่นออกฉุน เหม็นคาว	650° กลิ่นออกฉุน เหม็นไหม้	450° สีออก เหลืองปน ขุ่น	550° สีน้ำตาล ปน	650° สีน้ำตาล ปน
49	432	518	656	450° กลิ่นเหม็น ฉุนๆ	550° กลิ่นออกฉุน เหม็นคาว	650° กลิ่นออกฉุน เหม็นไหม้	450° สีออก เหลืองปน ขุ่น	550° สีน้ำตาล ปน	650° สีน้ำตาล ปน
50	457 ปกติ ทวน	529	666	450° กลิ่นเหม็น ฉุนๆ	550° กลิ่นออกฉุน เหม็นคาว	650° กลิ่นออกฉุน เหม็นไหม้	450° สีออก เหลืองปน ขุ่น	550° สีน้ำตาล ปน	650° สีน้ำตาล ปน

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของฟ้าๆ ชื่อเพลิงและลักษณะของฟ้ามันดินที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฝักชมพูวา (ต่อ)

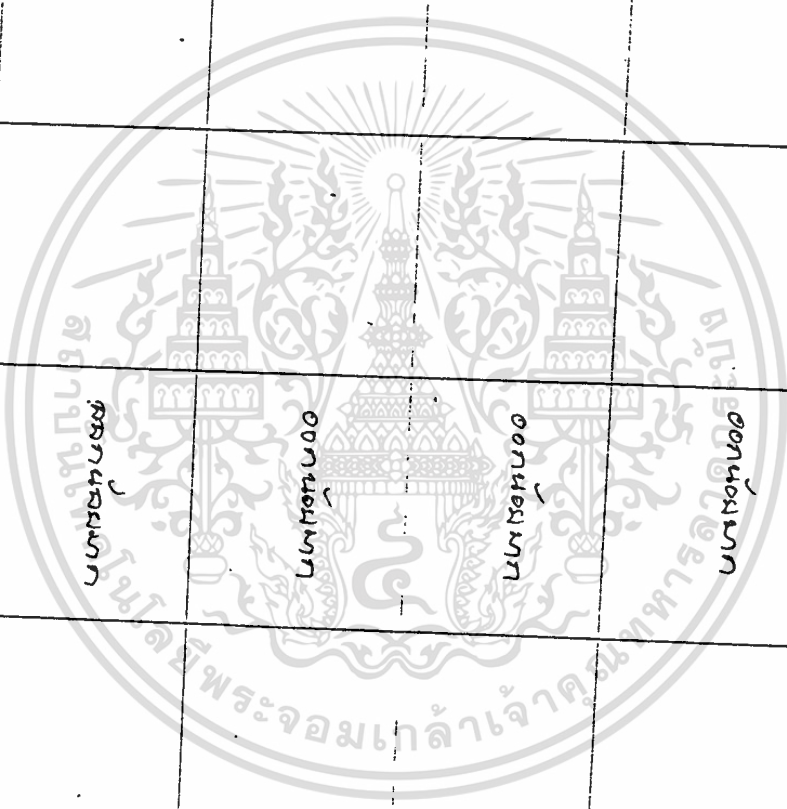
พิจ เวลา	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของฟ้าๆ ชื่อเพลิง			ลักษณะของฟ้ามันดิน			
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	650°	
51	480	548	664	ต้นชมพูมาก	ดอกชมพูมาก	คื่นออกเล็กน้อย แต่มีกลิ่นหอม	สีใสดอก เหลืองปน ทองแดง	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาลปน ค่อนข้างมาก
52	489	568	652	ต้นชมพูมาก	ดอกชมพูมาก	คื่นออกเล็กน้อย แต่มีกลิ่นหอม	สีใสดอก เหลืองปน ทองแดง	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาลปน ค่อนข้างมาก
53	488	576	632	ต้นชมพูมาก	ดอกชมพูมาก	คื่นออกเล็กน้อย แต่มีกลิ่นหอม	สีใสดอก เหลืองปน ทองแดง	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาลปน ค่อนข้างมาก
54	480	574	619	ต้นชมพูมาก	ดอกชมพูมาก	คื่นออกเล็กน้อย	สีใสดอก เหลืองปน ทองแดง	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาลปน ค่อนข้างมาก
55	469	561	612	ต้นชมพูมาก	ดอกชมพูมาก	คื่นออกเล็กน้อย	สีใสดอก เหลืองปน ทองแดง	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาล น้ำตาลปน น้ำตาล	สีน้ำตาลปน ค่อนข้างมาก

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันดิบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผักตบชวา (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง		ลักษณะของน้ำมันดิบ	
	450°	550°	650°	450°	550°	450°	550°
56	456	553	614	จุดเน้มนมาก	ตกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก
57	438	538	657	จุดเน้มนมาก	ตกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก
58	417	509	657	จุดเน้มนมาก	ตกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก
59	427	509	667	จุดเน้มนมาก	ตกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก
60		520	664	จุดเน้มนมาก	ตกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก	จุดเน้มนอกเน้มนมาก

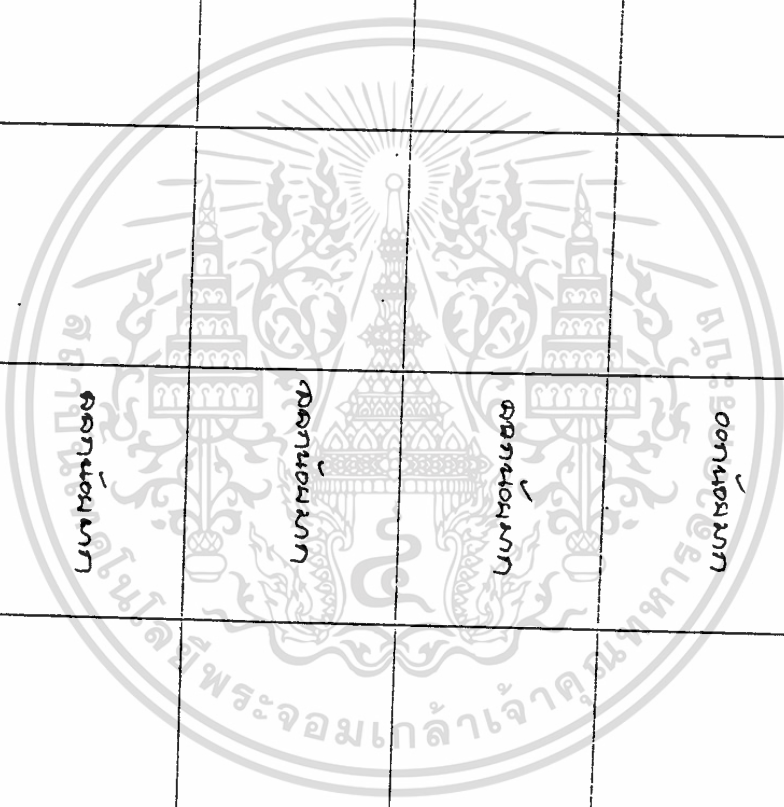
ตารางที่ 4:4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฝักคอบชวา (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง		ลักษณะของน้ำมัน		
	450°	550°	650°	450°	550°	450°	550°	
61			652				650°	สีออกนํ้า เทา
62			635					สีออกนํ้า เทา
63			619					สีออกนํ้า เทา
64			613					สีออกนํ้า เทา
65			634					สีออกนํ้า เทา



ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฝักขงวา (ค้อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)		ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง		ลักษณะของน้ำมัน	
	450°	550°	450°	550°	450°	550°
66					ออกน้อยมาก	ออกน้อยมาก
					ออกน้อยมาก	ออกน้อยมาก
67					ออกน้อยมาก	ออกน้อยมาก
68					ออกน้อยมาก	ออกน้อยมาก
69					ออกน้อยมาก	ออกน้อยมาก
70					ออกน้อยมาก	ออกน้อยมาก



ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะของน้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผักตบชวา (ต่อ)

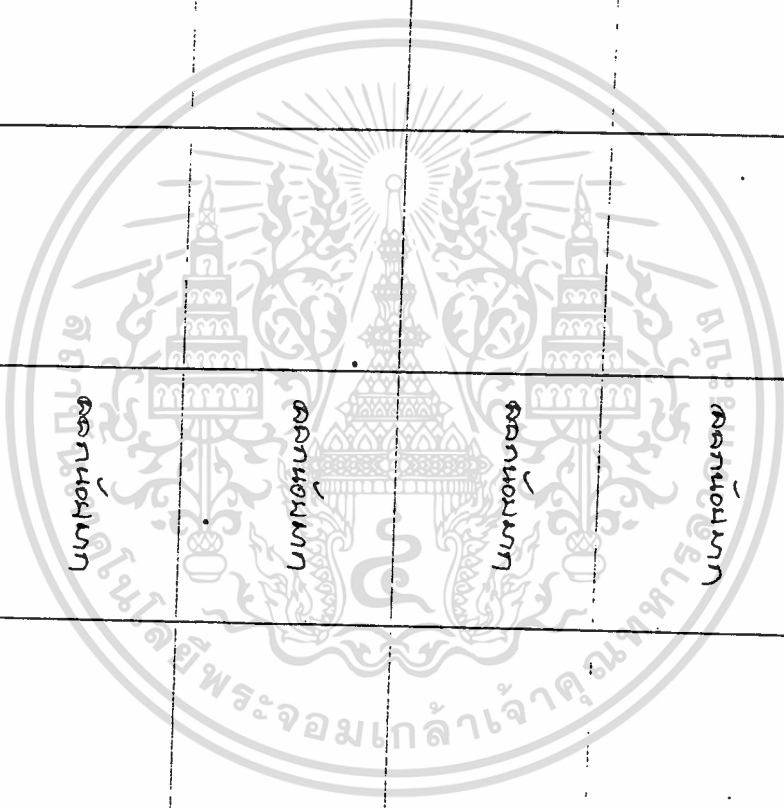
ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)			ลักษณะของก๊าซเชื้อเพลิง			ลักษณะของน้ำมัน		
	450°	550°	650°	450°	550°	650°	450°	550°	
๗1			622			ตลกน้อยมาก			สีออกน้มน้ำ
๗2			615			ตลกน้อยมาก			สีออกน้มน้ำ
๗3			623			ตลกน้อยมาก			สีออกน้มน้ำ
๗4			642			ตลกน้อยมาก			สีออกน้มน้ำ
			อัตราการ ทำงา			ตลกน้อยมาก			สีออกน้มน้ำ
๗5			662			ตลกน้อยมาก			สีออกน้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของก๊าซไอเพลิงและลักษณะของน้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของผักชวา (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)		ลักษณะของก๊าซไอเพลิง		ลักษณะของน้ำมันดิบ	
	450°	550°	450°	550°	450°	550°
๕๖		668		650° ตลกน้อยมาก		650° สีเหลืองน้อยมาก
๕๗		662		650° ตลกน้อยมาก		650° สีเหลืองน้อยมาก
๕๘		649		650° ตลกน้อยมาก		650° สีเหลืองน้อยมาก
๕๙		639		650° ตลกน้อยมาก		650° สีเหลืองน้อยมาก
๘๐		62๕		650° ตลกน้อยมาก (ที่ชัดเจน)		650° สีเหลืองน้อยมาก



ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ต่ำกว่าการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ช่วงช้าไปค) สำหรับช่วงช้าไปค 400, 345, 340 และ 330 องศาเซลเซียส

ช่วงเวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
1	22	22	24				22.9	
2	92	30	31				31	
3	47	48	42				44	
4	74	66	61				67	
5	110	98	84				98.6	
6	151 ตามเงื่อนไข	183	120				134.6	
7	141	164 ตามเงื่อนไข	151	4			170	
8	234	199	176		4.5		208	
9	240	234 ตามเงื่อนไข	192 ตามเงื่อนไข				235.3	
10	315 ตามเงื่อนไข	267	201				261	3
11	342	304	204			0.5	243.3	
12	361	396	205				307.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัววัด การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
13	423	364	225	13	16	10	337.3	13
14	466 ต่อการทดลอง	394	250				370	
15	488	445 ต่อการทดลอง	279				404	
16	490	489	310				429.6	
17	497	518	342				447.3	
18	479	511	380	12.5			456.6	
19	465	500	420		11.5		461.6	
20	449	489	457 ต่อการทดลอง				465	
21	499 ต่อการทดลอง	467	474			17	458	13.6
22	421	447	486				451.3	
23	422	428 ต่อการทดลอง	496	3	2.5		445.3	
24	435	415	477			6.5	442.3	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
25	451 ปกติ	417	463	4	2	3	445.3	
26	465	434	447				448.6	
27	462	456 ปกติ	430 ปกติ				450	
28	452	469	416	3	3	446.3		
29	499 ปกติ	467	424			448.3		
30	425	456	436			439		
31	423	441	458 ปกติ	3	3	440.1	3.3	
32	434	426 ปกติ	470			443.3		
33	455 ปกติ	424	471			450		
34	467	437 ปกติ	464	1.5	2	456	1.92	
35	466	457	456			454.3		
36	457	465	443			455		

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
49	424	415	471	0.5			436.6	
50	436 พักการทำงาน	417	465				440	
51	458	432	454		0.6		448	0.56
52	467	453 พักการทำงาน	440				453.3	
53	464	464	427 กดสิทธิ์	0.67			451.6	
54	453	463	433		0.5		444.6	
55	434 กดสิทธิ์	454	454 พักการทำงาน				449	
56	425	441	469			0.8	445	0.65
57	423	427 กดสิทธิ์	471				440.3	
58	436	429	464	0.5			441	
59	457 กดสิทธิ์	434	453		0.3		448	
60	466	453 พักการทำงาน	439			0.5	452.1	0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้ออกการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
61	1	463		0.53	0.4	0.45	454	0.46
	2	462					444.3	
62	1	453		0.45	0.4	0.24	444.3	0.37
	2	450					434	
63	1	440		0.4	0.4	0.24	440.6	0.37
	2	450					444.3	
64	1	426	กดรีทอร์ท	0.45	0.4	0.24	438.6	0.46
	2	436	กดรีทอร์ท				442	
65	1	424		0.45	0.4	0.24	438.3	0.46
	2	422					442	
66	1	436		0.45	0.4	0.24	442	0.46
	2	419					442	
67	1	456	กดรีทอร์ท	0.45	0.4	0.24	450.3	0.46
	2	430					457	
68	1	466		0.45	0.4	0.24	457	0.46
	2	457	กดรีทอร์ท				455.6	
69	1	463		0.45	0.4	0.24	455.6	0.46
	2	464					447.6	
70	1	453		0.45	0.4	0.24	455.6	0.46
	2	464					458.6	
71	1	434		0.45	0.4	0.24	458.6	0.46
	2	456					434	
72	1	426	กดรีทอร์ท	0.45	0.4	0.24	434	0.46
	2	444					432	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ต่ำกว่าการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
73	421	429	452	0.35	0.37		434	
74	482	422	466				440	
75	452	428	467				449	
76	462	448	456			0.22	455.3	0.31
77	465 (กะป๋อง)	463	449		0.33		458.6	
78		464	434				449	
79		457	423				440	
80		445	426				435.5	
81		431	442			0.18	436.5	0.51
82		423	461				442	
83		430	467		0.31		448.5	
84		449	463			0.1	456	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้ออกจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในของบรรจุช่วงเวลา การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
q5		462	453				457.5	
q6		463	434 ปกติ				451	
q7		453	424				438.5	
q8		442	423		0.25		432.5	
q9		428 ปกติ	435				431.5	
q0		423	456 ปกติ			0.18	439.5	
q1		495	468				451.5	
q2		452 ผิดปกติ	469				460.5	0.215
q3		463	461				462	
q4		462	450		0.25		456	
q5		454	436 ปกติ			0.07	445	0.16
q6		441 ปกติ	421				431	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการ Evaporize ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล			ปริมาณน้ำในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
97		423	417				420	
98		425	427				426	
99		436	441		0.22		442.5	0.22
100		451	468				461	
101		462	472 (ยกเว้น)				467	
102		459					459	
103		449					449	
104		435			0.16		435	0.16
105		424					424	
106		426					426	
107		442					442	
108		459					459	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่หักการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ซึ่งอาจไม่คงที่) ของแก๊สที่อุณหภูมิ 350, 380, 410 และ 440 °C ในการทดลอง 1, 2, 3 และ 4 (แสดงเวลาที่ 350, 380, 410 และ 440 °C ตามลำดับ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
1	31	26	32	9.5	2.5	2.5	29.6	2.85
2	34	29	36				33	
3	53	40	46				46.3	
4	83	63	67				71	
5	101	91	96				96	
6	134	125	128				130.6	
7	172	159	160				165.3	
8	216	195	191				200.6	
9	254	225	222				233.6	
10	290	264	250				266	
11	316	296	274				297	
12	348	334	309				330.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่สกัดการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550 °C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	คุณสมบัติภายในของบรรจุขวด			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
13	562	370	842	1		3	364.6	
14	418	412	574	16	14	12	401.3	14.
15	466	456	411				444.3	
16	519	447	440				495	
17	561 ช่องกรทำงาน	517	486				521.3	
18	562	546 ช่องกรทำงาน	520			20	529.3	
19	574	568	548 ช่องกรทำงาน	15.8	16		564.6	17.16
20	560	569	572				567	
21	548	557	570				556.6	
22	523 กดรีเซ็ต	540	566				543	
23	516	518 กดรีเซ็ต	553	2.85	3	0	529	4.95
24	525	507	534 กดรีเซ็ต				529	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ส่งจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุที่มวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
25	543 พักการทววน	504	515	1	2	3	522.3	2.22
26	557	522	504				524.3	
27	555	541 พักการทววน	517				537.6	
28	543	557	531	2.55	2.6	3	544.6	2.28
29	524 พักการทววน	557	544				544.6	
30	523	546	555				541.3	
31	535	531 พักการทววน	544	2.45	2.4	2.45	538.3	2.24
32	553 พักการทววน	524	536 พักการทววน				537.6	
33	557	532	524				537.6	
34	544	548 พักการทววน	523	2	2.4	2.45	537.6	2.24
35	534 พักการทววน	555	535				540	
36	523	550	547				540.6	
							540	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ส่งจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในปลงเบรจช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
37	528	59L กคสรีทซ์	553	1	2	3	539	V
							534.3	
38	545 พดกรทรวงวน	525	548	1.75	2.1	3	540	2.26
							534.3	
40	555	541 พดกรทรวงวน	523	1.75	2.1	3	539.6	2.26
							540	
41	542	554	523	1.75	2.1	3	534.6	2.26
							534.6	
42	525 กคสรีทซ์	552	534	1.75	2.1	3	537	2.26
							537	
43	512	542	549 พดกรทรวงวน	1.3	2	1.4	534.3	1.73
							534.3	
44	514	527 กคสรีทซ์	554	1.3	2	1.4	531.6	1.73
							531.6	
45	532	517	548	1.3	2	1.4	532.3	1.73
							532.3	
46	556 พดกรทรวงวน	521	534 กคสรีทซ์	1.3	2	1.4	537	1.73
							537	
47	565	537	523	1.3	2	1.4	541.6	1.73
							541.6	
49	554	555 พดกรทรวงวน	524	1.3	2	1.4	546	1.73
							546	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
49	545	554	535					
50	524 ภาคใต้	550	548 ภาคใต้	1.5	1.8	1.5	546	1.6
							ภาคใต้	
51	523		535 ภาคใต้					
52	533	524	546					
53	553 ภาคใต้	524	538 ภาคใต้	1.25	1.5	1.7	534.3	1.46
							ภาคใต้	
54	557	548 ภาคใต้	520 ภาคใต้	1.25	1.5	1.7	536.6	1.46
							ภาคใต้	
55	552	555	519	1.25	1.5	1.7	540.6	1.46
							ภาคใต้	
56	534 ภาคใต้	552	524	1.25	1.5	1.7	542	1.46
							ภาคใต้	
57	523	541	546 ภาคใต้	1.25	1.5	1.7	539.3	1.46
							ภาคใต้	
58	524	527 ภาคใต้	554	1.25	1.5	1.7	536.6	1.46
							ภาคใต้	
59	534 ภาคใต้	525	552	1.25	1.5	1.7	535	1.06
							ภาคใต้	
60	552	536	541 ภาคใต้	1.25	1.5	1.7	534.6	1.06
							ภาคใต้	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่逸จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วงเวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
61	558	553 พักการทำงาน	526	1	2	3	545.6	0.63
62	544	556	510	0.3	0.3	538.3		
63	534 พักการทำงาน	548	508			530		
64	524	535 พักการทำงาน	512	0.5	0.3	526.3		
65	530	526	533			524.6		
66	542 พักการทำงาน	532	552 พักการทำงาน	0.6	0.6	542		
67	558	540 พักการทำงาน	554			555		
68	553	555	554			554		
69	541	550	541	0.21	0.5	554		
70	526 พักการทำงาน	538 พักการทำงาน	526 พักการทำงาน			544		
71	525	527	520			530		
72	534 พักการทำงาน	530	527	0.43	0.43	524		
			530					

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
73	557	546 พักกรรทรวงาน	541 พักกรรทรวงาน	0.05	0.35	0.45	548	0.28
74	556	555	553				554.6	
75	546	551	553				550	
76	531 กคสรีทซ์	539 กคสรีทซ์	545				537.6	
77	516	527	529 กคสรีทซ์				524	
78	519	529	523			0.3	523.3	0.3
79	535 (กะป๋าม)	542 พักกรรทรวงาน	528		0.3		535	
80		555	548 พักกรรทรวงาน				549	
81		554	553				553.5	
82		548	550				546.5	
83		528 กคสรีทซ์	538 กคสรีทซ์		0.25	1.25	533	0.75
84		526	524				525	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุที่วามวล การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
45		537 พักการทำงาน	520				528.5	
46		554	527				540.5	
47		555	541				548	
48		545	553			2.5	549	1.35
49		531 พักการทำงาน	552		0.2		541.5	
49		524	541				532.5	
49		531	527 พักการทำงาน				529	
49		548 พักการทำงาน	521				534.5	
49		556	526			0.15	541	0.16
49		551	540 พักการทำงาน		0.18		545.5	
49		539	553				546	
46		526 พักการทำงาน	552				548	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวอย่าง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
	1	2	3					
97		526.5 ภาคเหนือ	549				534	
98		541 ภาคเหนือ	528 ภาคเหนือ				534.5	0.125
99		554	521	0.1			537.5	
100		554	527				540.5	
101		544	541 ภาคเหนือ				542.5	
102		530.5 ภาคเหนือ	554				542	
103		525	552		0.14		538.5	0.045
104		534	542				538	
105		551 ภาคเหนือ	527 ภาคเหนือ				539	
106		555 (ควบคุม)	520 (ควบคุม)				537.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ติดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ซึ่งทำโดย) น้ำหนักสารใน ๓๑, ๓๕๐, ๓๕๐ กรัมในการทดลอง 1, 2, 3 และอุณหภูมิใน ๓๐°C, ๔๓°C, ๔๓°C ตามลำดับ

ช่วงเวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุวัสดุ			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง 1	การทดลอง 2	การทดลอง 3	1	2	3	T	V
1	๕๐	๔๓	๔๓				๔๒.๓	
2	๓๔	๔๓	๓๑				๓๐.๖	
3	๔๖	๓๑	๓๘				๔๑	
4	๓๐	๖๒	๖๑				๖๔.๓	
5	๑๐๑	๑๒	๑๓				๑๕.๓	
6	๑๓๕	๑๒๘	๑๓๐				๑๓๑.๖	
๗	๑๓๘	๑๖๖	๑๓๐				๑๓๑.๓	
8	๒๑๒	๒๐๔	๒๐๕				๒๐๒	๔.๓
9	๒๔๖	๒๓๑	๒๔๐	๔.๕	๔	๔.๕	๒๔๑.๖	
10	๒๓๘	๒๓๔	๒๓๔				๒๓๔.๔	
11	๓๐๑	๓๐๔	๓๑๐				๓๐๔.๓	
12	๓๕๕	๓๕๓	๓๕๕				๓๕๑	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้ออกการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
19	402	366	372	16	19	14	580	14.3
14	438	396	400	16	19	14	411.5	
15	492	481	482	16	19	14	451.6	14.3
16	536	462	464	16	19	14	447.5	
17	568	501	502	20	20	21	523.6	20.3
18	593	528	520	20	20	21	547	
19	620	553	552	20	20	21	575	20.3
20	640 * ผลการทดลอง	583	585	20	20	21	602.6	
21	654	608	610	20	20	21	624	20.3
22	653	623	622	20	20	21	634.3	
23	657 * ผลการทดลอง	640 * ผลการทดลอง	638 * ผลการทดลอง	20	20	21	638.3	12.7
24	618	651	653	20	20	21	640.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุขวด			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
25	615	645	642				633.3	
26	621	628 ภาครีโท	622 ภาครีโท				625.3	
27	636	612	610				619.3	
28	649 ภากรรทวง	602	602	6.2	6	6	621	6.06
29	646	611	610				622.3	
30	632 ภาครีโท	622	623				625.6	
31	621	636	632				631.3	
32	626	642 ภากรรทวง	646 ภากรรทวง				639.6	
33	640 ภากรรทวง	642	641				641	
34	650	629 ภาครีโท	628 ภาครีโท	3	2	8	635.6	6
35	644	626	624				631.3	
36	628 ภาครีโท	633	632				631	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในของบรรจุตัวอย่าง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
37	615	644	645	2.15	3	3.5	634.6	2.48
38	618	646	647				637	
39	630	635	635	2.15	3	3.5	633.3	2.48
40	641	619	618				628	
41	650	614	612				625.3	
42	639	620	619	2.15	3	3.5	626	2.48
43	623	632	630				628.3	
44	619	646	645	2.3	1.5	2	636.5	1.93
45	627	647	648				640.6	
46	643	655	638	2.3	1.5	2	637	1.93
47	651	620	620				630.3	
48	642	617	615	2.3	1.5	2	624.6	1.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุวัสดุ			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
49	1	646 ปกติ	625	627	1	0.52	626	0.7
	2	622	642 พักการทำงาน	649 พักการทำงาน				
50	1	630	650	649	1	0.6	655.6	0.7
	2	646 พักการทำงาน	644	642				
51	1	649	680 ปกติ	628 ปกติ	0.6	0.4	635.6	0.49
	2	649	624	623				
52	1	621 ปกติ	630	627	0.6	0.45	625.6	0.49
	2	649	624	623				
53	1	618	643 พักการทำงาน	643 พักการทำงาน	0.6	0.4	626	0.49
	2	649	624	623				
54	1	628	647	647	0.6	0.4	641.3	0.32
	2	646 พักการทำงาน	637 ปกติ	639 ปกติ				
55	1	650	622	620	0.6	0.3	640.6	0.32
	2	649	622	620				
56	1	640	620	617	0.6	0.25	630.6	0.32
	2	640	620	617				
57	1	625.6	625.6	625.6	0.6	0.25	625.6	0.32
	2	625.6	625.6	625.6				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ต่างจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุวัสดุ			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
61	621 ภาคสิทธิ์	628	626 ภาคสิทธิ์	0.35	0.25	0.12	625	0.26
	ภาคสิทธิ์							
62	608	642 ภาคสิทธิ์	645 ภาคสิทธิ์	0.35	0.25	0.12	631	0.26
	ภาคสิทธิ์							
63	610	648	648	0.35	0.25	0.12	635.3	0.26
	ภาคสิทธิ์							
64	622	651 ภาคสิทธิ์	639 ภาคสิทธิ์	0.35	0.25	0.12	633.3	0.26
	ภาคสิทธิ์							
65	630 ภาคสิทธิ์	626	625	0.35	0.25	0.12	630	0.26
	ภาคสิทธิ์							
66	651	622	628	0.35	0.25	0.12	635.3	0.26
	ภาคสิทธิ์							
67	645	635	634	0.35	0.25	0.12	638	0.26
	ภาคสิทธิ์							
68	628 ภาคสิทธิ์	642 ภาคสิทธิ์	648 ภาคสิทธิ์	0.35	0.25	0.12	641	0.26
	ภาคสิทธิ์							
69	612	645	644	0.35	0.25	0.12	633.6	0.26
	ภาคสิทธิ์							
70	610	629 ภาคสิทธิ์	628 ภาคสิทธิ์	0.35	0.25	0.12	622.3	0.26
	ภาคสิทธิ์							
71	621	626	625	0.35	0.25	0.12	624	0.26
	ภาคสิทธิ์							
72	640	632	633	0.35	0.25	0.12	635	0.26

