



ปีการศึกษา 2532

คำสั่งตบชิวมวลแบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

โดย

นาย ทรรตศิลา

อุสุวรรณ

นาย วิรัตน์

ลักแดง

นาย ตักศิลา

ประสาธแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นางสาวปานมนัส ศิริสมบูรณ์

10 10  
1000

026837

ปริญญาโทปีการศึกษา 2532

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง .เทาสันดาปชีวมวล แบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ผู้จัดทำ

1. นายทรรศศิลา                      อู่สุวรรณ
2. นายวิรัตน์                         ลักแดง
3. นายศักดิ์สิทธิ์                 ประสาทแก้ว



(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(นางสาวปามณัส ศิริสมบุญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้

026837

เตาสั่นดาปชีวมวลแบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

นายทรงศศิลา อู่สุวรรณ

นายวิรัตน์ ลักแดง

นายศักดิ์สิทธิ์ ประสาทแก้ว

ผศ. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

เตาสั่นดาปชีวมวลแบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วย ชุดส่งกำลัง ซึ่งมีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด  $1/2$  แรงม้า 50 เฮิร์ต 1430 รอบต่อนาที 220 โวลต์ ถ่ายทอดกำลังด้วยสายพานไปยังชุดเฟืองทดที่มีอัตราทด 1:60 ซึ่งถ่ายกำลังผ่านเฟืองขับสกรูลำเลียง จะมีความเร็วรอบเหลือเพียง 2.7 รอบต่อนาที ให้อัตราป้อนขังข้าวโพด 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การทดลองได้เปรียบเทียบผลของพื้นที่หน้าตัดที่อากาศเข้าด้านหน้าเตาต่างกัน คือ  $160 \times 700$  มม (A) และ  $160 \times 300$  มม (B) พบว่าทั้งการทดลอง A และ B เป็นการสั่นดาปอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำมากเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ความร้อนที่ได้ที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการทดลอง A เฉลี่ยเท่ากับ 19.8 กิโลจูลต่อชั่วโมง ส่วนการทดลอง B เฉลี่ยเท่ากับ 15.5 กิโลจูลต่อชั่วโมง ทั้งนี้ความร้อนที่ได้ที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถสูงขึ้นได้อีกเมื่อมีการไหลของอากาศในช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

## BIOMASS COMBUSTOR WITH HEAT EXCHANGER

Tussira Usuwat

Wirat Lukdang

Saksit Prasatkaul

Pranmanut Sirisomboon Advisor

1989

Abstract

Biomass combustor with heat exchanger is composed of electric motor 1/2 Hp(50 Hertz, 1430 rpm, 220 volts), the power is transmitted to worm gear speed reduction ratio 60: 1 and passed to screw auger. The auger feeds corn cob to the combustor with the rate of 7.2 kg/hr at 2.7 rpm. The experiment conducted in two different air inlet cross section areas which are 160 x 700 mm. (A) and 160 x 30 mm. (B)

It was resulted that the experiment A and B are completely combustion due to the Carbonmonoxide in the flue gas is 0.3% by average. The heat gain at the heat exchanger chamber are 19.8 KJ/hr and 15.5 KJ/hr for experiment A and B, respectively. However, the heat gain can be higher if there is air flow in the heat exchange chamber.

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงการ	1
1.2 เตาสันดาปเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย	3
1.3 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล	5
1.4 เตาสันดาปชีวมวลที่สร้างขึ้น	11
1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ	11
<b>บทที่ 2</b> หลักการและทฤษฎี	
2.1 การสันดาปเชื้อเพลิง	12
2.2 ชังข้าวโพดและการสันดาปชังข้าวโพด	20
<b>บทที่ 3</b> การสร้าง	
3.1 ส่วนประกอบของเตา	22
3.2 หลักการทำงานของเตา	22
3.3 รายละเอียดการสร้างเตา	24
<b>บทที่ 4</b> การทดลอง	
4.1 การหาหน้าหนักบรรจุข้าวโพดของถังบรรจุ ความหนาแน่นรวมของชังข้าวโพด	34
4.2 การหาขนาดของชังข้าวโพด	35
4.3 การหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง	39
4.4 การหาอัตราการป้อนชังข้าวโพดของสกรูลำเลียง	40
4.5 การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี	41
4.6 การวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบจากการสันดาป	43
4.7 วิธีการทดสอบเตาสันดาปชีวมวล	46

**บทที่ 5** **สรุปผลการทดลอง**

5.1 ขนาดและความหนาแน่นของซังข้าวโพด	82
5.2 ความเร็วรอบและอัตราการป้อนสกรูลำเลียง	82
5.3 การตรวจสอบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ	83
5.4 ข้อเสนอแนะ	108

<b>ภาคผนวก</b>	<b>110</b>
----------------	------------

<b>กิตติกรรมประกาศ</b>	<b>129</b>
------------------------	------------

<b>หนังสืออ้างอิง</b>	<b>130</b>
-----------------------	------------



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	6
1.2	6
1.3	7
1.4	7
1.5	9
1.6	9
1.7	10
1.8	10
รูปที่ 2.1	17
2.2	17
2.3	19
2.4	19
รูปที่ 3.1	23
3.2	25
3.3	25
3.4	30
3.5	33
รูปที่ 4.1	36
4.2	44
4.3	48
4.4	49
4.5	49
4.6	51
4.7	51
4.8	54
4.9	55

เอกสารนี้เป็น 4.9 ป้อนขงข้าวโพดก่อนการสันดาป ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10	เริ่มสันดาปซึ่งข้าวโพด	55
4.11	เปลวไฟจากการสันดาปซึ่งข้าวโพดนาที่ที่ 20	56
4.12	เปลวไฟจากการสันดาปซึ่งข้าวโพดนาที่ที่ 60	56
4.13	เปลวไฟจากการสันดาปซึ่งข้าวโพดนาที่ที่ 100	57
4.14	เปลวไฟจากการสันดาปซึ่งข้าวโพดนาที่ที่ 140	57
4.15	กระดาษกรองหลังจากการเก็บเขม่าการทดลองที่ 1,2	58
4.16	กระดาษกรองหลังจากการเก็บเขม่าการทดลองที่ 3,4	58
4.17	กระดาษกรองหลังจากการเก็บเขม่าการทดลองที่ 5,6	59
4.18	สิ้นสุดการสันดาป	76
รูปที่ 5.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตาที่ปล่องและ และช่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับเวลา	85
5.2	การเปลี่ยนแปลงความเร็วเข้า-ออกเตาเผาที่เวลาใด ๆ	91
5.3	ค่าความร้อนที่ให้กับช่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป	95
5.3(ก)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซของค์ประกอบในก๊าซตัวอย่างที่เวลาใด (A)	99
5.4(ก)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซของค์ประกอบในก๊าซตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป (A)	99
5.3(ข)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซของค์ประกอบในก๊าซตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (B)	100
5.4(ข)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซของค์ประกอบในก๊าซตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ไป (B)	100
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าต่อปริมาตรก๊าซกับเวลา	102
5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศที่ออกและเวลา	109
ภาคผนวก		
รูป A 1	เตาสันดาปชีวมวลแบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน	111
A 2	ส่วนประกอบของเตาสันดาป	112
A 3	แสดงวัสดุและขนาด	113
A 4	แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตา	114
A 5	ส่วนที่เป็นเตาสันดาป	115

	(ช)
A 6 โครงสร้างของเตา	116
A 7 ฐานเตา	117
A 8, A 9 ตะแกรง	118, 119
A 10 (1) ฝาครอบเตา (2) แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	120
A 11 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน	121
A 12 ฝาครอบเตา	122
A 13 ร่างสกรู, ฐานร่างสกรู	123
A 14 ถังบรรจุขังข้าวโพค	124
A 15 แผ่นปิดด้านหน้าและด้านหลัง	125
A 16 สกรูล้ำเลียง	126
A 17 ถาดรองรับขี้เถ้า	127
A 18 แผ่นกรีดภายในเตา	128



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบของอากาศแห้ง	12
ตารางที่ 4.1	การหาหน้าหนักบรรจุขังข้าวโพดของถังบรรจุ	34
4.2.1	การหาขนาดของขังข้าวโพด	36
4.2.2	ผลการทดลองหาปริมาณความชื้นของขังข้าวโพด	38
4.3	การหาความเร็วรอบสกรูลำเลียง	39
4.4	การหาอัตราป้อนขังข้าวโพดของสกรูลำเลียง	40
4.4.1	ขั้นตอนการเตรียมสารตรวจสอบก๊าซ	42
4.5	สิ่งที่ต้องตรวจสอบในการทดสอบ ทาสันดาปชีวมวล	47-53
4.6	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา ครั้งที่ 1-6	62-67
4.7	บันทึกผลวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบ ครั้งที่ 1-6	68-73
4.8	บันทึกผลน้ำหนักเขม่าที่เก็บ	74-75
4.9	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้า ของเตา การทดลองที่ 1,2,3,4	77
4.10	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้า ของเตา การทดลองที่ 5,6	78
4.11	ผลการวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบโดยเฉลี่ยจาก การทดลองที่ 1,2,3,4	79
4.12	ผลการวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบโดยเฉลี่ยจาก การทดลองที่ 5,6	80
4.13	น้ำหนักเขม่าโดยเฉลี่ย	81
บทที่ 5.1	ความเร็วและมวลของอากาศเข้าสู่เตาเผา และก๊าซร้อนที่ออกจากปล่องควัน	87
5.2	การหาความร้อนที่ได้จากเตา การทดลองที่ 1,2,3,4	93
5.3	การหาความร้อนที่ได้จากเตา การทดลองที่ 5,6	94
5.4	การคำนวณแรงดูดที่ปล่อง	97
5.5	การคำนวณสมมูลย์มวล-การเคลื่อนไหลมวล	103

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

ในปี 1983 มีการนำเข้าปิโตรเลียมจากภายนอกประเทศ ประมาณ 60,000 ล้านบาท มีปริมาณ 12 ล้านเมตริกตัน เป็นที่คาดหวังไว้ว่าในปีต่อไปจะสามารถลดการนำเข้าปิโตรเลียม เพราะสามารถทดแทนได้จากก๊าซธรรมชาติและแหล่งพลังงานอื่น ๆ แหล่งพลังงานที่ค้นพบใหม่ทำให้ความต้องการพลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและความร้อน การนำเข้าก๊าซ LPG น้ำมันก๊าซโซลีน ที่ใช้ในบ้านเรือนและรถยนต์ มีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตามแหล่งพลังงานเหล่านี้ไม่ทำให้ความต้องการน้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด น้ำมันหล่อลื่นสำหรับอุตสาหกรรมในชนบทลดลงแต่อย่างไร (ปริศนา วิบูลย์สวัสดิ์, 2525) แหล่งพลังงานที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น ลม แสงแดด พลังงานจากไม้พิกพและพลังงานชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานใหม่ที่ควรศึกษาพัฒนาขึ้นให้สามารถใช้ได้อย่างจริงจังในทางปฏิบัติ

ในสภาพปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางการเกษตรมีความก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่เพิ่มมากขึ้นกว่าในยุคก่อน ๆ สิ่งที่ติดตามมาก็คือ สิ่งเหลือใช้จากวัสดุทางการเกษตรก็จะมีจำนวนมากขึ้น ปัจจุบันมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 53,915,343 ตันต่อปี (Bhattacharya, S.E. 1989) จากตัวเลขดังกล่าวเราสามารถนำสิ่งเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ เช่นทำปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์หรือเชื้อเพลิงในการหุงต้ม ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะในส่วนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ้าเราใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้แทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซหุงต้ม รวมทั้งถ่านและหิน เราจะประหยัดเงินตราต่างประเทศที่จะต้องเสียไปในการซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามา และยังเป็นการรักษาต้นไม้ไม่ให้ถูกทำลาย ถึงแม้ว่าจะได้มีการส่งเสริมปลูกไม้โตเร็วก็ตาม ในขณะที่ประเทศของเราเป็นประเทศกำลังพัฒนา การพัฒนาสิ่งเหลือใช้จากธรรมชาติหรือจากทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในการดำรงชีวิต และประกอบอาชีพเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะรายได้ของประชากรในชนบทยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ การที่นำเอาเครื่องใช้ที่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงนั้นต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ประกอบกับ

ประชาชนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกษตรกรยังขาดความรู้ด้านเทคโนโลยีใช้ที่จะสามารถใช้ค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือเหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่เราจะต้องนำสิ่งเหลือใช้ เช่น พลังงานชีวมวลนำมาทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงดังนั้น จึงควรศึกษาและ พัฒนาการนำเอาพลังงานชีวมวลจากวัสดุเศษเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ที่สุด

ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานชีวมวลมากพอที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เพื่อการเกษตร ซึ่งไม่ต้องการเทคโนโลยีที่สูงเกินไปนัก เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ทอและซังข้าวโพด ฯลฯ หากเราได้นำแหล่งพลังงานชีวมวลเหล่านี้มาสันดาปจะให้เกิดความร้อนขึ้น แล้วนำความร้อนเหล่านี้มาใช้ในการอบไล่ความชื้นจากเมล็ดธัญพืช เมล็ดพันธุ์พืชหรือผลผลิตอื่น เช่น ผัก ผลไม้ ก็จะทำให้ผลผลิตเหล่านั้นไม่เกิดเชื้อรา อันจะทำความเสียหายแก่เมล็ดธัญพืช เมล็ดพันธุ์หรือผลผลิตอื่น ทำให้เก็บรักษาได้นาน และมีคุณภาพดี

โดยทั่วไปเตาที่ใช้กันเป็นส่วนมาก ถ้าวางตามเชื้อเพลิงที่ใช้กันแล้วพอ จะแบ่งเป็นเตาที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว เช่น เตา น้ำมัน และเตาที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น เตาถ่าน เตาถ่านหิน ฯลฯ ส่วนใหญ่ครัวเรือนในชนบทใช้เตาที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง เท่านั้นมีเกษตรกรน้อยรายนำมาใช้ในการอบเมล็ดพันธุ์ เมล็ดธัญพืชหรือผลผลิตอื่น หากเกษตรกรสามารถนำแหล่งพลังงานชีวมวลมาใช้ในการอบไล่ความชื้น โดยที่ไม่ต้องใช้ เทคโนโลยีสูงนัก คุณภาพผลผลิตจะดีขึ้น สามารถเก็บรักษาได้นาน และสามารถขายได้ ราคาดีกว่า

รายงานฉบับนี้จัดทำให้ผู้สนใจศึกษาหาความรู้ และผู้ที่ต้องการนำไปใช้ งานหรือปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยกล่าวถึงการหลักการทำงาน การออกแบบ การสร้าง วิธี การสร้าง การทดสอบ ปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อที่ควรแก้ไข รวมทั้งแบบที่สามารถนำไปสร้างได้

## 1.2 เตาสันดาปเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย (สำนักงานพลังงานแห่งชาติ, 2527)

### 1.2.1 ความเป็นมาของเตาชีวมวลแบบต่าง ๆ

เป็นที่แน่ชัดว่ามีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล คือ ไม้ เมื่อ 400,000 ปีมาแล้ว ได้ค้นพบภายในถ้ำของมนุษย์ปักกิ่ง การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในเวลานั้นสันนิษฐานว่าใช้เพื่อความอบอุ่น

สำหรับเตาหุงต้มเพื่อหุงหาอาหาร ซึ่งทำด้วยเครื่องปั้นดินเผามาตั้งแต่เดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมากจนถึงปัจจุบัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ ตาสมัยใหม่ (น้ำมัน, ก๊าซ, ไฟฟ้า) แล้ว จะเห็นว่าเตาหุงต้มชีวมวลยังมีประสิทธิภาพต่ำ ประสิทธิภาพของเตาน้ำมันก๊าดหรือก๊าซหุงต้มสูงถึง 45 - 48% ส่วนประสิทธิภาพใช้งานของเตาฟืนสูงสุดเพียง 25 - 27% เท่านั้นถึงแม้ว่าประสิทธิภาพใช้งานจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของไม้ซึ่งมีค่าต่ำ แต่ปัญหาสำคัญก็ยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของเตาหุงต้มด้วย

### 1.2.2 ชนิดและประเภทเตาหุงต้มชีวมวลในปัจจุบัน

1.2.2.1 เตาฟืน คือเตาที่ใช้ไม้ฟืนที่ยังไม่ได้เผาให้เป็นถ่าน ผู้ใช้จะนำเอากิ่งไม้ ลำต้นหรือไม้ต้นใหญ่ที่ตากแห้งแล้ว ใช้ขวานผ่าให้มีขนาดพอจะนำเข้าไปเตาได้ ผู้ใช้มักจะตัดและขนลำเลียงมาตัดคทอนกองฝังไว้ให้แห้ง เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป ลักษณะของเตาที่ใช้ฟืนสรุปแบบลักษณะ ได้ดังนี้

1. เตาหินสามก้อน (เส้า) คือ การนำเอาก้อนหิน ก้อนหินศิลาแลงหรือหล่อด้วยปูนซิเมนต์จำนวน 3 ก้อน มีขนาดสูงประมาณวางเรียงบนพื้นดินเข้าหากันเพื่อวางภาชนะอยู่ได้
2. เตาเหล็กสามขา คือ เตาที่นำเอาเหล็กแหลมตัดให้สูงพอประมาณหรือเชื่อมติดกัน วิธีใช้ก็เช่นเดียวกับเตาหินสามก้อน
3. เตารูปเกือกม้า เป็นเตาที่ทำขึ้นจากดินเหนียว ปั้นเป็นแผ่นโค้งเหมือนเกือกม้า ทิศนหรือเส้า 3 จุดเพื่อรองรับภาชนะ มีช่องใส่ฟืน
4. เตารูปเกือกม้าตัดแปลง เป็นเตาที่ตัดแปลงทำเชิงข้างหน้าช่องใส่ฟืน เพื่อกันไฟเลียหน้าเตา มีการใส่รังผึ้งและไม้ใส่รังผึ้ง ที่นิยมใช้เช่น เตาร้อยเอ็ด

5. เตาฟืนพัฒนา เป็นเตาที่มีผู้ปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยทำให้มีลักษณะคล้าย เตาอั้งโล่ด้าน ปากเตาวางภาชนะได้หลายขนาดใส่รังผึ้งหรือตะแกรง เพื่อให้อากาศเข้าไปเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์ เตาแบบนี้ทำขึ้นใช้ 2 ชนิด คือ ชนิดมีปล่อง และชนิดไม่มีปล่อง

1.2.2.2 เตาถ่าน คือ เตาที่ใช้ถ่านไม้โดยผ่านการเผาไหม้สุกดีแล้ว จึงนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าเตาประเภทอื่น ๆ กล่าวคือ จะให้ความร้อนสูงทั้งยังมีควันน้อย เตาประเภทนี้ชาวบ้านเรียกว่า "เตาอั้งโล่"

1.2.2.3 เตากลมและวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร คือ เตาที่สร้างขึ้นโดยใช้แกลบและวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด ขี้เเลื่อยจากโรงเลื่อย เป็นต้น ลักษณะของเตากลมมีผู้ทำเป็น 2 ชนิดคือ

1. เตากลมมีปล่อง ทำด้วยซีเมนต์หล่อด้วยแบบแม่พิมพ์ไม้ ชนิดมีปล่อง เพื่อให้เกิดแรงดูดของอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีโดยท่อปล่องสูงประมาณ 2.50 เมตร ด้านหน้าเป็นช่องใส่แกลบหรืออีกแบบหนึ่งทำด้วยแผ่นเหล็กชนิดบาง สังกะสีแผ่นเรียบม้วน ถึงสังกะสีต่อปล่อง(สำหรับเตาวัสดุเหลือใช้) ใช้ขี้เเลื่อย ขี้กบ กากอ้อยอัดให้แน่น เว้นช่องตรงกลางไว้

2. เตากลมไม่มีปล่อง ทำด้วยแผ่นเหล็กม้วนเป็นทรงกรวย ชนิดไม่มีปล่องเจาะรูโดยรอบ มีตัวเตาอีกชั้นหนึ่งเพื่อรับภาชนะ มีขาตั้งรับ 3 ขา ขาจนวนโดยรอบเตาชนิดนี้เรียกว่า เตามีชัยหรือเตาเผาอีค่าง

1.2.2.4 เตาก๊าซชีวภาพ ได้มาจากการก่อสร้างบ่อหมักผลิตก๊าซใช้มูลวัว ควาย หมูหรือพืช เช่น ละอองข้าว ฟางข้าวหมัก ผักตบชวาหมัก เติมนลงในบ่อหมักที่สร้างเสร็จแล้ว วันละประมาณ 2-3 ปีบ/วัน จะได้ก๊าซใช้หุงต้มเพียงพอกับความ ต้องการ

### 1.3 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล (Breag, et.al, 1986)

ชนิดของเตาโดยทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันอยู่ในประเทศกำลังพัฒนาเพื่อกระบวนการผลิตความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมเล็ก ๆ และในอุตสาหกรรมอาหาร มักเป็นเตาเปิดธรรมดา สำหรับการหุงต้มใช้เศษไม้ชิ้นเล็กเป็นเชื้อเพลิงไม่มีการควบคุมลม เตาที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามักสร้างขึ้นด้วยวัสดุที่เป็นเหล็กหล่อและทนไฟ ซึ่งได้พัฒนาให้เป็นเตาที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน มีระบบควบคุมลม ตัวอย่างเตาเผาที่ใช้อยู่ในประเทศกำลังพัฒนาได้แก่

#### 1.3.1 เตาแบบอุโมงค์

จากรูปที่ 1.1 เตาแบบนี้ไม่ตะแกรงเผา หรืออุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอากาศเข้าและก๊าซร้อนจากการสันดาปออกจากเตา ใช้กันมากในประเทศกำลังพัฒนาเมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นและขาดแคลนไม้ซึ่ง เป็นเชื้อเพลิงจึงมีการปรับปรุงเตาแบบนี้ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

#### 1.3.2 เตาแบบห้องบรรจุวัสดุเป็นพื้นเอียง

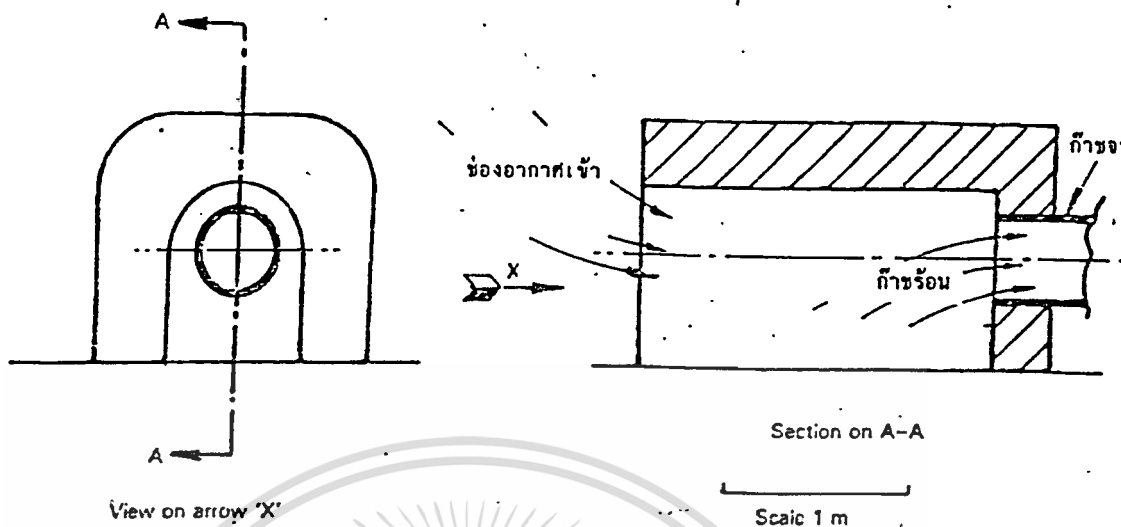
จากรูปที่ 1.2 เตาแบบนี้เลียนแบบจากเตาที่ใช้เผาถ่านโค้กแต่เอาสกรูลำเลียงออก อากาศเข้าสู่เตาโดยทางท่อ มีการปรับปรุงโดยให้อากาศเข้าแบบการพาธรรมชาติ การควบคุมปริมาณอากาศเข้าและก๊าซร้อนออกโดยใช้มือปรับแผ่นกั้น (Damper)

#### 1.3.3 เตาแบบรูปทรงกระบอก

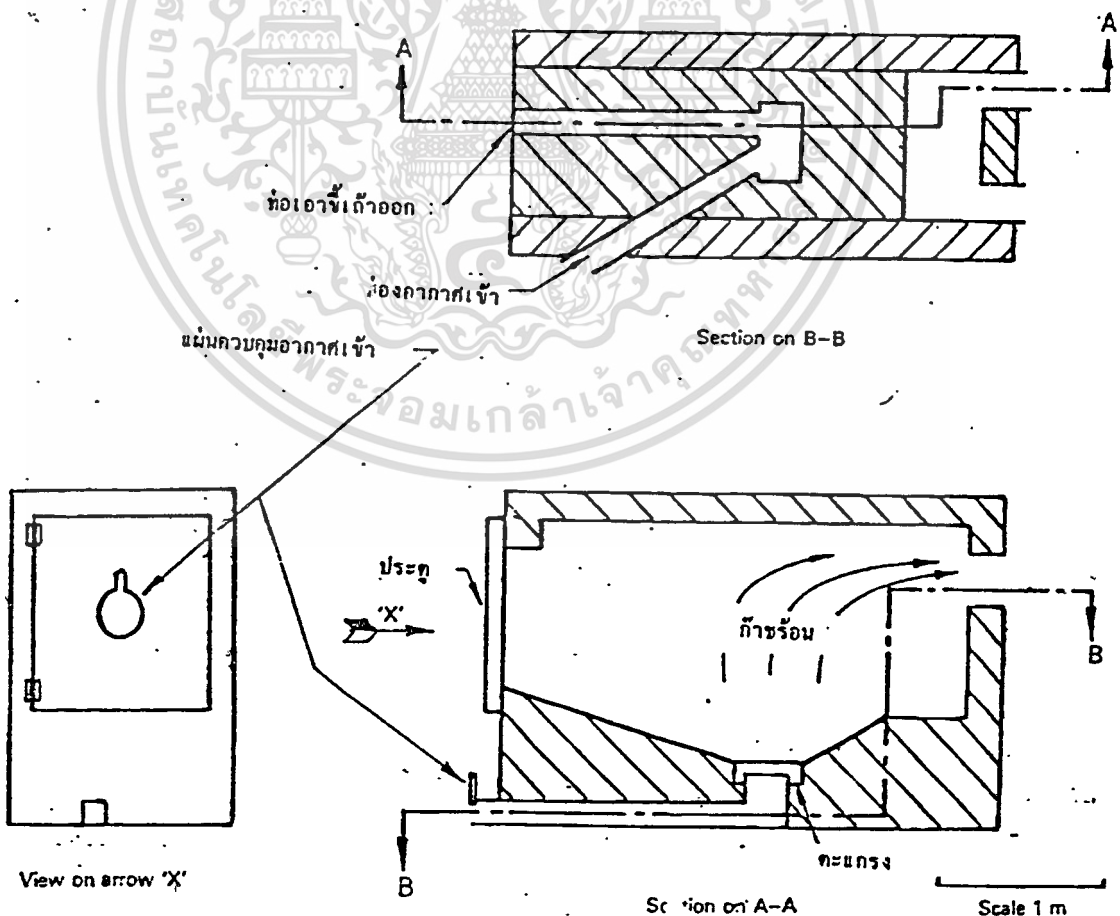
จากรูปที่ 1.3 เตาแบบนี้ทำด้วยเหล็กหล่อเป็นรูปทรงกระบอกมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เตาตอร์ปิโดแบบมาเลเซีย (Malaysian torpedo furnace) ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาสูบ

#### 1.3.4 เตาแบบของบริษัทยาสูบศรีลังกา

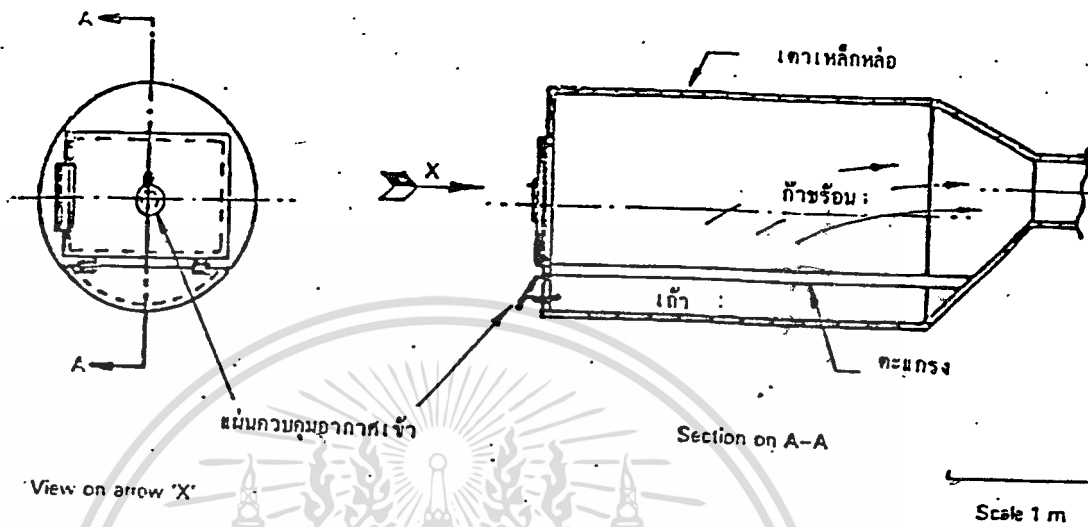
จากรูปที่ 1.4 เตาแบบนี้ได้พัฒนาโดยบริษัทยาสูบศรีลังกา ประเทศศรีลังกา จากเตาทรงกระบอกแต่ทำด้วยวัสดุราคาถูกลง เช่น อิฐทนไฟ หาได้ในท้องถิ่น เตาแบบนี้ได้ออกแบบให้ใช้ประกอบกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบทำอากาศให้ร้อนก่อนเข้าสันดาปเชื้อเพลิงและการป้องกันสูญเสียความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ



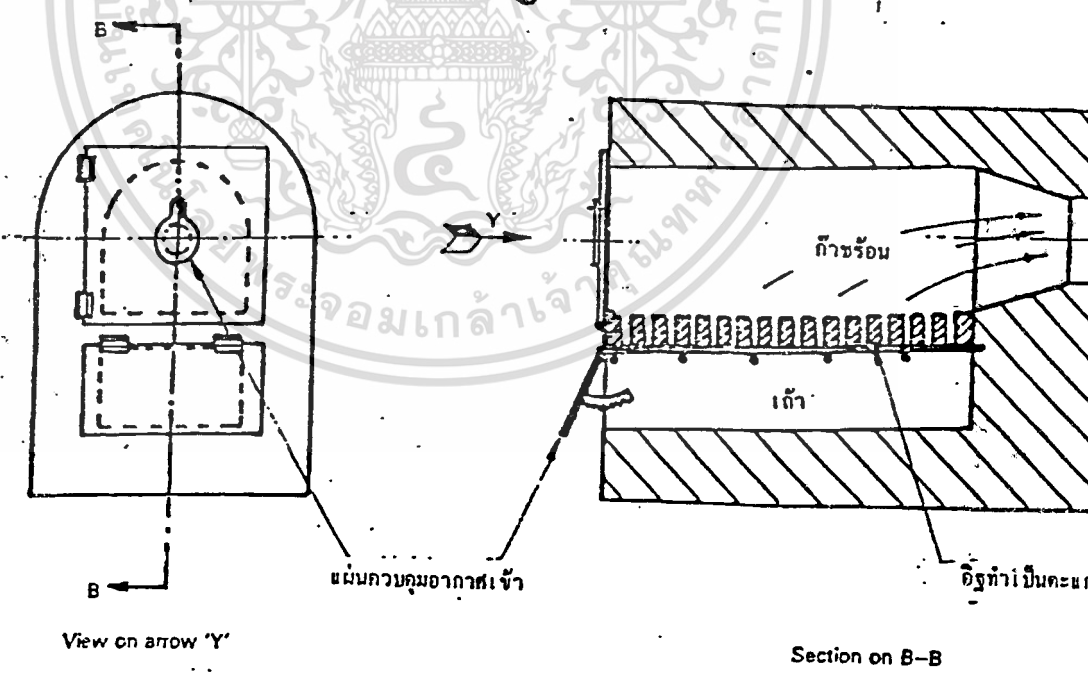
รูปที่ 1.1 เตาแบบขุโมงค์



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 1.2 กำหนดแบบของบิรรจิวัสตุเป็นพื้นเอียง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 เตาแบบรูปทรงระบอก



รูปที่ 1.4 เตาของบริษัทฯ สุธรรีลังกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3.5 เตาเผาทั่วไป

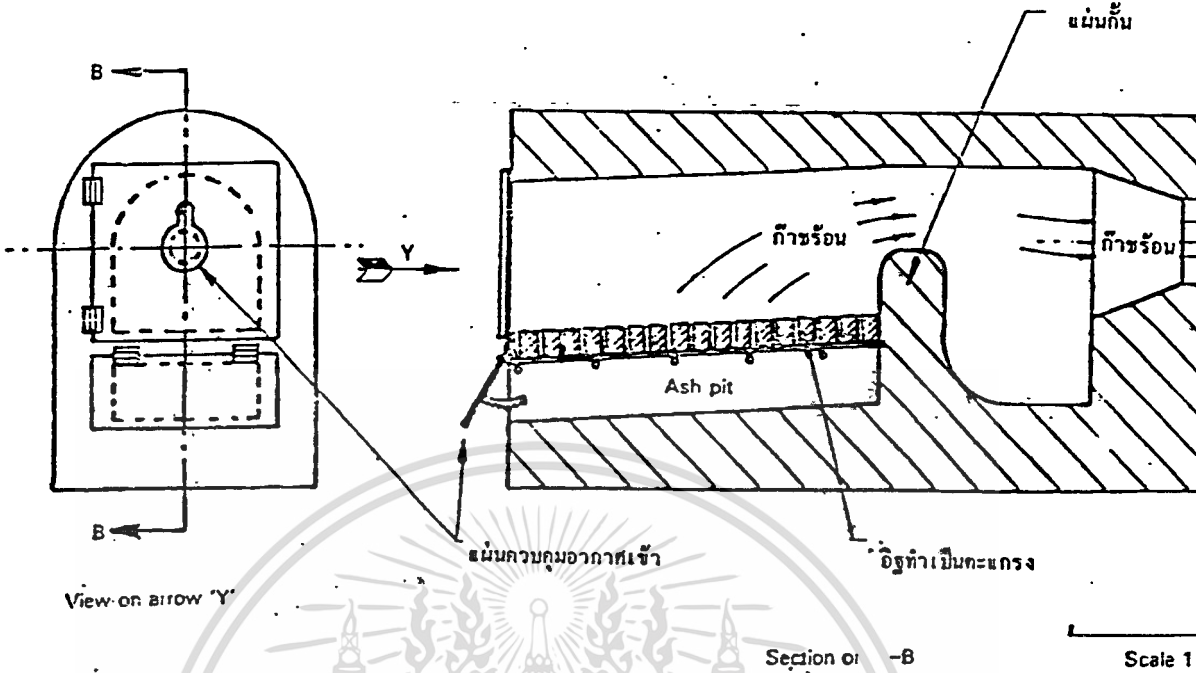
จากรูปที่ 1.5 เตาแบบนี้มีคั่นกัน (Baffle wall) กั้นอยู่หลังตะแกรงเผา ตัวเตาทำด้วยเหล็กหล่อด้วยวัสดุทนไฟ หรืออิฐทนไฟ คั่นกันทำหน้าที่ให้อากาศหรือสารระเหยผสมดีขึ้นและทำให้เกิดการสั่นคว่ก่อนที่จะเข้าสู่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลดปริมาณเถ้าที่จะปลิวเข้าไปในช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

### 1.3.6 เตาเผาแบบประกอบด้วยระบบแลกเปลี่ยนความร้อน

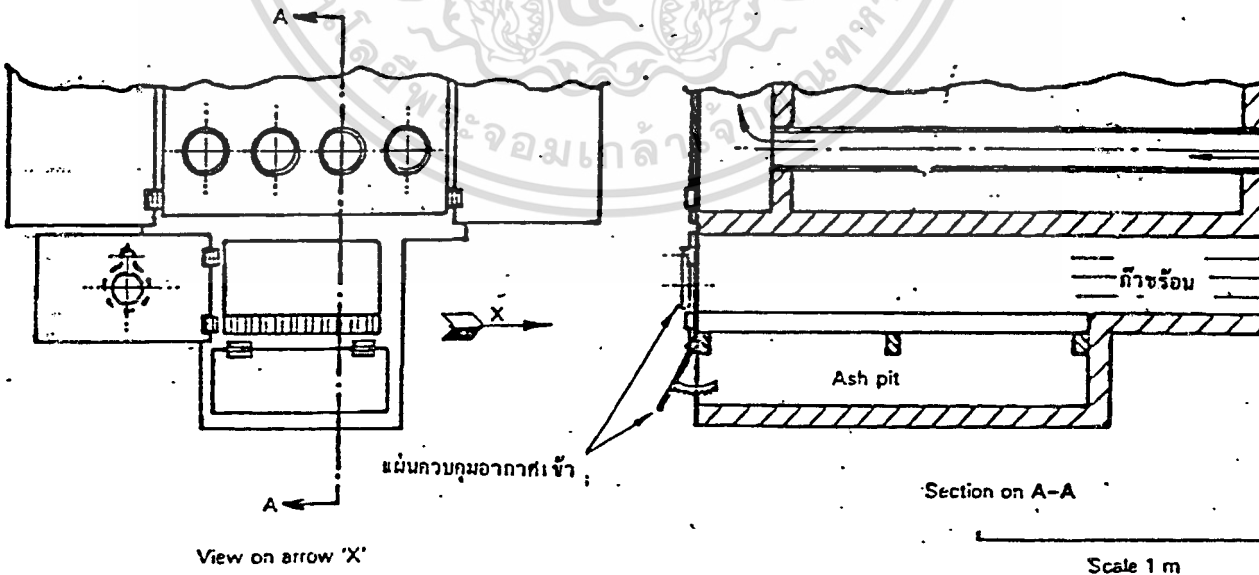
เตาเหล็กหล่อรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 1.6 และ 1.7 มีระบบแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ด้วย ผนังของช่องสันดาปทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อนมักทำด้วยเหล็กหล่อ และ/หรือเหล็กเหนียวที่ทนความร้อนได้สูง ความร้อนถูกถ่ายเข้าไปในช่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งอยู่ด้านบน เตาชนิดนี้ใช้กันมากในการอบใบชา

### 1.3.7 เตาให้ความร้อนกับถังสเตอริไลซ์

เตาชนิดนี้ใช้ก๊าซร้อนจากการสันดาป เพื่อให้ความร้อนจากถังน้ำซึ่งอยู่ด้านบนช่องสันดาป ก๊าซร้อนไหลตามท่อด้านล่างถึงน้ำและออกทางปล่องควัน น้ำร้อนที่ได้นำไปสเตอริไลซ์เนื้อมะพร้าว ดังรูปที่ 1.8

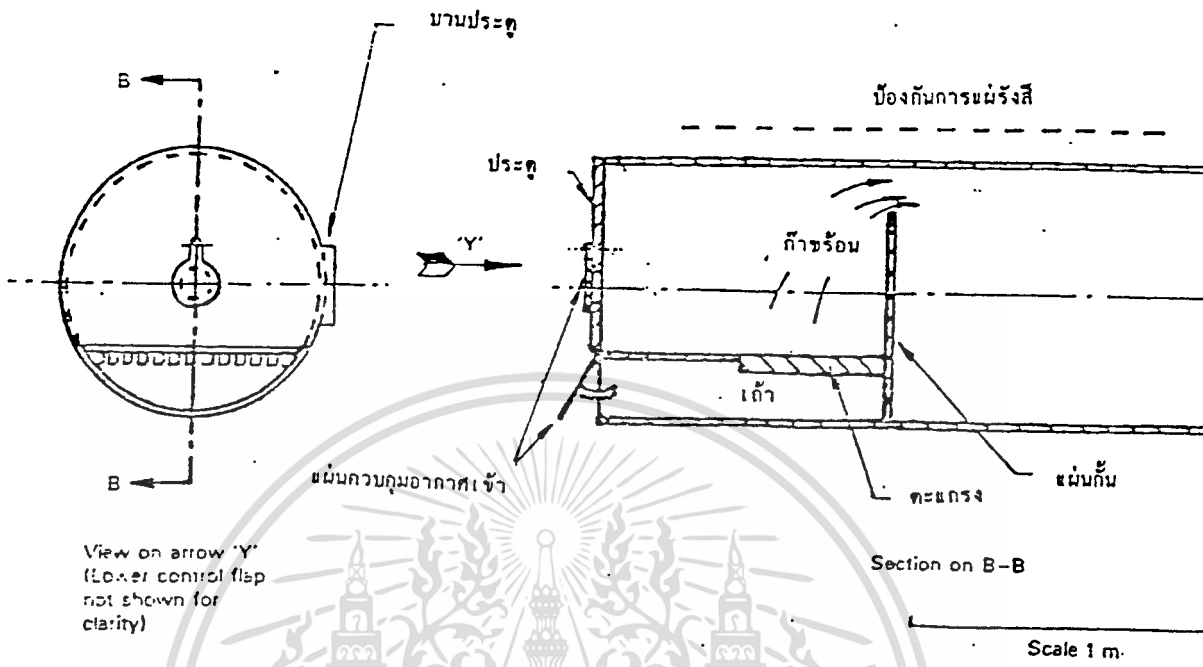


รูปที่ 1.5 เตาแบบทั่วไป

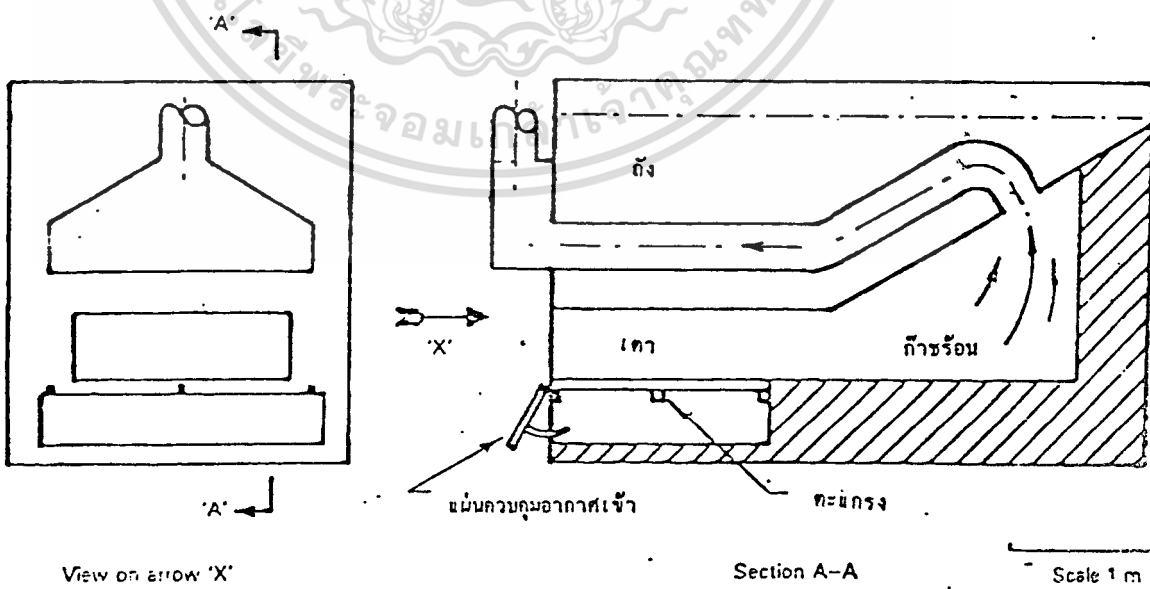


รูปที่ 1.6 เตาแบบประกอบด้วยระบบแลกเปลี่ยนความร้อน(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 เตาแบบประกอบด้วยระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (2)



รูปที่ 1.8 เตาให้ความร้อนกับถังสเตอริไลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 เตาสันดาปชีวมวลที่สร้างขึ้น

เตาที่สร้างขึ้นนี้เป็นเตาสันดาปซึ่งใช้แหล่งชีวมวลจากขังข้าวโพด ซึ่งเป็นสิ่งเหลือใช้หลังจากการนวดเอาเมล็ดข้าวโพดออกแล้ว เานี้ทำงานโดยเราป้อนขังข้าวโพดลงในถังบรรจุชีวมวล ขังข้าวโพดจะถูกลำเลียงเข้าเตาสันดาป โดยมีสกรูลำเลียงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ลำเลียง ขังข้าวโพดจะถูกสันดาปบนตะแกรงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสันดาป จะถ่ายเทสู่แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศสะอาดซึ่งผ่านเข้ามาในช่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่ออากาศเหล่านี้ร้อนขึ้นจะนำไปใช้ในการอบเมล็ดพันธุ์ เมล็ดธัญพืชหรือผลผลิตอื่นต่อไป จะเห็นได้ว่าเตาที่สร้างขึ้นโดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีมากนัก นอกจากใช้เผาขังข้าวโพดแล้วสามารถประยุกต์ใช้กับชีวมวลอย่างอื่นได้หากมีการดัดแปลงชิ้นส่วนบางชิ้น เช่น สกรูลำเลียง ตะแกรง ให้เหมาะสมกับชนิดของชีวมวล กลุ่มผู้ทำโครงการวิศวกรรมเกษตรนี้จึงตั้งใจออกแบบสร้างเตาเผาชีวมวลเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของการเกษตรประเทศเรา และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

#### 1.5 วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรมเกษตร เรื่องเตาสันดาปชีวมวล

1. นำเอาหลักวิชาการ และทฤษฎีที่ศึกษาในห้องเรียนมาประยุกต์สร้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในทางการเกษตร
2. พัฒนาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเป็นพลังงานทดแทนพลังงานหลัก (น้ำมัน) และช่วยเหลือเกษตรกรของชาติ
3. ส่งเสริมให้เกษตรกรรู้จักใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งเป็น การนำเอาเทคโนโลยีที่เหมาะสมไปสู่เกษตรกร เพื่อแนะนำให้เกษตรกรใช้เทคโนโลยีช่วยในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนำเข้ามาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
4. เป็นการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการสร้างเครื่องมือ และรู้จักใช้การแก้ปัญหาอันจะนำไปสู่การทำงานจริงในอนาคต

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 การสันดาปเชื้อเพลิง

การเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนมากใช้ออกซิเจนจากอากาศ โดยอากาศมีองค์ประกอบต่าง ๆ ตามตารางที่ 2.1

ตาราง ที่ 2.1 องค์ประกอบของอากาศแห้ง

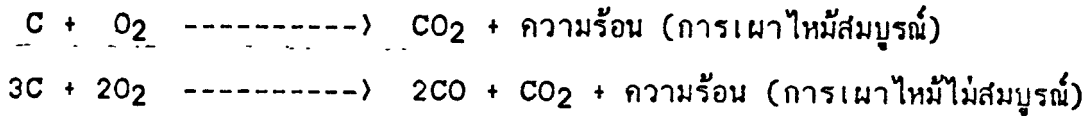
ก๊าซ	การวิเคราะห์ โดยปริมาตร%	สัดส่วน	น้ำหนัก โมเลกุล	น้ำหนัก สัมพัทธ์
O <sub>2</sub>	20.99	0.2099	32.000	6.717
N <sub>2</sub>	78.03	0.7803	28.016	21.861
Ar	0.94	0.0094	39.944	0.376
CO <sub>2</sub>	0.03	0.0033	44.003	0.013
H <sub>2</sub>	0.01	0.0001	2.016	
รวม	100.00	1.0000		28.976