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวอย่าง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
๗๓	๖๕๐	๖๔๔	๖๔๓	0.3	0.1๗	0.15	๖๔๕.๖	0.2
๗๔	๖๔๖	๖๔๖	๖๔๖				๖๔๖.๓	
๗๕	๖๓๐	๖๓๕	๖๓๖	0.3	0.1๕	0.14	๖๓๓.๖	0.2
๗๖	๖๒๑	๖๑๖	๖๑๕				๖๑๘.๖	
๗๗	๖๒๖	๖๑๕	๖๑๔	0.23	0.15	0.14	๖๑๘.๖	0.1๗
๗๘	๖๔๐	๖๒๓	๖๒๕				๖๒๑.๓	
๗๙	๖๔๑	๖๓๖	๖๓๖	0.23	0.15	0.14	๖๔๐.๖	0.1๗
๘๐	๖๔๒	๖๔๘	๖๔๗				๖๔๖.๓	
๘๑	๖๒๖	๖๔๔	๖๔๓	0.25	0.05	0.๐5	๖๕๕.๖	0.12
๘๒	๖๒๐	๖๓๐	๖๓๐				๖๒๖.๖	
๘๓	๖๒๘	๖๑๒	๖๑๑	0.25	0.05	0.๐5	๖๑๗	0.12
๘๔	๖๔๒	๖๐๗	๖๐๕				๖๑๘	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ปล่อยจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
	1	2	3					
85	650	615	615	0.25	0.1	0.1	626.6	0.15
86	641	628	627				632	
87	626 / ปกติ	645 / ผิดปกติ	645 / ผิดปกติ				638.6	
88	622	649	648	0.25	0.1	0.1	639.6	0.15
89	631	640	639				636.6	
90	647 / ผิดปกติ	623 / ปกติ	624 / ปกติ				631.3	
91	649	620	620	0.25	0.1	0.1	629.6	0.15
92	623 / ปกติ	626	626				625	
93	620	639 / ผิดปกติ	638 / ผิดปกติ				632.3	
94	618	648	647	0.15	0.08	0.07	637.6	0.1
95	628	641	640				636.3	
96	644 / ผิดปกติ	627 / ปกติ	626 / ปกติ				632.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณธาตุที่ต่ำกว่าการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล			ปริมาณธาตุในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
47	1	651	624	625	0.2	0.05	633.3	0.1
	2	639	631	629				
99	1	625 ปกติ	648 ผิดปกติ	643 ผิดปกติ	0.05	0.05	637	0.1
	2	623	647	648				
100	1	635	631 ปกติ	631 ปกติ	0.05	0.05	637	0.1
	2	648	619	617				
101	1	648 ผิดปกติ	615 (กษณะ)	614	0.18	0.18	628	0.18
	2	635	614	614				
102	1	654 ปกติ	608 (กษณะ)	608	0.18	0.18	621	0.18
	2	646	614	614				
103	1	618			0.18	0.18	618	0.18
	2	616						
104	1	647 (กษณะ)			0.18	0.18	647	0.18
	2	647						
105	1	647 (กษณะ)			0.18	0.18	647	0.18
	2	647						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ใช้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (น้ำหนักสาร)

น้ำหนักสาร ๕๕๐, ๕๘๐, ๕๙๐, ๕๙๐ กรัมในการทดลอง 1, 2, 3 และอุณหภูมิในท่อ ๕๕๐°C, ๖๕๐°C, ๖๖๐°C

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
1	24	๑4	๑2				๑1.๖	
2	๑2	๑๓	๑๖				๑5	
3	44	45	44				44.๑	
4	6๓	6๑	65				65	
5	๑4	๑4	๑๑				๑0.๑	
6	12๓	11๗	11๑				120.๑	
7	1๖๑	14๓	14๑				153	
8	202	1๓๑	1๓0				1๑3.๖	
9	243	214	215		13	๑	224	
10	2๑๑	250	250	6.5			2๖2.6	๑.1๗
11	32๑	2๑๓	2๑๑				301.๑	
12	๑๓0	๑30	๑30				34๑.๑	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้ออกจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวอย่าง การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
13	413	356	357	1	2	3	375.3	6.3
14	450 พักการทดลอง	392	391	4	5	6	411	
15	486	431	432	6.0			449.6	
16	501	469 พักการทดลอง	470 พักการทดลอง				490	
17	500	493	501				498	
18	491	501	498				496.6	
19	490	498	488		4	5	498.6	
20	465	488	476	1.6			476.3	3.5
21	450	474	460				461.3	
22	434 พักการทดลอง	454	245				446	
23	419	443	428 พักการทดลอง				430	
24	411	428 พักการทดลอง	415				417.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่แตกการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วงเวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวอย่าง การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
25	419	416	417	1	2	3	417.5	1.167
26	438 พักการทดลอง	417	429	1	1	1.5	428.5	
27	465	450	452				449	1.159
28	469	452 พักการทดลอง	450				470.3	
29	488	472	467		2	2	475.6	1.159
30	483	479	454	2.46			472	
31	475	476	435 พักการทดลอง				462	
32	466	462	423				452	0.991
33	447	454	415				434.6	
34	427 พักการทดลอง	408 พักการทดลอง	419		1	1.5	428	
35	413	423	429				421.6	
36	414	413	449 พักการทดลอง				425	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ค้างจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวมวล การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
32	428	415	435	0.46			434.6	
38	454 อัตราการทำงาน	428	492	0.45	0.50	454.6	0.99	
		449 อัตราการทำงาน	491			469.9		
40	486	491	435	0.21		477.5		
41	484	482	461			479.9		
42	435	481	445			467		
43	461	474	435 ปกติ	1.1	1.1	456.9	0.96	
						441		
44	447	462	412			441		
45	432 ปกติ	447	412	0.35		430.9	0.96	
						419		
46	419	481 ปกติ	423			414.9		
47	416	412	438 ปกติ			419.9		
48	428	415	465			435.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ต่างจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
49	453	421	476	0.24	0.45	0.5	160	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
50	476	459	492	0.24	0.45	0.5	165.7	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
51	497	468	477	0.24	0.45	0.5	175.7	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
52	492	479	466	0.24	0.45	0.5	175.7	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
53	471	443	452	0.24	0.45	0.5	169.7	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
54	457	478	493	0.24	0.45	0.5	156	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
55	444	466	416	0.04	0.45	0.5	141.7	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
56	424	451	414	0.04	0.45	0.5	141	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
57	418	434	425	0.04	0.45	0.5	115	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
58	421	419	439	0.04	0.45	0.5	116.9	0.115
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
59	434	413	465	0.35	0.45	0.5	158.6	0.35
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	
60	465	420	476	0.35	0.45	0.5	159	0.35
	ห้องตรวจ						ห้องการทำงาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ส่งจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในของบรรจุชีวมวล การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
61		454 พักทรงดิน	445				116.5	
62		461	474				117.5	
63		478	467				171.5	0.16
64		492	451	0.42	0.45		166.5	
65		478	435 พักทรงดิน				156.5	
66		467	429				145	
67		453	411				191	
68		438 พักทรงดิน	415				116.5	0.15
69		421	430	0.2	0.3		115.5	
70		411	455 พักทรงดิน				199	
71		414	473				114.5	
72		428	445				156.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณที่พบได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุวัสดุ การทดลอง			ปริมาณที่พบในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
๕3		4510 พักกรรทอาน	484				467.5	0.196
๕4		4๕4	476		0.3		196	
๕5		485	462		0.25		199.5	
๕6		484	450				167	0.5๙
๕๗		4๗5	481 พักกรรทอาน				159	
๕8		462	41๗				191.5	
๕9		448	416		0.26	0.5	191	
๖0		4๙2 พักกรรทอาน	426				119	
๖1		418	445 พักกรรทอาน				191.5	0.๙๙
๖2		415	468				111.5	
๖3		424	495				154.5	
๖4		445 พักกรรทอาน	484				164.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ต่ำกว่าการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 450°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวอย่าง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
45		469	475				472	0.15
46		492	469		0.2	0.3	475	
47		494	451				467.5	
48		476	445				460.5	
49		465	491 ภาคสิทธิ์		0.2	0.2	449	0.1
90		450	415				422.5	
91		432 (ครึ่งหลอด)	412 (ครึ่งหลอด)				422	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ต่ำกว่าการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (น้ำหนัก) ของกากบดที่ 250, 280, 320, 350 กรัม/ชั่วโมงที่ทดลอง 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุวัสดุ			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (l)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
1	28	48	90				39.3	
2	61	49	48				42.6	
3	40	57	57				51.3	
4	59	72	74				64.3	
5	87	99	100				99.6	
6	115	116	118				116.3	
7	149 คัมคืนเริ่มออก	149 คัมคืนเริ่มออก	140 คัมคืนเริ่มออก				144	
8	178 คัมคืนเริ่มออก	174	179	3			176.6	
9	228	209 คัมคืนเริ่มออก	201 คัมคืนเริ่มออก	4.5	4.5		212.6	41
10	255	247	245				249	
11	301	248	290				293	
12	346	327	330				324.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ใส่จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
13	392	364	364	1			373.3	
14	434	402	405	8	7	7.5	415	7.5
15	490	440	450				450	
16	522	474	470				488.6	
17	558 ไม่มีการทำงาน	503	503				521.3	
18	580	529	530				546.9	
19	585	551 ไม่มีการทำงาน	553 ไม่มีการทำงาน	8	10.5	11	569	9.8
20	579	565	565				569.6	
21	549	566	560				558.3	
22	530 ไม่มีการทำงาน	561	553				548	
23	515	554	551				540	
24	514	547	547				527	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
25	1	524	536	1.65	4.0	4.0	533	3.116
	2	549	522				533	
27	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	530.3	1.793
	1	568	515				532.6	
29	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	544.3	1.793
	1	573	520				553	
30	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	544.3	1.793
	1	566	533				553	
31	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	552	1.793
	1	534	565				552	
33	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	554.6	1.793
	1	515	554				554.6	
34	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	548.3	1.793
	1	506	545				532	
35	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	532	1.793
	1	512	529				513.3	
36	พักการทดลอง			1.6	1.7	1.9	510	1.793
	1	531	515				510	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุช่วงเวลา การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
37	555 พักการทดลอง	514	513	1.			517.9	
38	572	524	524				510	
39	573	543 พักการทดลอง	548 พักการทดลอง	1.	0.5	0.6	554.7	0.7
40	565	562	562				565	
41	545	570	570				561.7	
42	531 พักการทดลอง	567	565				554.9	
43	517	556	557				519.9	
44	512	541	542	0.32	0.35	0.4	531.7	0.97
45	522	524 พักการทดลอง	527 พักการทดลอง				511.9	
46	542 พักการทดลอง	511	510				511.7	
47	564	512	519				514.7	
48	572	524	524				510	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ส่งจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุช่วงเวลา			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
49	56๕	54๙	54๘	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
		ออกฤทธิ์ทาง	พักการที่งาน				55๙.๗	
50	555	56๓	561	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	
51	53๙	5๕0	5๕0	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
		กคสิทธิ์					55๙.๗	
52	521	566	566	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	
53	512	555	55๕	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	
54	51๙	53๙	53๙	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
		กคสิทธิ์	กคสิทธิ์				55๙.๗	
55	536	521	525	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
		พักการที่งาน					55๙.๗	
56	558	511	512	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	
5๗	5๕1	515	51๕	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	
58	56๙	530	534	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	
59	555	551	55๕	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
		พักการที่งาน	พักการที่งาน				55๙.๗	
60	543	56๕	56๕	0.64	0.30	0.๑2	55๙.๗	0.11
							55๙.๗	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 550°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
61	522 กดสิทธิ์	569	569				559.9	
62		561	562				561.5	
63		548	546				549	
64		530 กดสิทธิ์	530 กดสิทธิ์	0.01	0.02		530	0.015
65		511	513				511	
66		500	500				500	
67		501	503				501	
68		510	519				514.5	
69		532	532	0.09	0.07		531	0.08
70		552 กดสิทธิ์งาน	552 กดสิทธิ์งาน				551	
71		569 (กดสิทธิ์)	569 (กดสิทธิ์)				569	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ใช้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 1, 2, 8 และอุณหภูมิในทำ 35°C, 30°C, 20°C ตามลำดับ
 ชั้นที่ผลิตจาก 240, 280, 290 กรัมในการทดลอง

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิก๊าซในช่องบรรจุชีวมวล การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง (1)			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
1	93	30	30				31	
2	96	32	32				33.3	
3	46	40	34				41.6	
4	64	55	54				52.6	
5	89	74	75				80.6	
6	118	101	100				106.3	
7	150 ต้นเริ่มออก	129 ก้นเริ่มออก	130 ก้นเริ่มออก				136.3	
8	182	158	154				164.6	
9	218 ต้นเริ่มออก	191 ก้นเริ่มออก	185 ก้นเริ่มออก	4	4.5	4.5	198	4.3
10	253	227	110				233.3	
11	293	263	260				272	
12	326	301	294				308.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุวัสดุ			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
13	362	338	335	6	7.5	7	345	6.8
14	400	377	375				384	
15	436	416	410	10.5	10	420.6	9.6	
16	471	452	445			456		
17	502	484	480	10.5	10	498.6	9.6	
18	532	514	510			518.6		
19	561	540	534	10.5	10	546.3	9.6	
20	587	564	560			570.3		
21	611	597	580	10.5	10	592.6	9.6	
22	633	608	600			613.6		
23	651 พักการทำงาน	628	625	10.5	10	634.6	9.6	
24	661	647	640			648.3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุซิลิกา การทดลอง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	IV	V
25	657	659	656	4.5	12.0	9.5	657	10
26	645	659	659				658.9	
27	629 ปกติ	649	645				641	11.1
28	612	657 ปกติ	638				649	
29	605	625	623	4.1	4.5	4.0	619.7	
30	607	621	620				616	11.9.7
31	619	626	626				619.7	
32	634	640 ผิดปกติ	641				638.5	9.68
33	653 ผิดปกติ	652	650				651.7	
34	660	653	652	4.25	3.0	3.5	655	
35	657	644	645				648.7	9.68
36	645	628 ปกติ	630 ปกติ				648.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	IV	V
37	625 ภาคشرق	618	620	2.05	1.5	2.0	610.7	1.95
							615.7	
38	613	616	618	2.05	1.5	2.0	614.7	1.95
							615.7	
39	604	628	623	2.05	1.5	2.0	614.7	1.95
							615.7	
40	616	642 ภาคตะวันออก	640 ภาคตะวันออก	2.05	1.5	2.0	641.7	1.95
							640.7	
41	635	634	650	2.05	1.5	2.0	646.7	1.95
							646.7	
42	658 ภาคตะวันออก	652	643	2.05	1.5	2.0	641.7	1.95
							641.7	
43	661	641	630 ภาคตะวันออก	2.05	1.5	2.0	644	1.95
							644	
44	660	625 ภาคตะวันออก	618	2.05	1.5	2.0	638.5	1.95
							638.5	
45	649	615	620	2.05	1.5	2.0	618	1.95
							618	
46	632 ภาคตะวันออก	618	629	2.05	1.5	2.0	616	1.95
							616	
47	613	628	645 ภาคตะวันออก	2.05	1.5	2.0	618.7	1.95
							618.7	
48	602	643 ภาคตะวันออก	658	2.05	1.5	2.0	614	1.95
							614	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ใช้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุตัวมวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การไหล			1	2	3	T	V
49	605	655	655	1	0.55	0.7	69.9	1
	616	654	650				640	
51	635	643	640	1	0.48	1.0	64.9	1
	654	616	616				64.9	
52	654	616	618	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	661	622	625				69.9	
53	664	617	615	1.9	0.55	0.45	69.9	1.17
	661	622	625				69.9	
54	661	622	625	1.9	0.55	0.45	69.9	1.17
	661	622	625				69.9	
55	649	642	640	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	649	642	640				64.9	
56	632	655	652	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	632	655	652				64.9	
57	613	655	655	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	613	655	655				64.9	
58	602	645	650	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	602	645	650				64.9	
59	606	629	632	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	606	629	632				64.9	
60	614	612	615	1.9	0.55	0.45	64.9	1.17
	614	612	615				64.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในห้องบรรจุขวด			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	การทดลอง			1	2	3	T	V
61	657 คัดการทวงน	605	610				617.9	
62	656	611	613				616.9	
63	665	623	620				636	
64	661	640 คัดการทวงน	639 คัดการทวงน	1.22	0.4	0.6	646.9	0.96
65	649	655	655				633	
66	632 คัดการทวงน	657	656				648.3	
67	611	646	647				635.9	
68	604	630 คัดการทวงน	635 คัดการทวงน				619	
69	609	609	611	0.7	0.05	0.51	609.4	0.41
70	624	604	606				611.9	
71	643 คัดการทวงน	607	609				614.7	
72	661	619	629				636	

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซไนโตรเจนจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในช่องบรรจุตัวอย่าง			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
73	666	635	633	1	2		644.2	
74	660	652 พักการทำงาน	650	1	0.05	0.3	654	0.445
75	649	657	655				651.7	
76	632 พักการทำงาน	651	650				644.9	
77	626	635 พักการทำงาน	637 พักการทำงาน				631.7	
78	632	618	620				619.9	
79	648 พักการทำงาน	615	615	1		0.1	615.9	0.55
80	659	619	618				631	
81	658	632	630				640	
82	649		640 พักการทำงาน				644.5	
83	634 พักการทำงาน		636	0.75			645	
84	619		652				656.5	

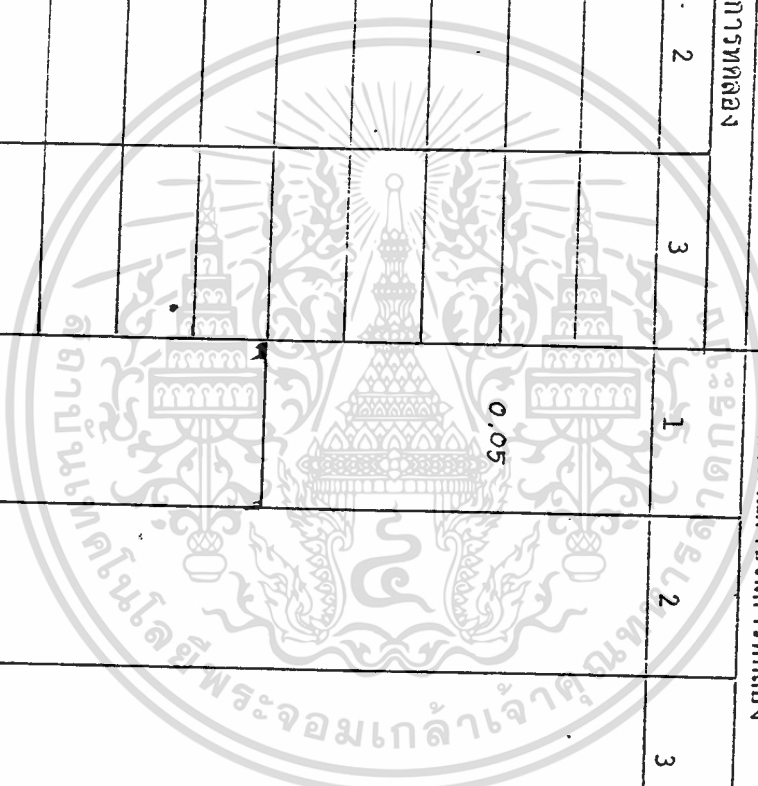
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	คุณสมบัติภายในของบรรจุภัณฑ์มวล			ปริมาณก๊าซในการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
45	614		645				614.5	
46	622		638 กมลสิทธิ์	0.07			630	0.11
47	634 หัตถพรวิภา		615				616.5	
48	656		609				691.5	
49	662		619	0.67			620.5	0.915
90	654		630				644.5	
91	647		648 หัตถพรวิภา				649.5	
92	630 กมลสิทธิ์		654				641	
93	618		652				631.5	
94	609		639	0.05			614.9	0.09
95	609		625				619	
96	623		620 (กมลสิทธิ์)				611.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดจากการ Pyrolysis ที่อุณหภูมิ 650°C (ต่อ)

ช่วง เวลา (min)	อุณหภูมิภายในเตาที่ลดลง			ปริมาณก๊าซที่เกิดจากการทดลอง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3	1	2	3	T	V
๑๖	64๒ พักการทำงาน						64๑	0.05
๑๙	665			0.05			66๐	
๑๐๐	65๙						66๕	
101	64๖ (กรณีแรก)						646	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การหาปริมาณสารระเหยของถ่านซังข้าวโพค และถ่านผักตบชวา

ช่วงอุณหภูมิ °C	ตัวอย่าง	ก่อนเข้าเตาอบ		หลังอบที่ 110 °C	น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)	หลังอบที่ 950 °C	น้ำหนักตัวอย่างหลังจากการอบ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์สารระเหย
		น้ำหนัก crucible (กรัม)	น้ำหนัก crucible + ถ่าน (กรัม)	น้ำหนัก crucible + ถ่าน (กรัม)		น้ำหนัก crucible + ถ่าน (กรัม)		
ซังข้าวโพค 450°	1	29.3984	30.6316	30.2291	0.8307	29.4325	0.0341	95.1
	2	28.7436	30.3907	29.7046	0.9610	28.8541	0.1105	88.1
	3	28.2049	29.4750	29.3796	1.1737	28.2786	0.0737	93.1
550°	4	22.1551	23.2920	23.2664	1.1113	22.2062	0.511	95.1
	5	30.8046	32.3439	32.3128	1.5082	30.8868	0.0822	94.1
	6	33.9287	35.0371	35.0088	1.0801	33.9769	0.0482	95.1
650°	7	17.5285	19.0112	18.7560	1.2295	17.5795	0.0510	95.8
	8	17.4491	18.6795	18.6370	1.1879	17.5373	0.0882	92.5
	9	30.3226	31.6494	31.5927	1.2701	30.3907	0.0681	94.6
ผักตบชวา 450°	10	28.9392	30.1100	30.0646	1.1254	29.3077	0.3685	67.2
	11	16.7007	18.1238	18.0983	1.3976	17.3527	0.6520	53.3
	12	34.2717	35.5333	35.4992	1.2275	34.7565	0.4848	60.5
550°	13	18.0615	19.3429	19.2975	1.2360	18.5151	0.4536	63.3
	14	35.3773	36.7608	36.7211	1.3438	35.8820	0.5047	62.4
	15	26.5181	28.0263	27.9810	1.4629	27.0738	0.5557	62.0
650°	16	29.4239	30.9010	30.5438	1.1199	29.7897	0.3658	67.3
	17	31.2808	32.6133	32.5821	1.3013	31.8904	0.6096	53.1
	18	19.2085	21.0183	20.9786	1.7701	20.2444	0.5359	69.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การหาปริมาณเถ้าของถ่านซังข้าวโพค และถ่านผักตบชวา

ช่วงอุณหภูมิ °C	ตัวอย่าง	ก่อนเข้าเตาอบ			น้ำหนักถ่านแห้ง (กรัม)	หลังอบที่ 750 °C crusible+ถ่าน(กรัม)	น้ำหนักเถ้า (กรัม)	เปอร์เซ็นต์
		น้ำหนัก crusible (กรัม)	น้ำหนัก ถ่าน (กรัม)	น้ำหนัก crusible+ถ่าน(กรัม)				
ซังข้าวโพค 450°	1	29.3994	30.3992	30.3878	0.9894	29.4410	0.0426	4.1
	2	28.7436	29.7046	29.6933	0.9497	28.7804	0.0368	3.8
	3	28.2049	29.2000	29.1858	0.9809	28.2559	0.0510	5.1
550°	4	22.1551	23.1162	23.1077	0.9526	22.1835	0.0284	2.8
	5	30.8046	31.7656	31.7600	0.9554	30.8414	0.0368	3.7
	6	33.9287	34.9039	34.8926	0.9639	33.9712	0.0425	4.3
650°	7	17.5285	18.5037	18.4952	0.9667	17.5625	0.0340	3.4
	8	17.4491	18.4328	18.4187	0.9696	17.5087	0.0596	6.0
	9	30.3226	31.3035	31.2723	0.9497	30.3907	0.0681	7.0
ผักตบชวา 450°	10	28.9392	29.9229	29.9116	0.9724	29.2510	0.3118	32.1
	11	16.7007	17.7156	17.6986	0.9979	17.1571	0.4564	45.6
	12	34.2717	35.2696	35.2300	0.9583	34.6459	0.3742	39.4
550°	13	18.0615	19.0452	19.0225	0.9610	18.4385	0.3770	39.1
	14	35.3773	36.3582	36.3356	0.9583	35.7601	0.3828	39.4
	15	26.5181	27.4820	27.4565	0.9384	26.8753	0.3572	38.0
650°	16	29.4239	30.4360	30.4162	0.9923	29.8322	0.4083	41.1
	17	31.2908	32.2419	32.2107	0.9299	31.6664	0.3856	41.4
	18	19.7085	20.6356	20.6328	0.9243	20.0533	0.3488	37.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การหาปริมาณคาร์บอนกึ่งที่ของถ่านซังข้าวโพคและถ่านผักตบชวา

ช่วงอุณหภูมิ	ตัวอย่างที่	%เถ้า	%สารระเหย	%คาร์บอนกึ่งที่	%เฉลี่ยคาร์บอนกึ่งที่
450°	1	4.31	95.90	-0.21	4.36
	2	3.97	89.50	7.63	
	3	5.20	93.72	1.08	
550°	4	2.94	95.40	1.62	1.09
	5	3.85	94.55	1.60	
	6	4.41	95.54	0.05	
650°	7	3.52	95.85	0.63	0.95
	8	6.15	92.58	1.27	
	9	7.17	94.64	-1.81	
450°	10	32.06	67.26	0.64	0.64
	11	45.74	53.35	0.91	
	12	39.05	60.51	0.44	
550°	13	39.23	63.30	-2.53	-
	14	39.96	62.44	-2.39	
	15	38.06	62.01	-0.07	
650°	16	41.15	67.34	-8.49	5.38
	17	41.47	53.15	5.38	
	18	37.74	69.72	-7.46	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณน้ำหนักของสาร Pyrolysis ซึ่งเข้าโพต

การทดลองที่	อุณหภูมิ °C	น้ำหนักก่อนต้ม		น้ำหนักหลังต้ม		น้ำหนักขวด	น้ำหนัก
		น้ำหนักดิน+อะซีโตน+น้ำ+ขวด	น้ำหนักดิน+ขวด	น้ำหนักดิน+ขวด	น้ำหนัก		
1	450°	293.9040	143.9040	100.4320	43.0720		
	550°	289.8350	130.5120	100.6220	29.8950		
	650°	230.0150	120.3620	100.4320	19.9300		
2	450°	301.8840	124.7600	100.4320	23.9280		
	550°	269.4700	113.3950	100.6220	12.7690		
	650°	283.5450	138.3940	100.4320	37.5620		
3	450°	277.3110	129.4630	100.6220	28.7360		
	550°	276.3480	120.2260	100.4320	19.3940		
	650°	220.860	112.0100	100.6220	11.3880		

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำมันดินของการ Pyrolysis ผักตบชวา (ต่อ)

การทดลองที่	อุณหภูมิ, °C	น้ำมันดิน		น้ำมันดิน
		น้ำมันดินก่อนต้ม	น้ำมันดินหลังต้ม	
1	450°	254.9540	124.2260	100.6220
	550°	253.6550	166.0090	162.3220
	650°	243.4970	135.9530	124.2260
2	450°	258.0600	150.2925	166.0090
	550°	265.5380	138.9380	135.952
	650°	299.8790	175.5090	166.0090
3	450°	234.1130	151.3820	135.9520
	550°	259.5400	154.9690	166.0090
	650°	241.2650	148.6020	135.952

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

5.1 ปริมาณความชื้นของซิงค์ขาว โพลีเอทิลีนและผักตบชวา

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และตามร่างที่ 4.2 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของซิงค์ขาว โพลีเอทิลีนและผักตบชวาเท่ากับ 8.6 และ 9.129 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.2 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับช่องบรรจุชีวมวล

จากรูปที่ 5.1 เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิในช่องบรรจุชีวมวลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของทุกช่วงอุณหภูมิค่า slope ได้ประมาณ $48-50^{\circ}\text{C}/\text{นาที่}$ ที่ขีดความร้อนจะตัดการทำงานที่ 438°C 538°C และ 638°C ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 500°C และ 650°C ตามลำดับ แต่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอีกเนื่องจากขีดลวดความร้อน ยังคงมีความร้อนอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดประมาณ 470°C ที่ช่วงอุณหภูมิ 550°C อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดประมาณ 550°C และที่ช่วงอุณหภูมิ 650°C อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดประมาณ 650°C ตามลำดับ เมื่อขีดลวดความร้อนตัดการทำงาน อุณหภูมิภายในช่องบรรจุชีวมวลจะค่อยๆ ลดลงเรื่อย ค่า slope ได้ประมาณ -18 ถึง $-20^{\circ}\text{C}/\text{นาที่}$ ของทุกช่วงอุณหภูมิ จนอุณหภูมิลดต่ำสุดประมาณ 200°C จึงหยุดการทดลอง

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับห้องบรรจุมวล สามารถคำนวณดังนี้

สูตร $Q = C_p G(T_2 - T_1) \dots\dots\dots (5.1)$

เมื่อ $Q =$ ปริมาณความร้อน (Kcal)

$C_p =$ ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ $= 0.241 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$

$G =$ น้ำหนักของอากาศ (kg)

$T_1, T_2 =$ อุณหภูมิภายในห้องบรรจุมวลเมื่ออุณหภูมิ เพิ่มขึ้น จาก T_1 เป็น T_2

ที่เวลาใด (K) จาก $PV = GRT$

ดังนั้น $\rho = G/V = P/RT$

เมื่อ $\rho =$ ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ (kg/m^3)

$V =$ ปริมาตรของห้องบรรจุมวล $= 2.471 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$R =$ ค่าคงที่ของอากาศ $= 287 \text{ Nm/kg}^\circ\text{K}$

$P =$ ความดันบรรยากาศ $= 1.033 \text{ kg/cm}^2$

$T =$ อุณหภูมิภายในห้องบรรจุมวล (K)

ดังนั้น ความหนาแน่นของอากาศมี หน่วยเป็น kg/m^3

$$= \frac{P/RT = \frac{1.033 \times 9.81/100^2 \text{ N/m}^2}{287 \text{ Nm/kg}^\circ\text{K}}}{}$$

$$= \frac{3.5309163 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3}{^\circ\text{C} + 273}$$

ดังนั้น น้ำหนักของอากาศ

$$G = \rho V$$

แต่ความหนาแน่นของอากาศจะต้อง เป็นค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 (P_1, P_2)

ฉะนั้น $G_{av} = \frac{(P_1 + P_2)V}{2}$

เปลี่ยนหน่วยความร้อนของสมการ 5.1 จะได้เป็น

$$Q(\text{KJ}) = 4.186 \text{ Cp Gav}(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(5.2)$$

เมื่อ $1 \text{ Kcal} = 4.186 \text{ KJ}$

จากนั้นนำค่าต่างๆ มาแทนในสมการ 5.2 ซึ่งผลของการคำนวณปริมาณความร้อนที่ห้องบรรจุชีวมวลได้รับที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C แสดงในตารางที่ 5.1 จากนั้นนำค่าปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ มาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 5.2

จากรูปที่ 5.2 เป็นกราฟแสดงปริมาณความร้อนในห้องบรรจุชีวมวล เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก โดยอัตราการให้ความร้อนของขดลวดความร้อนจะใกล้เคียงกันมาก ประมาณ $3.6-4.2 \text{ KJ/hr}$ ที่ทุกช่วงของอุณหภูมิจากนั้นปริมาณความร้อนจะค่อยๆ ลดลงในช่วงที่ 2 โดยอัตราความร้อนของขดลวด ประมาณ -3.6 ถึง -4.2 KJ/hr จนกระทั่งปริมาณความร้อนลดลงถึงค่าศูนย์ ในนาทีที่ 15 20 และ 24 ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C ตามลำดับ จากนั้นปริมาณความร้อนจะติดค่าลบในช่วงที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความร้อนที่อยู่ภายในห้องบรรจุชีวมวล จะคายความร้อนให้กับอากาศภายนอก ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าน้อยกว่า อุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวล

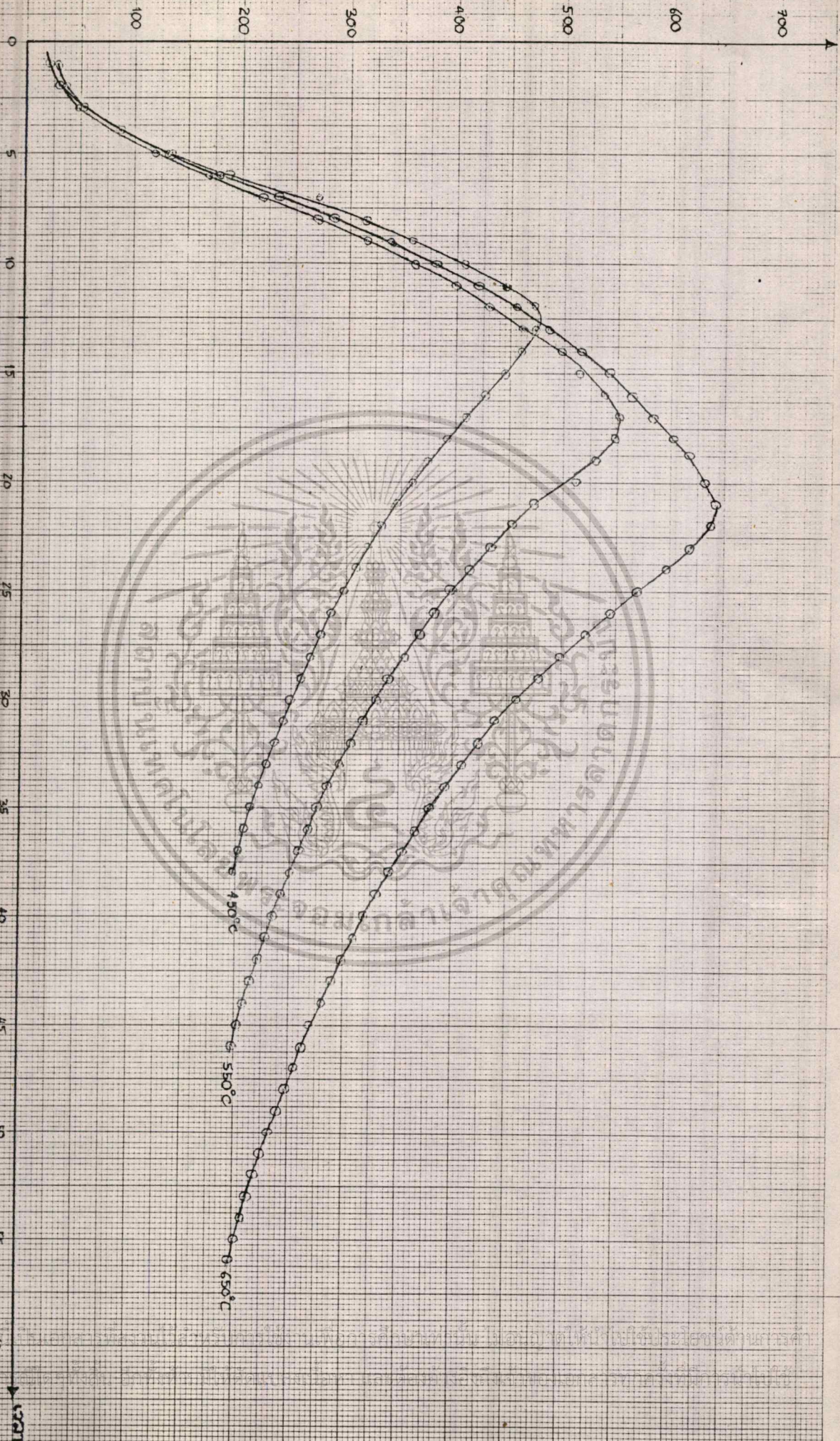
5.3 ลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมันดินที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C

จากตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงและลักษณะน้ำมันดินที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ของซังข้าวโพดและผักตบชวาที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C ของซังข้าวโพดลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงจะเป็นควันบางเมื่ออุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวลประมาณ 450°C เมื่อจุดไฟที่ก๊าซเชื้อเพลิงจะไม่ติดไฟที่ช่วงอุณหภูมิ 550°C ของซังข้าวโพด ลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงจะเป็นควันหนากว่าช่วงอุณหภูมิ 450°C เมื่ออุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวลประมาณ 550°C เมื่อจุดไฟที่ก๊าซเชื้อเพลิงจะติดไฟแต่ติดไม่ต่อเนื่องที่ช่วงอุณหภูมิ 650°C ของซังข้าวโพด ลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงจะเป็นควันหนากว่าทุกช่วงอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิภายในห้องบรรจุชีวมวลประมาณ

ตารางที่ 5.1 การหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับช่องบรรจุ ซีเมนต์

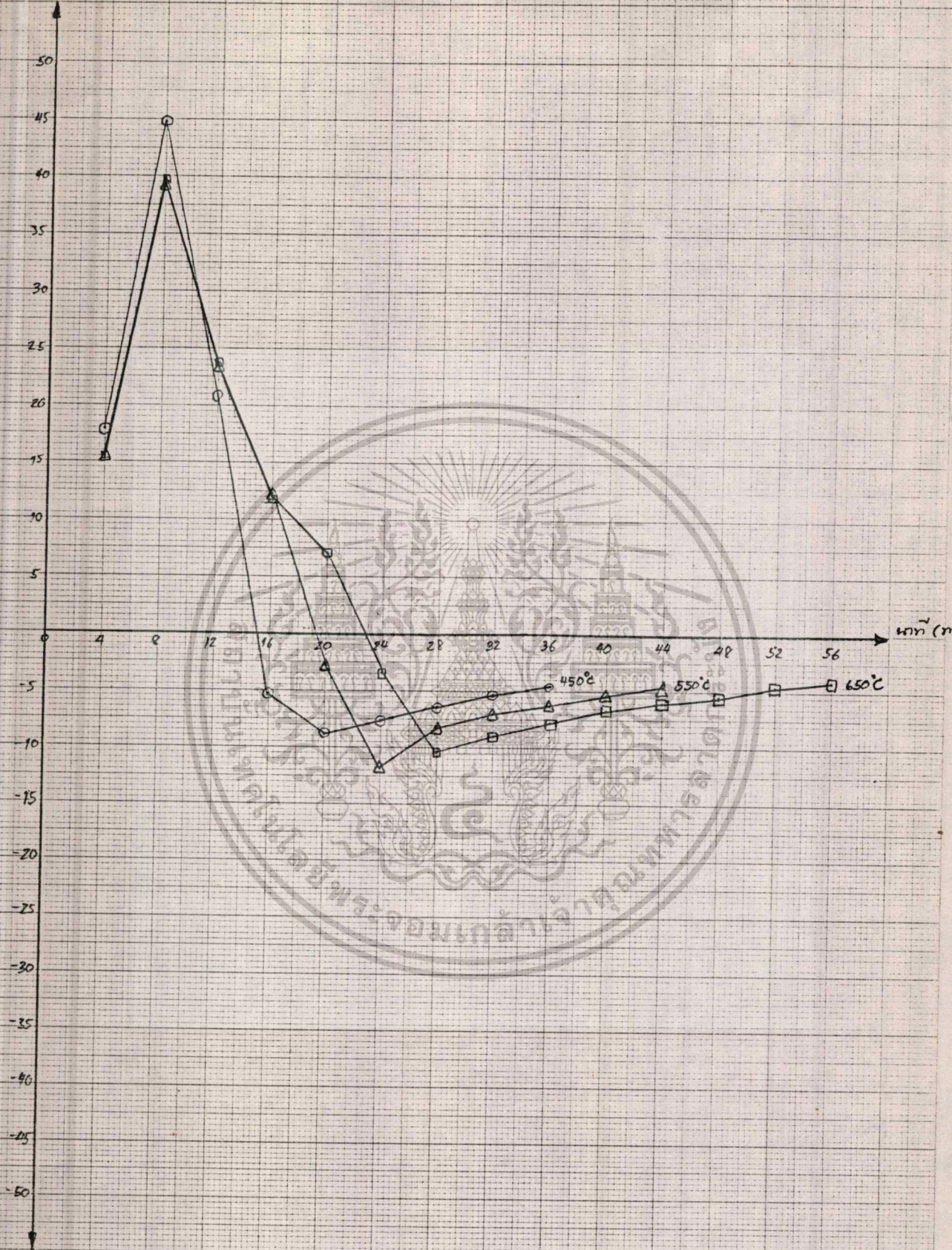
นาที	ช่วงอุณหภูมิ						ปริมาณความร้อน (KJ		
	450 °C		550 °C		650 °C		ช่วงอุณหภูมิ		
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	450 °C	550 °C	650 °C
4	21	87	22	78	29	87	0.179	0.154	0.1
8	87	315	78	268	87	285	0.449	0.393	0.3
12	315	470	268	431	285	455	0.208	0.234	0.2
16	470	427	431	537	455	562	-0.053	0.124	0.1
20	427	360	537	511	562	632	-0.089	-0.029	0.0
24	360	308	511	414	632	596	-0.076	-0.117	-0.0
28	308	267	414	353	596	499	-0.064	-0.082	-0.10
32	267	235	353	305	499	424	-0.053	-0.070	-0.09
36	235	209	305	266	424	365	-0.046	-0.062	-0.07
40			266	234	365	319		-0.054	-0.06
44			234	208	319	280		-0.046	-0.06
48					280	247			-0.05
52					247	220			-0.04
56					220	197			-0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำออกจากรั้วมหาวิทยาลัยได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 อุณหภูมิในช่องบรรจุวัสดุเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปในขณะเค้นเครื่องเป่า

ปริมาณความร้อน (10^{-2} KJ)



รูปที่ 5.2 ปริมาณความร้อนในช่องบรรจุขี้มวล เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น. กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต. หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

650°C เมื่อจุดไฟที่ก๊าซเชื้อเพลิงจะติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง ลักษณะก๊าซเชื้อเพลิงของผักตบชวาของทุกช่วงอุณหภูมิจะเหมือนกันกับก๊าซเชื้อเพลิงของชิงช้าว โนเด จะต่างกันตรงที่ก๊าซเชื้อเพลิงของผักตบชวาจะเป็นควันบางกว่าก๊าซเชื้อเพลิงของชิงช้าว โนเด

ส่วนลักษณะน้ำมันดินของชิงช้าว โนเดและผักตบชวา จะมีลักษณะคล้ายๆ กันคือจะเป็นของเหลวเหนียวๆ สีน้ำตาลเข้ม แต่น้ำมันดินของชิงช้าว โนเดจะเข้มข้นกว่าน้ำมันดินของผักตบชวา

5.4 ปริมาณก๊าซที่ได้จากการ Pyrolysis

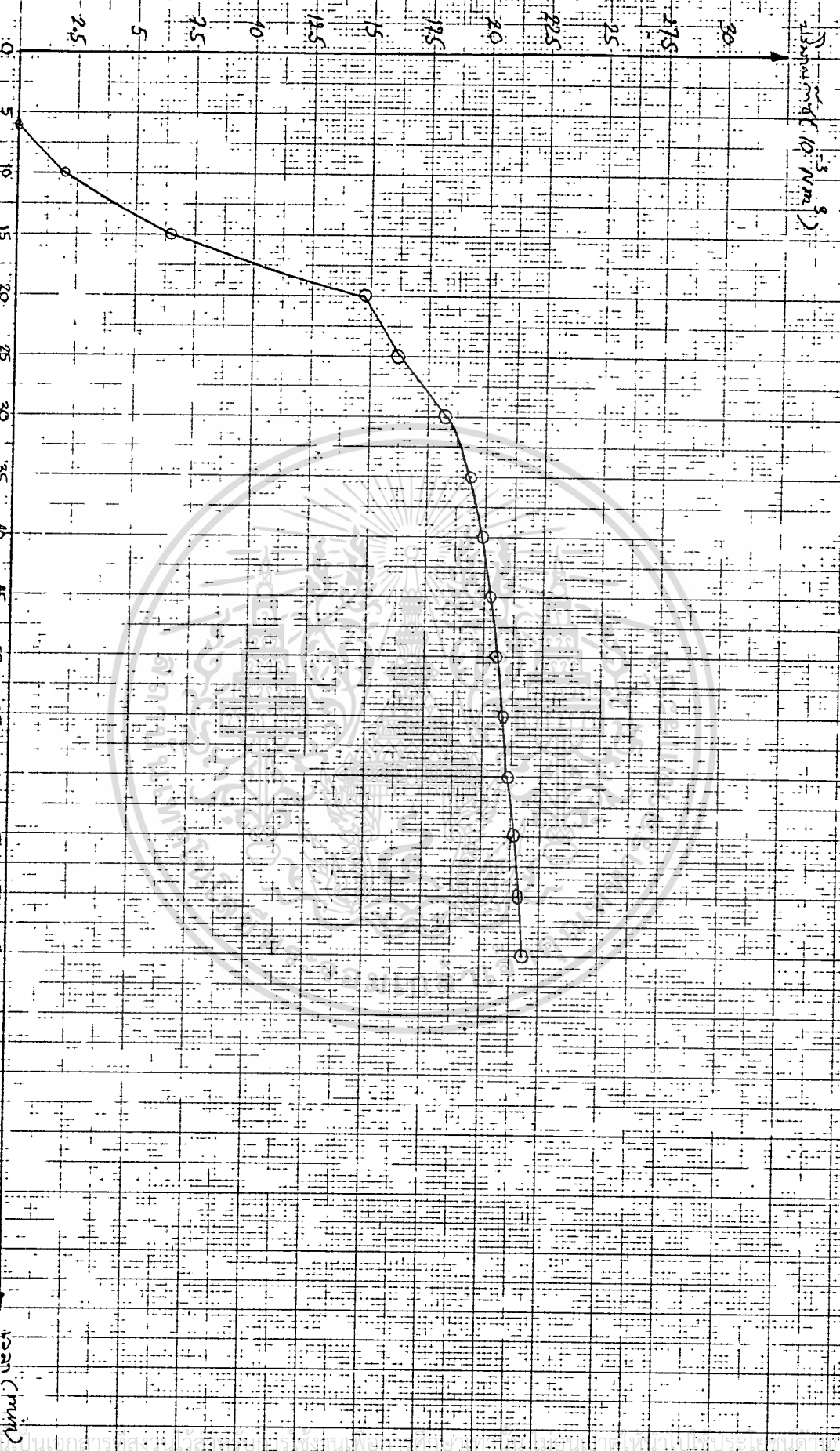
จากรูปที่ 5.2.1-5.2.18 กราฟแสดงปริมาณก๊าซเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปที่ทุกช่วงของอุณหภูมิก๊าซจะเริ่มออกหน้าที่ 7 อุณหภูมิประมาณ 200°-300°C และก๊าซจะออกมากที่สุดที่อุณหภูมิสูงสุดของทุกช่วงอุณหภูมิ จากนั้นปริมาณก๊าซจะลดน้อยลงเรื่อยๆ จนก๊าซหมด ปริมาณก๊าซของชิงช้าว โนเดที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C ปริมาณก๊าซทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $22 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3$ $27.7 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3$ และ $35.8 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3$ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซของผักตบชวาที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C ปริมาณก๊าซทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $13.8 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3$ $14.6 \times 10^{-3} \text{ Nm}^3$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซของชิงช้าว โนเดจะมีมากกว่าปริมาณก๊าซของผักตบชวาที่ทุกช่วงอุณหภูมิ

5.5 การหาค่าความร้อนต่ำขององค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงในก๊าซเชื้อเพลิง

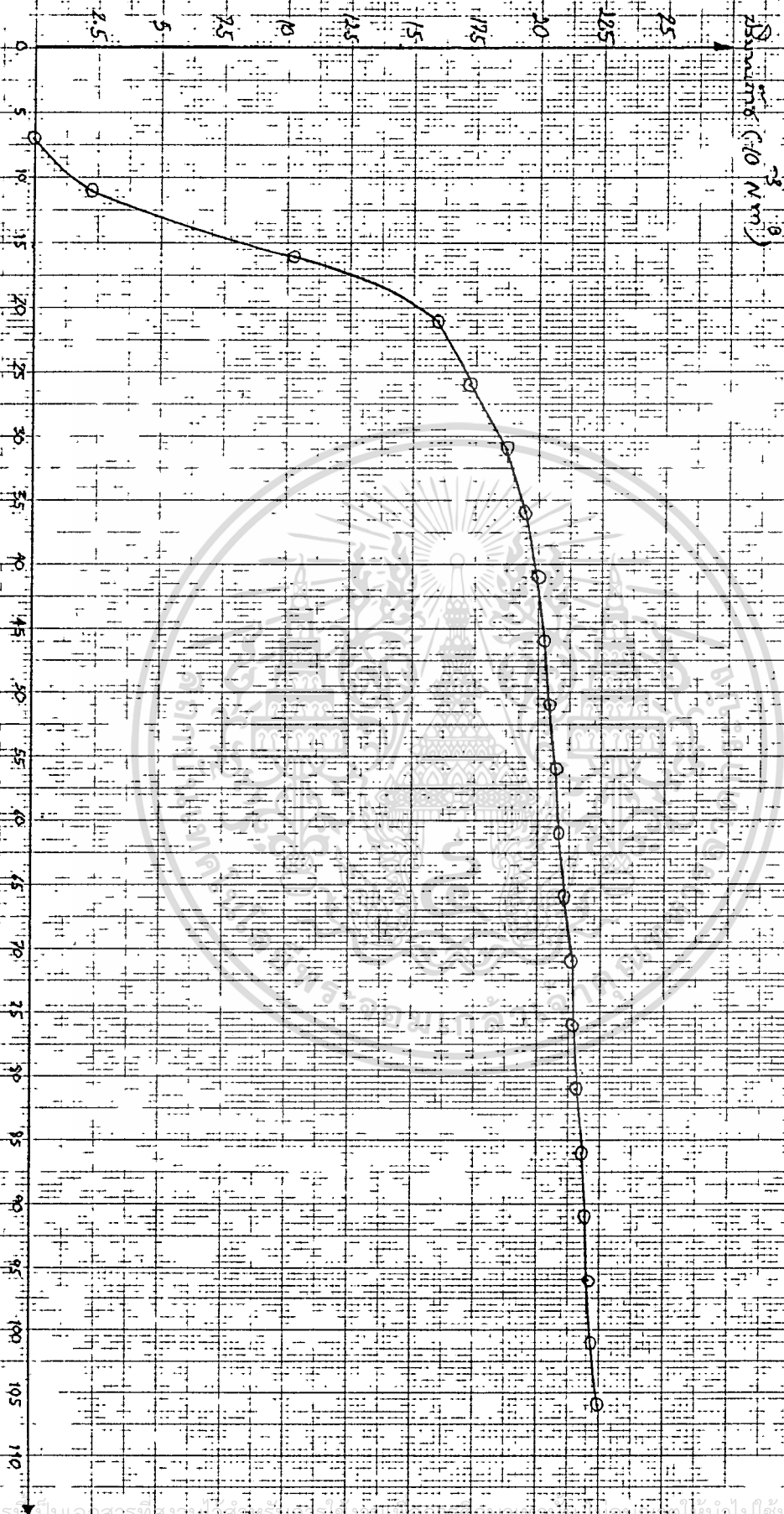
จากวิเคราะห์ก๊าซเชื้อเพลิงจากการ Pyrolysis ที่วามวลที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ โดยการวิเคราะห์แก๊สแห่งประเทศไทยได้องค์ประกอบต่างๆ เช่น มีเทน โพรเพน ไอโซ-บิวเทน นอร์มอล-บิวเทน เป็นต้นแต่เนื่องจากการทดลองเป็นเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C จึงจำเป็นต้องปรับค่านี้ให้อยู่ในภาวะมาตรฐาน (15°C ที่ความดัน 101.325 kPa) ได้จาก

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (5.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



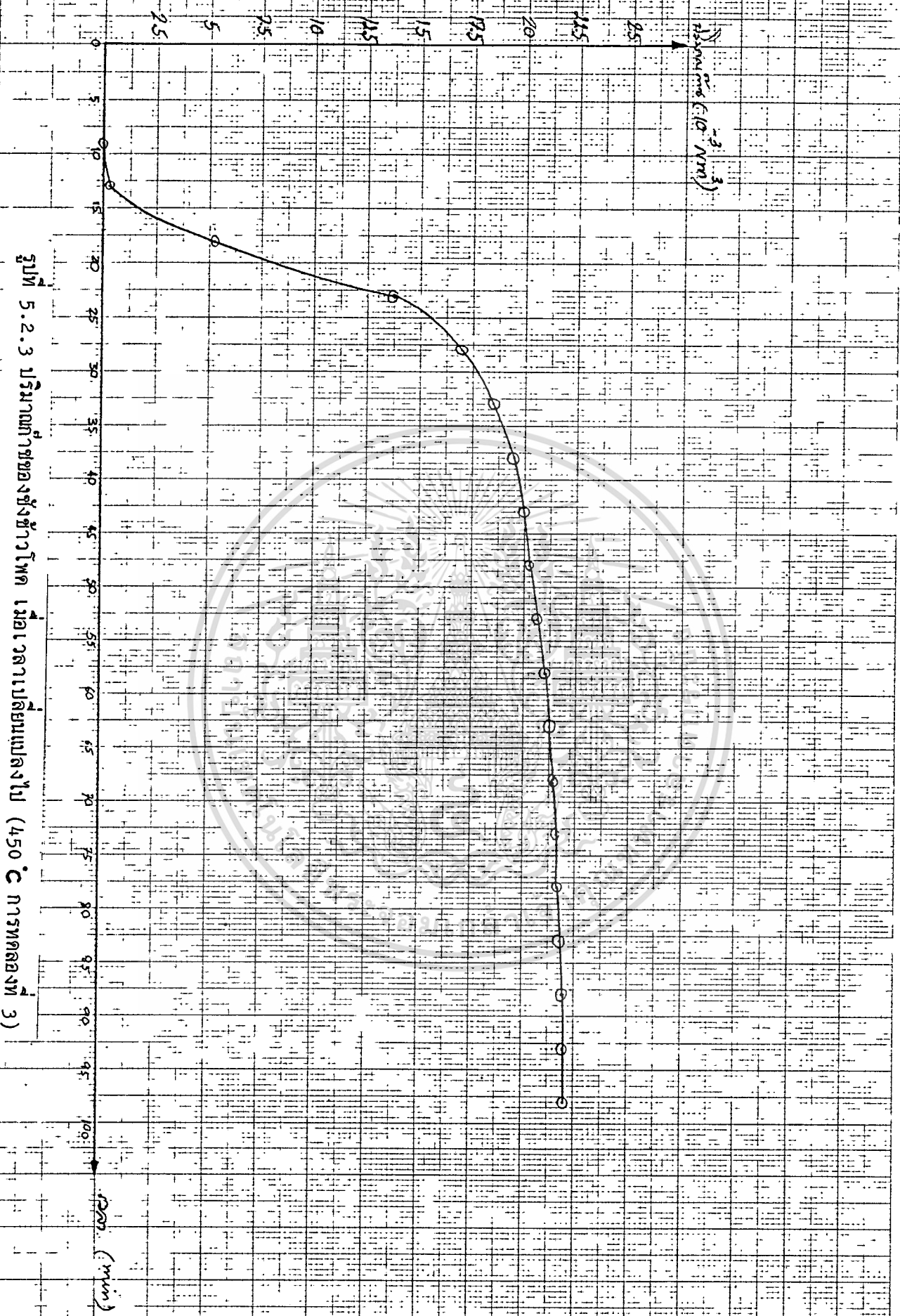
รูปที่ 5.2.1 ปริมาณน้ำของแข็งข้าวโพด เนื้อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (450 °C การทดลองที่ 1)



Diameter (mm)