น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ = 28.976                      หรือประมาณ 29

#### 2.1.1 หลักเบื้องต้นของการเผาไหม้

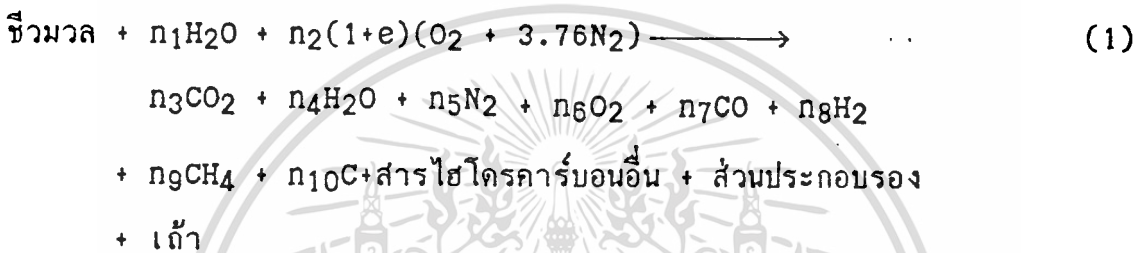
การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน และให้ความร้อนออกมา โดยทั่วไปเชื้อเพลิงประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน ธาตุเหล่านี้เมื่อรวมกับออกซิเจนแล้วจะได้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าวการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีความร้อนออกมาด้วย ดังสมการข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 2.1.2 การสันดาปเชื้อเพลิงชีวมวล

2.1.2.1 สมการเคมีของการสันดาปชีวมวล แบบสมบูรณ์หรือสมบูรณ์บางส่วน ในอากาศนั้นเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้



เมื่อ  $n_j$  = จำนวนโมลของสารต่าง ๆ ทั้งตัวทำปฏิกิริยา หรือผลปฏิกิริยาต่อ 1 โมล ของเชื้อเพลิงชีวมวลแห้ง

$n_1\text{H}_2\text{O}$  = ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล

$n_2$  = จำนวนโมลของ  $\text{O}_2$  ที่ต้องการสำหรับปฏิกิริยาสันดาปชีวมวลทางทฤษฎี

$n_2(1+e)$  = จำนวนโมลจริงของ  $\text{O}_2$  ที่ใช้ในการสันดาป

$e$  = สัดส่วนของ  $\text{O}_2$  ที่เกินกว่าที่ต้องการสำหรับปฏิกิริยาสันดาปทางทฤษฎี

ค่า 3.76 ได้มาจากข้อสมมุติที่ว่าอากาศประกอบด้วย  $\text{O}_2$  21% และ  $\text{N}_2$  79% โดยปริมาตร ผลจากปฏิกิริยาประกอบด้วยก๊าซ ( $n_3 - n_9$ )  $\text{CO}_2$  ไอน้ำ  $\text{N}_2$   $\text{O}_2$   $\text{CO}$   $\text{H}_2$  และ  $\text{CH}_4$  คาร์บอนที่ยังไม่ถูกทำปฏิกิริยา ( $n_{10}$ ) ก๊าซอื่น ๆ สารไฮโดรคาร์บอนเหลวและส่วนประกอบรอง (เช่น  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) และเถ้า ในบางกรณีไอน้ำ ( $n_4$ ) อาจอยู่ในรูปของเหลวก็ได้

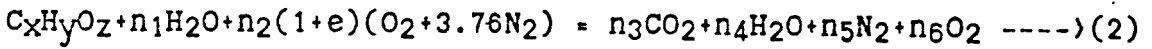
เพื่อความสะดวกในการคำนวณพารามิเตอร์ของปฏิกิริยา สมการ (1) สามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยกำหนดข้อสมมุติ ดังนี้

- 1) ชีวมวลประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ธาตุ คือ C H และ O ซึ่งเป็นธาตุที่สันดาปได้
- 2) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสมบูรณ์

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $e > 0$  สมการ (1) เป็นปฏิกิริยาสำหรับการสันดาป



สัมประสิทธิ์ของสมการปฏิกิริยาสันดาป  $n_i$  ในสมการ (2) เมื่อ  $e > 0$  พิจารณาจากสัมมูลย์ของมวลของธาตุต่าง ๆ ก่อนปฏิกิริยา และหลังปฏิกิริยา ยกเว้น  $n_1$  ซึ่งคำนวณจากความชื้นของชีวมวล

$$n_1 = \frac{M_{WF}}{18} (M_{Cdb}) (100 / C+H+O)$$

เมื่อ  $M_{WF}$  = น้ำหนักโมเลกุลของชีวมวล

$C, H, O$  = สัดส่วนโดยน้ำหนักธาตุ  $C, H, O$  ของชีวมวลมาตรฐานแห้ง (ทศนิยม)

18 เป็น น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ

$M_{Cdb}$  เป็น ความชื้นของชีวมวลมาตรฐานแห้ง จากสัมมูลย์ของมวล ค่าสัมประสิทธิ์อื่น ๆ คำนวณได้ดังนี้

สัมมูลย์ของคาร์บอน :  $x = n_3$

สัมมูลย์ของไฮโดรเจน :  $y + 2n_1 = 2n_4$

สัมมูลย์ของออกซิเจน :  $z + n_1 + 2n_2(1+e) = 2n_3 + n_4 + 2n_6$

สัมมูลย์ของไนโตรเจน :  $7.52 n_2(1+e) = 2n_5$

แก้สมการ :

$$n_3 = x$$

$$n_5 = 3.76n_2(1+e)$$

$$n_4 = (y / 2) + n_1$$

$$n_6 = n_2 e$$

ที่ปฏิกิริยาสันดาปทางทฤษฎี ;  $e = 0, n_6 = 0$

$$n_2 = n_3 + (n_4 / 2) - (z/2) - (n_1/2)$$

$$= x + (y / 4) - (z/2)$$

ถ้า  $e > 0$   $n_2 = (2n_3 + n_4 + 2n_6 - z - n_1) / 2(1+e)$

$$n_6 = n_2 e$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.2 อัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง (Air - fuel ratio, AF)

เป็นอัตราส่วนของมวลอากาศต่อมวลของเชื้อเพลิงซึ่งมวล

$$AF = n_2(1+e)(32+3.76(28))/M_{wf}(C+H+O)/100$$

$$= (137.28 n_2/M_{wf}) n_2 (1+e)[(C+H+O)/100]$$

เมื่อ  $e = 0$  ; ปฏิกิริยาสันดาปทางทฤษฎี

$$AF_{stoich} = (137.28/M_{wf}) n_2 [(C+H+O)/100]$$

อัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio)

$$\phi = AF_{stoich} / AF = 1 / (1+e)$$

ปริมาณอากาศเกิน  $e = (1/\phi) - 1$

มีประโยชน์ในการอธิบาย

สภาพของปฏิกิริยาสันดาปแบบปริมาณอากาศเกินกว่าจำเป็นทางทฤษฎี

### 2.1.2.3 ปริมาตรของก๊าซสันดาป (Volume of product gas)

$$V_i = (M_{wi}) n_i v_i$$

เมื่อ  $V_i$  = ปริมาตรของก๊าซสันดาป

$M_{wi}$  = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ที่ได้จากการสันดาป

$v_i$  = ปริมาตรจำเพาะของก๊าซต่าง ๆ ที่ได้ที่อุณหภูมิและความดันของก๊าซทั้งหมด

ถ้าอยู่ในรูปของไอน้ำ

$$V = \sum_{i=1}^6 V_i$$

เมื่อได้น้ำควบแน่น ปริมาตรลดลงมากเมื่อเทียบกับปริมาตรขณะเป็นไอน้ำ ซึ่งละทิ้งได้

นอกจากนี้ ปริมาตรทั้งหมดสามารถประมาณได้ โดยสมมุติว่าก๊าซมี

พฤติกรรมเหมือนก๊าซอุดมคติ ฉะนั้นปริมาตรรวมที่ความดันบรรยากาศเป็น

$$V, m^3 / kg \text{ ชีวมวล} = [22.4(n_3+n_4+n_5+n_6)/M_{wf}](T_p/T_0)[C+H+O]/100$$

เมื่อ  $T_p$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซที่ได้จากการสันดาป (K)

$$T_0 = 273.15 \text{ K}$$

สำหรับ  $n_4$  อาจละทิ้งได้ถ้าหากไอน้ำควบแน่นเป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 หลักสำคัญของการเผาไหม้วัสดุเหลือใช้

การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างชัดเจนและรวดเร็วโดยปฏิกิริยาเคมีของ ออกซิเจนกับเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ซึ่งมีองค์ประกอบที่เผาไหม้ได้ เช่น คาร์บอน, ไฮโดรเจน และส่วนที่เป็นโลหะของโปตัสเซียมและโซเดียม จากการเผาไหม้เกิดปฏิกิริยาได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและออกไซด์ของโลหะ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาให้ความร้อน Exothermic และจะปล่อยความร้อนออกมาประมาณ 32,790 KJ/kg (14,100 BTU/lb) ของคาร์บอนที่เผาไหม้และ 142,085 KJ/kg (61,100 BTU/lb) ของไฮโดรเจนที่เผาไหม้

จุดมุ่งหมายของการเผาไหม้ที่ดี คือ การปลดปล่อยความร้อนจากเชื้อเพลิง โดยที่มีการสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และการสูญเสียไปในปริมาณอากาศเกินน้อยที่สุด การเผาไหม้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนกำหนดด้วยแฟกเตอร์ 3 ข้อดังนี้คือ

1. อุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการลุกไหม้เชื้อเพลิงในอากาศ
2. การไหลวนของกระแสอากาศในการเผาไหม้
3. ระยะเวลาพอเพียงที่จะเผาไหม้ได้สมบูรณ์

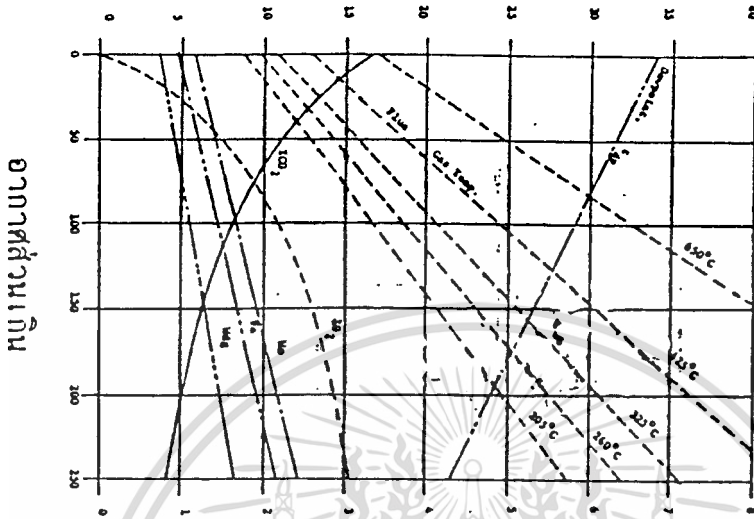
อาจเรียกทั้ง 3 แฟกเตอร์นี้ว่า "หลัก 3 T" ของการเผาไหม้ (Temperature, Turbulence, Time)

การเผาไหม้ของวัสดุเกษตรเหลือใช้เกิดขึ้นเป็นสภาวะ 3 สภาวะต่อเนื่องกันคือ

1. การระเหยความชื้น
2. การระเหยและการเผาไหม้วัสดุที่ระเหยง่าย
3. การเผาไหม้คาร์บอน

การวิเคราะห์ความต้องการปริมาณอากาศในการเผาไหม้และก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (flue gas) สามารถคำนวณจากชนิดของเชื้อเพลิงโดยการคำนวณในระบบกิโลกรัม-โมล ดังอธิบายแล้วในหัวข้อ 2.1.2 จากการคำนวณนี้จะได้อกราฟของการเผาไหม้ ที่แปรผันไปตามปริมาณอากาศส่วนเกินของเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน และยังสามารถเขียนกราฟของปริมาณอากาศที่แท้จริงที่ใช้ในการเผาไหม้ด้วย ปริมาณและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ก็สามารถคำนวณได้อกราฟของการเผาไหม้ซึ่งข้าวโพดและตอซังข้าวโพดแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2

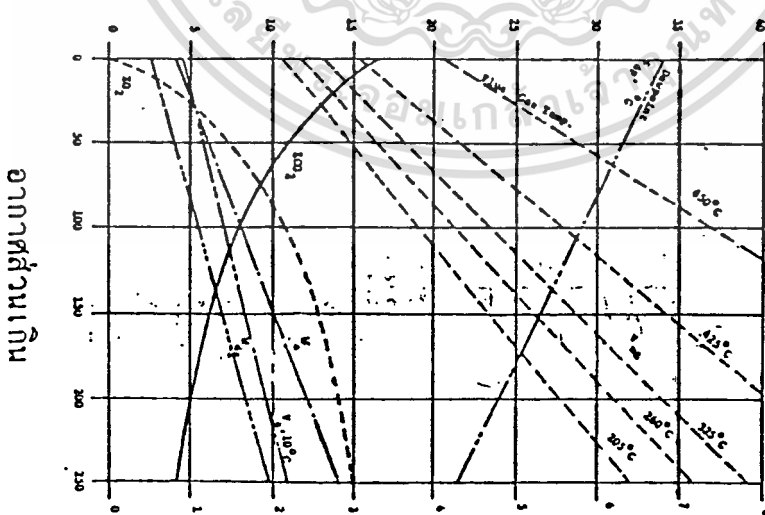
CO<sub>2</sub> O<sub>2</sub> - เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, W<sub>a</sub> น้ำหนักของอากาศ,  
V<sub>wg</sub> น้ำหนักอากาศแห้ง - กก./กก.เชื้อเพลิง



รูปที่ 2.2 การสันดาปซังข้าวโพด (ความชื้น 35%)

V<sub>a</sub> ปริมาตรของอากาศ V<sub>wg</sub> ปริมาตรของอากาศชื้น-ม<sup>3</sup>/  
กก.เชื้อเพลิง, T<sub>dp</sub> อุณหภูมิจุดน้ำค้าง-10-1 องศาเซลเซียส

CO<sub>2</sub> O<sub>2</sub> - เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร, W<sub>a</sub> น้ำหนักของอากาศ,  
V<sub>wg</sub> น้ำหนักอากาศแห้ง - กก./กก.เชื้อเพลิง



รูปที่ 2.1 การสันดาปซังข้าวโพด (ความชื้น 15%)

V<sub>a</sub> ปริมาตรของอากาศ V<sub>wg</sub> ปริมาตรของอากาศชื้น-ม<sup>3</sup>/  
กก.เชื้อเพลิง, T<sub>dp</sub> อุณหภูมิจุดน้ำค้าง-10-1 องศาเซลเซียส.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณความต้องการอากาศทางทฤษฎี "Stoichiometric air" ที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงดังสมการ (1) ขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์เชื้อเพลิง แบบ Ultimate และความชื้นของเชื้อเพลิง แต่การทำงานของเตาเผาจำเป็นที่จะต้องป้อนอากาศในปริมาณที่มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎีเข้าไปในห้องเผาไหม้ เพื่อให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ปริมาณอากาศส่วนเกินนี้ควรจะอยู่ช่วง 35 - 50% และไม่เกิน 100% ความต้องการอากาศส่วนเกินมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับความชื้นของเชื้อเพลิงตัวอย่างเช่น เชื้อเพลิงความชื้นสูงต้องการอากาศในปริมาณสูงเพื่อให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ ขณะเดียวกันเชื้อเพลิงความชื้นต่ำจะเผาไหม้ได้กับอากาศส่วนเกินในปริมาณต่ำ

หากปริมาณอากาศส่วนเกินในห้องเผาไหม้มากเกินไปมีข้อเสีย คือ

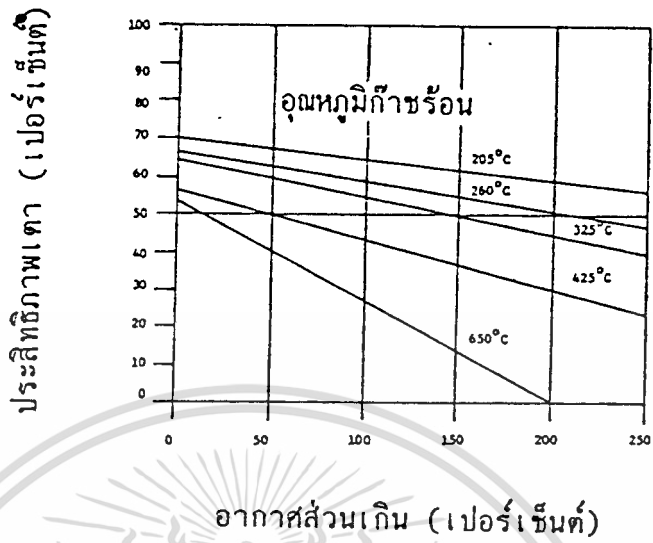
1. ปฏิกริยาการเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำลงและอัตราการเผาไหม้ช้าลง
2. ประสิทธิภาพรวมของระบบการเผาไหม้ทั้งหมดลดลง (ดูภาพ 2.3 และ 2.4)
3. ความเร็วในการเคลื่อนตัวของก๊าซที่ได้จากการสันดาปในเตาเผาเพิ่มขึ้นและพาเอาเชื้อเพลิงเล็ก ๆ ที่กำลังเผาไหม้บางส่วนออกไปจากเตา
4. เกิดความต้องการระบบพัดลม เพื่อใช้ในการพัดพาอากาศส่วนเกินผ่านเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้ต้องการกำลังมากขึ้น

การคำนวณการเผาไหม้เพื่อหาความร้อนที่สูญเสียและประสิทธิภาพของเตาเผา กำหนดจากค่าต่าง ๆ ของอากาศส่วนเกินและอุณหภูมิทางปล่อง ค่าสูญเสียโดยปกติสัมพันธ์กับ

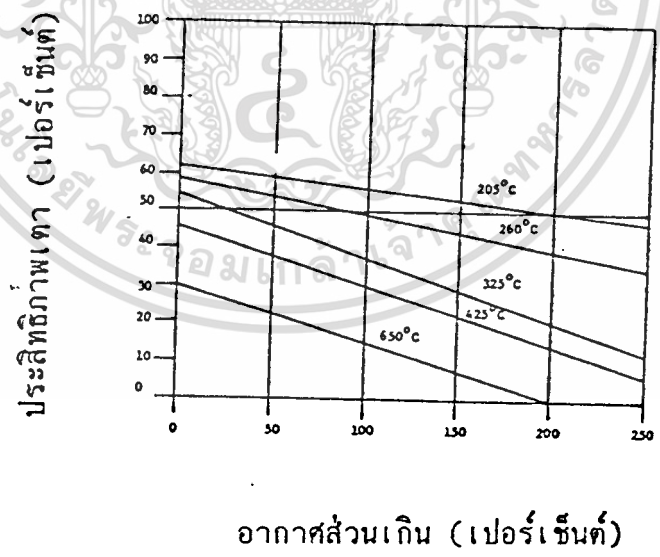
1. อุณหภูมิของอากาศแห้ง(คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน) ที่ออกจากปล่องไฟสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก
2. พลังงานที่ใช้ในการระเหยความชื้นในเชื้อเพลิงและเพิ่มอุณหภูมิให้สูงถึงอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากปล่องไฟ
3. ความสูญเสียเนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ไม่เผาไหม้
4. การสูญเสียเพราะไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง
5. คาร์บอนที่เหลืออยู่ในเถ้า
6. รังสีความร้อนที่สูญเสียไปทางปล่องไฟ
- และ 7. ความสูญเสียอื่น ๆ เช่น การแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตามอีกทั้งสงวนลิขสิทธิ์ของเนื้อหาและข้อมูลในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ประสิทธิภาพการสันดาปซึ่งข้าวโพด (ความชื้น 15%)



รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพการสันดาปต่อซึ่งข้าวโพด (ความชื้น 35%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ซังข้าวโพดและการสันดาปซังข้าวโพด

### 2.2.1 คุณสมบัติของซังข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของซังข้าวโพด ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี Proximate Analysis ปริมาณกำมะถันและค่าความร้อนสูงของซังข้าวโพด (กอง ถังคั่วและพัฒนาพลังงาน , 2530) มีดังนี้

ปริมาณเถ้า	2.48 %
ปริมาณสารระเหย	70.31 %
ปริมาณคาร์บอนคงตัว	19.94 %
ปริมาณความชื้น	7.28 %
ปริมาณกำมะถัน	0.07 %
ค่าความร้อนสูง	17.30 เมกะจูล/กิโลกรัม

สามารถคำนวณค่าความร้อนฐานต่าง ๆ ได้ดังนี้

ค่าความร้อนต่ำ 14.50 เมกะจูล/กิโลกรัม (15% ความชื้นเปียก)

ค่าความร้อนสูงฐานแห้ง 18.70 เมกะจูล/กิโลกรัม

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยละเอียดของซังข้าวโพดโดยวิธี

Ultimate (Jenkin and Ebeling, 1985) มีดังนี้

องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนักแห้ง
คาร์บอน	16.50
ไฮโดรเจน	5.87
ออกซิเจน	45.46
ไนโตรเจน	0.47
กำมะถัน	0.01
คลอรีน	0.21
เถ้า	1.40

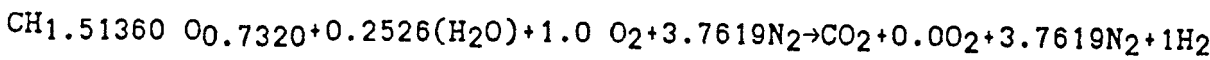
คำนวณสูตรทางเคมีของซังข้าวโพดได้ดังนี้

CH<sub>1.5136</sub> O<sub>0.7320</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
จุดหลอมเหลวของเถ้าซังข้าวโพดมีค่าประมาณ 790 - 815 °C

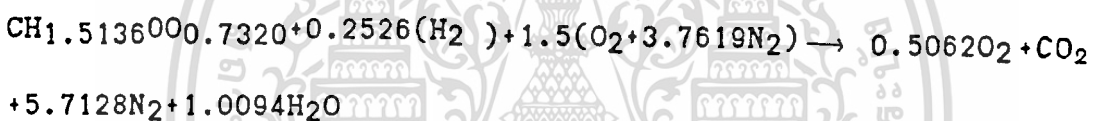
### 2.2.2 การสันดาปซังข้าวโพด

การสันดาปโดยมีปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี สามารถเขียนเป็นสมการเคมี ดังนี้



ปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีที่จำเป็นต่อการสันดาปเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม คือ 4.2 ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน ดังนั้นก๊าซที่ได้จากการสันดาปจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ 17.2% ไนโตรเจน 65.5% และน้ำ 17.4% โดยปริมาตร ทั้งนี้มีน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซจากการสันดาปประมาณ 29.02 กิโลกรัม/กิโลโมล อุณหภูมิในการสันดาปประมาณ 1970 °C เมื่อคิดการสูญเสียความร้อน 20%

การสันดาปโดยมีปริมาณอากาศเกินปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี 50% สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้



ปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม คือ 6.3 ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน ซึ่งก๊าซที่ได้จากการสันดาป มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 12.2% ออกซิเจน 6.2% ไนโตรเจน 69.4% และน้ำ 12.3% โดยปริมาตร โดยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 28.96 กิโลกรัม/กิโลโมล อุณหภูมิในการสันดาปประมาณ 1230 °C เมื่อคิดว่ามี การสูญเสียความร้อน 20%