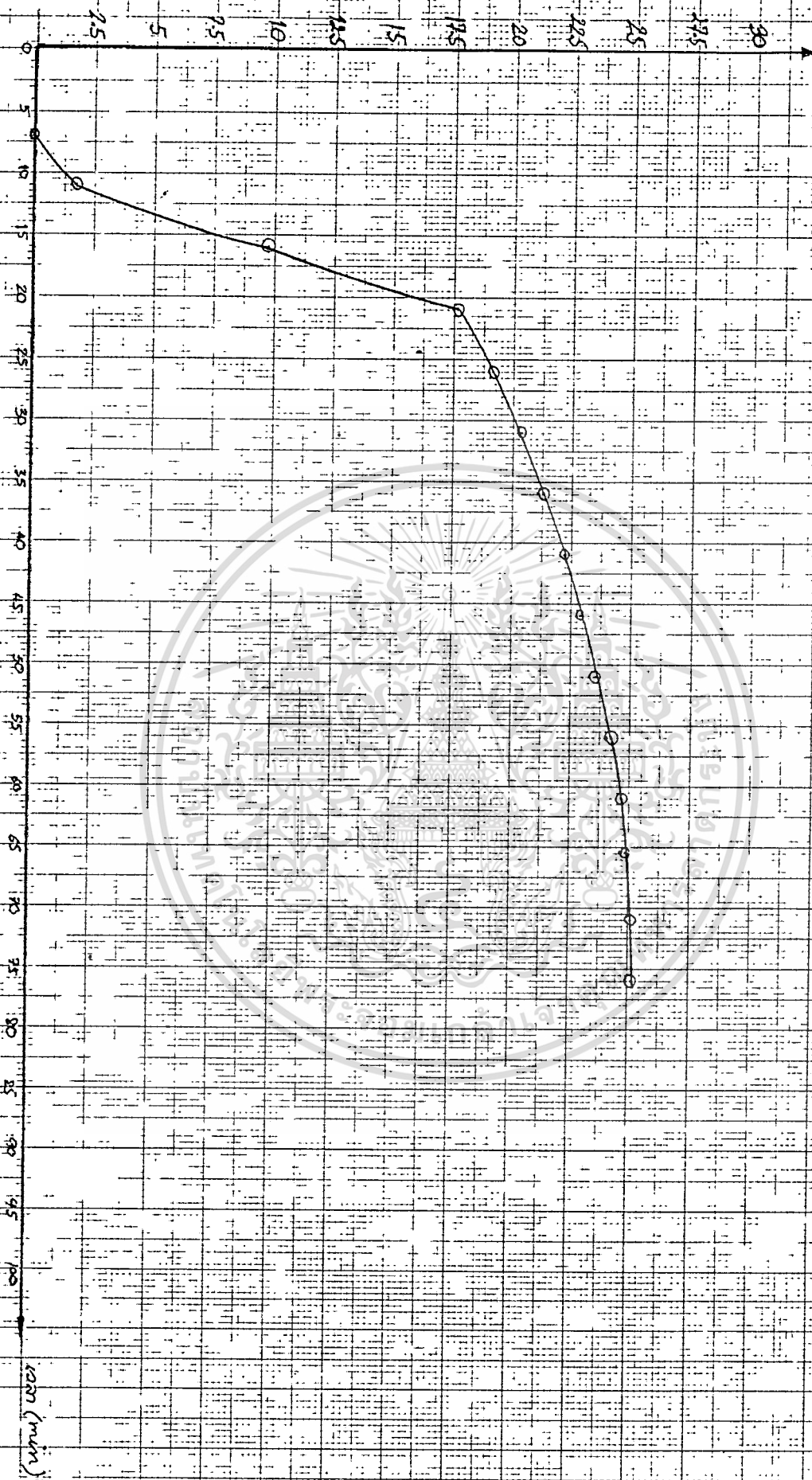
เวลา (min)

รูปที่ 5.2.2 ปริมาณก๊าซของแข็งที่ว้าวออก เมื่อเวลาเป่าลมแห้งไป (450 °C การทดลองที่ 2)

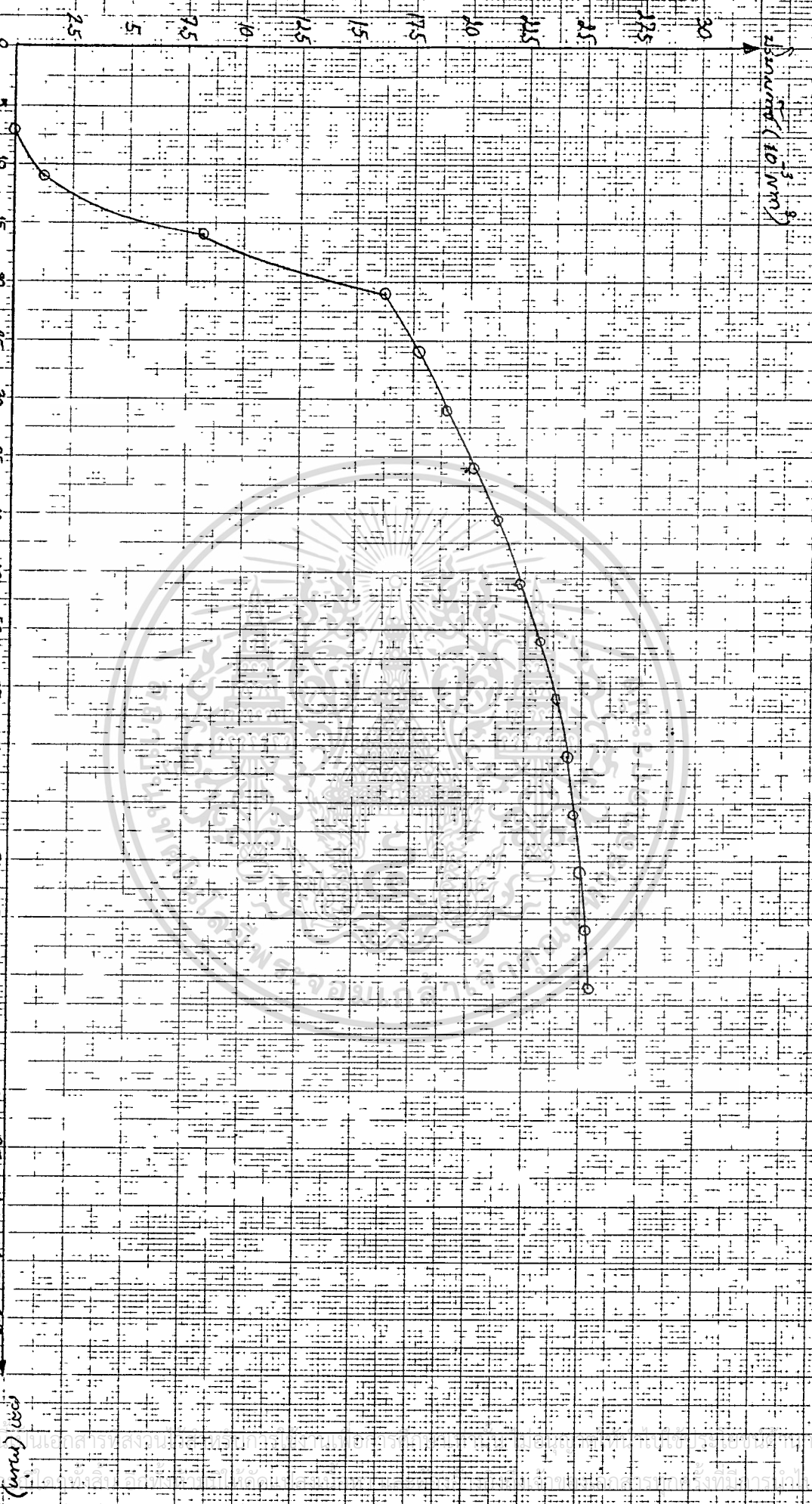


รูปที่ 5.2.3 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัด (450 °C การทดลองที่ 3)

ความถี่ (10 Nm²)

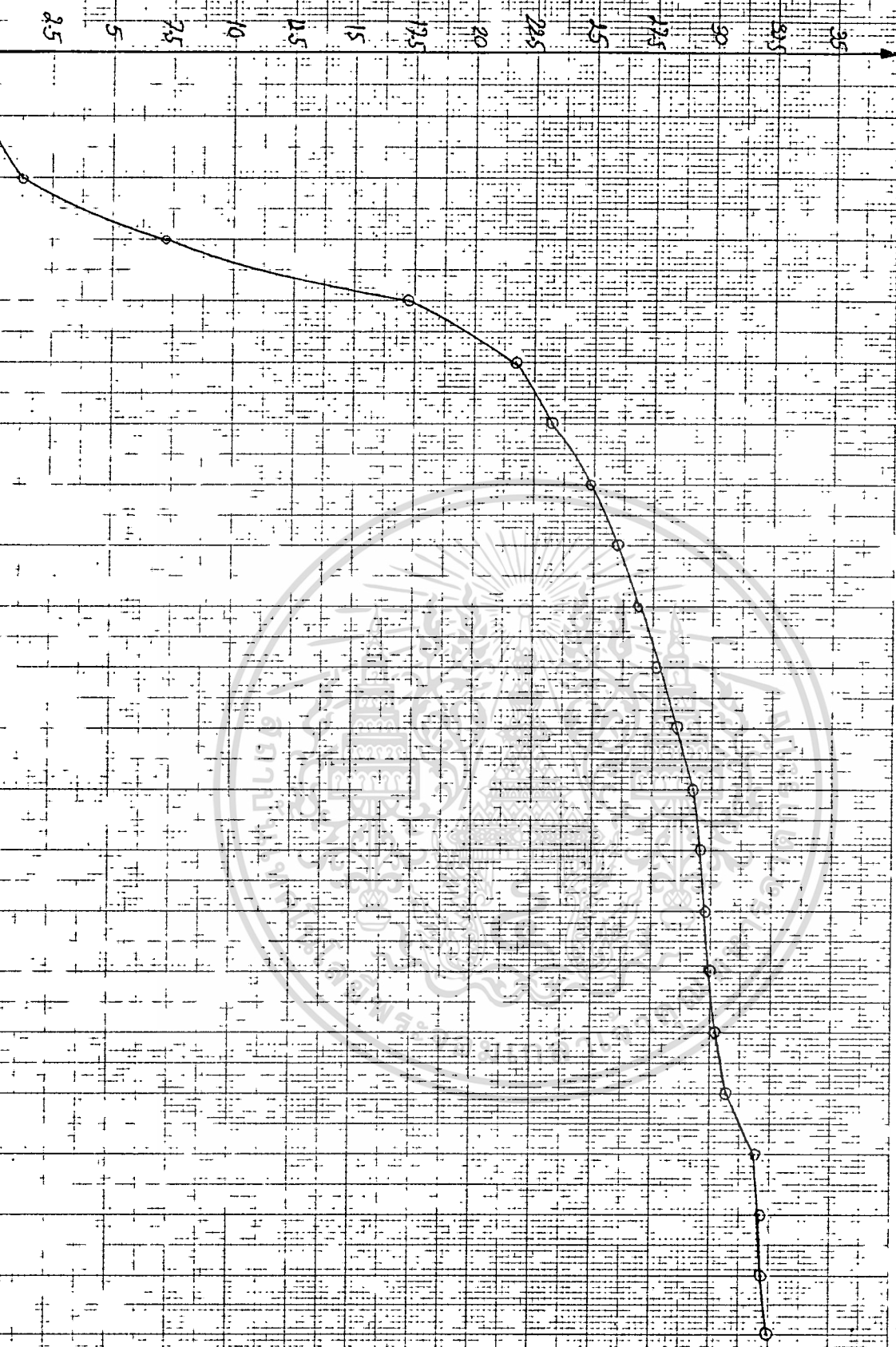


รูปที่ 5.2.4 ปริมาณค่าของซึ่งยาวโพท เมื่อความถี่ของคลื่นยาวโพท (FSO) ...

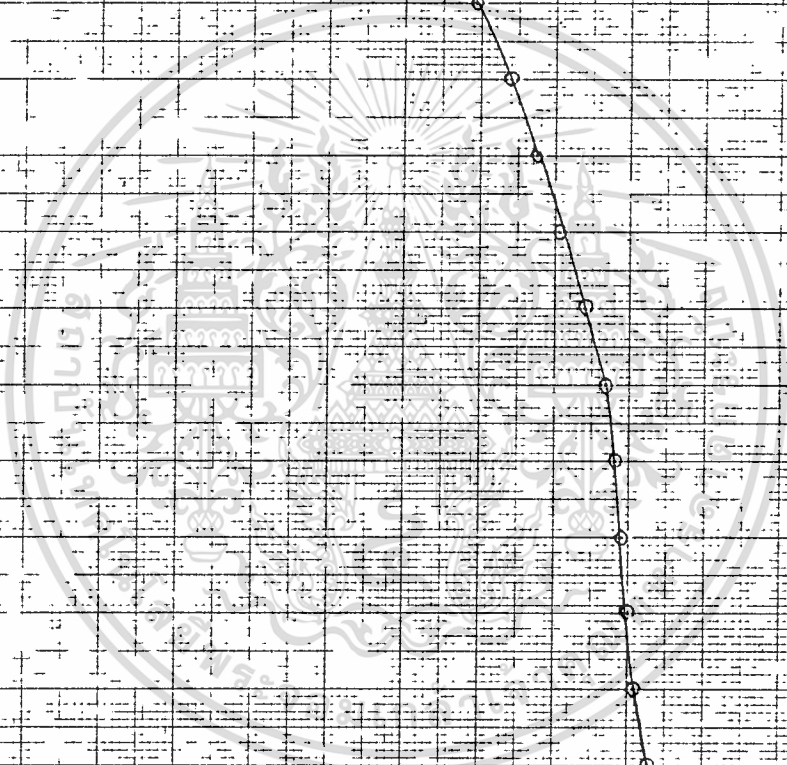


รูปที่ 5.2.5 ปริมาณก๊าซของแข็งจากโพลีเอทิลีนแปลงไป (550 °C การทดลองที่ 2)

ปริมาณน้ำ (ค.พ.ค.)

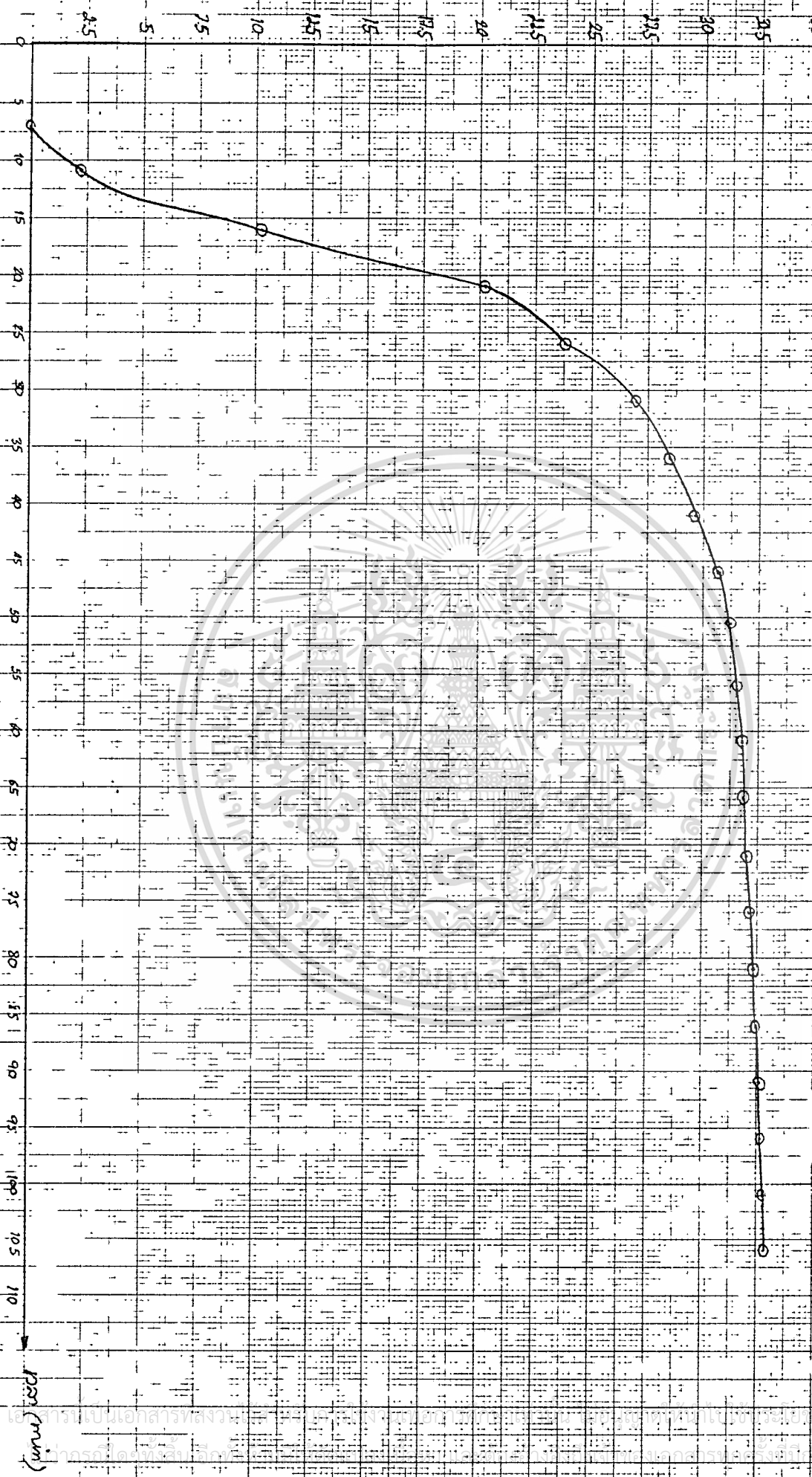


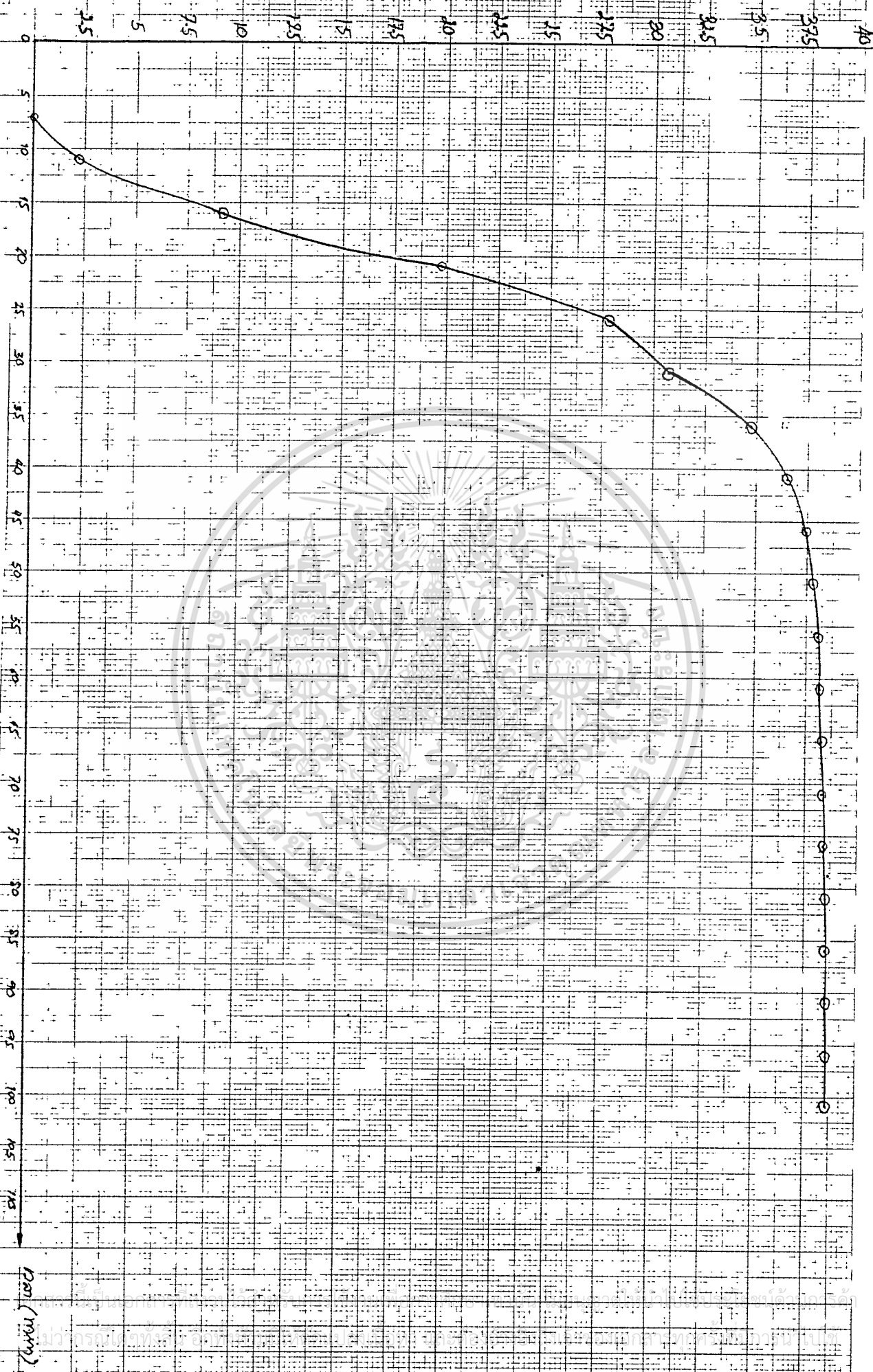
รูปที่ 5.2:6 ปริมาณน้ำของซึ่งข้าวโพด เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (550 °C การทดลองที่ 3)

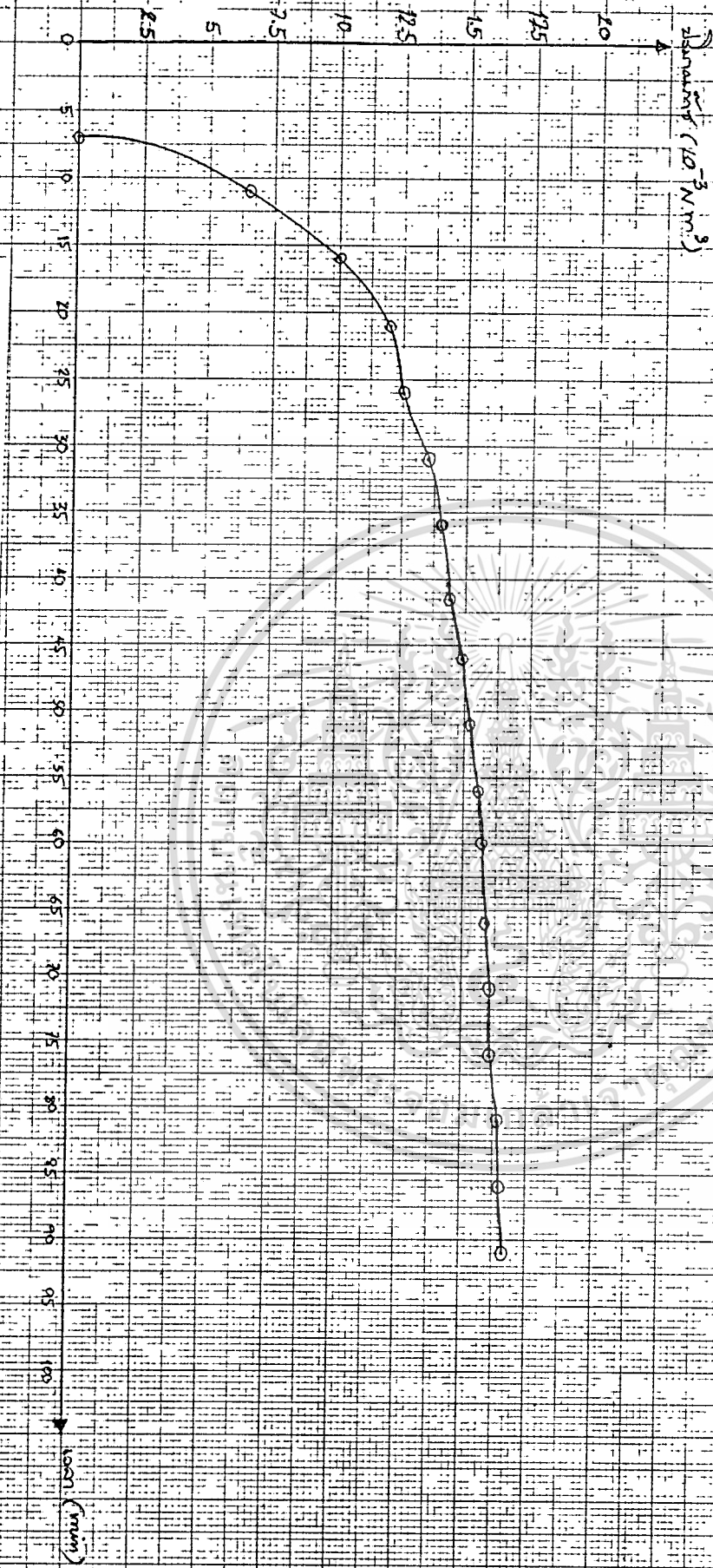


ปริมาณน้ำ (10 มม³)

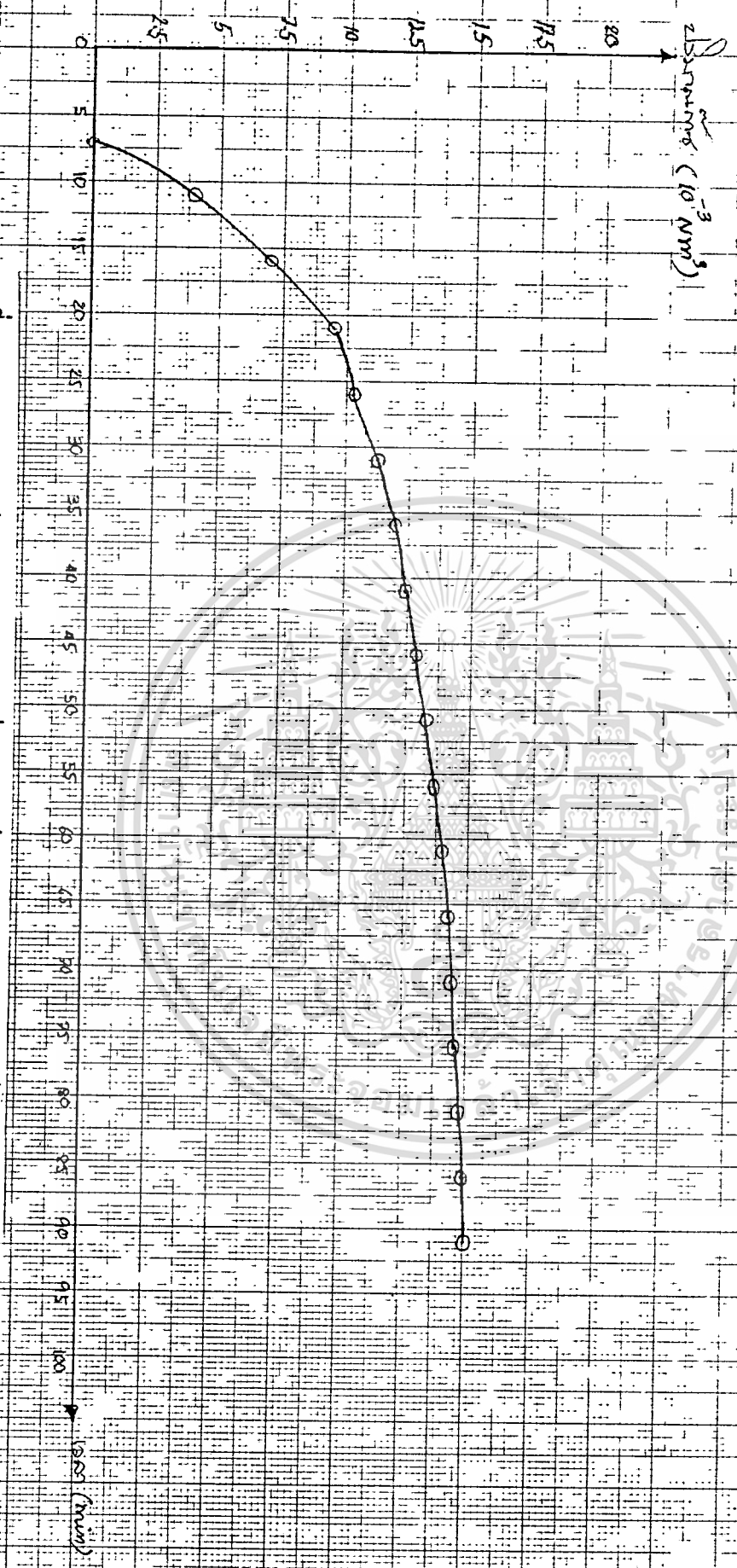
รูปที่ 5.2.7 ปริมาณน้ำของซังข้าวโพด เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (650 °C การทดลองที่ 1)