### บทที่ 3 การสร้าง

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึง การสร้างเตาเผาซึ่งข้าวโพดแบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน การสร้างอุปกรณ์เก็บเขม่าและอุปกรณ์เก็บก๊าซ

เตาเผาชีวมวลแบบนี้ได้ใช้แหล่งพลังงานชีวมวลจากซึ่งข้าวโพดมาสันดาปในช่องสันดาปและนำความร้อนที่ได้ในช่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นความร้อนที่สะอาดปราศจากเขม่า คาร์บอนไฟและเถ้า ซึ่งความร้อนที่ได้สามารถนำมาใช้อบเมล็ดธัญพืชหรือเมล็ดพันธุ์ต่อไป

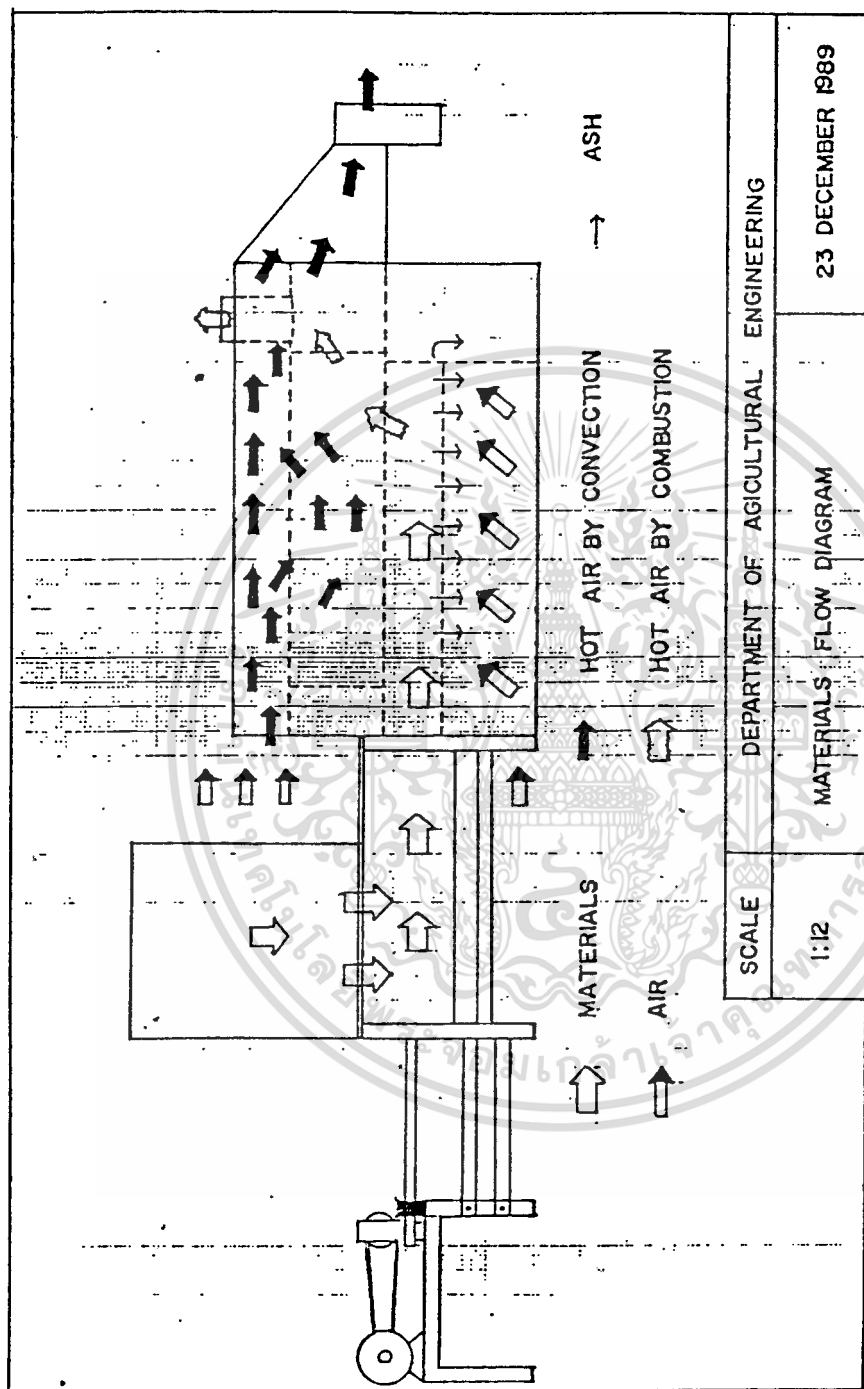
#### 3.1 ส่วนประกอบของเตา (ดูภาคผนวก รูปที่ A.1)

1. ถังบรรจุซึ่งข้าวโพด (Hopper)
2. สกรูลำเลียงซึ่งข้าวโพด (Screw)
3. ช่องสันดาปซึ่งข้าวโพด (Combustor)
4. ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)
5. ปล่องไฟ (Stack)
6. ถาดรองเถ้า (Ash tray)
7. ชุดต้นกำลังขับ (มอเตอร์ + เฟืองทด) (Driving system)

#### 3.2 หลักการทำงานของเตา

จากรูปที่ 3.1 แสดงการไหลของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงและอากาศที่ใช้สันดาป การทำงานของเตาเริ่มจากซึ่งข้าวโพดที่บรรจุอยู่ในถังบรรจุ ซึ่งข้าวโพดจะถูกลำเลียงโดยสกรูลำเลียง ซึ่งได้รับกำลังขับจากมอเตอร์ สกรูลำเลียงลำเลียงซึ่งข้าวโพดด้วยอัตราการป้อนที่ต่ำเข้ามาในช่องสันดาป เมื่อซึ่งข้าวโพดเคลื่อนเข้าสู่ช่องสันดาป จะถูกสันดาปโดยอากาศภายนอกที่ผ่านเข้ามาทางด้านล่างช่องสันดาป อากาศที่เข้าส่วนหนึ่งจะถูกทำให้เกิดการไหลวน เพื่อช่วยให้การสันดาปดีขึ้น โดยปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ในเชิงพาณิชย์ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการไหลของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อากาศเคลื่อนตัวผ่านครีบบั่นเหล็ก (Baffle) (ดังภาคผนวก รูปที่ A1, A18) ถ้าที่ได้จากการสันดาปจะหล่นร่วงตามช่องตะแกรงของช่องสันดาปและท้ายตะแกรง ก็าซร้อนจากกำารสันดาปจะเคลื่อนตัวออกทางปล่องด้านบน ส่วนช่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอากาศผ่านเข้ามาแล้วร้อนขึ้น ซึ่งอากาศร้อนนี้สามารถไปใช้ในการอบธัญพืชหรือเมล็ดพันธุ์ต่อไป

### 3.3 รายละเอียดการสร้างเตา ถังบรรจุและสกรูลำเลียง

#### 3.3.1 ถังบรรจุชีวมวล (รูปที่ 3.2, ภาคผนวกรูปที่ A.1, A.14)

การหาปริมาตร

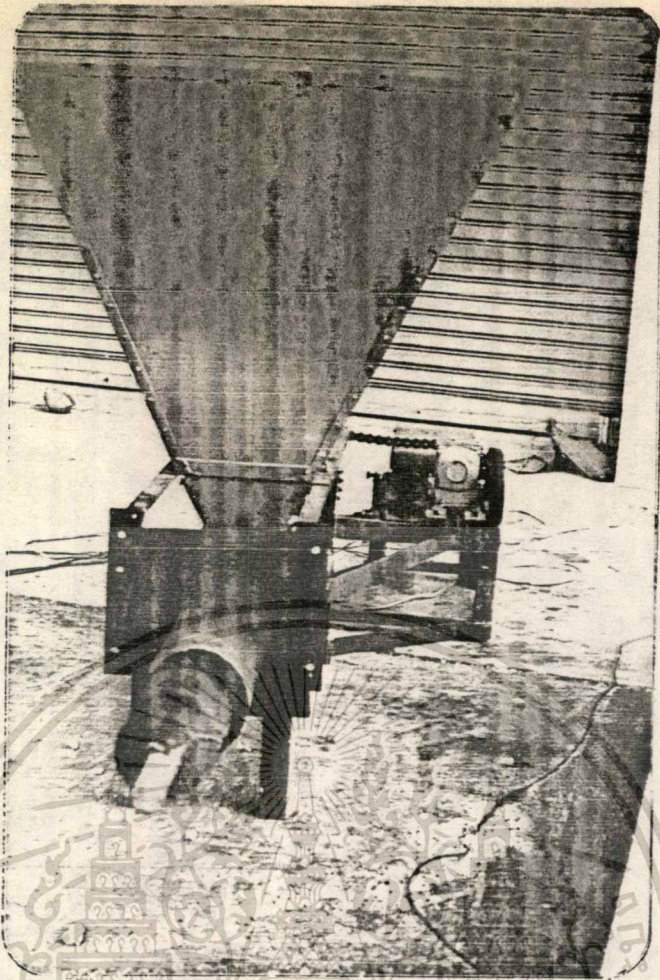
$$\begin{aligned} \text{สูตร ปริมาตรถังบรรจุ} &= [1/2 \times (\text{ผลบวกของด้านบนคู่ขนาน}) \times \text{สูง}] \times \text{ความยาว} \\ \text{แทนค่า ปริมาตรถังบรรจุ} &= [1/2 \times (80+12) \times 70.5] \times 50 \\ &= 162150 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ถังบรรจุชีวมวลซึ่งมีปริมาตร 162150 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถบรรจุขังข้าวโพดได้ประมาณ 21 กิโลกรัม โดยที่โครงสร้างด้วยเหล็กจากขนาด 1/2 นิ้ว และผนังถังทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 1.2 มม. ยึดติดกับโครงด้วยหมุดย้ำ 1.2 มม. ซึ่งถังบรรจุสามารถประกอบติดกับรางสกรูได้โดยทำหน้าแปลนยึดติดกันด้วยสลักเกลียว ดังรูปที่ A1, A13

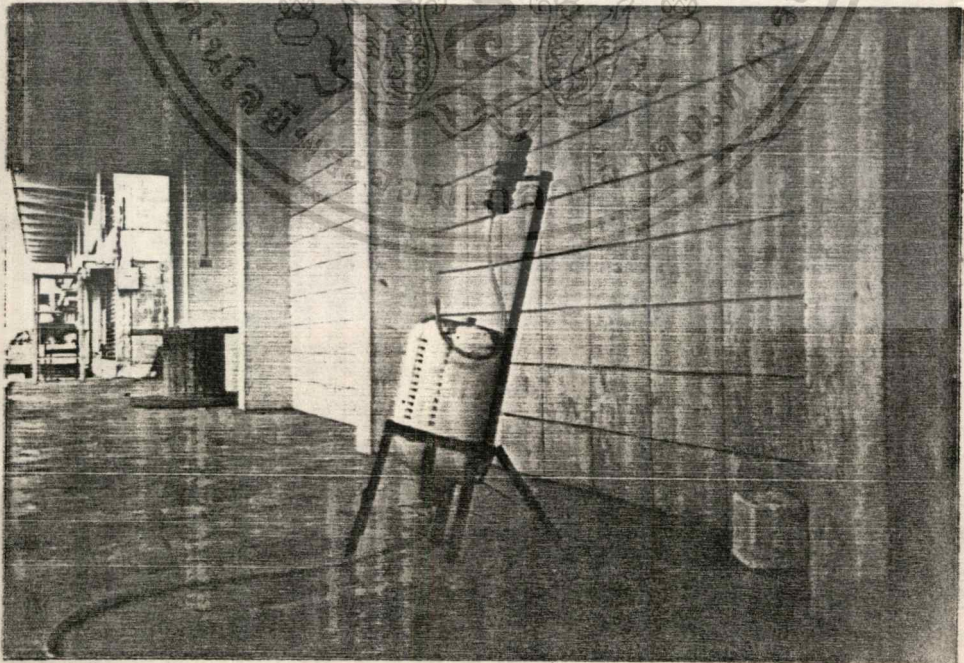
#### 3.3.2 ใบสกรูลำเลียง

เกลียวสกรูทำด้วยเหล็กหนา 4 มม. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (10.16 มม.) ระยะห่างระหว่างเกลียว 3 นิ้ว (7.6 มม.) ยึดติดกับเพลลา 1-1/4 นิ้ว (30 มม.) ความยาวของเพลลาลำเลียงยาว 1600 มม. สกรูลำเลียงสวมอยู่ในรางซึ่งทำเป็นท่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 130 มม. 1200 มม. ซึ่งรางนี้จะยื่นเข้าไปในเตาเผา 350 มม. สกรูจะทำหน้าที่ลำเลียงขังข้าวโพดจากถังบรรจุมวลเข้าไปสันดาปบนตะแกรงเผาด้วย อัตรา 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ภาคผนวก รูปที่ A.1, A.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงถึงบรรจุชีวมวลและสกรูล้ำเลียง



รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์เก็บก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณขนาดของสกรูลำเลียง

ขนาดของสกรูลำเลียงที่สำคัญได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวสกรู ระยะห่างระหว่างเกลียว และต้นกำลังขับเคลื่อนสกรูลำเลียง

อัตราการป้อนเตาสันดาปที่ต้องการประมาณ 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความหนาแน่นรวมของขี้ขาวโพดในถังบรรจุเท่ากับ 129.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$V = 60TD^2/4 sn \theta k \quad \text{-----} \rightarrow (1)$$

$V = Q/p =$  อัตราการลำเลียงเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร/ชม.)

$p =$  ความหนาแน่นของขี้ขาวโพดในถังบรรจุ(กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$Q =$  อัตราการป้อนขี้ขาวโพด

$D =$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว (เมตร)

$S =$  ระยะห่างระหว่างเกลียว (เมตร)

$n =$  ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)

$\theta =$  สัมประสิทธิ์ตามวัสดุ, เลือกใช้ 0.32 [วัสดุขนถ่ายเบา ผิวไม่แข็งคม]

$k =$  สัมประสิทธิ์เนื่องจากความเอียงของการลำเลียง เลือกใช้ 1 (ลำเลียงในแนวราบ)

เพราะว่า  $V = sn/60$  เลือก  $V = 0.01$  เมตรต่อวินาที ดังนั้น  $sn = 0.6$

$$\text{แทนค่าใน (1)} \quad 7.2/129.5 = 60TD^2(0.6)(0.32)(1)/4$$

$$0.06 = 9.05 D^2$$

$$D^2 = 0.06/9.05 = 0.0066 \text{ เมตร}$$

$$D = 0.0812 \text{ เมตร}$$

$$\sim 3.2 \text{ นิ้ว}$$

เลือกซื้อใบเกลียวสกรูตามท้องตลาดได้ขนาด 4 นิ้ว ระยะพิท 3 นิ้ว

### การคำนวณกำลังขับเคลื่อน

$$\text{สูตร } N = (Q/360)(LW)$$

$$Q = \text{อัตราการป้อน (วัตต์)}$$

$$= 7.2 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

$$L = \text{ความยาวของสกรูลำเลียง}$$

$$= 1.30 \text{ เซนติเมตร} = 0.13 \text{ เมตร}$$

$$W = 5 \text{ กรณีความต้านทานการเคลื่อนไหวสกรู}$$

#### แทนค่า

$$N = (7.2/360) (0.13 \times 5)$$

$$= 0.013 \text{ วัตต์}$$

$$= 1.5 \times 10^{-5} \text{ กิโลวัตต์}$$

$$= 9.7 \times 10^{-3} \text{ กำลังม้า}$$

เลือกใช้มอเตอร์ที่มีขายในท้องตลาด คือ ขนาด 0.25 กำลังม้า

### 3.3.3 ช่องสันดาปชีวมวล

ช่องสันดาปชีวมวลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็นตะแกรงรูปครึ่งทรงกระบอก
2. ส่วนที่เป็นรูปครึ่งทรงกระบอกครอบตะแกรง

ส่วนที่เป็นตะแกรงรูปครึ่งทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มม.

ความยาวทรงกระบอก 1000 มม. ตัวตะแกรงทำด้วยเหล็กข้ออ้อยเส้นผ่านศูนย์กลาง

10 มม. ยาว 1000 มม. เชื่อมติดกันเป็นรูปครึ่งทรงกระบอกบนเหล็กแผ่นเรียบ

ซึ่งโค้งเป็นรูปครึ่งทรงกระบอกเช่นกัน ขนาดของเหล็กแผ่นเรียบมีขนาดหนา 1/4 นิ้ว

กว้าง 1-1/2 นิ้ว ตะแกรงนี้ใช้เป็นส่วนที่รองรับชีวมวลเพื่อสันดาป (ดูภาคผนวกรูปที่

A.1, A.8, A9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรูปเครื่องทรงกระบอกด้านบนซึ่งครอบตะแกรงอยู่จะทำด้วยเหล็กแผ่นหนา 4 มม. ม้วนโค้งเป็นรูปเครื่องทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มม. ความยาวของเครื่องทรงกระบอกยาว 1200 มม. ขอบล่างของเครื่องทรงกระบอกจะพับเหล็กเข้ามาด้านใน 150 มม. เพื่อเจาะรูยึดสลักเกลียวสำหรับประกอบติดกับส่วนที่เป็นตะแกรงเผา ส่วนด้านในติดแผ่นครีป ซึ่งทำด้วยเหล็กหนา 4 มม. ห่างจากด้านหน้าเตาช่วงละ 200 มม. 2 ช่วง จุดประสงค์ของการติดแผ่นครีปก็เพื่อให้เกิดการวนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ หากอากาศเคลื่อนเข้ามาจากด้านหน้าของช่องสันดาป

ส่วนทางด้านท้ายของเครื่องทรงกระบอกด้านบน จะเจาะเป็นรูขนาด 120 มม. เพื่อสวมปล่อง (ภาคผนวก รูปที่ A11)

หน้าที่ของเครื่องทรงกระบอกที่ครอบตะแกรงนี้เป็นส่วนของช่องสันดาปและทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีฝาปิดหน้าและฝาปิดหลัง ซึ่งฝาปิดหน้าและหลังนี้ จะใช้เหล็กหนา 4 มม. ตัดเป็นรูปครึ่งวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มม. ฝาปิดด้านหลังสามารถเปลี่ยนเป็นเหล็กตะแกรงหนา 4 มม. ได้ เมื่อเราต้องการใช้อากาศร้อนที่ไม่ต้องสะอาดมากนัก ที่ฝาปิดทั้ง 2 ด้าน จะเจาะรูสำหรับยึดบานพับ ยึดติดกับเครื่องทรงกระบอกสำหรับปิดเปิดได้ (ภาคผนวก รูปที่ A1, A15)

### 3.3.4 ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำด้วยเหล็กหนา 1.4 มม. ม้วนโค้งเป็นรูปเครื่องทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 800 มม. ยาว 1200 มม. และพับขอบเข้าด้านใน 150 มม. เจาะรูสำหรับยึดติดด้วยนอตกับฐานเตาอีกที่หนึ่ง รูปเครื่องทรงกระบอกด้านท้ายจะเจาะรูขนาด 120 มม. เพื่อให้ปล่องไฟ ไหลออกมาสู่ด้านนอกได้ เครื่องทรงกระบอกนี้จะครอบเครื่องทรงกระบอกที่ครอบตะแกรงเผาอีกที่หนึ่ง ซึ่งมีระยะห่างของช่องว่างระหว่างเครื่องทรงกระบอกทั้งสอง เท่ากับ 150 มม. ช่องว่างดังกล่าวนี้เป็นส่วนที่ แลกเปลี่ยนความร้อนสู่อากาศที่ผ่านเข้ามาโดยจะมีพัดลมดูด ดูดเอาอากาศร้อนติดอยู่ทางด้านท้าย ส่วนด้านนอกสุดภายนอกของเครื่องทรงกระบอกซึ่งเป็นด้านนอกของเตาบุด้วยฉนวนใยหินหนา 50 มม. ทนอุณหภูมิสูงถึง  $450^{\circ}\text{C}$  วางอยู่บนเครื่องทรงกระบอกชั้นนอก เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่จะสูญเสียให้แก่บรรยากาศข้างนอก (ภาคผนวกการคำนวณรูปที่ A 1, A 10, A 11, A 12) เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 ปล่องไฟ, (stack)

ปล่องไฟ ทำด้วยท่อเหล็กปล่องไฟ นี้จะนำมาสวมเข้ากับส่วนท้ายของเตาที่ทำท่อโผล่ออกมา (ภาคผนวก รูปที่ A7, A10) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 120 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 115 มม. สูง 1730 มม. ปล่องไฟทำหน้าที่ระบายควันไฟที่เกิดจากการสันดาปออกสู่ภายนอก อุณหภูมิและความสูงของปล่องจะมีผลต่อการดูดเอาอากาศภายนอกเข้ามาสันดาปชีวมวลในเตาอีกด้วย

### 3.3.6 ถาดรองรับเถ้า (Ash tray)

ถาดรองรับเถ้า ตั้งรูปที่ A 1, A 17 ทำด้วยเหล็กหนา 1.5 มม. เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง 350 มม. ซึ่งกว้างกว่าตะแกรงเผา 50 มม. ถาดยาว 1160 มม. และขอบสูง 30 มม. ถาดรองรับเถ้าเป็นส่วนรองรับเถ้าที่หลีกเลี่ยงการสันดาปชีวมวล ซึ่งหล่นลอคออกมาจากช่องตะแกรง

### 3.3.7 ชุดส่งกำลัง

ชุดส่งกำลัง ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ

1. มอเตอร์ส่งกำลัง (Motor)
2. ชุดเฟืองทด (Worm gear)

มอเตอร์ส่งกำลังเป็นมอเตอร์ ขนาด 1/2 Hp 50 HZ 1430 รอบต่อนาที 220 โวลต์ มอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเฟืองทดเพื่อลดความเร็วรอบของมอเตอร์ลง ล้อสายพานที่ติดกับมอเตอร์จะมีขนาด 2-1/4 นิ้ว (50.08 มม.) ส่วนล้อสายพานที่ติดกับเพลายับเฟืองทรมีขนาด 5-1/4 นิ้ว (139.7 มม.) เป็นส่วนที่รับกำลังโดยสายพาน ทำให้มีความเร็วรอบลดลงเหลือ 544.76 รอบต่อนาที

ส่วนชุดเฟืองทด ที่ใช้มีอัตราทด 1:60 ความเร็วรอบล้อขับเท่ากับ 544.76 รอบต่อนาทีเมื่อผ่านชุดเฟืองทด 1:60 แล้ว ความเร็วรอบจะลดลงเหลือ 9.1 รอบต่อนาที จากนั้นกำลังจะถูกส่งผ่านเฟืองขับใช้ขนาด 2-1/4 นิ้วที่ติดกับชุดเฟืองทด (57.152 มม.) แล้วส่งกำลังไปยังสกรูลำเลียงรอบของสกรูลำเลียงลดลงเหลือ

3 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูป A2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณหาความเร็วรอบของชุดส่งกำลัง

ชุดส่งกำลังจะประกอบด้วย มอเตอร์และเฟืองทด (รูป 3.4)



- N = ความเร็วรอบ ล้อสายพานหรือเฟือง (รอบต่อนาที)  
 D = เส้นผ่าศูนย์กลาง ล้อสายพานหรือเฟือง (นิ้ว)  
 N<sub>1</sub> = 1430 รอบต่อนาที ความเร็วรอบมอเตอร์  
 D<sub>1</sub> = 2-1/4 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานมอเตอร์  
 D<sub>2</sub> = 5-1/4 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางล้อสายพานเฟืองทด  
 D<sub>3</sub> = 3 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางเฟืองความของเฟืองทด  
 D<sub>4</sub> = 9 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางเฟืองขับสกรูลำเลียง

$$\text{สูตร } N_1 D_1 = N_2 D_2$$

$$1430(2 - 1/4) = N_2 \cdot 5 - 1/4$$

N<sub>2</sub> ที่คำนวณได้สำหรับเฟืองทด 544.76 รอบ/นาที ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เฟืองทดมีอัตราทด 1:60 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่า