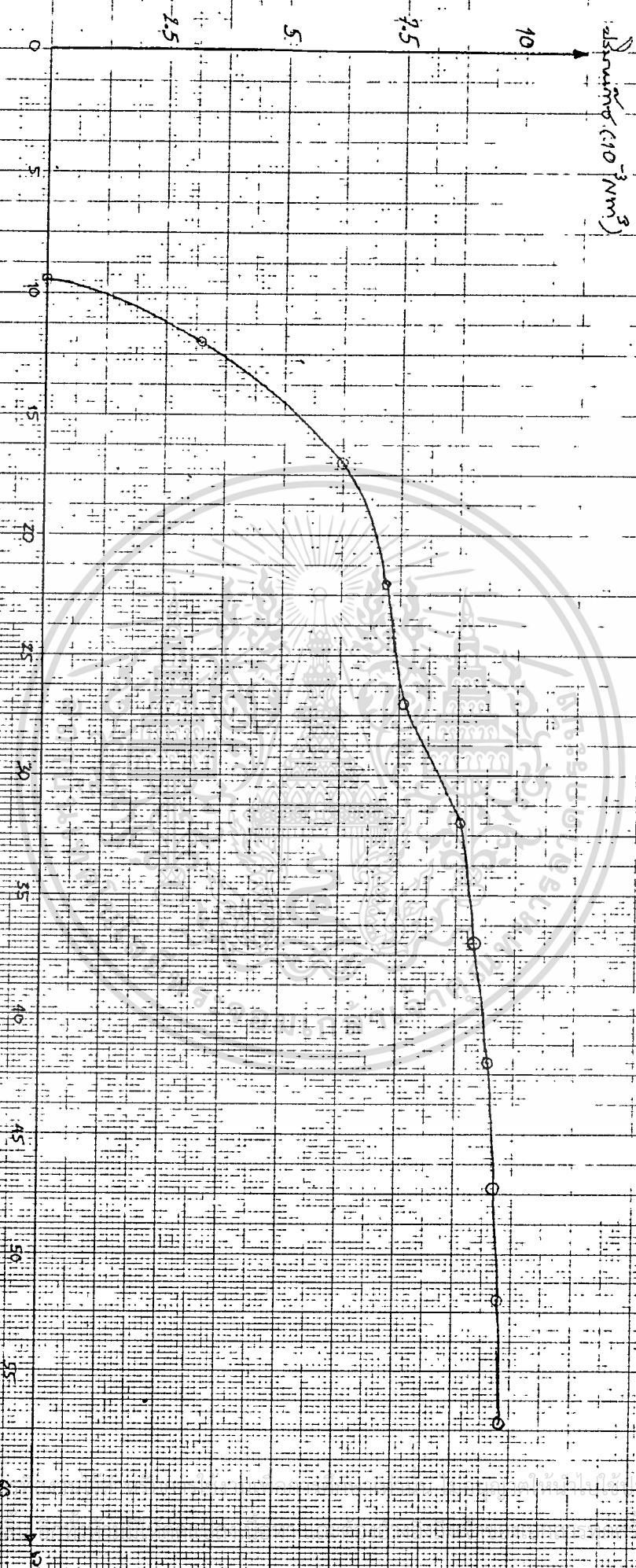




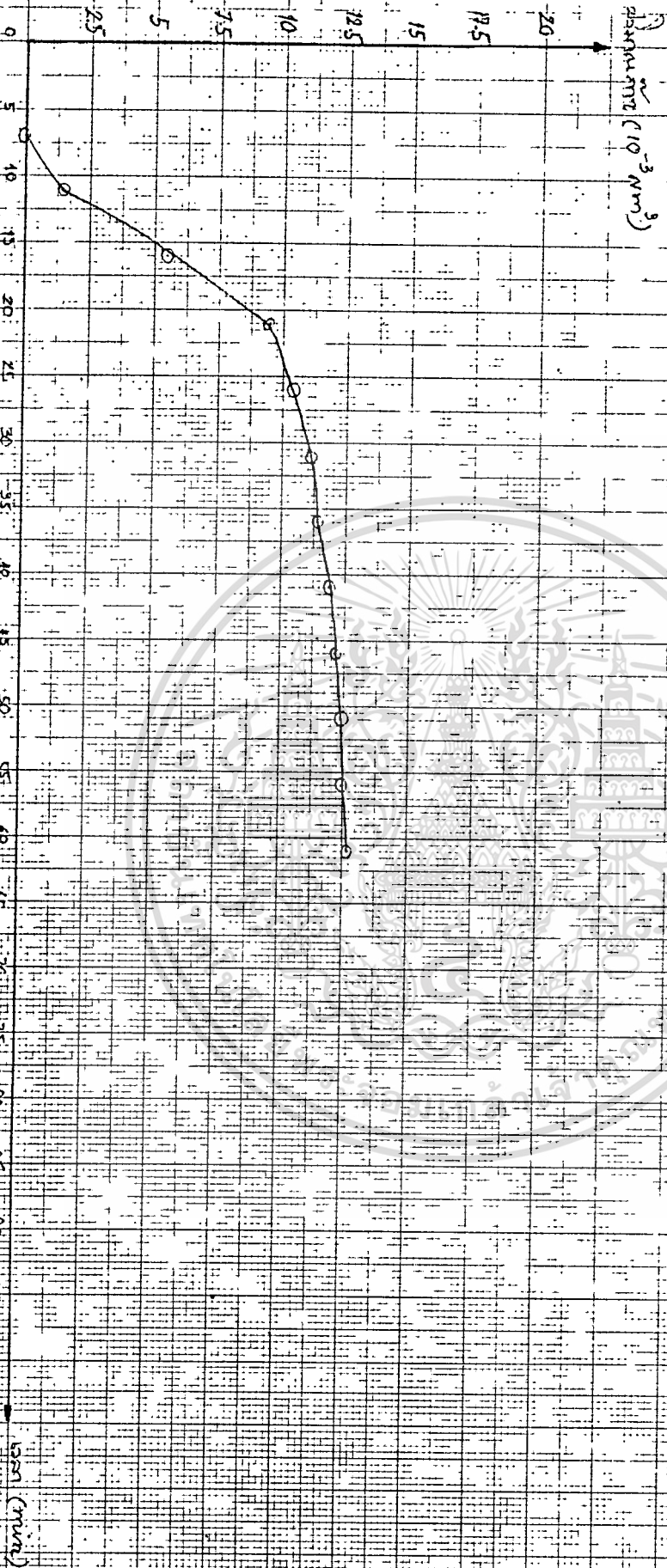
รูปที่ 5.2.10 ปริมาณก๊าซของผักกาดขาว เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (450°C การทดลองที่ 1)



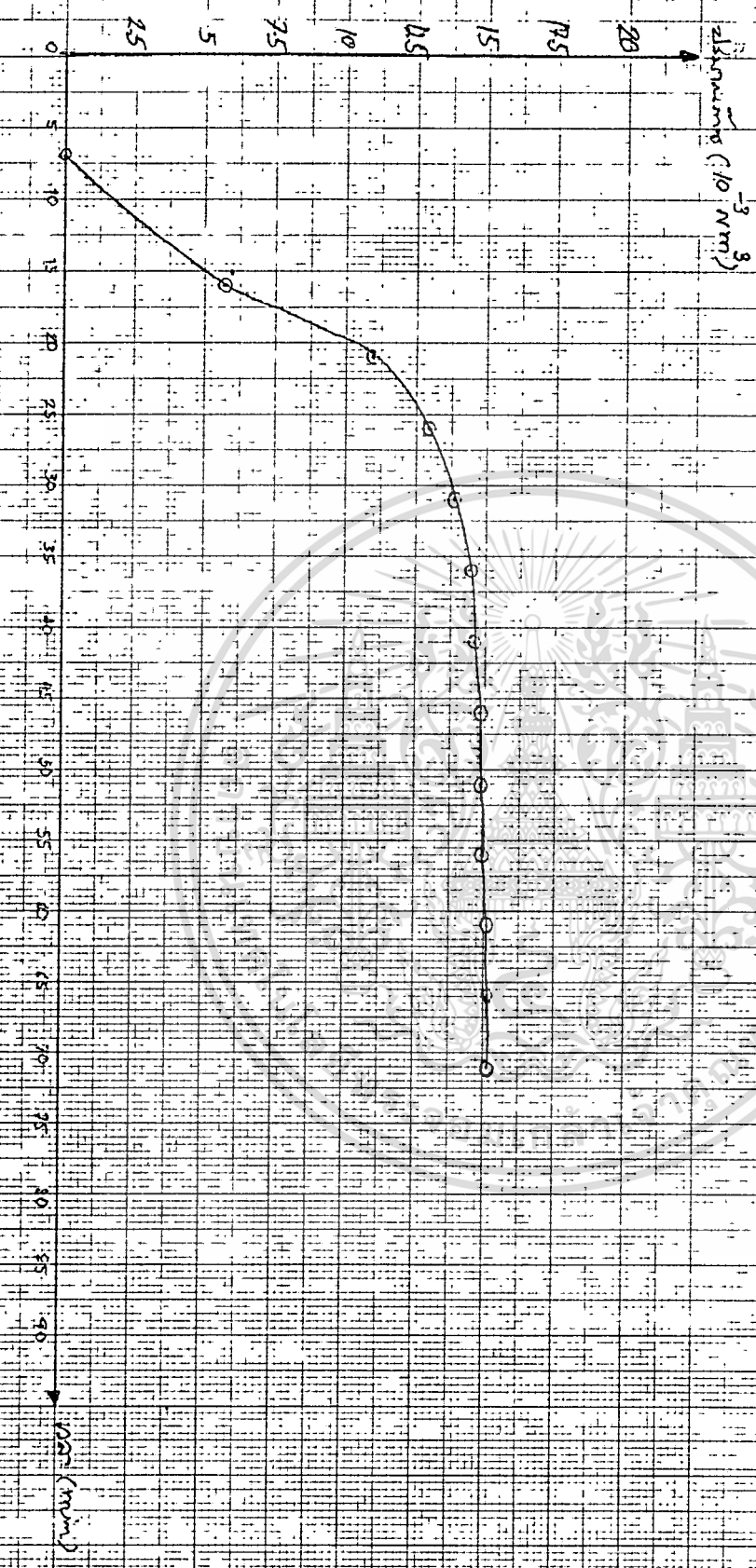
รูปที่ 5.2.11 ปริมาณที่ขมของผักตบชวา เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (450 °C การทดลองที่ 2)



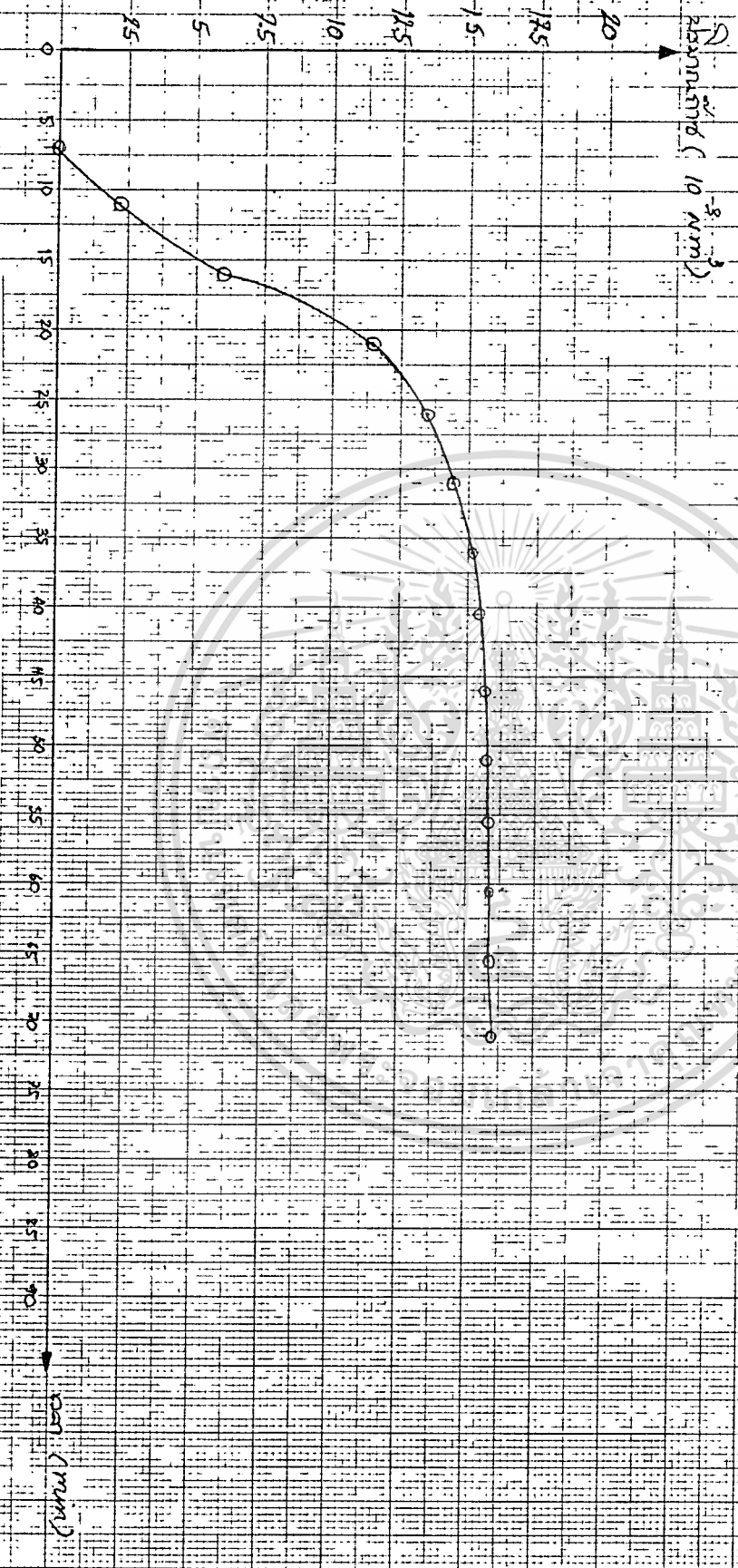
รูปที่ 5.2.12 ปริมาณก๊าซของผักตบชวา เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (450°C การทดลองที่ 3)



รูปที่ 5.2.13 ปริมาณค่าของฟังก์ชันชวาว เมื่อเวลาเปลี่ยน (550 การทดลองที่ 1)

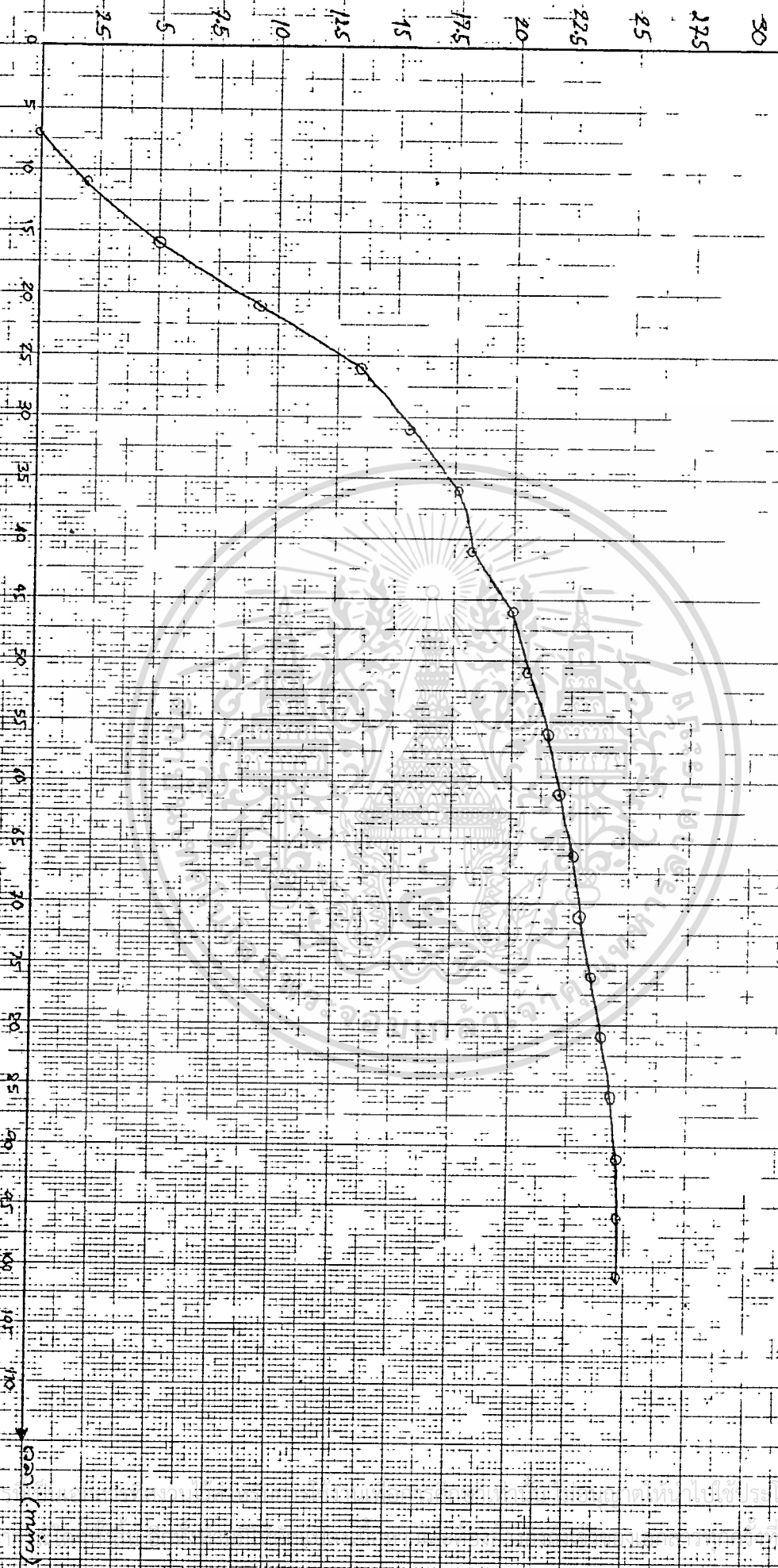


รูปที่ 5.2.14 ปริมาณน้ำของผักชวา เมื่อเวลาเปลี่ยนลงไม่ (550 °C การทดลองที่ 2)



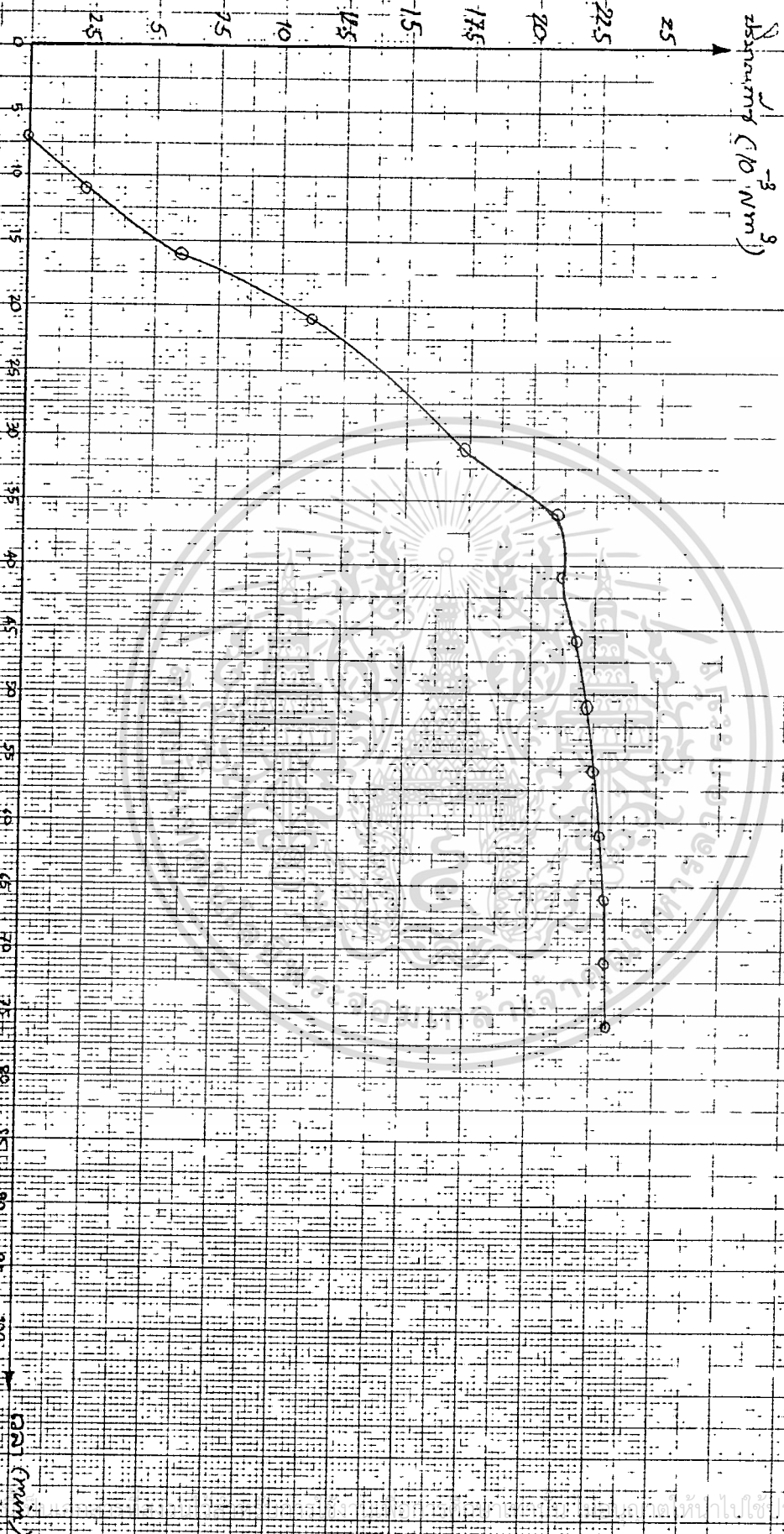
รูปที่ 5.2.15 ปริมาณการงอของค้ำคานงอ โมดูลาร์เปลี่ยนตามองุ่น (550 °C การทดลองที่ 3)

Abundance (10^{-3} Nm³)

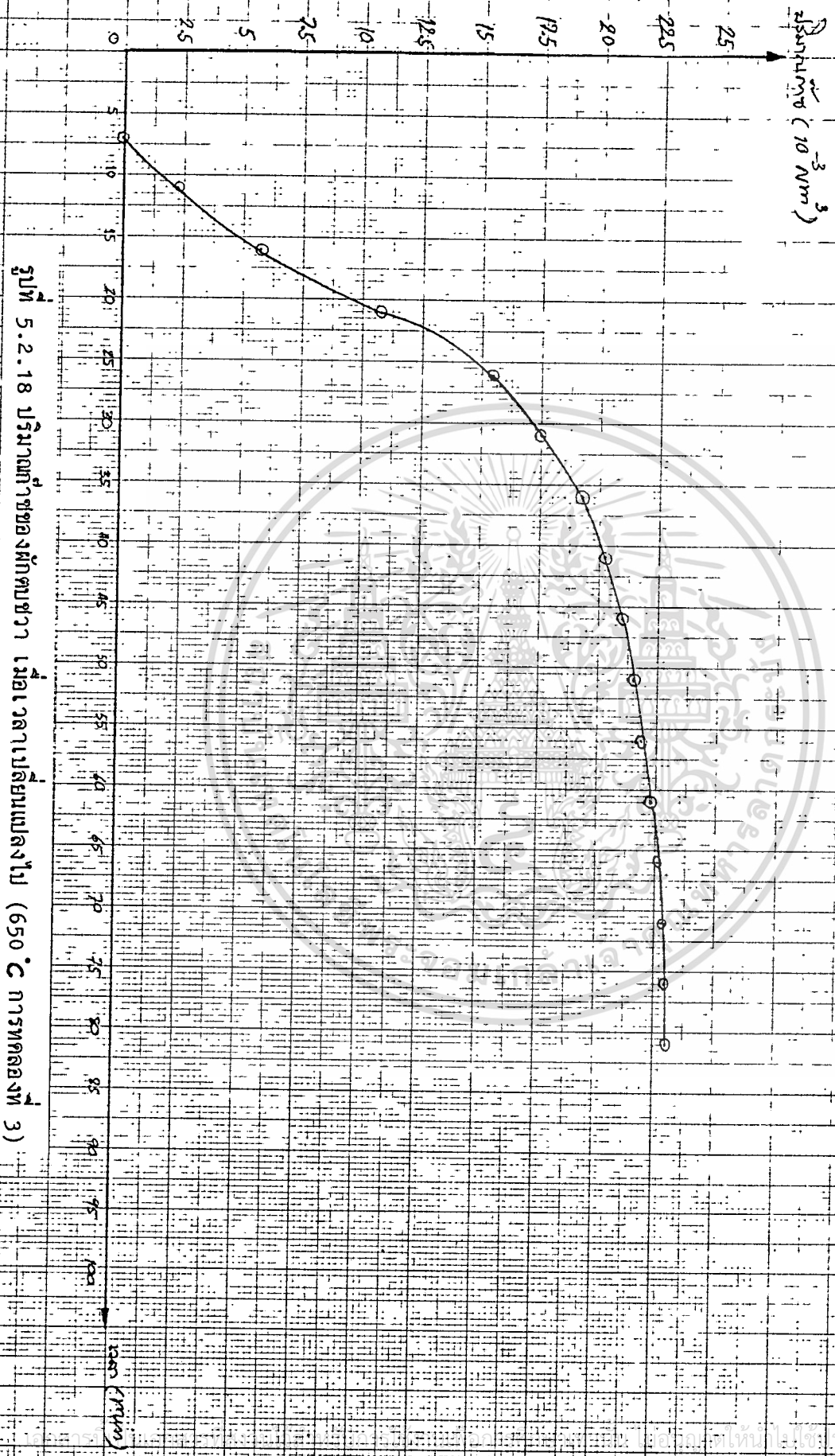


รูปที่ 5.2.16 ปริมาณก๊าซของนักศึกษาวิชา เหมอเวลาเปลี่ยนแปลงไป (650 °C การทดลองที่ 1)

เวลา (min)



รูปที่ 5.2.17 ปริมาณก๊าซของผักกาดขาว เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (650 °C การทดลองที่ 2)



รูปที่ 5.2.18 ปริมาตรของแก๊สของอากาศ โมเลกุลเป็นอิสระแบบลงไป (650 °C การทดลองที่ 3)

แต่ $P_1 = P_2 \quad \therefore$ จะได้สมการใหม่

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

V_2 คือ ปริมาตรของก๊าซที่อุณหภูมิของการ Pyrolysis (m^3)

T_1 คือ อุณหภูมิของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน ($15^\circ C$)

T_2 คือ อุณหภูมิของก๊าซจากการ Pyrolysis ให้คิดที่อุณหภูมิห้อง ($30^\circ C$)

สำหรับค่าความร้อนรวมของก๊าซเชื้อเพลิงหาได้จากสมการ (2.27) ต้องคำนวณหาแฟคเตอร์
อัด (Z_m) สำหรับก๊าซผสมจากสมการ (2.28)

$$Z_m = 1 - (x_1 \sqrt{b_1} + x_2 \sqrt{b_2} + \dots)^2 + 5 \times 10^{-4} (2x_H - x_H^2)$$

ค่า b สามารถหาได้จากตาราง E ในภาคผนวกจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ
ของก๊าซไม่พบไฮโดรเจนเพราะฉะนั้นสมการ (2.28) ลดรูปเป็น

$$Z_m = 1 - (x_1 \sqrt{b_1} + x_2 \sqrt{b_2} + \dots)^2 \quad (5.5)$$

ค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงต่างๆ ได้จากตาราง F (ภาคผนวก) และค่าความร้อนต่ำนี้
ปรับแล้วหาได้จากสมการ (2.29) การคำนวณจะสรุปไว้ในตารางที่ 5.2 สำหรับซังข้าวโพด
ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