ความเร็วรอบล้อขับของเฟืองทด 60 รอบ ความเร็วรอบเฟืองตามของเฟืองทดลดเหลือ 1 รอบ

ความเร็วรอบ 544.76 รอบ ความเร็วรอบเหลือ 544.76(1) / 60

ความเร็วรอบเมื่อผ่านชุดเฟืองทด = 9.1 รอบ

$N_3 = 8.508$  รอบต่อนาที

สูตร  $N_3 D_3 = N_4 D_4$

$8.508(3) = N_4 (9)$

$N_4 = 3.03$  รอบต่อนาที

ความเร็วรอบของสกรูลำเลียง  $\approx 3$  รอบต่อนาที



### 3.4 วิธีการสร้างอุปกรณ์เก็บก๊าซและอุปกรณ์เก็บเขม่า

#### 3.4.1 อุปกรณ์เก็บก๊าซ

อุปกรณ์เก็บก๊าซเป็นส่วนที่ใช้เก็บก๊าซซึ่งได้จากการสันดาปดังแสดงในรูปที่ 3.3 ประกอบด้วย ถังบรรจุ มีปริมาตรบรรจุ 20 ลิตร ถังบรรจุเป็นส่วนที่บรรจุ น้ำเกลือ มีความเข้มข้นอิ่มตัวบรรจุอยู่ในจนเต็ม ซึ่งตัวถังบรรจุทำด้วยพลาสติก เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำเกลือ ด้านบนของตัวถังมีรูเพื่อต่อท่อสายยาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. สายยางนี้จะต่อกับท่อจากอุปกรณ์เก็บเขม่า เพื่อดูดก๊าซจากปล่องไฟมาบรรจุอยู่ในถังบรรจุโดยการแทนที่น้ำเกลือ ด้านล่างถังมีวาล์วสำหรับถ่ายเทน้ำเกลือออกจากถัง ลงสู่ถังเปิดตัวท่อสายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. การเติมน้ำเกลือเข้าถังบรรจุต้องใส่น้ำเกลือลงไปในถังเปิด แล้วเปิดวาล์วที่ถังบรรจุ แล้วยกถังเปิดขึ้นในระดับสูง อาศัยความแตกต่างของระดับน้ำ จะทำให้น้ำไหลจากถังเปิดเข้าไปในถังบรรจุจนเต็มถัง เมื่อจะทำการเก็บก๊าซต้องให้ถังบรรจุอยู่ในระดับสูงกว่าถังเปิด ซึ่งเมื่อเปิดวาล์วให้น้ำจากถังบรรจุไหลลงสู่ถังเปิด ทำให้เกิดสุญญากาศขึ้นในถังบรรจุช่วยดูดก๊าซจากปล่องไฟ เข้ามาเก็บในถังบรรจุได้

#### 3.4.2 อุปกรณ์เก็บเขม่า

อุปกรณ์เก็บเขม่าทำด้วยท่อน้ำ PVC ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูป 3.5 ท่อน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (50.08 มม.) มีความยาวประมาณ 20.30 มม. ที่ปลายทั้งสองด้านของท่อจะมีฝาปิดสนิท และที่ฝาปิดด้านหนึ่งเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับก๊าซเข้า ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งจะเจาะรูสำหรับก๊าซออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. เช่นเดียวกันตรงส่วนกลางท่อทำเป็นเกลียวซึ่งตรงส่วนนี้จะสามารถวางแผ่นกระดาษกรองชนิด Microfiber เพื่อดักเขม่าที่มีขนาดใหญ่กว่า  $1.6 \mu\text{m}$  ที่ได้จากปล่องไฟ



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์เก็บเขม่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

## การทดลอง

บทนี้อธิบายถึงการหาน้ำหนักบรรจุขังข้าวโพด ความหนาแน่นรวม การหาขนาดขังข้าวโพด การหาอัตราป้อนขังข้าวโพดของสกรูลำเลียง วิธีเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีและวิธีการทดสอบเตาสันดาปชีวมวล

## 4.1 การหาน้ำหนักบรรจุขังข้าวโพดของถังบรรจุและความหนาแน่นรวมของขังข้าวโพด

วัตถุประสงค์ - เพื่อหาน้ำหนักบรรจุของขังข้าวโพดเมื่อบรรจุในถังบรรจุ  
- เพื่อหาความหนาแน่นรวมขังข้าวโพดในถังบรรจุ

เครื่องมืออุปกรณ์ - ตาชั่งแบบจานเดี่ยว (ขนาด 0 - 15 กก.)  
- ภาชนะรองรับขังข้าวโพด

วิธีทดลอง

1. เทขังข้าวโพดในถังบรรจุจนเต็มถังบรรจุ
2. ชั่งน้ำหนักของขังข้าวโพดที่บรรจุในถังบรรจุ
3. ทำซ้ำ ข้อ 1-2 จำนวน 5 ครั้ง บันทึกผลในตารางที่ 4.1 แล้วหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.1 การหาน้ำหนักบรรจุขังข้าวโพดของถังบรรจุ

ครั้งที่	น้ำหนักที่ชั่งได้ (กก.)
1	21.0
2	21.1
3	21.0
4	21.15
5	21.09
เฉลี่ย	21.07

### การคำนวณความหนาแน่นรวม

$$\begin{aligned}
 \text{สูตรความหนาแน่นรวม} &= \text{น้ำหนักของซังข้าวที่บรรจุ/ปริมาตรของถังบรรจุข้าวมวล} \\
 &= 21.07/162150 \\
 &= 1.29 \times 10^{-4} \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร} \\
 &= 129 \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

## 4.2 การหาขนาดของซังข้าวโพด

### 4.2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อหาขนาดของซังข้าวโพด เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. ไม้บรรทัด
2. ตาชั่งน้ำหนัก แบบจานเดี่ยว (ขนาด 0 - 15 กก.)
3. ภาชนะใส่ซังข้าวโพด

### วิธีการทดลอง

1. นำซังข้าวโพดมา 1 กระสอบบรรจุซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 21 กิโลกรัม
2. ใช้ไม้บรรทัดวัด ความยาวของซังข้าวโพด โดยแบ่งแยกขนาดตาม ความยาวเป็นช่วง ดังตารางที่ 4.2.1
3. เมื่อแยกขนาดได้แล้วให้ทำการชั่งน้ำหนักซังข้าวโพด แล้วคำนวณ เป็นเปอร์เซ็นต์ และบันทึกผลลงในตารางที่ 4.2.1
4. ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ข้อ 1 - 3 จำนวน 3 ครั้ง

### การคำนวณ

เมื่อทราบน้ำหนักซังข้าวโพดแต่ละขนาดแล้วใน 1 กระสอบ คิดเป็น เปอร์เซ็นต์ดังนี้

น้ำหนักซังข้าวโพด 1 กระสอบหนัก 21 กิโลกรัมคิดเป็น 100%

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซังข้าวโพดขนาดต่าง ๆ ใน 1 กระสอบหนัก

$$= 100 \times \text{น้ำหนักซังขนาดหนึ่งๆ} / \text{น้ำหนักซังข้าวโพดทั้งหมด}$$

ตารางที่ 4.2.1 การหาขนาดของซังข้าวโพด

ขนาด ความยาว (ซม.)	น้ำหนักต่อกระสอบ (กิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	คิดเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)
	1	2	3		
ผง	1.6	1.9	1.8	1.8	8.5
< 0.5 - 5	12.2	11.1	11.5	11.6	55.2
6 - 10	7.3	8.2	7.8	7.8	37.3
รวม	21.3	21.1	21.1	21.2	100.00

ตัวอย่างการคำนวณ

ขนาด < 0.5 - 5 ซม.

น้ำหนักซังข้าวโพดใน 1 กระสอบหนัก 21 กิโลกรัม คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนักขนาด 0.5-5 ซม. 1 กระสอบหนัก 11.6 กก. คิดเป็น  $(100 \times 11.6)/21$

คิดเป็น 55.2%

รูปที่ 4.1 ขนาดซังข้าวโพดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การหาปริมาณความชื้น

วัตถุประสงค์ - เพื่อหาปริมาณความชื้นของซังข้าวโพด

##### วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดลองโดยการบดตัวอย่างให้มีขนาดเล็กกว่า 60 mesh และผ่านการแบ่งตัวอย่างตามกรรมวิธีเพื่อหลักสถิติ
2. อบ Crucible ที่อุณหภูมิ 110 °C 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในตู้ความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก
3. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัมใส่ลงใน Crucible ปิดฝา
4. นำไปอบใน oven ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วทำให้เย็นในตู้ความชื้น
5. ชั่งน้ำหนัก Crucible ที่เย็นแล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 30 นาที ทิ้งให้เย็นในตู้ความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักอีกทำงานให้ได้น้ำหนักคงที่

##### วิธีคำนวณ

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

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนที่จะนำไปอบ, กรัม และ

B = น้ำหนักตัวอย่างที่อบที่ 110 °C แล้ว, กรัม

ตารางที่ 4.2.2 ผลการทดลองหาปริมาณความชื้นของซังข้าวโพด

ครั้งที่ 1	น้ำหนัก crucible (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างหลัง อบ 110 °C จน น้ำหนักคงที่+น้ำหนัก Crucible (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่าง หลังอบจน น้ำหนักคงที่	ปริมาณความชื้น (% WB)
1	7.863	1.00	8.778	0.915	8.500
2	8.066	1.00	8.980	0.914	8.600
3	7.933	1.00	8.842	0.909	9.100
4	7.866	1.00	8.784	0.923	7.700
5	8.142	1.00	9.066	0.924	7.600
6	8.087	1.00	9.000	0.913	8.700
7	44.406	1.00	45.816	0.910	9.000
เฉลี่ย					8.600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การหาความเร็วรอบของสกรูลำเลียง

วัตถุประสงค์ - เพื่อหาความเร็วรอบสกรูลำเลียง

เครื่องมือและอุปกรณ์ - นาฬิกาจับเวลา

วิธีทดลอง

1. ทำเครื่องหมายไว้ที่เฟืองขับสกรูลำเลียง
2. เริ่มเดินเครื่อง จับเวลาเมื่อเฟืองหมุนครบ 1 รอบ
3. ทำข้อ 2 จำนวน 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย บันทึกผลในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การหาความเร็วรอบสกรูลำเลียง

ครั้งที่	เวลาต่อหนึ่งรอบ (วินาทีต่อรอบ)
1	2.2
2	2.2
3	2.2
4	2.2
5	2.2
เฉลี่ย	2.2

การคำนวณหาความเร็วรอบสกรู

เวลา 22 วินาที เฟืองหมุนไป 1 รอบ

ถ้าเวลา 60 วินาที เฟืองหมุนไป =  $(60 \times 1) / 22$  รอบ

เวลา 1 นาที เฟืองจะหมุนไป = 2.73 รอบต่อ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การหาอัตราป้อนขังข้าวโพดของสกรูล้ำเลี้ยง

วัตถุประสงค์ - เพื่อหาปริมาณการป้อนขังข้าวโพดของสกรูล้ำเลี้ยง เข้าสู่เตาสันดาป เครื่องมือและอุปกรณ์

1. สกรูล้ำเลี้ยงพร้อมอุปกรณ์ขับเคลื่อน
2. ภาชนะรองรับขังข้าวโพด
3. ตาชั่งน้ำหนัก แบบจานเดี่ยว (ขนาด 0 - 15 กก.)
4. นาฬิกาจับเวลา

#### วิธีการทดลอง

1. เทขังข้าวโพดลงในถังบรรจุชีวมวล
2. เดินเครื่องให้สกรูล้ำเลี้ยงขังข้าวโพดออกมาที่ปากสกรูเสียก่อน แล้วจับเวลาจนกระทั่งขังข้าวโพดไหลออกมาเป็นเวลา 5 นาที แล้วบันทึกลงในตารางที่ 4.4
3. ทำข้อ 1-2 เป็นจำนวน 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยบันทึกในตาราง 4.4
4. คำนวนอัตราป้อนขังข้าวโพดต่อ 1 ชั่วโมงได้ 7.2 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง ตารางที่ 4.4 การหาอัตราป้อนขังข้าวโพดของสกรูล้ำเลี้ยง

จำนวนครั้งที่ทดลอง	1	2	3	4	5
เวลาที่ใช้ทดลอง (นาที)	5	5	5	5	5
น้ำหนักภาชนะ (กิโลกรัม)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
น้ำหนักขังข้าวโพด + น้ำหนักภาชนะ (กิโลกรัม)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
น้ำหนักขังข้าวโพด (กิโลกรัม)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
เฉลี่ย (กิโลกรัมต่อ 5 นาที)	0.6				
เฉลี่ย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	7.2				

### วิธีการคำนวณอัตราป้อนกิโกลกรัมต่อชั่วโมง

ใช้เวลา 5 นาที	สกรูป้อนซังข้าวโพคได้	=	0.6	กิโกลกรัม
ถ้าใช้เวลา 60 นาที	สกรูป้อนซังข้าวโพคได้	=	$(60 \times 0.6)/5$	กิโกลกรัมต่อชั่วโมง
	สกรูป้อนซังข้าวโพคได้	=	7.2	กิโกลกรัมต่อชั่วโมง

## 4.5 การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี

### 4.5.1 การเตรียมน้ำเกลือ

การเตรียมน้ำเกลือ จะใช้เกลือป่นซึ่งมีขายตามท้องตลาดมาละลายในน้ำสะอาดจนได้ความเข้มข้นของน้ำเกลืออิ่มตัว ซึ่งใช้เกลือประมาณ 27 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม และนำน้ำเกลือที่ได้มากรองผ่านกระดาษกรอง เพื่อตัดสิ่งสกปรกออกเสียก่อนที่จะนำไปใช้

### 4.5.2 การเตรียมกระดาษกรองดักเขม่า

กระดาษกรองที่ใช้เป็นกระดาษกรองชนิด Microfiber ซึ่งสามารถดักวัสดุขนาดโตกว่า  $1.6 \mu\text{m}$  นำกระดาษกรองใส่ในงานแก้วแล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ  $110^\circ \text{C}$  จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เมื่อนำออกจากตู้อบให้ปิดฝาครอบงานแก้ว เพื่อป้องกันการดูดความชื้นและให้เก็บไว้ในโหลสุญญากาศความชื้นร่อนนำไปใส่ในอุปกรณ์ดักเขม่า

### 4.5.3 การเตรียมสารตรวจสอบก๊าซ

สำหรับการเตรียมสารตรวจสอบก๊าซของค์ประกอบจะมีขั้นตอนในการเตรียมตามตารางที่ 4.4.1

ตารางที่ 4.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารตรวจสอบก๊าซ

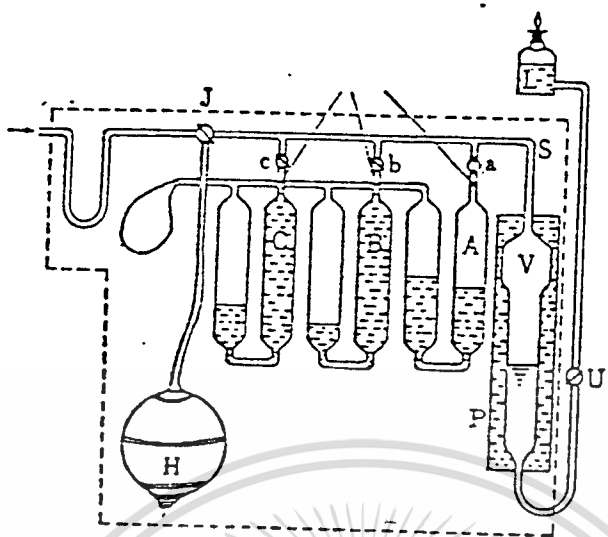
สาร	ใช้หาค่า	ขั้นตอนการเตรียมสาร	หมายเหตุ
A	CO <sub>2</sub>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชั่งสารโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) 30 กรัม</li> <li>2. นำสารที่ชั่งแล้วมาผสมกับน้ำ 100 มล.</li> <li>3. จะได้สาร A ตามต้องการ</li> </ol>	<p>สารละลาย A นี้ 1 มล. สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 30 มล. ทั้งนี้นอกจากจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ยังทำปฏิกิริยากับ - HCN - NO<sub>2</sub> - SO<sub>2</sub></p>
B	O <sub>2</sub>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชั่งสารไฟโรกลอ [C<sub>3</sub>H<sub>3</sub> (OH)<sub>3</sub> ] 6 กรัม</li> <li>2. ชั่งสารโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 30 กรัม</li> <li>3. นำสารทั้ง 2 ที่ชั่งแล้วมาผสมน้ำ 100 มล.</li> <li>4. จะได้สาร B ตามต้องการ</li> </ol>	<p>สารละลาย B นี้ 1 มล. สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ 18 มล. ทั้งยังสามารถทำปฏิกิริยากับ CO<sub>2</sub></p>
C	CO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชั่งสารแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH<sub>4</sub> Cl) 33 กรัม</li> <li>2. ชั่งสารคอปเปอร์คลอไรด์ (CuCl) 27 กรัม</li> <li>3. นำสารทั้ง 2 มาผสมกับน้ำ 100 มล.</li> <li>4. เติม liquid Ammonia 33% ของปริมาณสารละลายที่ผสมได้</li> </ol>	<p>สารละลายนี้ 1 มล. ทำปฏิกิริยากับ CO ได้ 10 มล. และยังสามารถทำปฏิกิริยากับ O<sub>2</sub> ได้ด้วย</p>

## 4.6 การวิเคราะห์ก๊าซของค้ประกอบจากการสันดาป

### 4.6.1 การหาปริมาณเขม่า ทำตามตาราง 4.5

### 4.6.2 วิธีเตรียมเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ

- นำสารที่เราผสมแล้วทั้ง 3 ตัว (A, B, C) มาใส่ลงในหลอดวิเคราะห์ก๊าซ (รูป 4.2)
- หลอดแรกทางขวามือติดกับหลอดใหญ่ทางด้านขวามือสุด จะใส่สาร A ใช้สำหรับหาค่า  $\text{CO}_2$
- หลอดที่สองตรงกลางใส่สาร B ที่ใช้สำหรับหาค่า  $\text{O}_2$
- หลอดที่สามทางด้านซ้ายสุด จะใส่สาร C ใช้หาค่า  $\text{CO}$
- เมื่อเติมสารทุกหลอดแล้ว ปิดจุกซึ่งที่ปลายจุกปิดจะติดลูกโป่ง เพื่อให้ก๊าซขยายตัวได้เวลาสารเคมีต้นก๊าซออกมา
- เมื่อตั้งระดับของสารละลายในหลอดทั้ง 3 แล้วหมุนวาล์วด้านบนของหลอดทั้ง 3 ให้อยู่ในตำแหน่งปิด (แนวนอน) (ทำที่ละหลอด)
- เติมน้ำลงในหลอดใหญ่ทางด้านขวามือสุด วิธีการเติมคือ เปิดวาล์วสามทาง อยู่ด้านบนซ้ายสุดของเครื่องวิเคราะห์ให้อยู่ในตำแหน่งลูกศรอยู่ด้านบน (ตัวบิตจะอยู่ในแนวนอน) จะเป็นตำแหน่งที่อากาศภายนอกเข้า - ออกภายในหลอดใหญ่ได้ จากนั้นเติมน้ำเข้าไปในหลอดได้ โดยที่ด้านล่างของหลอดใหญ่จะมีท่อสำหรับต่อสายยาง และที่ปลายของสายยางจะต่อกับขวดใบหนึ่ง เราจะเติมน้ำทางขวดนี้ เมื่อกขวดนี้ให้สูง น้ำจะไหลลงเข้าไปในหลอดได้ที่ด้านบนของหลอดจะมีขีดบอกปริมาตรน้ำ 100 cc ให้เติมน้ำให้ได้ระดับนี้
- เมื่อเติมน้ำได้ระดับแล้วให้ปิดก๊อกสามทาง โดยหมุนตัวบิตให้ลูกศรมาอยู่ทางซ้ายมือ (ตัวบิตจะอยู่ในแกนตั้ง)



- A = หลอดแก้วบรรจุสาร A สำหรับวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- B = หลอดแก้วบรรจุสาร B สำหรับวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน
- C = หลอดแก้วบรรจุสาร C สำหรับวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
- V = หลอดแก้วบรรจุก๊าซตัวอย่าง
- P = หลอดแก้วบรรจุน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิของก๊าซที่นำมาวิเคราะห์
- a = วาล์วปิด-เปิดหลอดบรรจุสาร A
- b = วาล์วปิด-เปิดหลอดบรรจุสาร B
- c = วาล์วปิด-เปิดหลอดบรรจุสาร C
- J = วาล์วปิด-เปิดชนิด 3 ทาง
- U = ทิวบังคับระดับน้ำในหลอดแก้ว V
- S = ท่อแก้วลำเลียงก๊าซ
- L = ขวดบรรจุน้ำถ่ายเทก๊าซตัวอย่างใน V โดยการแทนที่น้ำ
- H = ลูกยางขับไล่อากาศ

รูปที่ 4.2 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ก๊าซที่ได้จากการสันดาปซึ่งข้าวโพด

1. นำ Flask ที่เก็บก๊าซตัวอย่างมาคว่ำและเปิดจุกข้างในกระป๋องน้ำ เพื่อกันก๊าซออกมาสู่บรรยากาศ
2. นำสายยางมาสอดเข้าไปใน Flask ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของสายยางจะต่อเข้าที่วาล์วสามทางของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ
3. เปิดวาล์วให้ลูกศรอยู่ในตำแหน่งบน (ตัวบิตอยู่ในแนวนอน) แล้ว ยก Flask ที่ต่อกับหลอดใส่น้ำลงมา ระดับน้ำในหลอดจะลดลง จะทำให้ก๊าซตัวอย่างที่อยู่ใน Flask ปิดจุกในน้ำถูกดูดเข้ามาแทนที่ในหลอดใส่น้ำ
4. ปล่อก๊าซออกไปก่อนหนึ่งหรือสองครั้ง โดยการยก Flask ที่ต่อกับหลอดน้ำขึ้นจนระดับอยู่ที่ 100 ml. พอดีแล้วหมุนตัวบิตสามทางให้ลูกศรกลับมาอยู่ทางซ้ายมือ
5. เปิดวาล์วสามทางให้ลูกศรอยู่บน (ตัวบิตอยู่ในแนวนอน) แล้วยก Flask ที่ต่อกับหลอดใส่น้ำลงทำการดูดก๊าซเข้ามาใหม่ให้ได้ปริมาณ 100 ml ปิดวาล์วสามทาง (ลูกศรอยู่ทางซ้าย)
6. ทำการวิเคราะห์  $\text{CO}_2$  โดยเปิดวาล์วหลอด A (หลอดแรกทางขวามือ) ให้ลูกบิตอยู่ในแนวตั้ง
7. ยกขวดที่ต่อกับหลอดใส่น้ำขึ้นจนเกือบถึง 100 cc น้ำจะไล่ก๊าซเข้ามาในหลอด A ยกขวดขึ้น-ลงประมาณ 10 ครั้ง ก๊าซจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย A
8. เมื่อทำประมาณ 10 ครั้งแล้วปิดก๊อกหลอดให้ ลูกบิตอยู่ในแนวนอน
9. นำขวดที่ต่อกับหลอดมาเทียบกับหลอดใส่น้ำ โดยให้ปริมาณน้ำของทั้งสองอยู่ในระดับเดียวกันแล้วอ่านค่า จากสเกลข้างหลอด
10. ค่าที่ได้จะเป็น  $\text{CO}_2$  ที่สาร A ดูซึมไปบันทึกในตารางที่ 4.7
11. ทำการวิเคราะห์  $\text{O}_2$  โดยเปิดวาล์วของหลอด B (หลอดกลาง) ขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำเหมือน ข้อ 7 - 9 บันทึกในตารางที่ 4.7
12. ค่าที่อ่านได้จากสเกล จะต้องลบออกจากค่า  $\text{CO}_2$  ในข้อ 10 ค่าที่ได้เป็นปริมาณของ  $\text{O}_2$  ในก๊าซตัวอย่าง บันทึกในตารางที่ 4.7
13. ทำการวิเคราะห์  $\text{CO}$  โดยเปิดวาล์วของหลอด C (หลอดซ้ายสุด) ขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำเหมือนกับในข้อ 7 - 9
14. ค่าที่อ่านได้จากสเกลจะต้องลบออกจากค่าของ  $\text{O}_2$  ในข้อ 12 ค่าที่ได้เป็นปริมาณ  $\text{CO}$  ในก๊าซตัวอย่าง บันทึกในตารางที่ 4.7
15. ปริมาณก๊าซที่เหลือในหลอดแก้วเป็นปริมาณ  $\text{N}_2$  ที่มีอยู่ในก๊าซตัวอย่างบันทึกผลในตารางที่ 4.7