จากตารางที่ 5.2 สามารถคำนวณค่าความร้อนค่ารวม (CV_m) ของก๊าซเชื้อเพลิงจากการ Pyrolysis ซังข้าวโพดที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ได้โดยใช้สมการ (2.27)

$$\begin{aligned}
 CV_m \ 450^\circ C &= (0.65 \times 33.95) + (0.105 \times 60.43) + (0.112 \times 86.42) \\
 &\quad + (0.083 \times 112.05) + (0.618 \times 112.41) + (0.030 \times 138.09) \\
 &\quad + (0.001 \times 138.39) \\
 &= 22.068 + 6.345 + 9.680 + 9.300 + 2.023 + 4.143 + 0.138 \\
 &= 53.573 \text{ MJ/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CV_m \ 550^\circ C &= (0.682 \times 33.95) + (0.121 \times 60.43) + (0.090 \times 86.42) \\
 &\quad + (0.07 \times 112.05) + (0.009 \times 112.41) + (0.028 \times 138.09) \\
 &\quad + (0.001 \times 138.39) \\
 &= 23.154 + 7.312 + 7.778 + 7.884 + 1.012 + 3.867 + 0.138 \\
 &= 51.105 \text{ MJ/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CV_m \ 650^\circ C &= (0.720 \times 33.95) + (0.137 \times 60.43) + (0.060 \times 86.42) + \\
 &\quad (0.050 \times 112.05) + (0.028 \times 112.41) + (0.001 \times 138.09) \\
 &\quad + (0.006 \times 138.39) \\
 &= 24.444 + 8.279 + 5.185 + 5.603 + 3.147 + 0.138 + 0.830 \\
 &= 47.626 \text{ MJ/m}^3
 \end{aligned}$$

ค่าแพลเตอร์อัด (Z_m) ของซังข้าวโพด ณ. ช่วงอุณหภูมิต่างๆ คำนวณจากสมการ (5.5)

$$\begin{aligned}
 Z_m \ 450^\circ C &= 1 - [(0.65 \times 0.0436) + (0.105 \times 0.917) + (0.112 \times \\
 &\quad 0.1342) + (0.083 \times 0.1723) + (0.018 \times 0.1841) + \\
 &\quad (0.030 \times 0.2276) + (0.001 \times 0.2377)] \\
 &= 1 - [0.028 + 0.096 + 0.015 + 0.014 + 0.003 + \\
 &\quad 0.007 + 0.0002] \\
 &= 0.837
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_m \ 550^\circ\text{C} &= 1 - [(0.682 \times 0.0436) + (0.121 \times 0.0917) + (0.09 \times \\
 &0.1342) + (0.07 \times 0.1723) + (0.009 \times 0.1841) + (0.028 \\
 &\times 0.2276) + (0.001 \times 0.2377)] \\
 &= 1 - [0.030 + 0.011 + 0.012 + 0.012 + 0.002 + 0.006 \\
 &+ 0.0002] \\
 &= 0.927
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_m \ 650^\circ\text{C} &= 1 - [(0.720 \times 0.0436) + (0.137 \times 0.0917) + (0.060 \times 0.1342 \\
 &+ (0.050 \times 0.1723) + (0.028 \times 0.1841) + (0.001 \times 0.2276) \\
 &+ (0.006 \times 0.2377)] \\
 &= 1 - [0.031 + 0.013 + 0.008 + 0.009 + 0.005 + 0.0002 \\
 &+ 0.001] \\
 &= 0.933
 \end{aligned}$$

ค่า CV_m ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ เมื่อปรับแก้แล้วจะคำนวณได้โดยสมการ (2.29)

$$CV_m \ 450^\circ\text{C} \text{ ปรับ} = \frac{53.573}{0.837} = 64.006 \text{ MJ/m}^3$$

$$CV_m \ 550^\circ\text{C} \text{ ปรับ} = \frac{51.105}{0.927} = 55.129 \text{ MJ/m}^3$$

$$CV_m \ 650^\circ\text{C} \text{ ปรับ} = \frac{47.626}{0.933} = 51.046 \text{ MJ/m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผักตบชวาก็สามารถคำนวณได้ในวิธีเดียวกัน ตารางที่ 5.2 แสดงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าความร้อนต่ำรวมของก๊าซเชื้อเพลิงจากผักตบชวาที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จากตารางที่ 5.3 สามารถคำนวณค่าความร้อนต่ำรวม (CV_m) ของก๊าซเชื้อเพลิงจากการ Pyrolysis ผักตบชวาที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ได้โดยใช้สมการ (2.27)

$$\begin{aligned} CV_m \quad 450^\circ\text{C} &= (0.650 \times 33.95) + (0.122 \times 60.43) + (0.039 \times 86.42) \\ &\quad (0.115 \times 112.05) + (0.018 \times 112.41) + (0.054 \times \\ &\quad 138.09) + (0.002 \times 138.39) \\ &= 22.068 + 7.372 + 3.370 + 12.886 + 2.023 + 7.457 \\ &\quad + 0.277 \end{aligned}$$

$$= 55.453 \text{ MJ/m}^3$$

$$\begin{aligned} CV_m \quad 550^\circ\text{C} &= (0.612 \times 33.95) + (0.148 \times 60.43) + (0.091 \times \\ &\quad 86.42) + (0.094 \times 112.05) + (0.007 \times 112.4) \\ &\quad + (0.045 \times 138.09) + (0.001 \times 138.39) \\ &= 20.777 + 8.944 + 7.864 + 10.589 + 0.787 \\ &\quad + 6.214 + 0.138 \\ &= 55.313 \text{ MJ/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CV_m \quad 650^\circ\text{C} &= (0.629 \times 33.95) + (0.186 \times 60.43) + (0.075 \times 86.42) \\ &\quad + (0.076 \times 112.05) + (0.003 \times 112.41) + (0.033 \times \\ &\quad 138.09) + (0.001 \times 138.39) \\ &= 21.355 + 11.240 + 6.482 + 8.516 + 0.337 + 4.557 \\ &\quad + 0.138 \end{aligned}$$

$$= 52.625 \text{ MJ/m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแฟคเตอร์รีด (Zm) ของผักตบชวา ณ. ช่วงอุณหภูมิต่างๆ คำนวณจากสมการ (5.5)

$$\begin{aligned}
 Z_m \text{ 450}^\circ\text{C} &= 1 - [(0.650 \times 0.0436) + (0.122 \times 0.0197) \\
 &\quad + (0.039 \times 0.1342) + (0.115 \times 0.1723) + (0.018 \times \\
 &\quad 0.1841) + (0.054 \times 0.2276) + (0.002 \times 0.2377)] \\
 &= 1 - [0.028 + 0.002 + 0.005 + 0.02 + 0.003 + \\
 &\quad 0.012 + 0.0005] \\
 &= 0.930
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_m \text{ 550}^\circ\text{C} &= 1 - [(0.612 \times 0.0436) + (0.148 \times 0.0197) + \\
 &\quad (0.091 \times 0.1342) + (0.094 \times 0.1723) + (0.007 \\
 &\quad \times 0.1841) + (0.045 \times 0.2276) + (0.001 \times 0.2377)] \\
 &= 1 - [(0.027 + 0.0029 + 0.012 + 0.016 + 0.001 \\
 &\quad + 0.010 + (0.0002)] \\
 &= 0.931
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_m \text{ 650}^\circ\text{C} &= 1 - [(0.629 \times 0.0436) + (0.186 \times 0.0197) + (0.075 \\
 &\quad \times 0.1342) + (0.076 \times 0.1723) + (0.003 \times 0.1841) \\
 &\quad + (0.033 \times 0.2276) + (0.001 \times 0.2377)] \\
 &= 1 - [0.027 + 0.004 + 0.010 + 0.013 + 0.0006 \\
 &\quad + 0.008 + 0.00002] \\
 &= 0.937
 \end{aligned}$$

∴ ค่า CV_m ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ เมื่อปรับแก้แล้วจะคำนวณโดยสมการ (2.29)

$$CV_m \text{ 450}^\circ\text{C} \text{ ปรับ} = \frac{55.453}{0.930} = 59.627 \text{ MJ/m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CV_m \text{ 550}^\circ\text{C} \text{ ปรับ} = \frac{55.313}{0.931} = 59.412 \text{ MJ/m}^3$$

$$CV_m \text{ 650}^\circ\text{C} \text{ ปรับ} = \frac{52.625}{0.937} = 56.163 \text{ MJ/m}^3$$

เมื่อนำค่าความร้อนต่ำของก๊าซเชื้อเพลิงนี้คำนวณได้ดังกล่าวแล้วเมื่อนำมาวิเคราะห์ว่าเป็นการ
ประหยัดหรือไม่ที่ใช้ก๊าซเชื้อเพลิงจากการ Pyrolysis นี้

$$\text{ค่าความร้อนสำหรับซังข้าวโพด} = 17.80 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{ค่าความร้อนสำหรับผักตบชวา} = 15.62 \text{ MJ/kg}$$

ค่าความร้อนทั้ง 2 ขี้วมวลนี้ไม่คิดค่าความร้อนของความร้อนในขี้วมวล (Sirisomboon,
in Press) สามารถคำนวณค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงตามทฤษฎีได้ดังนี้สำหรับซังข้าวโพดที่
450°C ใช้ซังข้าวโพดจำนวน 400 g. ได้ความร้อน $\frac{17.80 \times 400}{1000} = 7.12 \text{ MJ}$

จากซังข้าวโพด 400 กรัม ผลิตก๊าซได้เท่ากับ 0.044 m³ ค่านี้เป็นปริมาตรที่อุณหภูมิห้อง
และความดัน 1 บรรยากาศต้องเปลี่ยนให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานจากสูตร (5.3)

$$\therefore \text{ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่สภาวะมาตรฐาน} = 0.022 \text{ Nm}^3$$

$$\therefore \text{ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงของซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 450}^\circ\text{C} = 323.636 \text{ MJ/Nm}^3$$

สำหรับค่าความร้อนอื่นๆ หาได้โดยวิธีเดียวกันนี้เมื่อคำนวณได้โดยวิธีเดียวกันนี้เมื่อคำนวณได้โดย
ใช้ผลการทดลอง 4.5 และคำนวณไว้ในตารางที่ 5.4 สำหรับค่าความร้อนจากเครื่องทำ
ความร้อนคำนวณได้ดังนี้ เครื่องทำความร้อนมีกำลังทั้งสิ้น 0.0033 mW แบบการคำนวณแสดง
ไว้ในตารางที่ 5.5 เมื่อนำค่าความร้อนทั้ง 3 แบบมาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบกันได้ดัง
รูปที่ 5

ตารางที่ 5.2 ค่าต่างที่ใช้คำนวณค่าความร้อนรวมของก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับขังข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

ชื่อก๊าซ	สูตรเคมี	ปริมาณที่เข้าเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 30 °C (vol)			ปริมาณที่เข้าเชื้อเพลิง ที่สภาวะมาตรฐาน (vol)			น้ำหนัก โมเลกุล	สัดส่วนโมล			ค่า ความร้อน (MJ/m ³)	
		450°C	550°C	650°C	450°C	550°C	650°C		450°C	550°C	650°C		
มีเทน	CH ₄	32.425	37.325	48.54	16.413	18.669	21.877	16.043	0.65	0.642	0.720	0.0456	39.45
อีเทน	C ₂ H ₆	9.149	12.404	15.555	4.474	6.202	7.878	30.070	0.105	0.121	0.137	0.0917	60.43
โพรเพน	C ₃ H ₈	15.546	13.441	9.452	7.773	6.741	4.476	44.097	0.112	0.090	0.060	0.1342	86.42
บิวเทน	C ₄ H ₁₀	15.104	13.845	10.721	7.552	6.923	5.986	58.124	0.083	0.070	0.050	0.1723	112.05
เพนเทน	C ₅ H ₁₂	3.41	1.733	6.092	1.705	0.467	3.041	56.124	0.014	0.009	0.026	0.1841	112.41
เฮกเซน	C ₆ H ₁₄	6.763	6.913	0.149	3.982	3.457	0.075	72.151	0.030	0.028	0.001	0.2276	139.09
นอร์พาริน	C ₅ H ₁₂	0.122	0.101	1.532	0.061	0.051	0.766	72.151	0.001	0.001	0.006	0.2377	135.39
ไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเกิน 6 คาร์บอน	-	13.136	10.992	6.912	6.568	5.496	4.406	-	-	-	-	-	-
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	-	3.146	3.206	3.607	1.573	1.603	1.904	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5.3 ค่าต่างๆที่ใช้คำนวณค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับผลิตภัณฑ์ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

ชื่อก๊าซ	สูตรเคมี	ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ 30 °C (Nm³)			ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง ที่สถานะมาตรฐาน (Nm³)			น้ำหนัก โมเลกุล	สัดส่วนโมล			ค่า ความร้อน (MJ/m³)	
		450°C	550°C	650°C	450°C	550°C	650°C		450°C	550°C	650°C		
มีเทน	CH ₄	25.515	27.907	30.442	12.758	13.954	15.431	16.043	0.650	0.612	0.629	0.0436	33.95
อีเทน	C ₂ H ₆	8.979	12.662	17.169	4.490	6.331	9.584	30.620	0.122	0.148	0.186	0.0197	60.43
โพรเพน	C ₃ H ₈	14.249	11.422	10.054	2.125	5.736	5.027	44.097	0.039	0.091	0.075	0.1342	86.42
บิวเทน-นิก	C ₄ H ₁₀	16.433	15.530	13.526	2.217	7.765	6.763	58.124	0.115	0.094	0.076	0.1723	112.05
นอร์มอล อีเทน	C ₄ H ₁₀	2.509	1.191	0.618	1.285	0.591	0.309	58.124	0.018	0.007	0.003	0.1441	112.41
ไอโซ เพนเทน	C ₅ H ₁₂	9.584	9.273	7.412	4.792	4.637	3.706	72.151	0.054	0.045	0.033	0.2276	158.09
นอร์มอล เพนเทน	C ₅ H ₁₂	0.407	0.237	0.166	0.204	0.119	0.093	72.151	0.002	0.001	0.001	0.2377	138.39
ไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเกิน 6 คาร์บอน	-	17.617	17.225	17.190	8.849	9.886	9.595	-	-	-	-	-	-
ก๊าซที่โคจรที่ พม่า	-	4.627	3.963	2.984	2.314	1.982	1.492	-	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 กำหนดค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงของชีวมวล ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

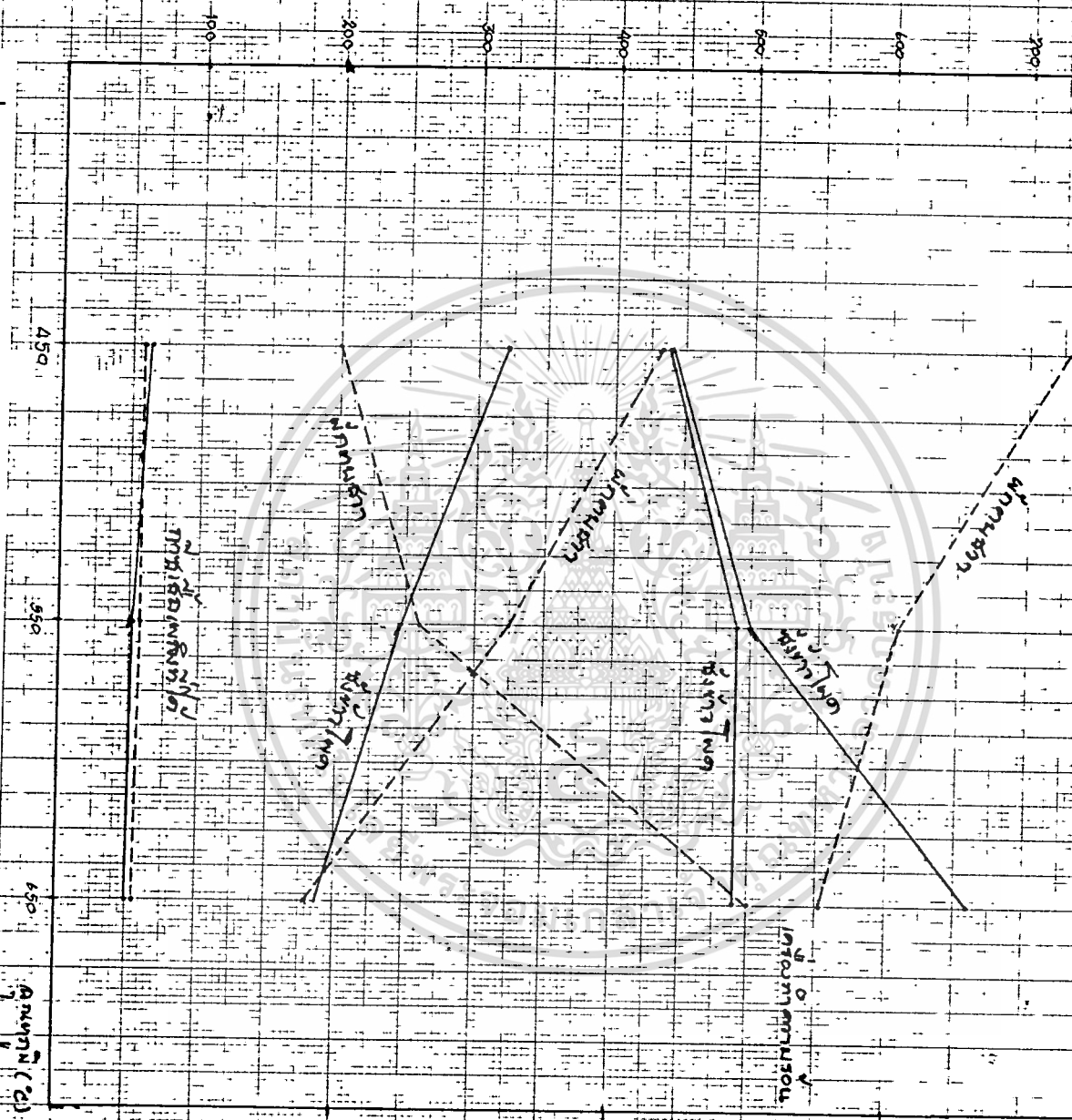
ชีวมวล	น้ำหนักที่ใช้ (กิโลกรัม)		ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (ม ³)		ปริมาณก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (ม ³)		ค่าความร้อน (กจ/ม ³)	
	450	550	450	550	450	550	450	550
ขี้เถ้าไผ่	0.40	0.35	0.04	0.05	0.066	0.025	923.696	249.20
ผักตบชวา	0.28	0.24	0.019	0.025	0.049	0.019	437.36	327.935

ตารางที่ 5.5 การคำนวณค่าความร้อนจากเครื่องทำความร้อนในช่วงอุณหภูมิต่าง

ชีวมวล	เวลาที่เครื่องทำความร้อนทำงาน (S)		ค่าความร้อนของเครื่องทำความร้อน (กจ/ม ³)	
	450	550	450	550
ขี้เถ้าไผ่	2940	3180	441	497.260
ผักตบชวา	2220	2400	232.6	609.231

พื้นที่รวม (m²)

พื้นที่รวม (m²)



พื้นที่รวม (m²)

0.01

0.02

0.03

พื้นที่รวม

พื้นที่รวม

พื้นที่รวม

พื้นที่รวม

พื้นที่รวม

พื้นที่รวม

พื้นที่รวม

หมายเหตุ : ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเกิน 6 ตัว และก๊าซที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ไม่นำมาใช้คิดคำนวณค่าความร้อนเพราะเป็นก๊าซหลายๆ ชนิดที่มีปริมาณน้อยมากมารวมๆ กัน จากรูปที่ เห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง 1 Nm^3 จากซังข้าวโพดและผักตบชวาลดลงนั่นคือต้องการซังข้าวโพด ในปริมาณที่น้อยกว่าเพื่อผลิตก๊าซใน ปริมาณที่ เท่ากันแต่จะ ให้ปริมาณความร้อนน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับการ Pyrolysis ซังข้าวโพดปริมาณความร้อนจากเครื่องทำความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิต่ำ จะใช้ปริมาณความร้อนน้อยกว่า ดังนั้นสำหรับซังข้าวโพดควรใช้อุณหภูมิที่ใช้ในการ Pyrolysis ต่ำ แต่สำหรับผักตบชวาควรใช้อุณหภูมิที่ใช้ในการ Pyrolysis สูง เนื่องจากค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิงที่ Pyrolysis ที่อุณหภูมิในช่วง $450\text{--}550^\circ\text{C}$ แต่จะสังเกตได้ว่าปริมาณความร้อนที่ได้จากซังข้าวโพดและผักตบชวา ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ มีความแตกต่างกันไม่มากนักการเลือกอุณหภูมิในการ Pyrolysis จึงควรจะพิจารณาช่วงอุณหภูมิปริมาณของชีวมวลและการใช้พลังงานจากภายนอกให้เหมาะสม

* มีค่าใกล้เคียงกันแต่ปริมาณความร้อนที่ใช้จากเครื่องทำความร้อนต่ำเมื่อ Pyrolysis ที่อุณหภูมิสูง

5.6 ปริมาณสารระเหยของถ่านซังข้าวโพดและถ่านผักตบชวา

จากตารางที่ 4.6 ปริมาณสารระเหยของถ่านซังข้าวโพดและถ่านผักตบชวา ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของถ่านซังข้าวโพด เท่ากับ 92.16 95.16 และ 94.36 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหยเฉลี่ยของถ่านผักตบชวาเท่ากับ 60.37 62.58 และ 63.40 เปอร์เซ็นต์ ของอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณสารระเหยของถ่านผักตบชวา จะมากกว่าถ่านผักตบชวา

5.7 ปริมาณเถ้าของถ่านซังข้าวโพดและถ่านผักตบชวา

จากตารางที่ 4.7 ปริมาณเถ้าของถ่านซังข้าวโพดและถ่านผักตบชวา ปริมาณเถ้าเฉลี่ยของถ่านซังข้าวโพดเท่ากับ 4.46 3.75 และ 5.61 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยของถ่านผักตบชวา เท่ากับ 38.95 39.08 และ 40.12 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณเถ้าของผักตบชวาจะมากกว่าถ่านซึ่งข้าวโพด

5.8 ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านซึ่งข้าวโพดและถ่านผักตบชวา

จากตารางที่ 4.8 ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านซึ่งข้าวโพด และถ่านผักตบชวา ปริมาณคาร์บอนคงที่เฉลี่ยของถ่านซึ่งข้าวโพดเท่ากับ 4.36 1.09 และ 0.95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอนคงที่เฉลี่ยของถ่านผักตบชวา เท่ากับ 0.68 และ 5.30 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนคงที่ที่ติดค่าลบ เกิดจากการทดลองผิดพลาด โดยในระหว่างการทดลองมีลมพัดแรงในบริเวณที่ซึ่งน้ำหนัก

* จากตารางที่ 4.6-4.8 เป็นการทดลองที่มีความสัมพันธ์กันทั้งสามการทดลอง ซึ่งสามารถอธิบายได้ ถ่านซึ่งมวลปริมาณหนึ่งหน่วย จะประกอบด้วย ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงที่และเถ้า ความชื้นในที่นี้จะไม่นำมาคิดในการคำนวณ เพราะว่าเมื่อเกิดการเผาไหม้ของถ่านซึ่งมวล ความชื้นจะระเหยขึ้นไปในอากาศ ซึ่งไม่มีประโยชน์เลยแต่มีผลเสียบ้างถ้าปริมาณความชื้นของถ่านซึ่งมวลมีมากจะทำให้การลุกไหม้ในตอนแรกจะเป็นไปได้ยาก ส่วนปริมาณเถ้าคือส่วนที่เหลือหลังจากการลุกไหม้เสร็จสิ้นแล้ว ตัวที่สำคัญที่จะนำมาพิจารณาคือปริมาณคาร์บอนคงที่ ซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้ของถ่านซึ่งมวล คาร์บอนคงที่จะให้ค่าความร้อนสูงจากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านซึ่งข้าวโพดและถ่านผักตบชวามีเปอร์เซ็นต์น้อยมากประมาณ 0.6-5.3 เท่านั้น แสดงว่าถ่านที่ได้จากกระบวนการ Pyrolysis ในช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C เป็นถ่านคุณภาพต่ำ

5.9 ปริมาณน้ำมันดินของการ Pyrolysis ซึ่งข้าวโพดและผักตบชวา

จากตารางที่ 4.9 ปริมาณน้ำมันดินในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ของซึ่งข้าวโพดและผักตบชวา ปริมาณน้ำมันดินเฉลี่ยของซึ่งข้าวโพดในช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C และ 650°C เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 31.9120 กรัม 20.6823 กรัม และ 22.8250 กรัม ตามลำดับ ปริมาณ น้ำมันดินเฉลี่ยของผักตบชวาที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C เท่ากับ 14.4300 กรัม 5.2110 กรัม และ 11.2923 กรัม ตามลำดับจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำมันดินของซึ่งข้าวโพด จะมากกว่า ปริมาณน้ำมันดินของผักตบชวาของทุกช่วงอุณหภูมิ

5.10 ข้อเสนอแนะ

การใช้ซึ่งข้าวโพดและผักตบชวามาเผาไหม้ทำก๊าซเชื้อเพลิง ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ นี้ มีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงหลายประการด้วยกันคือ

1. ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีปริมาณน้ำอยู่มาก การนำมาใช้ต้องนำมาตากให้แห้ง ซึ่งต้องใช้ปริมาณมาก และเห็นได้ในการตากมากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนี้สูง
2. ปริมาณน้ำมันดินของซึ่งข้าวโพดมากกว่าผักตบชวา การออกแบบอุปกรณ์หล่อเย็นจึงต้องคำนวณพื้นที่ของถ่ายเทความร้อนให้เหมาะสม
3. การ Pyrolysis ซึ่งข้าวโพดและผักตบชวาจะต้องลงทุนสูงเสียค่าใช้จ่ายมาก การนำก๊าซเชื้อเพลิงจากการ Pyrolysis นี้ จึงต้องพิจารณาประเภทของงานให้คุ้มทุน
4. ถ่านที่ได้จากการ Pyrolysis ซึ่งข้าวโพด และผักตบชวาที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C 550°C 650°C จะเป็นถ่านคุณภาพต่ำไม่เหมาะนำไปใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเทียบขนาดสาย

เบอร์ S.W.G.	φ ความโต		พื้นที่หน้าตัด		ทนกระแสได้ แอมแปร์		เบ็บริวซ์ ทนได้ (แอมป์)	น้ำหนัก ต่อร้อยเมตร (ก.ก.)	ความยืด ร้อยเมตร (โอห์ม)	เบอร์ A.W.G.
	นิ้ว	ม.ม.	เซอร์กิต มิล	ตาราง ม.ม.	หุ้มยาง	ลวด เปลือย				
0000	.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
000	.372	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00	.348	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/12 0	.324	8.23	105.500	54.186	125	200	-	47.925	.33	0
1	.36	7.62	90.000	46.451	-	-	-	-	-	-
19/13 -	-	-	83.690	-	100	150	-	37.995	.042	1
2	.276	7.06	77.176	39.874	-	-	-	-	-	-
19/15 3	.252	6.4	66.370	32.768	90	125	-	30.185	.052	2
19/16 4	.232	5.89	52.630	27.753	-	-	-	23.895	.066	3
5	.212	5.38	41.740	23.155	70	90	-	18.960	.083	4
19/18 6	.192	4.88	33.100	18.251	-	-	-	15.030	.105	57/14
7	.176	4.46	30.976	15.913	-	-	-	-	-	-
8	.16	4.06	26.250	13.026	50	70	-	-	.133	6
9	.144	3.66	20.766	10.716	-	-	-	9.45	.167	7
7/16 10	.128	3.24	16.510	8.398	35	50	-	2.5	.211	8
11	.116	2.94	13.090	6.914	-	-	-	5.945	.266	9
7/18 12	.104	2.642	10.816	5.584	25	30	-	4.715	.335	10
13	.092	2.336	8.234	4.364	-	-	-	3.738	.424	11
7/20 14	.08	2.03	6.530	3.296	20	25	252	2.965	.534	12
15	.072	1.828	5.178	2.672	-	-	-	2.352	.673	13
7/22 16	.064	1.625	4.107	2.112	15	20	165	1.864	.850	14 3/18
7	.056	1.422	3.257	1.617	-	-	-	1.479	1.070	15 3/20
-	-	-	2.583	-	6	10	-	1.173	1.350	16 3/22
18	.048	1.219	2.048	1.188	-	-	107	.93	1.703	17
19	.04	1.061	1.624	.825	3	5	-	.738	2.148	18
20	.036	.914	1.288	.688	-	-	70	.585	2.706	19
21	.032	.812	1.022	.527	-	-	-	.464	3.412	20
22	.028	.711	810.1	.040	-	-	48	.368	4.303	21
23	.024	.61	624.4	.297	-	-	-	.292	5.425	22
24	.022	.558	509.5	.249	-	-	33.4	.231	6.847	23
25	.02	.508	404.0	.206	-	-	-	.183	8.630	24
26	.018	.457	320.4	.167	-	-	24.7	.145	10.89	25
27	.0164	.406	254.1	.131	-	-	-	.115	13.728	26
28	.0148	.376	201.5	.113	-	-	18.4	.091	17.292	27
29	.0136	.345	184.9	.095	-	-	-	-	-	-
30	.0124	.304	159.8	.073	-	-	14.1	.073	21.788	28
31	.0116	.29	126.7	.067	-	-	-	.057	27.522	29
32	.0108	.274	116.6	.06	-	-	11.5	-	-	-
33	.01	.254	100.5	.051	-	-	-	.045	34.782	30
34	.0092	.228	81.0	.041	-	-	9.0	-	-	-
35	.0084	.203	79.7	.032	-	-	-	.036	43.758	31
-	-	-	83.21	-	-	-	-	.029	55.176	32
36	.0076	.193	50.13	.029	-	-	6.8	.023	59.564	33
37	.0068	.172	39.75	.023	-	-	-	.018	87.714	34
38	.0060	.155	31.52	.018	-	-	4.7	.014	110.715	35
39	.0052	.132	25.0	.013	-	-	-	.011	139.59	36
40	.0048	.121	-	.011	-	-	3.4	-	-	-
41	.0044	.111	19.8	.0098	-	-	-	.009	175.89	37
42	.004	.1	15.72	.008	-	-	2.6	.007	222.09	38
43	.0036	.0914	12.47	.0066	-	-	-	.005	279.51	39
44	.0032	.0812	9.89	.0052	-	-	1.85	.004	352.44	40
45	.0028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	.0016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	.0012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง B ตารางเทียบขนาดของขดลวดความร้อน

Wire mm

12.0-1.0 mm Ø
Resistivity, $\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$ 1.45
Density, g cm⁻³ 7.1

$$\text{cm}^2/\Omega = \frac{I^2 C_1}{P}$$

I = Current
C₁ = Temperature factor
P = Surface load W/cm²

To obtain resistivity at working temperature multiply by the factor C₁ in the following table:

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
C ₁	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05

Diameter mm	Resistance Ω/m 20°C	cm^2/Ω 20°C	Weight g/m	Surface area cm^2/m	Cross sectional area mm ²	Diameter mm
12.0	0.0128	29400	803	377	113	12.0
10.0	0.0185	17000	558	314	78.5	10.0
9.5	0.0205	14600	503	298	70.9	9.5
8.25	0.0271	9560	380	259	53.5	8.25
8.0	0.0288	8710	357	251	50.3	8.0
7.5	0.0328	7180	314	236	44.2	7.5
7.0	0.0377	5840	273	220	38.5	7.0
6.5	0.0437	4670	236	204	33.2	6.5
6.0	0.0513	3680	201	188	28.3	6.0
5.5	0.0610	2830	169	173	23.8	5.5
5.0	0.0738	2130	139	157	19.6	5.0
4.75	0.0818	1820	126	149	17.7	4.75
4.5	0.0912	1550	113	141	15.9	4.5
4.25	0.102	1310	101	134	14.2	4.25
4.0	0.115	1090	89.2	126	12.6	4.0
3.75	0.131	897	78.4	118	11.0	3.75
3.5	0.151	730	68.3	110	9.62	3.5
3.25	0.175	584	58.9	102	8.30	3.25
3.0	0.205	459	50.2	94.2	7.07	3.0
2.75	0.244	354	42.2	86.4	5.94	2.75
2.5	0.295	266	34.9	78.5	4.91	2.5
2.25	0.365	194	28.2	70.7	3.98	2.25
2.0	0.462	136	22.3	62.8	3.14	2.0
1.8	0.570	99.2	18.1	56.5	2.54	1.8
1.7	0.639	83.6	16.1	53.4	2.27	1.7
1.6	0.721	69.7	14.3	50.3	2.01	1.6
1.5	0.821	57.4	12.5	47.1	1.77	1.5
1.4	0.942	46.7	10.9	44.0	1.54	1.4
1.3	1.09	37.4	9.42	40.8	1.33	1.3
1.2	1.28	29.4	8.03	37.7	1.13	1.2
1.1	1.53	22.6	6.75	34.6	0.950	1.1
1.0	1.85	17.0	5.58	31.4	0.785	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง C

BARIC HEAT CAPACITY PER VOLUME

of $[c_p^*/v]$ ($\text{kJ K}^{-1} \text{m}^{-3}$), where v is the ideal-gas specific volume (RT/P^0) at the standard pressure $P^0 = 101.325 \text{ kPa}$.

Oxygen (O ₂)	Nitrogen (N ₂)	Air	Carbon Monoxide	Hydrogen (H ₂)	Carbon Dioxide	Water	Methane	Ethylene	Ethane	Propane	n-Butane	Benzene
1.2006	1.1905	1.1805	1.1912	1.1787	1.5176	1.3725	1.4506	1.751	2.145	3.005	3.083	3.338
1.1937	1.1831	1.1823	1.1840	1.1719	1.5116	1.3643	1.4534	1.747	2.142	3.002	3.077	3.340
0.9173	0.8912	0.8943	0.8940	0.8891	1.2359	1.0435	1.2371	1.614	1.995	2.873	3.773	3.409
0.7578	0.7210	0.7268	0.7262	0.7132	1.0876	0.8581	1.1336	1.522	1.901	2.755	3.604	3.345
0.6518	0.6115	0.6183	0.6183	0.5957	0.9612	0.7373	1.0662	1.434	1.813	2.624	3.425	3.207
0.5743	0.5355	0.5421	0.5427	0.5125	0.8629	0.6522	1.0132	1.352	1.727	2.401	3.245	3.041
0.5139	0.4788	0.4848	0.4856	0.4513	0.7835	0.5892	0.9674	1.277	1.645	2.363	3.074	2.872
0.4653	0.4345	0.4396	0.4411	0.4046	0.7177	0.5408	0.9259	1.207	1.568	2.244	2.914	2.710
0.4251	0.3985	0.4028	0.4044	0.3681	0.6618	0.5022	0.8873	1.144	1.494	2.133	2.765	2.558
0.3912	0.3683	0.3719	0.3735	0.3388	0.6139	0.4705	0.8508	1.086	1.424	2.028	2.626	2.418
0.3623	0.3425	0.3455	0.3470	0.3147	0.5722	0.4438	0.8162	1.032	1.359	1.930	2.496	2.289
0.3375	0.3201	0.3227	0.3241	0.2946	0.5356	0.4206	0.7834	0.982	1.298	1.839	2.376	2.170
0.3159	0.3005	0.3027	0.3039	0.2774	0.5032	0.4001	0.7523	0.936	1.240	1.754	2.264	2.061
0.2971	0.2831	0.2850	0.2861	0.2624	0.4743	0.3818	0.7229	0.893	1.185	1.674	2.161	1.960
0.2589	0.2472	0.2487	0.2493	0.2321	0.4444	0.3430						
0.2302	0.2192	0.2207	0.2208	0.2089	0.3677	0.3114						
0.2077	0.1968	0.1984	0.1980	0.1902	0.3301	0.2849						
0.1897	0.1785	0.1802	0.1794	0.1747	0.2995	0.2623						
0.1748	0.1633	0.1651	0.1640	0.1616	0.2740	0.2430						
0.1623	0.1505	0.1524	0.1510	0.1506	0.2525	0.2261						
3	3	4	3	3	3	3	5	6	6	7	7	8

(Compiled by S. G. Frankiss, Division of Chemical Standards, National Physical Laboratory, UK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง D สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

สภาพการไหล	ของไหลอุณหภูมิสูง	ของไหลอุณหภูมิต่ำ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	
			Btu/hr ft ² °F	Kcal/hr m ² °C
เครื่องระบายความร้อน (Cooler)	น้ำ	น้ำ	230-300	1200-2440
	เมทธานอล (Methanol)	น้ำ	250-300	1200-2440
	แอมโมเนีย (Ammonia)	น้ำ	250-300	1200-2440
	สารละลายของน้ำ	น้ำ	250-300	1200-2440
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.30 cp	น้ำ	250-300	1200-2440
	สารอินทรีย์ความหนืด 0.3-1.0 cp	น้ำ	75-150	370-730
	สารอินทรีย์ความหนืดมากกว่า 1.0 cp	น้ำ	30-125	240-610
	ก๊าซ	น้ำ	5-75 II	24-370 II
	น้ำ	น้ำ	2-30 Δ	10-240 Δ
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.8 cp	น้ำเค็ม (Brine)	100-200	490-1000
	น้ำมันเค็ม (Brine)	40-150	190-490	
เครื่องให้ความร้อน (Heater)	ไอน้ำ	น้ำ	200-700	1000-3400
	ไอน้ำ	เมทธานอล (Methanol)	200-700	1000-3400
	ไอน้ำ	แอมโมเนีย (Ammonia)	200-700	1000-3400
	ไอน้ำ	สารละลายของน้ำ	200-700	1000-3400
	ไอน้ำ	ความหนืดน้อยกว่า 2.0 cp	200-700	1000-3400
	ไอน้ำ	สารละลายของน้ำ	100-300	490-2400
	ไอน้ำ	ความหนืดมากกว่า 2.0 cp	100-300	490-2400
	ไอน้ำ	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	100-300	490-1000
	ไอน้ำ	สารอินทรีย์ความหนืด 0.5-1.0 cp	50-100	240-490
	ไอน้ำ	สารอินทรีย์ความหนืดมากกว่า 1.0 cp	5-50	25-250
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	น้ำ	น้ำ	250-300	1200-2440
	สารละลายของน้ำ	สารละลายของน้ำ	250-300	1200-2440
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	40-75	190-370
	สารอินทรีย์ความหนืด 0.5-1.0 cp	สารอินทรีย์ความหนืด 0.5-1.0 cp	20-50	100-300
	สารอินทรีย์ความหนืดมากกว่า 1.0 cp	สารอินทรีย์ความหนืดมากกว่า 1.0 cp	70-40	50-190
	สารอินทรีย์ความหนืดมากกว่า 1.0 cp	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	20-50	150-300
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	สารอินทรีย์ความหนืดมากกว่า 1.0 cp	10-40	50-190
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	10-40	50-190
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	10-40	50-190
	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	สารอินทรีย์ความหนืดน้อยกว่า 0.5 cp	10-40	50-190

- หมายเหตุ 1. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของตารางข้างบนสำหรับท้าวถึงแฟคเตอร์ (Fouling Factor) 0.003 ft²hr°F/Btu (0.0008 m²hr°C/kcal) และค่าความดันสูญเสียที่ขอมได้ 5-10 psi (0.35-0.7 kg/cm²)
2. สัญญลักษณ์ที่ใช้ในตารางข้างบน มีความหมายดังนี้
- สารอินทรีย์จำพวก Benzene, Toluene, Acetone, Ethanol, Methyl ethyl ketone, Gasoline, Light kerosene, Naphtha เป็นต้น
 - + สารอินทรีย์จำพวก Kerosene, Hot gas oil, Hot absorber oil, Fraction of crude oil เป็นต้น
 - + สารอินทรีย์จำพวก Cold gas oil, Fuel Oil, Crude oil, Tar, Asphalt เป็นต้น
- § ในกรณี Fouling Factor เท่ากับ 0.001 ft²hr°F/Btu (0.0002 m²hr°C/kcal)
- II ในกรณีค่าสูญเสียความดัน 20-30 psi (1.4-2.1 kg/cm²)
- Δ ค่าตัวเลขนี้ขึ้นกับความดันของก๊าซที่ใช้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง E

FURTHER PROPERTIES REQUIRED FOR CALCULATING CALORIFIC VALUES OF MIXTURES
(see also table 5.18 and page 132)

Gas	Relative Molecular Mass ('Molecular Weight')	Compressibility Factor z (at 15.6 °C and 101.325 kPa)	\sqrt{b} ($b=1-z$)	Ideal Gas Density divided by Density of Air. (at 15.6 °C and 101.325 kPa)
Methane	16.043	0.9981	0.0436	0.5537
Ethane	30.0701	0.9916	0.0917	1.0378
Propane	44.0972	0.9820	0.1342	1.5219
<i>n</i> Butane	58.1243	0.9661	0.1841	2.0060
<i>i</i> Butane	58.1243	0.9703	0.1723	2.0060
<i>n</i> Pentane*	72.1514	0.9435	0.2377	2.4901
<i>i</i> Pentane*	72.1514	0.9482	0.2276	2.4901
<i>neo</i> Pentane*	72.1514	0.958	0.2050	2.4901
Hexane*	86.1785	0.912	0.2967	2.9741
Heptane*	100.2056	0.860	0.375	3.4582
Octane*	114.2327	0.802	0.445	3.9423
Nonane*	128.2598	0.712	0.537	4.4264
Ethylene	28.0542	0.9940	0.0775	0.9682
Propene	42.0813	0.9839	0.1269	1.4523
1 Butene	56.1084	0.9694	0.1749	1.9364
<i>cis</i> 2 Butene	56.1084	0.9653	0.1863	1.9364
<i>trans</i> 2 Butene	56.1084	0.9654	0.1860	1.9364
2 Methyl Propene	56.1084	0.9687	0.1769	1.9364
Benzene*	78.1147	0.929	0.266	2.6959
Toluene*	92.1418	0.903	0.311	3.1799
Carbon Monoxide	28.0105	0.9995	0.0224	0.9667
Carbon Dioxide	44.0095	0.9943	0.0640	1.5188
Hydrogen	2.016	1.0006		0.0696
Helium	4.0026	1.0005		0.1381
Nitrogen	28.0134	0.9997	0.0164	0.9668
Oxygen	31.998	0.9992	0.0283	1.1043
Air	28.964	0.99959	0.0202	0.99959

* The stable phase at 15.6 °C and 101.325 kPa is liquid. The values of z and b relate to 'hypothetical' gases and have been calculated as described in: Inst. Gas Tech. Research Bul. no. 25 (1967)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

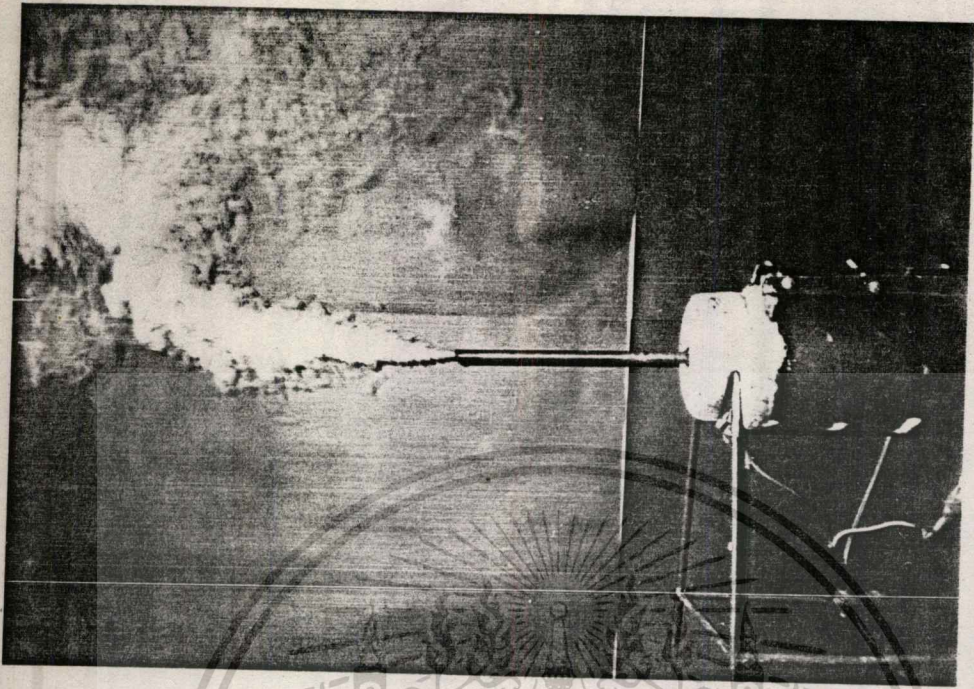
คุณสมบัติของแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

Gas	Relative Molecular Mass ('Molecular Weight')	Ideal Gas Density (kg m ⁻³) at 15 °C and 101.325 kPa	Relative* Density at Ideal Gas (Air = 1)	Weaver Flame Speed Factor	Calorific Value at 15 °C and 101.325 kPa MJ/m ³	Theoretical Combustion Requirements		Theoretical Combustion Products										
						O ₂	Air	CO ₂	H ₂ O	N ₂	Total (Dry)	Total (Wet)						
													Volume, per Volume of Fuel	Volume, per Volume of Fuel Gas				
Oxygen	31.998	1.353	1.1043															
Nitrogen	28.013	1.185	0.9668															
*Atmospheric Nitrogen [†]																		
Air	28.17	1.191	0.9722															
Carbon Dioxide	28.964	1.225	0.9996															
Carbon Monoxide	44.010	1.861	1.5188															
Hydrogen	28.011	1.185	0.9667	18	11.97	11.97	0.5	2.38										
Methane	2.016	0.0853	0.0696	100	12.10	10.22	0.5	2.38										
Ethane	16.043	0.6785	0.5537	14	37.71	33.95	2.0	9.52										
Propane	30.070	1.272	1.0378	17	66.07	60.43	3.5	16.67										
n-Butane	44.097	1.865	1.5219	16	93.94	86.42	5.0	23.81										
iso-Butane	58.124	2.458	2.0060	16	121.80	112.41	6.5	30.95										
n-Pentane	58.124	2.458	2.0060	16	121.44	112.05	6.5	30.95										
iso-Pentane	72.151	3.051	2.4901	16	149.66	138.39	8.0	38.10										
neo-Pentane	72.151	3.015	2.4901	16	149.36	138.09	8.0	38.10										
n-Hexane	86.179	3.645	2.9741	16	148.74	137.85	8.0	38.10										
n-Heptane	100.206	4.238	3.4582	14	177.55	164.40	9.5	45.24										
n-Octane	114.233	4.831	3.9423	12	205.43	196.40	11.0	52.38										
n-Nonane	128.260	5.424	4.4264	11	233.29	216.38	12.5	59.52										
n-Decane	142.287	6.018	4.9105	10	261.18	242.39	14.0	66.67										
Ethylene	28.054	1.186	0.9682	30	289.09	268.42	15.5	73.81										
Propylene	42.081	1.780	1.4523	18	59.72	55.96	5.0	14.29										
Butylene	56.108	2.373	1.9164	18	87.09	81.45	4.5	21.43										
Benzene	78.115	3.304	2.6959	25	114.62	107.10	6.0	28.57										
Toluene	92.142	3.897	3.1799	25	139.69	134.05	7.5	35.71										
Water	18.015	0.762	0.6217		167.06	159.54	9.0	42.86										
Hydrogen Sulphide	34.082	1.441	1.1762		23.70	21.82	1.5	7.14										

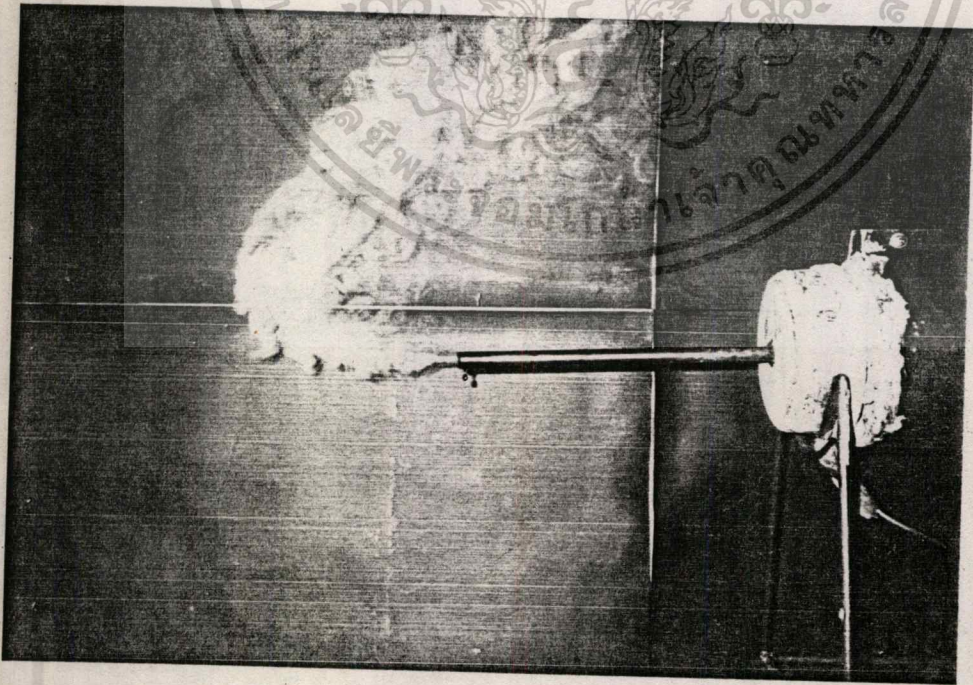
Note: Compressibility of air from J. Hilsenrath et al. 'Tables of Thermal Properties of Gases', NBS Circular 654, 1955.

* i.e. density of gas quoted divided by density of air at 15 °C and 101.325 kPa.
 † i.e. for stoichiometric air-fuel mixture. Air assumed 21% O₂, 79% N₂.
 ‡ The entries relate strictly to ratios of mole numbers which, for ideal gases, are equal to the ratios of the corresponding volumes, the volumes occurring in the numerator and denominator being taken at the same pressure.
 § i.e. air without oxygen.
 || Note: where 'gas' is liquid at 15 °C and 101.325 kPa.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

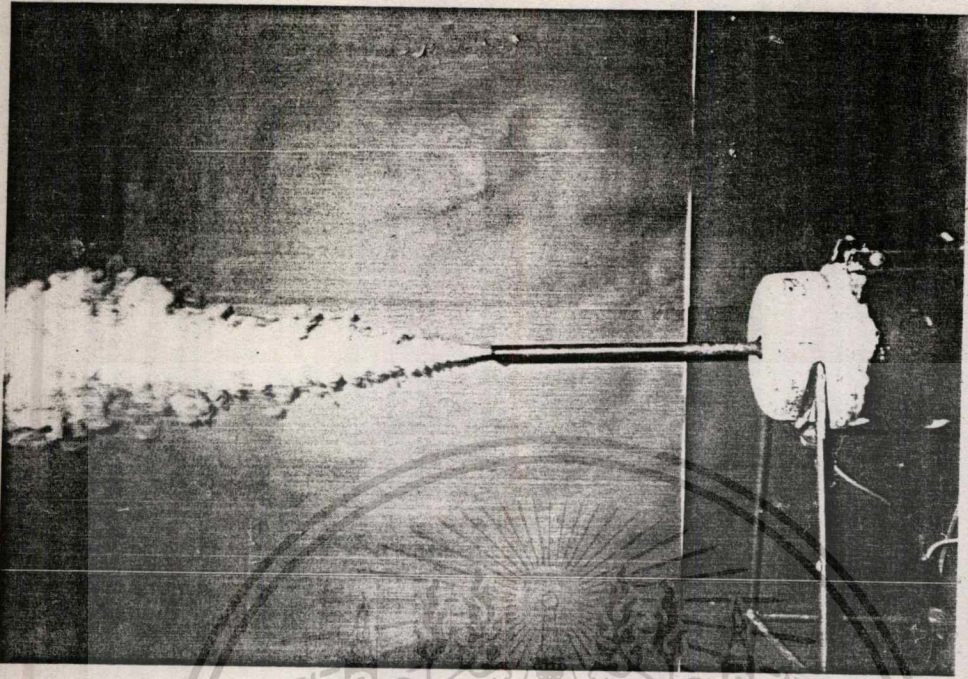


รูป A ลักษณะก้ำขของซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 450 °C

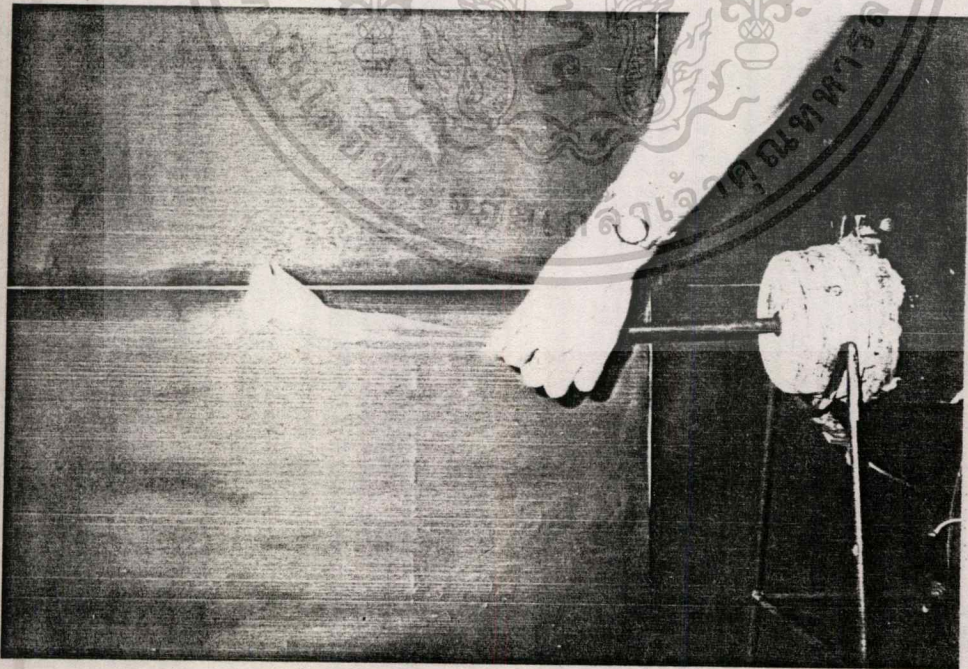


รูป B ลักษณะก้ำขของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 450 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

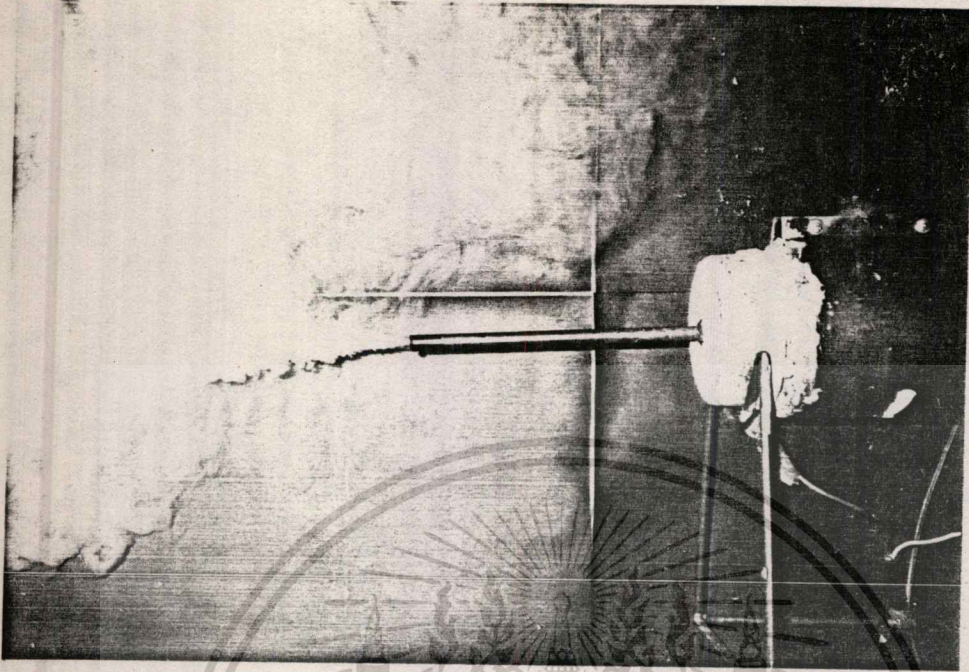


รูป C ลักษณะก๊าซของขังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 550 °C