#### 4.7 วิธีการทดสอบเตาสันดาปชีวมวล

การสร้างเตาสันดาปชีวมวล ซึ่งใช้อากาศธรรมชาติโดยไม่มีอุปกรณ์สำหรับเป่าหรือดูดอากาศเข้าภายในเตา เพื่อช่วยในการสันดาปนั้น ปัญหาที่จะพบมากคือ เรื่องของควันไฟ ซึ่งเกิดจากอากาศไม่เพียงพอในการสันดาป และความร้อนที่ได้จากการสันดาปไม่เพียงพอหรือไม่สม่ำเสมอ ถ้าหากมีการออกแบบที่ดีแล้ว จะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้ ฉะนั้นในการทดสอบเตาซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง เพราะทำให้ทราบถึงสมรรถนะของเตาสันดาปชีวมวลการทดสอบว่า อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปใช้งานได้ดีหรือจำเป็นต้องปรับปรุง

##### 4.7.1 สิ่งที่จะต้องทำการตรวจสอบในการทดสอบเตาสันดาปชีวมวล

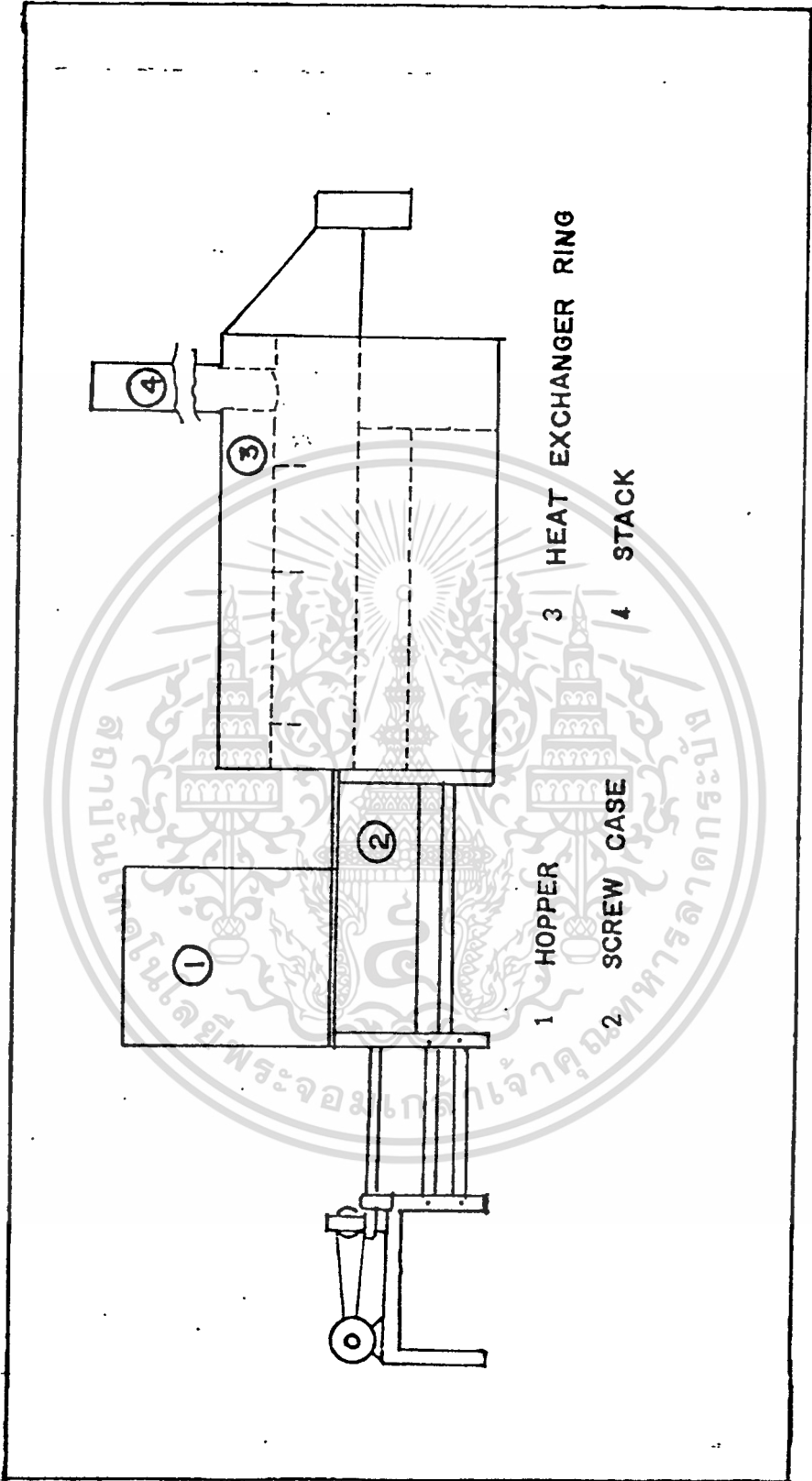
แบ่งออกเป็น 5 ข้อ (ดูตารางที่ 4.5) คือ.

1. การตรวจสอบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไปตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการสันดาป
2. การตรวจสอบก๊าซของกำประกอบ และเขม่าที่ออกทางปล่องไฟ
3. การตรวจสอบความเร็วอากาศเข้าสู่เตา
4. การสังเกตลักษณะเปลวไฟ และควันไฟจากการสันดาป
5. การตรวจสอบปริมาณเถ้าและถ่านที่ไม่ได้สันดาป

ตาราง 4.5 สิ่งที่ต้องตรวจสอบในการทดสอบเตาเส้นดาปชีวมวล

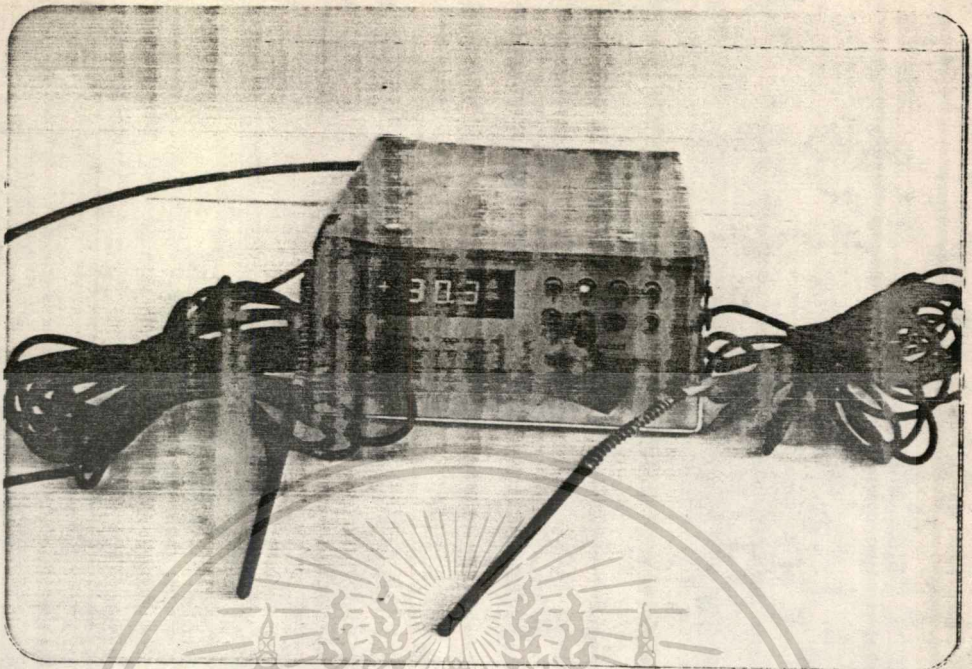
การตรวจสอบ	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	เครื่องมือตรวจสอบ	วิธีการ
อุณหภูมิ	1. อุณหภูมิภายนอก	- เทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะเปียกและ กระเปาะแห้ง ซึ่งมีช่วง วัดได้ 0-100 °C	- นำเทอร์โมมิเตอร์แขวน ไว้ในบริเวณทดสอบที่มี อากาศผ่านสะดวกแล้วทำ การวัดและบันทึกผลที่ 20 นาที และทุก ๆ 40 นาที
	2. อุณหภูมิภายใน	- เทอร์โมคัมเบิลชนิดที่ ใช้เป็นชนิด Type ctd	- นำเทอร์โมคัมเบิลไป เสียบไว้ตามจุด ตามตำแหน่ง
	3. อุณหภูมิรางสกรู ลำเลียงขัง ข้าวโพด	ซึ่งมีช่วงวัดได้ -60 °C -200 °C (ดังรูป 4.4)	ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3 แล้วทำการวัดและบันทึกผล ในที่ 20 นาทีแรกและ ทุก ๆ 40 นาที ต่อไป
	4. อุณหภูมิ ในช่อง แลกเปลี่ยนความ ร้อน	- เทอร์โมคัมเบิลชนิดที่ ใช้เป็นชนิด TYPE k มีช่วงวัดได้ - 50 °C - 750 °C (ดังรูป 4.5)	
	5. อุณหภูมิใน ปล่องไฟ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

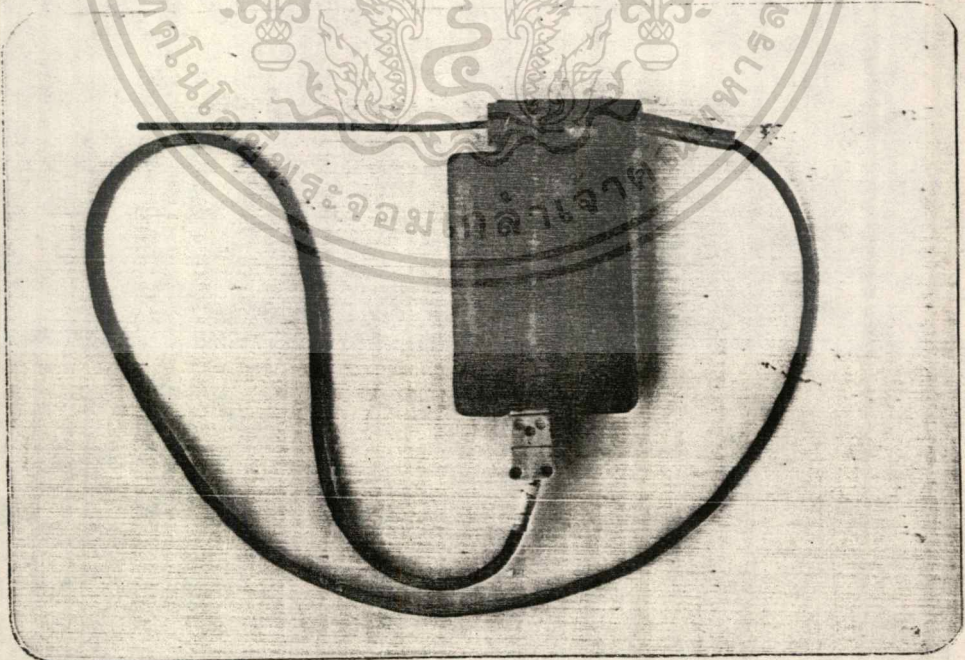


รูปที่ 4.3 ตำแหน่งวัตถุดิบที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



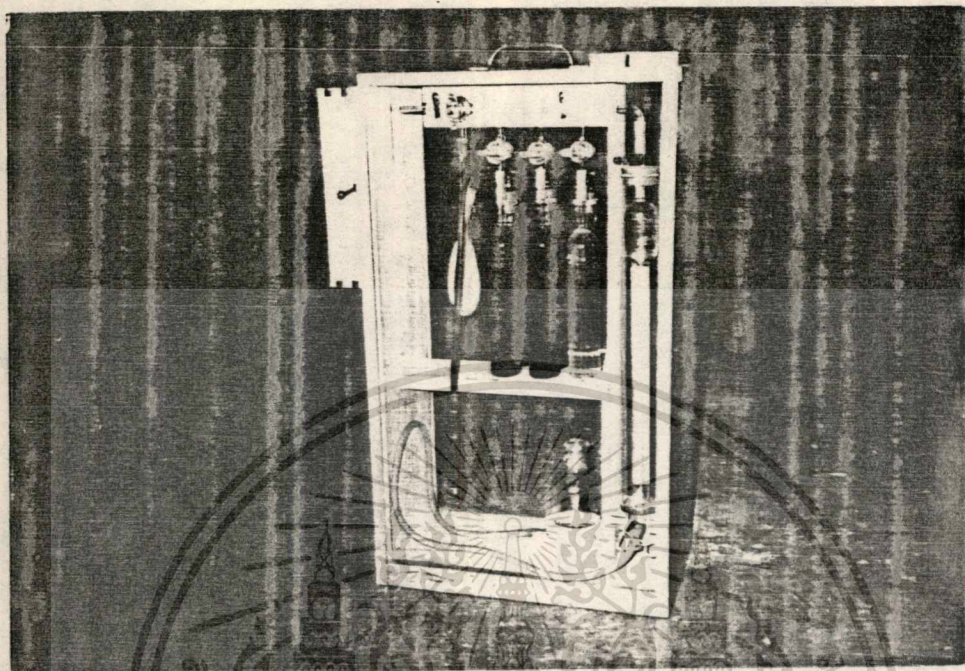
รูปที่ 4.4 เทอร์โมคัปเปิ้ล type ctd. ช่วงวัดได้ - 60 °C - 200 °C



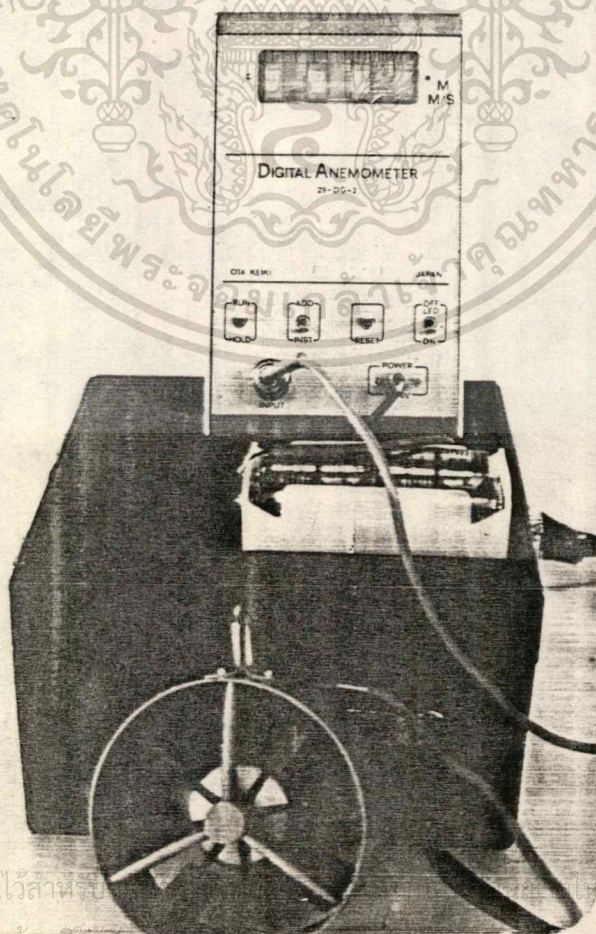
รูปที่ 4.5 เทอร์โมคัปเปิ้ล type k ช่วงวัดได้ - 50 °C - 750 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบ	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	เครื่องมือตรวจสอบ	วิธีการ
องค์ประกอบที่ได้จากการสันดาป (ก๊าซและเขม่า)	จากปากปล่องไฟด้านบนเข้ามาประมาณ 20 ซม.	- อุปกรณ์เก็บเขม่า - อุปกรณ์เก็บก๊าซ - อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ (รูปที่ 3.3) (รูปที่ 3.5) (รูปที่ 4.2, 4.6)	<p>1. <u>การเตรียมอุปกรณ์</u> ประกอบอุปกรณ์เก็บเขม่าและอุปกรณ์เก็บก๊าซเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3. โดยที่ปลายด้านสุดของอุปกรณ์เก็บเขม่าจะเป็นสายยางต่อกับท่อทองแดง สำหรับวัดที่ปล่องไฟ ปลายด้านนอกต่อกับด้านบนของอุปกรณ์เก็บก๊าซซึ่งบรรจุน้ำเกลือจนเต็ม ด้านล่างของอุปกรณ์เก็บก๊าซต่อกับถังเปิด</p> <p>2. <u>การเก็บเขม่า</u> เมื่อจะเริ่มเก็บก๊าซให้นำกระดาษกรองชนิด Microfiber ใส่ในอุปกรณ์เก็บเขม่า ปิดให้สนิทแล้วจ่อปลายท่อทองแดงลงไปในปล่องไฟ พร้อมทั้งเปิดวาล์วให้น้ำเกลือไหลจากถังบรรจุก๊าซลงสู่ถังเปิดเป็นปริมาตร 10 ลิตรแล้วปิด ก๊าซจากการสันดาปจะไหลเข้ามาทางท่อทองแดงผ่านกระดาษกรองเข้าสู่อุปกรณ์เก็บก๊าซ ส่วนที่เป็นเขม่าจะติดอยู่กับกระดาษกรอง ส่วนก๊าซที่ผ่านกระดาษจะถูกบรรจุอยู่ภายในถังบรรจุก๊าซ</p> <p>3. <u>การเก็บก๊าซตัวอย่าง</u> ให้ถอดสายยางที่ต่อกับอุปกรณ์เก็บเขม่าออก แล้วอุดสายยางก่อนเพื่อกันก๊าซออกจากถังบรรจุ นำ Flask บรรจุน้ำเกลือจนเต็มแล้วคว่ำลงในอ่างซึ่งบรรจุน้ำเกลือสอดสายยางด้านที่อุดเข้าไปใน Flask ยกถังเปิดให้อยู่ระดับสูงกว่าแล้วเปิดวาล์วให้น้ำเข้าในถังบรรจุเพื่อแทนที่ก๊าซ ก๊าซถูกไล่ออกมาตามท่อสายยางเข้ามาใน Flask ปิด Flask ด้วยจุกยาง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ นำไปวิเคราะห์ตามวิธีในหัวข้อ 4.6.3 ต่อไป</p>



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์วัดความเร็วที่ง่ายของค์ประกอบ



รูปที่ 4.7 Rotary vane anemometer

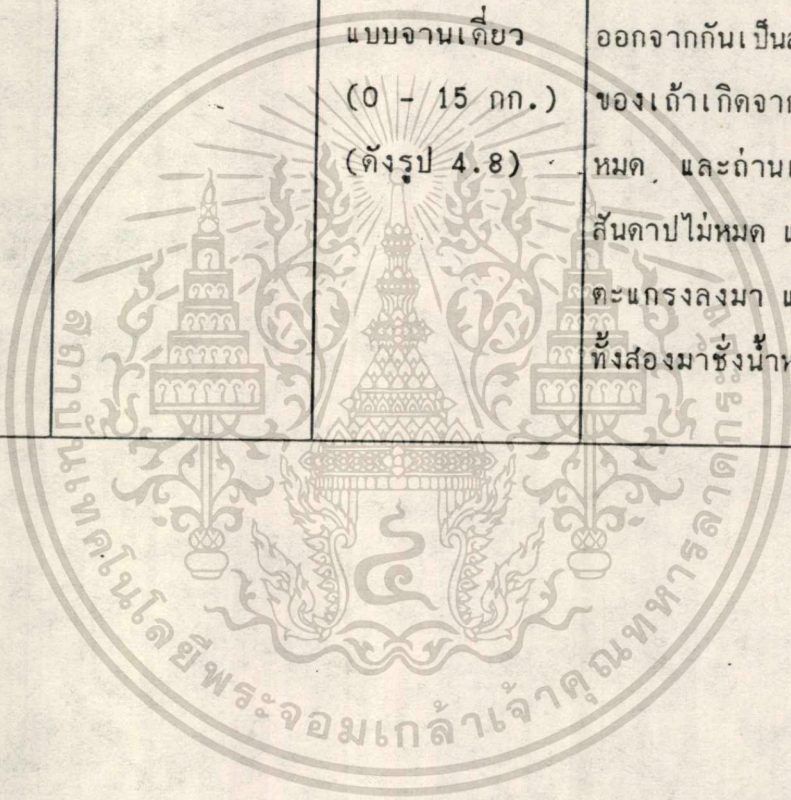
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ...ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

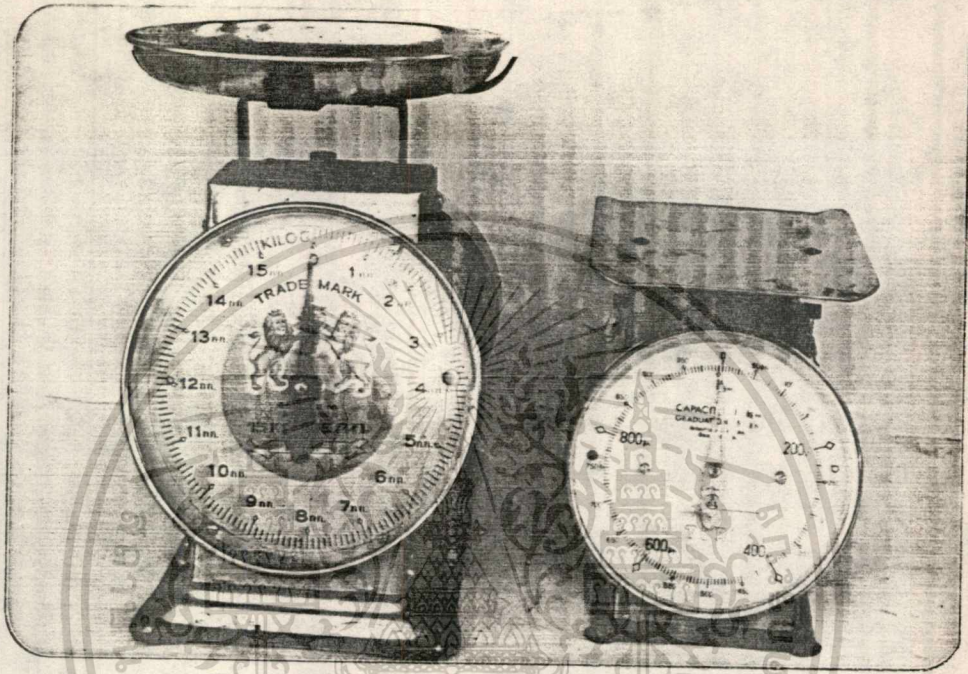
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบ	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	เครื่องมือตรวจสอบ	วิธีการ
			<p>4. <u>การเก็บกระดาศกรอง</u></p> <p>การเก็บกระดาศกรองออกจากอุปกรณ์เก็บเข้ามาให้ค่อย ๆ เอาออกจากอุปกรณ์เก็บ เพื่อป้องกันเขม่าหลุดออกจากกระดาศให้นำไปใส่ petri dish แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย แล้วนำไปเก็บในขวดโหลสุดความชื้น แล้วนำไปซึ่งในเตาอบชนิด Hot air oven ที่อุณหภูมิ 110° C อบนานจนน้ำหนักคงที่</p>
<p>ความเร็ว อากาศ</p>	<p>ปล่องไฟ ช่องอากาศเข้า ด้านหน้าเตา</p>	<p>- Rotary Vane anemometer (ตั้งรูป 4.7)</p>	<p>- นำเครื่องวัดอากาศตรวจสอบความเร็วอากาศที่เข้าด้านหน้าเตา ซึ่งช่องอากาศด้านหน้าเตาเป็นช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 160 มม. ยาว 700 มม. การตรวจสอบ ตำแหน่งตรวจสอบแบ่งเป็น 5 จุดซึ่งแต่ละจุดห่างกัน 130 มม. ตามความยาวของช่องอากาศเข้า</p>