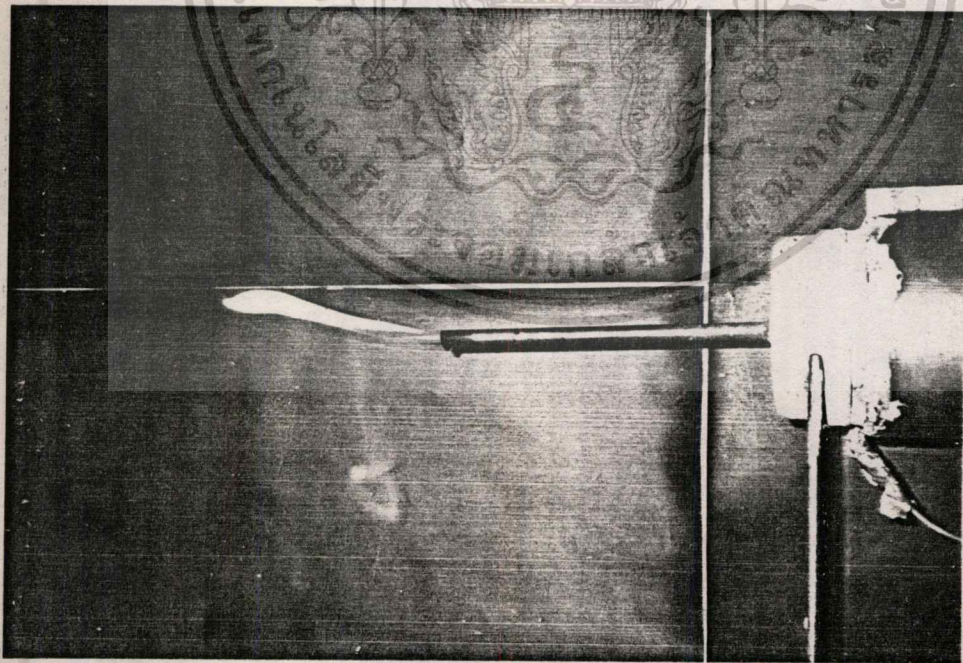


รูป D ลักษณะเปลวไฟของขังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 550 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

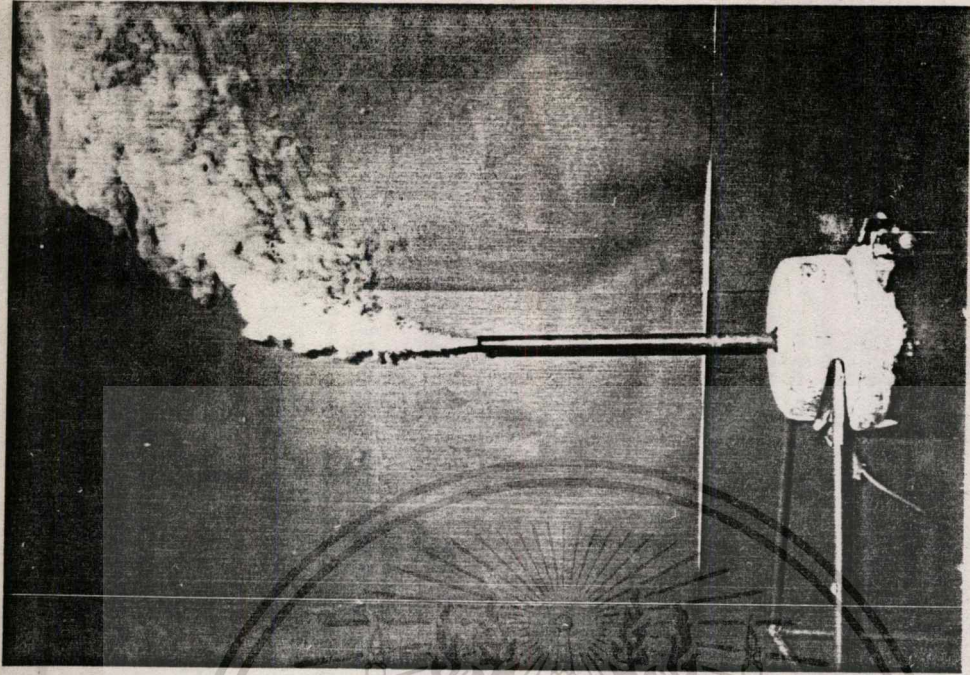


รูป E ลักษณะฝ้าของซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 650°C

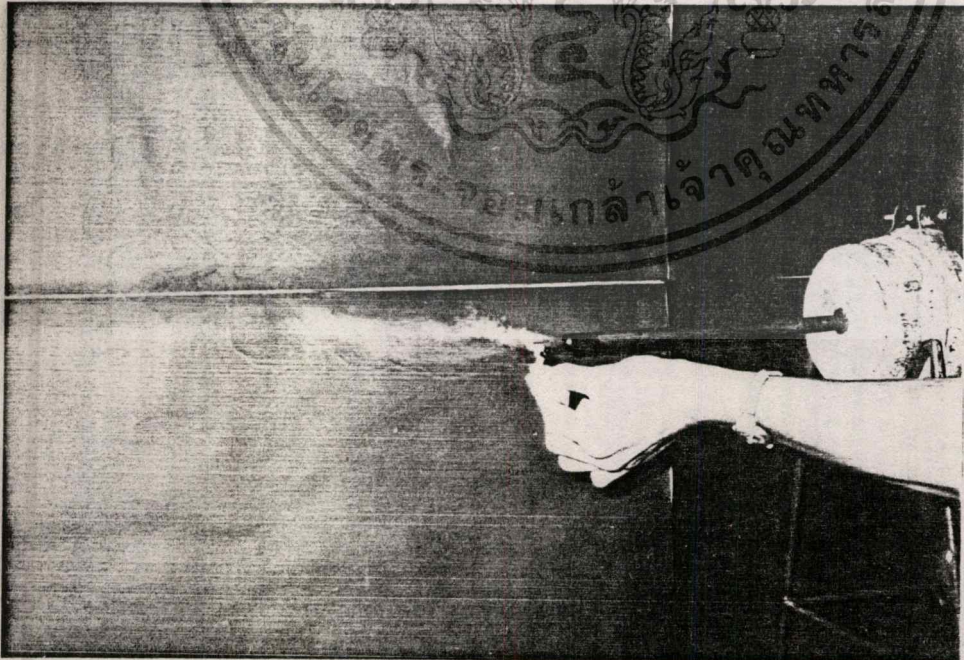


รูป F ลักษณะเปลวไฟของซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 650°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

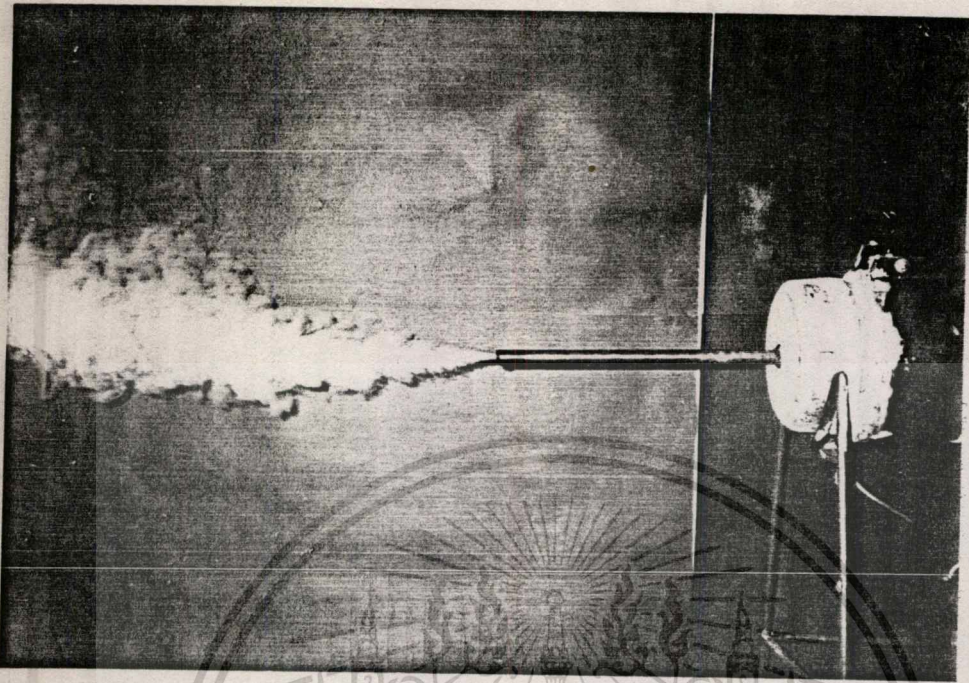


รูป ๘ ลักษณะก๊าซของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 550 °C

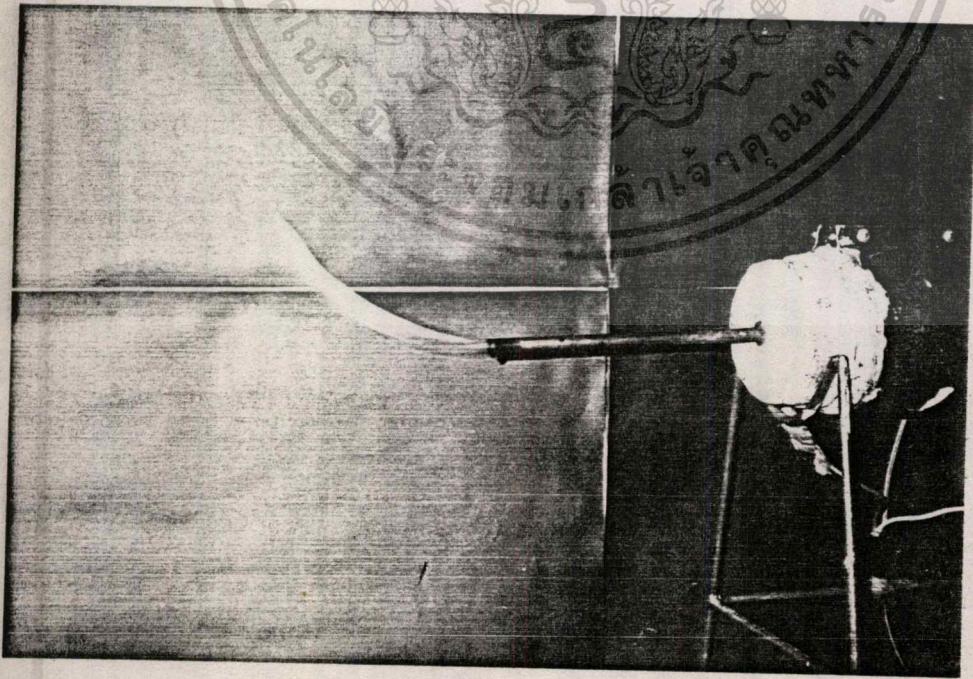


รูป ๙ ลักษณะเปลวไฟของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 550 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

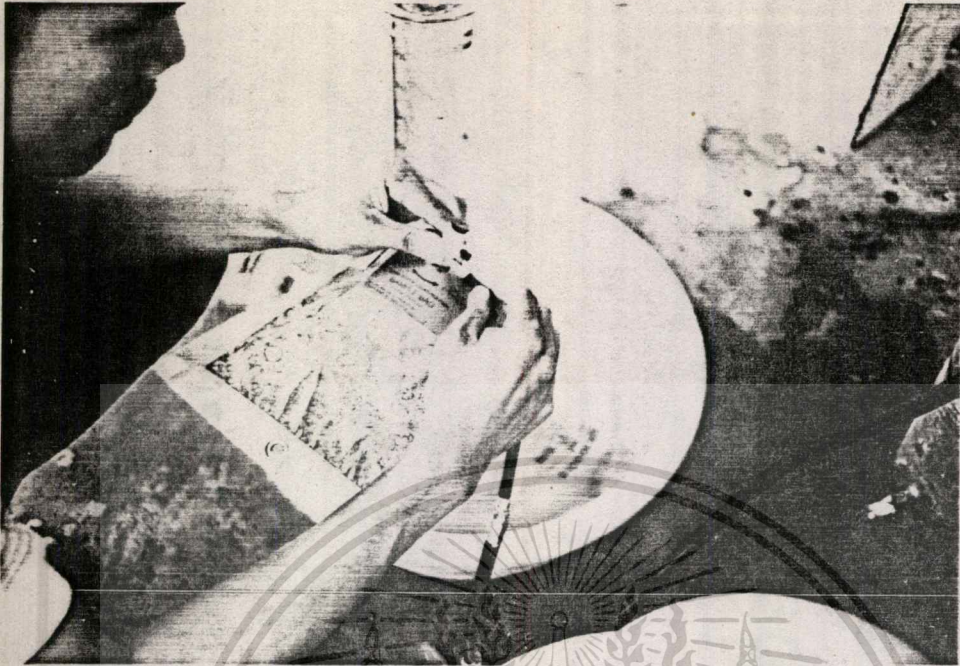


รูป I ลักษณะก๊าซของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 650°C

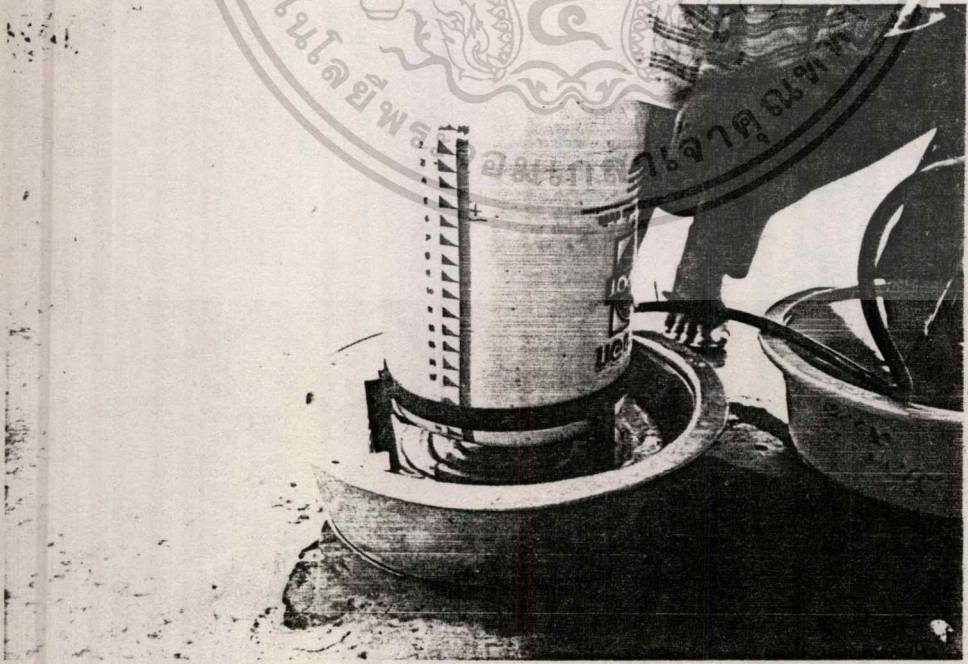


รูป J ลักษณะเปลวไฟของผักตบชวาที่อุณหภูมิ 650°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป K การเก็บตัวอย่างก๊าซเชื้อเพลิง



รูป L การวัดปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

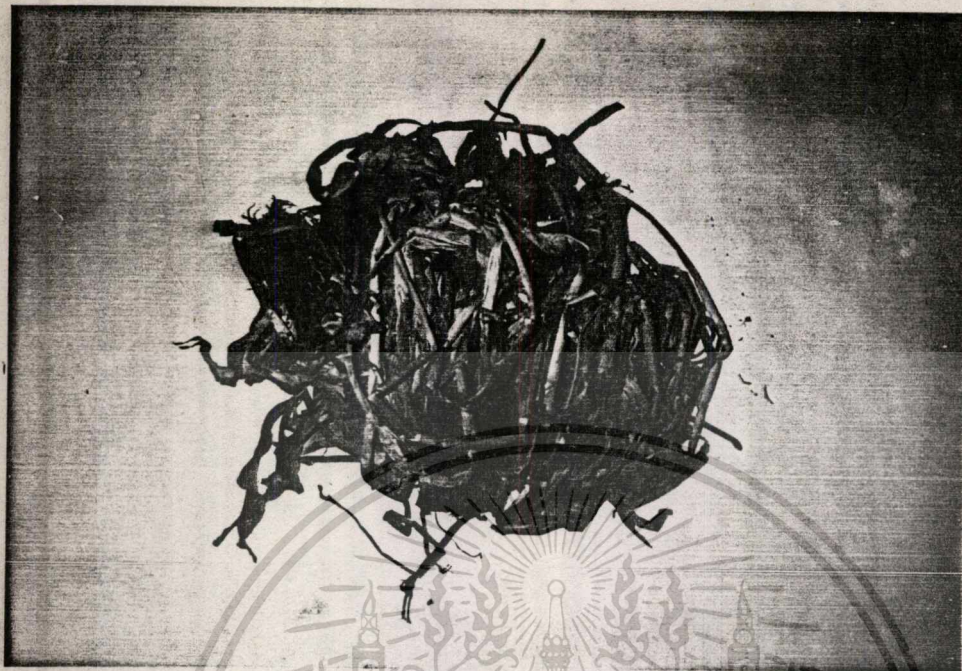


รูป ๓ ชังข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง

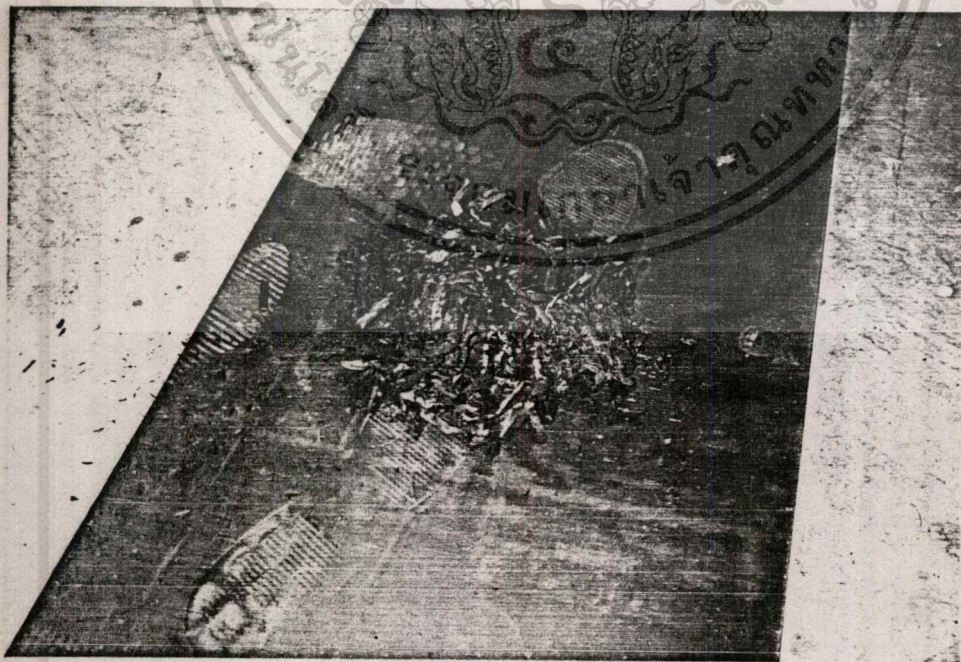


รูป ๔ ด้านของชังข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

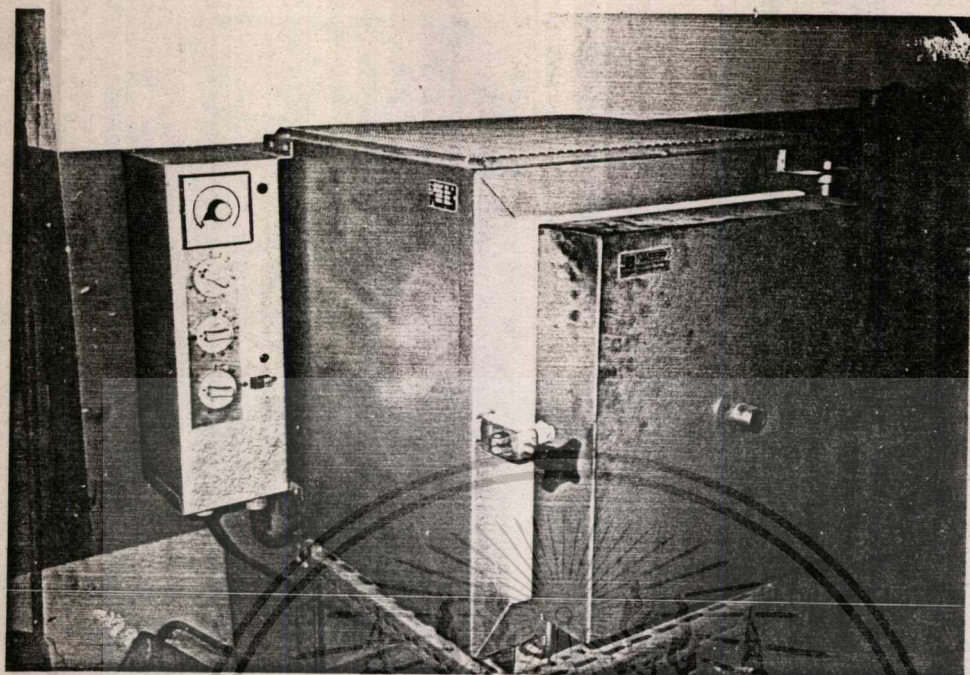


รูป O ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลอง

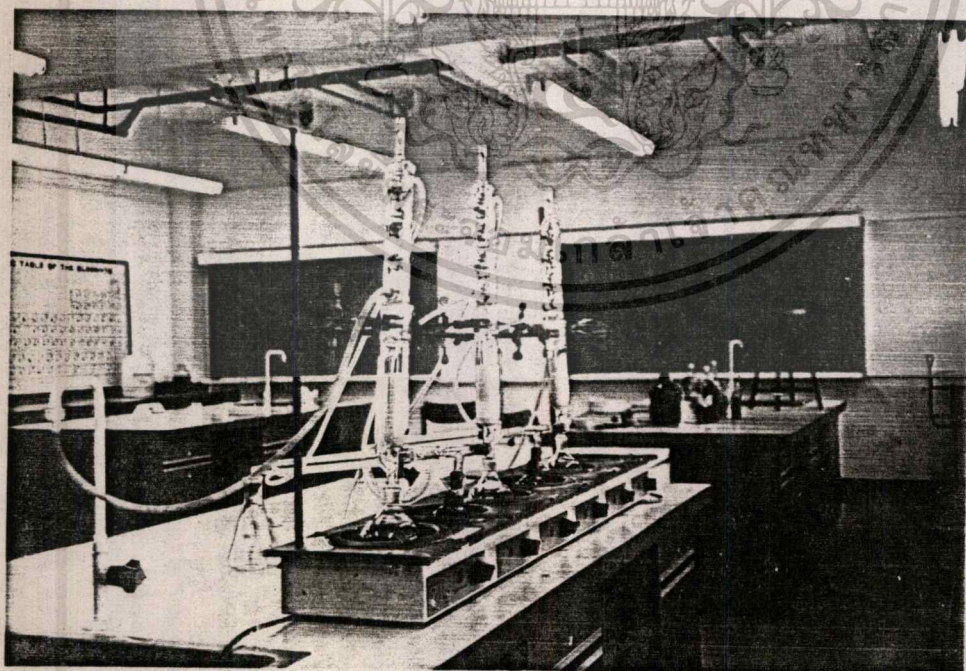


รูป P ถ่านของผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

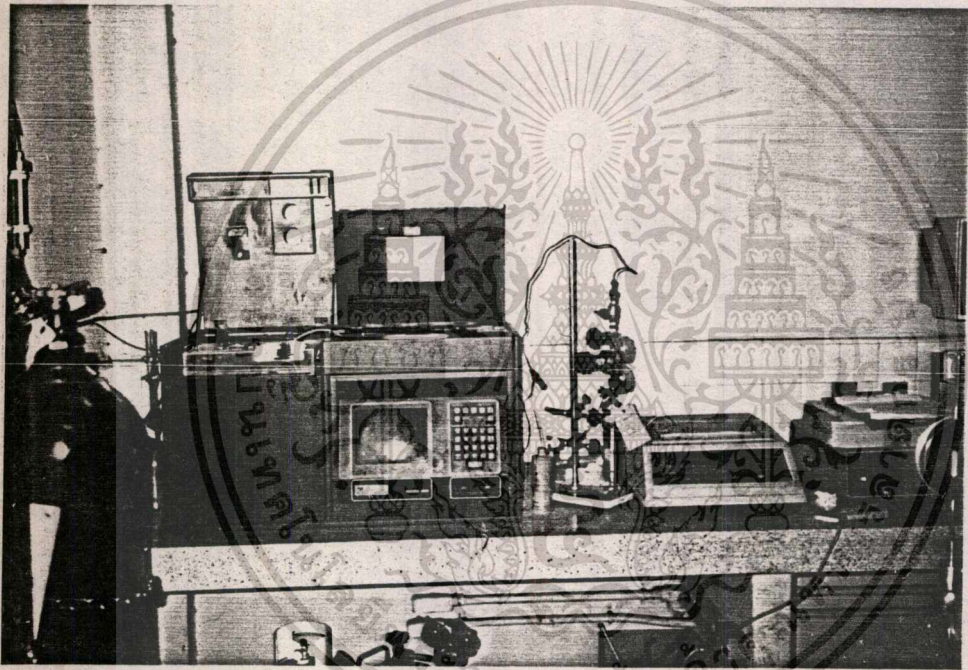


รูป Q ตู้อบที่ใช้ในการทดลองทางเคมีประกอบของถ่าน



รูป R เครื่องกลั่นน้ำมันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ๘ เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟของเคเบิลใยแก้วของกรมโทรคมนาคมแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเกษตร โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการน้ำพระทัยจากในหลวง (อีสานเขียว) โดยรับอนุเคราะห์ให้ช่วยเหลือจากโครงการดังกล่าว จนได้รับความสำเร็จ โดยดีพร้อมทั้งยังได้รับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และข้อมูล และขอขอบคุณทุกๆ ฝ่ายที่ให้ความช่วยเหลือไม่ว่าทุกๆ ด้าน ดังมีรายนามต่อไปนี้

1. อาจารย์ ปานมนัส ศิริสมบูรณ์
2. อาจารย์ ประภากร สุวรรณะ
3. อาจารย์ เมตตา เจริญพานิช
4. คุณไพบูลย์ พลอยเลื่อมแสง หัวหน้าศูนย์ขยายพันธุ์พืชที่ 5 จ.ลพบุรี ที่ได้อนุเคราะห์มอบขี้ข้าว โปดที่ใช้ในการทดลอง
5. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ที่ได้ช่วยเหลือในการวิเคราะห์เชื้อเพลิงที่ได้จากการทดลอง
6. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดลอง
7. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
8. คุณขวัญจิต มีแสงจันทร์ อนุเคราะห์ในการจัดพิมพ์ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้
9. ห้างหุ้นส่วนจำกัด นิวแสงชัย ฮีตเตอร์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและคุณพ่อคุณแม่ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจระหว่างการทำทดลองด้วยดีตลอดมา

หนังสืออ้างอิง

1. เพิ่มศักดิ์ เกษมสุข และสาธิต แก้วมีศรี, "การอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยรังสีอินฟราเรด" คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 60 หน้า 2530.
2. โยชิฮิโกะ ทาคามูระ, "เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 264 หน้า, 2526.
3. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, "อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 84 หน้า, 2526.
4. J.W.Rose and J.R.Cooper, "Technical data on fuel", The British national committee world energy conference, 297 P, 1977.
5. P.Sirisomboon, "Estimation of higher heating value of biomass in tropical regions", Africa and Latin America (AMA), in press.
6. S.C.Bhattacharya, "Cost and availability of selected residues in Thailand", AIT, 83 P, 1989.
7. " " "State of the art for biocoal technology", AIT, 70 P, 1989.
8. " " "Lab scale batch carbonization of selected residues", AIT, 40 P, 1989.
9. Warren L.Mecabe, "Unit operations of chemical engineering" 960 P, 1985.