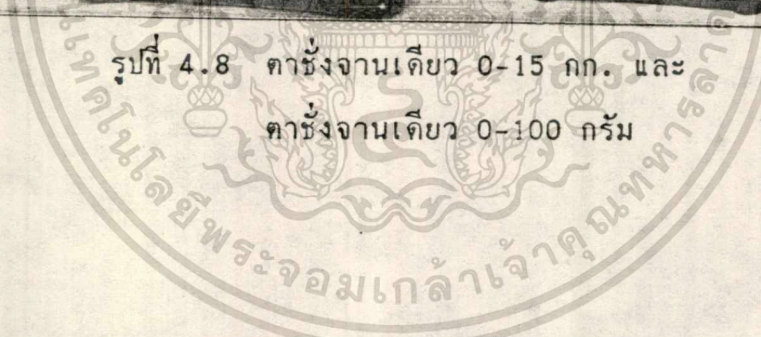
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบ	ตำแหน่งที่ตรวจสอบ	เครื่องมือตรวจสอบ	วิธีการ
ลักษณะเปลวไฟและควันไฟ	- ภายในเตา - ปล่องไฟ	สายตา	สังเกต ลักษณะของเปลวไฟ สีควันไฟ
ปริมาณเถ้าและถ่าน	ถาดรองรับเถ้า	ตาชั่งน้ำหนัก แบบจานเดียว (0 - 15 กก.) (ตั้งรูป 4.8)	นำส่วนของเถ้าและถ่าน แยกออกจากกันเป็นส่วน ๆ ซึ่งส่วนของเถ้าเกิดจากการสันดาปจนหมด และถ่านเกิดจากการสันดาปไม่หมด และร่วงจากตะแกรงลงมา แล้วนำส่วนทั้งสองมาชั่งน้ำหนัก





รูปที่ 4.8 ตาชั่งงานเดียว 0-15 กก. และ  
 ตาชั่งงานเดียว 0-100 กรัม



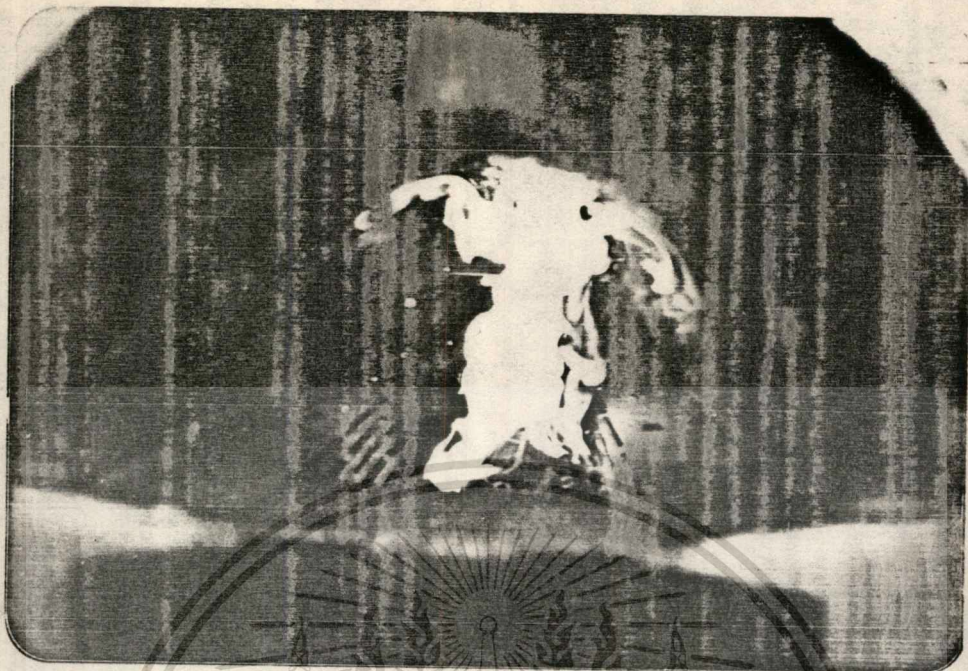
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



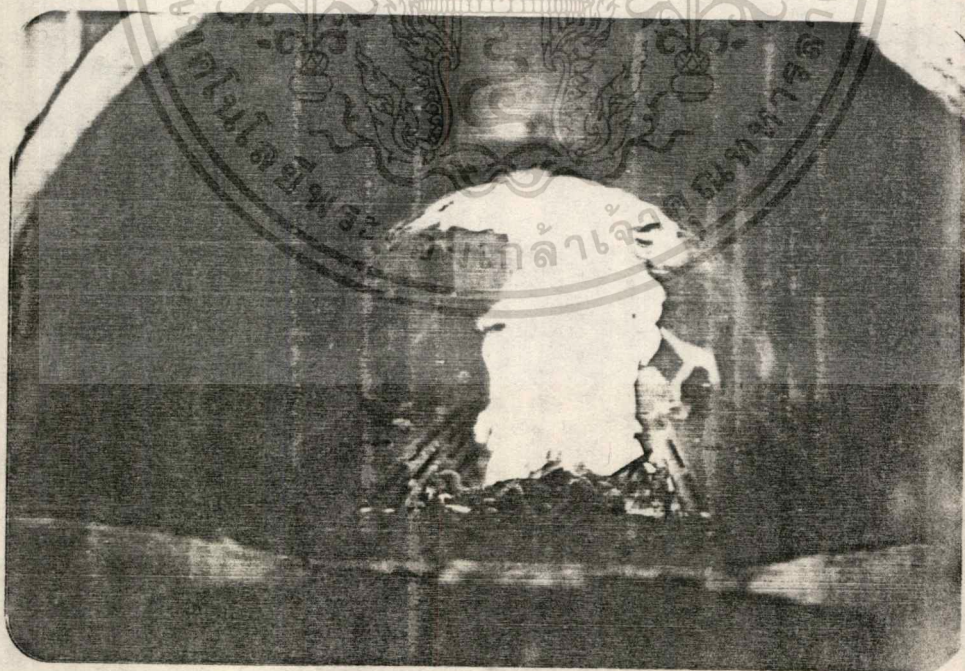
รูปที่ 4.9 ป้อนธูปธูปเข้าโศกก่อนการสันดาป

รูปที่ 4.10 เริ่มสันดาปธูปธูปเข้าโศก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

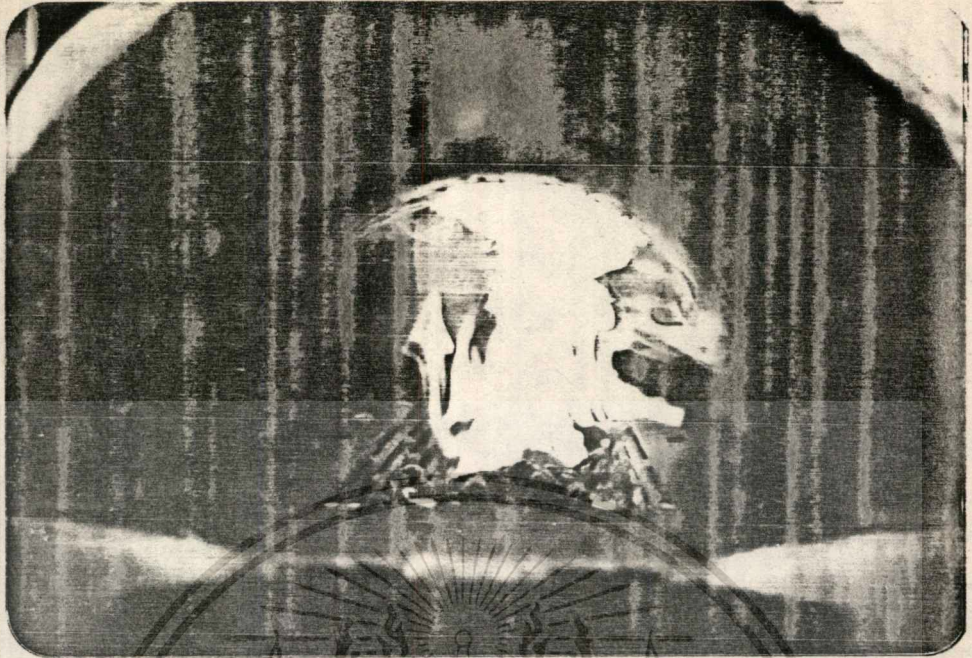


รูปที่ 4.11 เปลวไฟจากการสันดาปซังข้าวโพด นาทีที่ 20

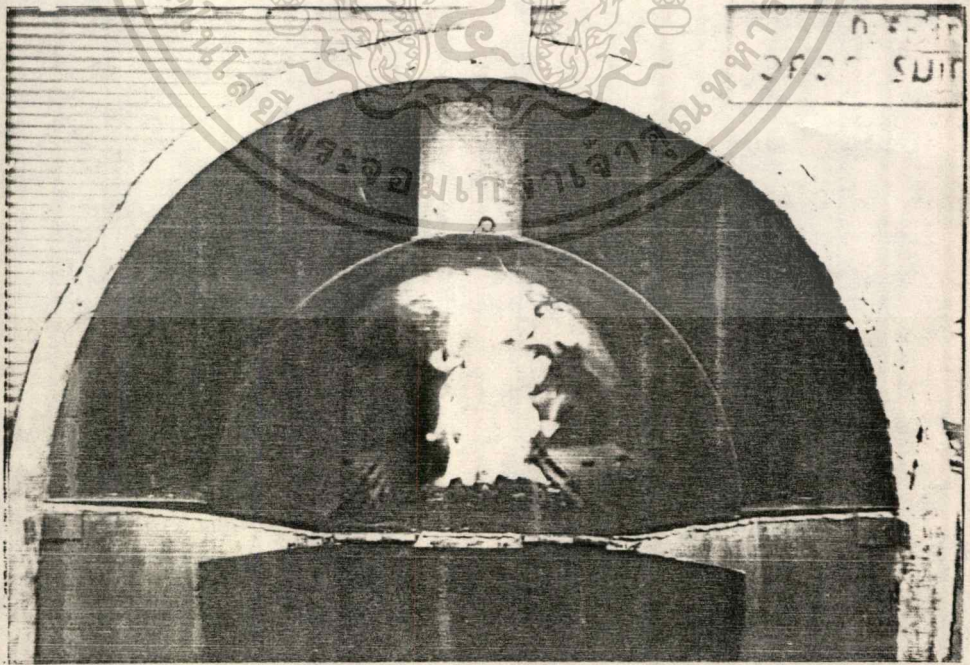


รูปที่ 4.12 เปลวไฟจากการสันดาปซังข้าวโพด นาทีที่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

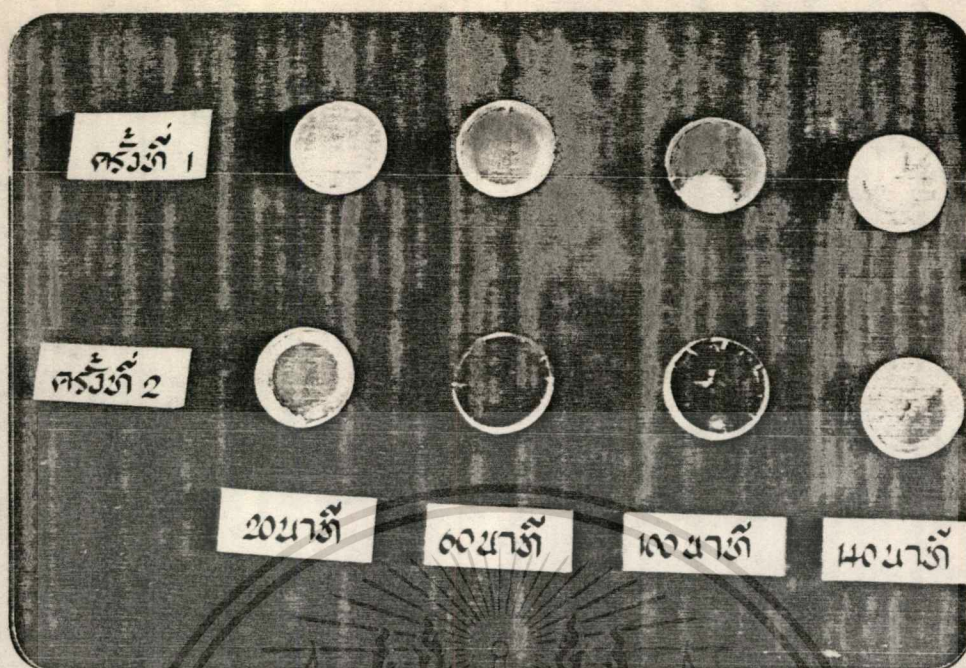


รูปที่ 4.13 เปลวไฟจากการสันดาปซังข้าวโพด นาที่ที่ 100



รูปที่ 4.14 เปลวไฟจากการสันดาปซังข้าวโพด นาที่ที่ 140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

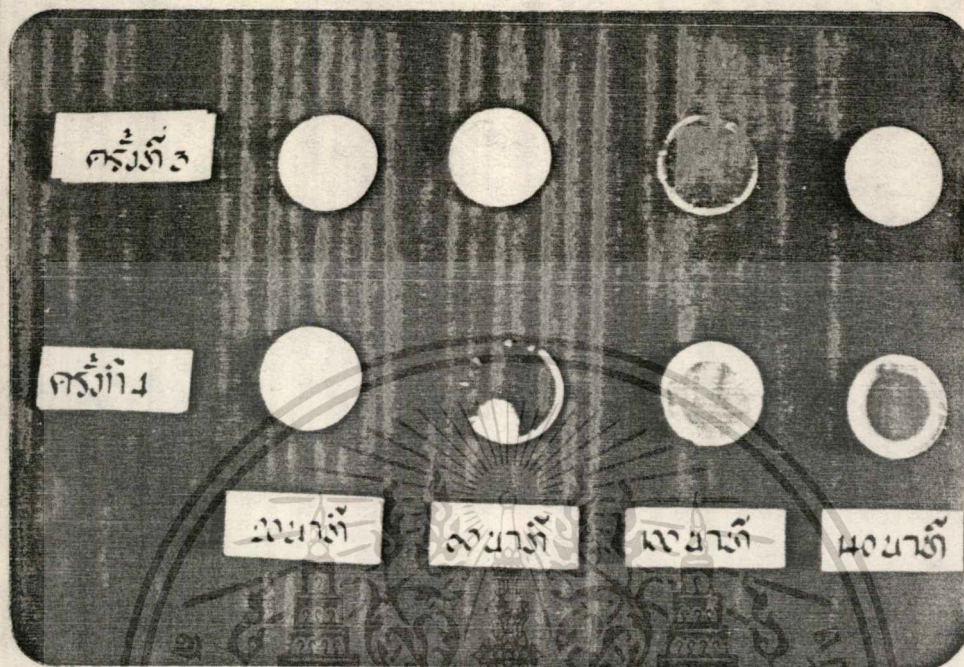


รูปที่ 4.15 กระจกกรองหลังจากการเก็บเขม่าการทดลองที่ 1, 2



รูปที่ 4.16 กระจกกรองหลังจากการเก็บเขม่าการทดลองที่ 3, 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



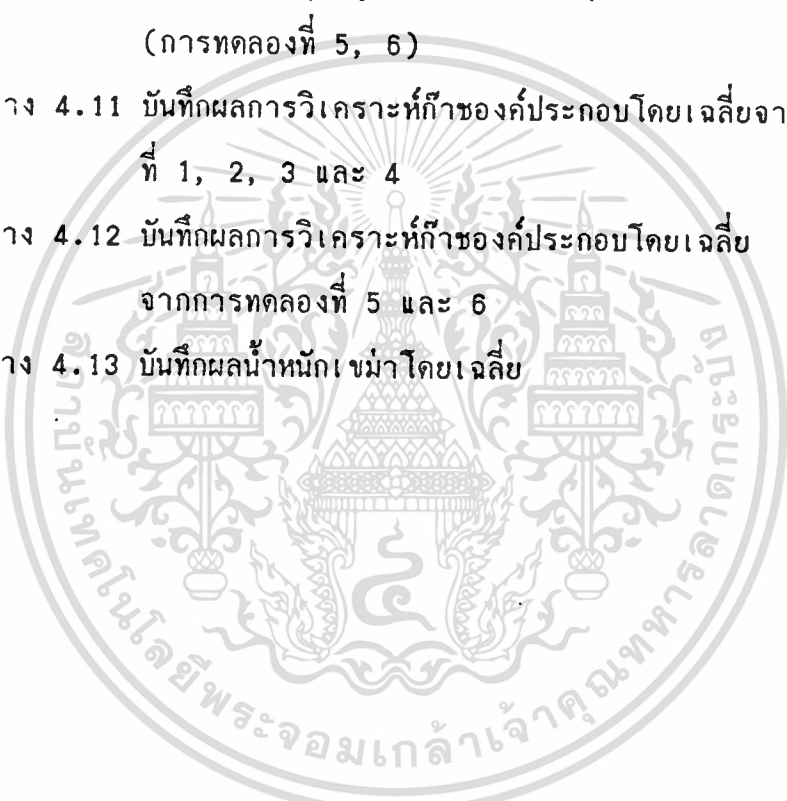
รูปที่ 4.17 กระดาษกรองหลังจากการเก็บเขม่าการทดลองที่ 5, 6

#### 4.7.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

1. เตรียมเตาสันดาปชีวมวล และบรรจุขังข้าวโพดและติดตั้งเครื่องมือวัด
2. ป้อนขังข้าวโพดสู่เตาสันดาปโดยให้ขังข้าวโพดออกจากปากสกรูลำเลียงเป็นเวลา 8 นาที จะได้ขังข้าวโพดมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (ดังรูป 4.9)
3. เริ่มจุดขังข้าวโพด โดยใช้น้ำมันเบนซิน ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วป้อนขังข้าวโพดด้วยอัตราการป้อน 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ดังรูป 4.10)
4. จับเวลาตั้งแต่ เริ่มทำการสันดาปจนครบ 20 นาทีแรกให้วัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ วัดความเร็วอากาศเข้าสังเกตลักษณะเปลวไฟ (ดังรูป 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14) และควันทันไฟ และเก็บเขม่า (ดังรูป 4.15, 4.16 และ 4.17) จากปล่องไฟพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างก๊าซใช้วิธีในตาราง 4.5 วิเคราะห์ปริมาณเขม่าและองค์ประกอบของก๊าซตัวอย่างตามวิธีในหัวข้อ 4.6.1 และ 4.6.3 แล้วบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8 ตามลำดับ
5. จากข้อ 4 เมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 20 ให้เริ่มจับเวลาใหม่จนครบ 40 นาที แล้วเก็บข้อมูลเช่นเดิม แล้วทำการบันทึกผลในตารางเช่นเดียวกัน
6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 ก็จะต้องทำการบันทึกผลการทดลองทุก ๆ 40 นาที จนกระทั่งสิ้นสุดการสันดาปชีวมวลในเตาสันดาป ซึ่งถือเป็นการสิ้นสุดการตรวจสอบ (ดังรูป 4.18)
7. เมื่อสิ้นสุดให้ตรวจสอบปริมาณเถ้า และถ่านที่ตกอยู่ที่ช่องสันดาปโดยวิธีการตรวจสอบปริมาณเถ้าและถ่านในตารางที่ 4.5 แล้วทำการบันทึกในตารางที่ 4.6
8. หาค่าเฉลี่ยผลการทดลองในตารางที่ 4.6 ครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และครั้งที่ 5, 6 ในตารางที่ 4.9 และในตารางที่ 4.10 ตามลำดับ
9. หาค่าเฉลี่ยการทดลองในตารางที่ 4.7 ครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และครั้งที่ 5, 6 ในตารางที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12 ตามลำดับ
10. หาค่าเฉลี่ยการทดลองในตารางที่ 4.8 ครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และครั้งที่ 5, 6 ในตารางที่ 4.13

#### 4.7.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบเตาสำหรับชีวมวล

- ตาราง 4.6 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้า
- ตาราง 4.7 บันทึกผลการวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบ
- ตาราง 4.8 บันทึกผลน้ำหนักเขม่าที่เก็บ
- ตาราง 4.9 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าเตา  
(การทดลองที่ 1, 2, 3, 4)
- ตาราง 4.10 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา  
(การทดลองที่ 5, 6)
- ตาราง 4.11 บันทึกผลการวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบโดยเฉลี่ยจากการทดลอง  
ที่ 1, 2, 3 และ 4
- ตาราง 4.12 บันทึกผลการวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบโดยเฉลี่ย  
จากการทดลองที่ 5 และ 6
- ตาราง 4.13 บันทึกผลน้ำหนักเขม่าโดยเฉลี่ย



ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา

ครั้งที่ 1

วันที่ .17..เดือน... กุมภาพันธ์ .....พ.ศ. 2533

เวลาเริ่มต้นการทดลอง.....14.50.....เวลาสิ้นสุดการทดลอง.....17.10.....

ปริมาณถังบรรจุข่างข้าวโพด.....17.35.....กิโลกรัม

อัตราการป้อนข่างข้าวโพด 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความเร็วสกรูลำเลียง 2.73 รอบต่อนาที

เวลา นาที	อุณหภูมิเตา(องศาเซลเซียส)			อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วอากาศเข้าเตา (เมตรต่อวินาที)					สังเกตลักษณะ ภายนอก	หมายเหตุ			
	รัง บรรจุ	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไอน้ำ	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	1	2	3	4	5			เฉลี่ย		
20	31.1	34.6	177	24	31	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.18	ได้ลม เป่าทาง	คาน้ำดื่ม คือน้ำยังเย็น		
60	35.9	42.7	315	23.9	32	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	??	คาน้ำดื่ม		
100	42.1	64.1	351	24.5	33	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	??	คาน้ำดื่ม เริ่มร้อนขึ้นมา		
140	34.3	46.5	327	24	30	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.24	??	??	ยังเข้าไหนด จากถังบรรจุ	
180															
220															

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คุณหมุมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา

ครั้งที่ 2

วันที่..17...เดือน.....กุมภาพันธ์.....พ.ศ. 2533

เวลาเริ่มต้นการทดลอง.....21.50.....เวลาที่ยุติการทดลอง.....1.10.....

ปริมาตรถังบรรจุซังข้าวโพด.....1735.....กิโลกรัม

อัตราการป้อนซังข้าวโพด 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความเร็วสกรูลำเลียง 2.73 รอบต่อนาที

เวลา นาทีที่	คุณหมุมิเตา(องศาเซลเซียส)				คุณหมุมิภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วอากาศเข้าเตา (เมตรต่อวินาที)					สังเกตลักษณะ ภายนอก		หมายเหตุ	
	ถัง บรรจุ	ราง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไผ่	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	เวลาไป		ครันไป
20	29.5	31.3	200	400	23	27	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	ได้สัมผัส หน้าผาก	17ท-18ท	
60	31	45.3	530	410	25	29	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	๗	17ท	
100	32.8	58.4	325	405	24	28.5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.14	๗	๗	17ท-18ท	
140	29.8	62.1	301	360	23.9	28	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	๗	17ท-18ท	ซึ่งมีกลิ่นคาว หญ้า
180			173	157	24	28							กำหนด	๗	
220															

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา

ครั้งที่ 3

วันที่ .21..เดือน... กุมภาพันธ์ .....พ.ศ. 2533  
 เวลาเริ่มทำการทดลอง.....10.10.....เวลาสิ้นสุดการทดลอง.....14.16.....

ปริมาณถ่านบรจุซ่างข้าวโพด...17.35.....กิโลกรัม  
 อัตราการป้อนซ่างข้าวโพด 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง  
 ความเร็วสกรูลำเลียง 2.73 รอบต่อนาที

เวลา นาทีที่	อุณหภูมิเตา(องศาเซลเซียส)				อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วอากาศตำแหน่งเตา (เมตรต่อวินาที)					สิ่งเกตุลักษณะ ภายนอก	หมายเหตุ	
	ถัง บรรจุ	ราง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไฟ	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	1	2	3	4	5			เฉลี่ย
20	312	354	188	424	25.4	30.5	01	01	01	02	02	0.14	ดีไหม	เห็นไอต้น
60	343	45.2	277	353	25.2	30.3	01	02	02	02	0.18	"	"	ควันดำ น้อย
100	359	57	332	395	26	31.5	01	01	01	02	0.12	"	"	ควันดำ ไม่มาก
140	384	69.3	345	345	25.9	31.5	01	01	02	02	0.16	"	"	"
180	358	385	145	170	26	31.5	01	01	02	01	0.14	ตามเตา	"	ไอต้น
220			130	125	26	28						"	"	"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คุณหมุมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา

ครั้งที่ 4

วันที่ .21...เดือน.... กุมภาพันธ์ .....พ.ศ. 2533

เวลาเริ่มต้นการทดลอง...1.5.55 เวลาสิ้นสุดการทดลอง.....19.21.....

ปริมาณถังบรรจุช่วงข้าวโพด....17.35.....ก็โกลรัม

อัตราการป้อนเซางข้าวโพด 7.2 ก็โกลรัมต่อชั่วโมง

ความเร็วสกรูลำเลียง 2.73 รอบต่อนาที

เวลา นาทีที่	คุณหมุมิเตา (องศาเซลเซียส)				คุณหมุมิภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วอากาศด้านหน้าเตา (เมตรต่อวินาที)					สังเกตลักษณะ ภายนอก		หมายเหตุ	
	ถัง บรรจุ	ราง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไฟ	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	เปลวไฟ		ควันไฟ
20	33.4	34.1	200	457	26	32	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.14	เปลวไฟ สีส้ม เปลวทอง	ควัน ดำ เล็กน้อย	
60	37.1	55.6	302	401	26	34	0.1	0.1	0.2	0.2	0.14	เปลวไฟ	ควัน เทา เล็กน้อย		
100	38.5	62.5	328	405	26.5	32	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	เปลวไฟ	ควัน ดำ ค่อนข้างมาก	
140	38.1	67.5	351	360	25.5	31	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.14	เปลวไฟ	ควัน เทา เล็กน้อย	สีหมอกจาก ถัง
180			154	206									เปลวไฟ สีส้ม	ควัน เทา เล็กน้อย	
220			135	130									เปลวไฟ	ควัน เทา เล็กน้อย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คุณหมื่นที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา

ครั้งที่ 5

วันที่...18...เดือน... กุมภาพันธ์ .....พ.ศ. 2533

เวลาเริ่มต้นการทดลอง...12.09 .....เวลาที่สิ้นสุดการทดลอง.....14.05.....

ปริมาตรถังบรรจุข่างหัวโพด.....17.35.....กิโลกรัม

อัตราการป้อนข่างหัวโพด 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ความเร็วสกรูลำเลียง 2.73 รอบต่อนาที

เวลา นาทีที่	คุณหมื่นเตา (องศาเซลเซียส)				คุณหมื่นภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วอากาศด้านหน้าเตา (เมตรต่อวินาที)					สังเกตลักษณะ ภายนอก	หมายเหตุ			
	ถัง บรรจุ	ราง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไผ่	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	1	2	3	4	5			เฉลี่ย		
20	317	328	250	367	26	29.9	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	เฉลี่ย	เปลวไฟ ดับไฟ	
60	343	41.4	275	410	25.9	30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	11	สีส้ม เปลวไฟ	
100	35	54	320	420	26	31	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	11	สีส้ม เปลวไฟ	
140	369	51.1	260	300	26	31.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	11	สีส้ม เปลวไฟ	สีส้ม เปลวไฟ
180			153	150												
220			110	90												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 6  
 วันที่...18...เดือน...กุมภาพันธ์...พ.ศ. 2533  
 เวลาเริ่มต้นการทดลอง...16.30...เวลาสิ้นสุดการทดลอง...20.36  
 ปริมาตรถังบรรจุข้างซ้ายโหนด...17.35...กิโลกรัม  
 อัตราการป้อนเชื้อข้างหัวโหนด 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง  
 ความเร็วสกรูลำเลียง 2.73 รอบต่อนาที

เวลา นาทีที่	อุณหภูมิเตา(องศาเซลเซียส)				อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วอากาศด้านหน้าเตา (เมตรต่อวินาที)					สิ่งเกตุลักษณะ ภายนอก	หมายเหตุ		
	ถัง บรรจุ	ราง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	บดอง ไฟ	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	1	2	3	4	5			เฉลี่ย	
20	323	365	244	480	25	29.5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.16	เปลวไฟ สีส้มแดง นำเงิน	ไอร้อน เทา-ชมพู	
60	32.7	56	307	416	27	30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	๗	๗	มีสะเก็ด
100	39.8	61.9	310	365	25.5	29	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.16	๗	๗	เหนียว ๗
140	34.6	70	250	375	25	28	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.16	๗	๗	เหนียว ดำ
180			154	203									กำแพง	ไอร้อน	
220			121	153									๗	๗	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ															
		นาที ที่ 20		นาที ที่ 60		นาที ที่ 100		นาที ที่ 140		นาที ที่ 20		นาที ที่ 60		นาที ที่ 100		นาที ที่ 140	
		ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	6.4	6.4	6.4
		6.6	6.6	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	6.8	6.8	6.8
		7.2	7.2	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	6.6	6.6	6.6
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	19.8	12	20.2	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.4	13	13
		20.2	13.6	20	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	12.8	12.8
		20	12.8	20.1	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	12.9	12.9
D	ปริมาณของ CO ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	20	0.2	20.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	20	0.2	0.2
		20.6	0.4	20.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	20	20	20	20	20	20	0.4	0.4
		20.5	0.3	20.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.8	0.3	0.3
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	80	80	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	86.6	86.6	86.6	86.6	86.6	80	80	80
		79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80	80	80
		79.7	79.7	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	83.3	83.3	83.3	83.3	83.3	80.2	80.2	80.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ											
		วันที่ 20		วันที่ 60		วันที่ 100		วันที่ 140					
		ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง				
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	1	7.6	7.6	7.6	7.6	8.2	8.2	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
		2	7.4	7.4	7.4	7.4	7.2	7.2	7.8	7.8	7.3	7.3	7.3
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (C - B)	1	19.4	11.6	19.8	12.2	20.2	12.0	16.0	9.0	9.0	9.0	9.0
		2	19.4	12	18.4	11.0	14.0	7.2	20.8	13.0	13.0	13.0	13.0
D	ปริมาณของ CO ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (D - C)	1	19.8	11.9	19.1	11.6	17.1	9.6	18.4	11.0	11.0	11.0	11.0
		2	19.6	0.2	20.0	0.2	22.2	2.0	20.4	3.6	3.6	3.6	3.6
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	1	19.7	0.3	19.3	0.2	19.4	2.3	20.7	1.9	1.9	1.9	1.9
		2	80.	80.4	81.4	77.8	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6



ขั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ											
		วันที่ 20		วันที่ 60		วันที่ 100		วันที่ 140					
		ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง				
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีขบอบอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	1	10.6	10.8	6.6	6.6	7.0	7.0	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
		2	10.0	10.0	6.8	6.8	7.8	7.8	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีขบอบอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (C - B)	1	20.2	9.6	20.4	13.8	20.0	13.0	20.4	20.4	15.6	20.4	15.6
		2	18.8	8.8	20.2	13.4	20.0	12.2	19.0	19.0	13.8	19.0	13.8
D	ปริมาณของ CO ที่มีขบอบอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (D - C)	1	19.5	9.2	20.3	13.6	20.0	12.6	19.7	19.7	14.7	19.7	14.7
		2	20.2		20.4		20.0		20.4	20.4		20.4	
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีขบอบอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	1	18.8		20.2		20.0		19.0	19.0		19.0	
		2	19.5		20.3		20.0		19.7	19.7		19.7	
		1		79.8		79.6		80.0		79.6		79.6	
		2		81.2		79.8		80.0		81.2		81.2	
				80.5		79.7		80.0		80.5		80.5	

ชั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ											
		นาที่ที่ 20		นาที่ที่ 60		นาที่ที่ 100		นาที่ที่ 140		นาที่ที่ 100		นาที่ที่ 140	
		ค่าที่อ่านได้	ปริมาณจริง	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณจริง	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณจริง	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณจริง	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณจริง	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณจริง
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	1	7.6	7.6	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	7.0	7.0
		2	7.0	7.0	8.8	8.8	8.4	8.8	8.4	8.8	8.4	6.6	6.6
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (C - B)	1	20	12.4	20.4	12.2	20.4	12.2	20.4	12.2	20.4	19.4	12.8
		2	19.6	12.6	20.8	12.0	20.2	11.8	20.2	11.8	20.2	19.4	12.8
D	ปริมาณของ CO ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (D - C)	1	19.8	12.5	20.6	12.1	20.3	12.0	20.1	12.0	20.1	20.1	13.3
		2	20.4	0.4	20.4		20.4		20.4		20.4	21	0.2
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	1	19.8	0.2	21.0	0.2	20.2		19.6	0.2	20.3	19.6	0.2
		2	20.1	0.3	20.7	0.1	20.3		20.3		20.3	20.3	0.2
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	1		796		79.6		79.6		79.6		79.6	79
		2		802		79		79		79		79.8	80.4
				79.9		79.3		79.3		79.3		79.7	79.7

ครั้งที่ 6  
วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533

ขั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ											
		นาที่ ที่ 20		นาที่ ที่ 60		นาที่ ที่ 100		นาที่ ที่ 140					
		ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง	ค่าที่ อ่านได้	ปริมาณ จริง				
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	1	10.4	10.0	10.0	10.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
		2	9.6	9.6	9.4	9.4	6.0	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (C - B)	1	20.4	10.0	20.0	10.0	21.2	14.2	20.4	14.4	20.4	14.4	20.4
		2	19.4	9.8	19.6	10.2	20.0	14.0	18.8	13.4	20.0	14.0	18.8
D	ปริมาณของ CO ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (D - C)	1	19.9	9.9	19.8	10.1	20.6	14.1	19.6	13.9	20.6	14.1	19.6
		2	20.6	0.2	20.4	0.4	21.2	20.4	20.4	20.4	21.2	20.4	20.4
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	1	20.4	0.1	20.1	0.3	20.7	0.1	19.7	0.1	20.2	0.2	19.0
		2	79.4	79.4	79.6	79.6	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8

ตารางที่ 4.8 บันทึกผลน้ำหนักเขม่าที่เก็บ

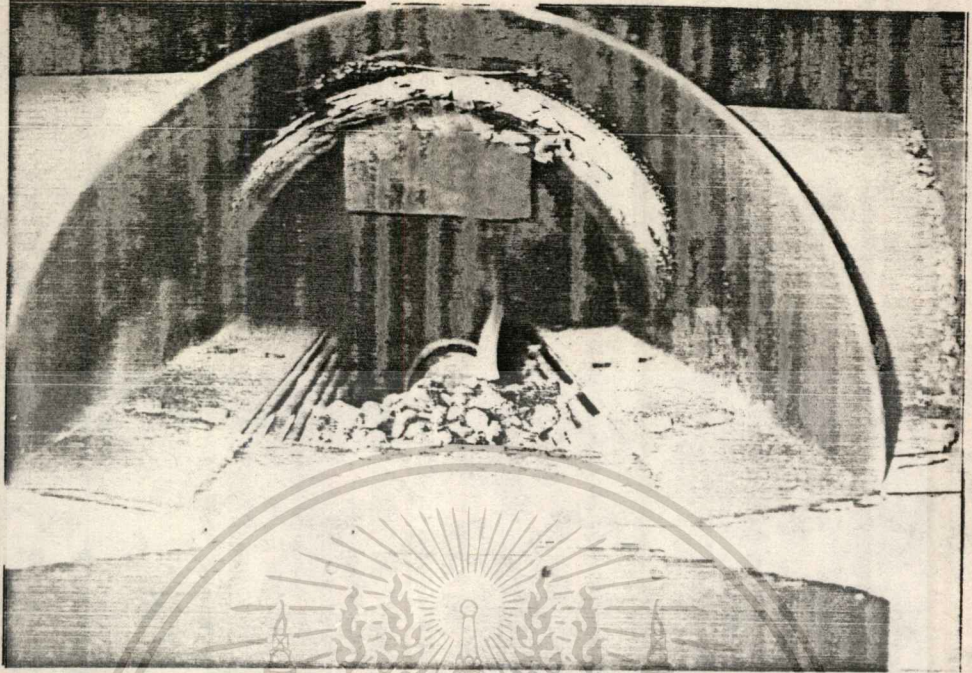
ครั้งที่	เวลาที่	น้ำหนักกระดาษ ก่อนเก็บเขม่า (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังเก็บ(กรัม)	น้ำหนักเขม่าที่ ได้ (กรัม)	หมายเหตุ
1	20	0.203	0.203	0.000	ช่องอากาศเข้า หน้าเตาขนาด 160 x 700 มม
	60	0.203	0.205	0.002	
	100	0.207	0.208	0.001	
	140	0.204	0.205	0.001	
2	20	0.210	0.212	0.002	ช่องอากาศเข้า หน้าเตาขนาด 160 x 700 มม
	60	0.208	0.211	0.003	
	100	0.204	0.213	0.004	
	140	0.201	0.202	0.001	
3	20	0.205	0.206	0.001	ช่องอากาศเข้า หน้าเตาขนาด 160 x 700 มม
	60	0.204	0.208	0.004	
	100	0.205	0.208	0.003	
	140	0.204	0.206	0.002	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 บันทึกผลน้ำหนักเขม่าที่เก็บ

ครั้งที่	นาฬิกาที่	น้ำหนักกระดาษ ก่อนเก็บเขม่า (กรัม)	น้ำหนักกระดาษ หลังเก็บเขม่า (กรัม)	น้ำหนักเขม่าที่ ได้ (กรัม)	หมายเหตุ
4	20	0.201	0.204	0.003	ช่องอากาศเข้า หน้าเตาขนาด 160 x 700 มม
	60	0.203	0.204	0.001	
	100	0.205	0.207	0.002	
	140	0.203	0.205	0.002	
5	20	0.200	0.201	0.001	ปิดช่องอากาศ เหลือขนาด 160 x 300 มม
	60	0.202	0.205	0.003	
	100	0.200	0.205	0.005	
	140	0.208	0.211	0.003	
6	20	0.206	0.208	0.002	ปิดช่องอากาศ เหลือขนาด 160 x 300 มม
	60	0.202	0.203	0.001	
	100	0.205	0.213	0.008	
	140	0.204	0.205	0.001	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา 1, 2, 3, 4

เวลาที่ นาที	อุณหภูมิเตาเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)				อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)		ความเร็วเฉลี่ย อากาศเข้า (เมตรต่อวินาที)	หมายเหตุ
	ถัง บรรจุ	วาง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไฟ	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)		
20	31.3	33.9	191.3	444	24.6	30.13	0.155	-
60	34.7	47.2	306	379.7	25	31.38	0.12	-
100	37.3	60.5	334	394.3	25.3	31.3	0.17	-
140	35.1	61.4	331.3	358.8	24.8	30.13	0.15	-
180	-	-	183.7	203.7	-	-	-	-
220	-	-	146	137.3	-	-	-	-

ปริมาณ แก๊ส 250 กรัม  
ปริมาณ ถ่าน 562.5 กรัม

ตารางที่ 4.10 ตารางค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำแหน่งต่าง ๆ และความเร็วอากาศเข้าของเตา 5,6

เวลาที่ นาที	อุณหภูมิตาเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)				อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)			ความเร็วเฉลี่ย อากาศเข้า (เมตรต่อวินาที)	หมายเหตุ
	ถึง บรรจุ	วาง สกรู	ช่องแลกเปลี่ยน ความร้อน	ปล่อง ไฟ	กระเปาะ เปียก (องศา เซลเซียส)	กระเปาะ แห้ง (องศา เซลเซียส)	รวม		
20	32.0	34.7	247	423.5	25.5	29.7	0.14	-	
60	33.5	48.7	291	413	26.5	30.0	0.10	-	
100	37.4	58.0	315	392.5	25.8	30.0	0.15	-	
140	35.8	60.6	255	337.5	25.5	29.8	0.14	-	
180	-	-	153.5	176.5	-	-	-	-	
220	-	-	115.5	121.5	-	-	-	-	

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ของค่าประกอบโดยเฉลี่ยจากการทดลองที่ 1, 2, 3, 4

ขั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ											
		นาที ที่ 20		นาที ที่ 60		นาที ที่ 100		นาที ที่ 140					
		ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ				
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	8.33	8.33	6.7	6.7	7.4	7.4	5.43	5.43	5.43	5.43	5.43	5.43
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (C - B)	19.6	11.28	19.9	13.2	19.05	11.7	19.78	14.35				
D	ปริมาณของ CO ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (D - C)	19.85	0.25	20.19	0.29	19.75	0.7	20.45	0.6				
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	-	80.15	-	79.81	-	80.25	-	79.55				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในชั้นเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยเฉลี่ยจากการทดลองที่ 5,6

ขั้นตอน	รายการ	ผลการวิเคราะห์ก๊าซ											
		นาทีที่ 20		นาทีที่ 60		นาทีที่ 100		นาทีที่ 140		นาทีที่ 180		นาทีที่ 220	
		ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ	ค่าที่อ่านได้	ปริมาณก๊าซ
A	ปริมาณก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ต่อ 1 ครั้ง	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	ปริมาณของ CO <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์	8.8	8.8	9.1	9.1	7.4	7.4	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
C	ปริมาณของ O <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (C - B)	19.85	11.2	20.2	11.1	20.45	13.05	19.85	13.6				
D	ปริมาณของ CO ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (D - C)	20.05	0.2	20.4	0.2	20.5	0.05	20.00	0.15				
E	ปริมาณของ N <sub>2</sub> ที่มีปะปนอยู่ในก๊าซที่วิเคราะห์ (100 - D)	-	79.95	-	79.60	-	79.50	-	80.00				

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักเข้ามาโดยเฉลี่ย

การทดลองที่	น้ำหนัก	น้ำหนักเข้ามาในตัวอย่างก๊าซ 10 ลิตร (กรัม)	น้ำหนักเข้ามาต่อปริมาตรก๊าซ (กรัม)
1, 2, 3, 4	20	0.0015	15
	60	0.0025	25
	100	0.00375	37.5
	140	0.0015	15
5, 6	20	0.0015	15
	60	0.0020	20
	100	0.00425	42.5
	140	0.0030	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 ขนาดและความหนาแน่นของซังข้าวโพด

##### 5.1.1 การหาขนาดของซังข้าวโพด

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าได้ขนาดเฉลี่ยของซังข้าวโพด ดังนี้

ขนาด เล็ก ผง, < 5 มม.	น้ำหนัก 1.8 กิโลกรัม	คิดเป็น 8.5%
ขนาด 5 - 50 มม.	น้ำหนัก 11.6 กิโลกรัม	คิดเป็น 55.2%
ขนาด 60 - 100 มม.	น้ำหนัก 7.8 กิโลกรัม	คิดเป็น 8.5%

##### 5.1.2 ความหนาแน่นรวม

จากการทดลองพบว่า ปริมาตรถังบรรจุ 0.162 (เมตร<sup>3</sup>) สามารถบรรจุ ซังข้าวโพดได้ 21 กิโลกรัม ดังนั้น ความหนาแน่นรวมของซังข้าวโพดจะได้ 129.6 กิโลกรัม/(เมตร<sup>3</sup>)

ความหนาแน่นรวมของซังข้าวโพดเพิ่มขึ้นในระหว่างลำเลียงเข้าสู่เตา เนื่องจากการสิ้นสละเทือนของถังบรรจุ

#### 5.2 ความเร็วรอบ และอัตราการป้อนสกรูลำเลียง

จากการทดลองในตารางที่ 4.3 ได้ความเร็วรอบของสกรูลำเลียงโดยเฉลี่ย 2.73 รอบต่อนาที

จากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่า ความเร็วรอบสกรูลำเลียงมีความเร็วรอบ 3.02 รอบต่อนาที การที่ความเร็วรอบที่ออกมาจริงมีค่าน้อยกว่าความเร็วรอบในทางทฤษฎี แสดงให้เห็นว่า ได้มีการสูญเสียให้กับความผิดต่าง ๆ ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพของระบบลำเลียง =  $(2.72/3.02) \times 100 = 89.74\%$

จากตารางที่ 4.4 ได้อัตราป้อนซังข้าวโพดของสกรูลำเลียง 7.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การตรวจสอบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป

การทดสอบเตาได้ทดสอบและเก็บข้อมูล 6 ครั้ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. ทดสอบโดยเปิดช่องอากาศเข้าทางด้านหน้าเตาขนาด 160 x 700 มม.(A) ทดสอบและบันทึกผล 4 ครั้ง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ถึง 4 หาค่าเฉลี่ยบันทึกผลในตารางที่ 4.9

2. ทดสอบโดยเปิดช่องอากาศเข้าทางด้านหน้าเตาขนาด 160 x 300 มม.(B) ทดสอบและบันทึกผล 2 ครั้ง ได้แก่การทดลองที่ 5 และ 6 หาค่าเฉลี่ยบันทึกผลในตารางที่ 4.10

การทดลองแต่ละครั้งป้อนขี้ข้าวโพดเข้าเตา 17.35 กิโลกรัม

#### 5.3.1 อุณหภูมิของถังบรรจุและรางส่งรูลำเลียง

จากตารางที่ 4.9 เป็นตารางที่เฉลี่ยค่าต่าง ๆ ของการทดลองแบบ A และตารางที่ 4.10 เป็นค่าการทดลองแบบ B อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังบรรจุ

เมื่อเวลา 20 นาที การทดลอง A มีอุณหภูมิ  $31.3^{\circ}\text{C}$

การทดลอง B มีอุณหภูมิ  $32.0^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังบรรจุจะไม่ต่างกับอุณหภูมิอากาศภายนอกมากนัก

เพราะเป็นช่วงแรกของการสันดาป

เมื่อเวลา 40 - 100 นาที

อุณหภูมิการทดลอง A อยู่ระหว่าง  $34.7 - 37.3^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิการทดลอง B อยู่ระหว่าง  $33.5 - 37.4^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิทั้งสองแบบจะขึ้นสูง เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อน

เมื่อเวลา 140 นาที

การทดลอง A มีอุณหภูมิ  $35.1^{\circ}\text{C}$

การทดลอง B มีอุณหภูมิ  $35.8^{\circ}\text{C}$

ขี้ข้าวโพดเริ่มหมดจากถังบรรจุ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนกับอากาศภายนอกทำให้อุณหภูมิในถังบรรจุลดลง ช่วงช่วงอุณหภูมิทั้งสองการทดลองอยู่ในระดับที่ปลอดภัย เพราะต่ำกว่าที่ขี้ข้าวโพดจะลุกติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ส่วนอุณหภูมิรางสกรู นาที่ที่ 20

การทดลอง A มีอุณหภูมิ 33.4 °ซ

การทดลอง B มีอุณหภูมิ 34.7 °ซ

### นาที่ที่ 60 - 140

การทดลอง A มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 47.2 - 61.4 °ซ

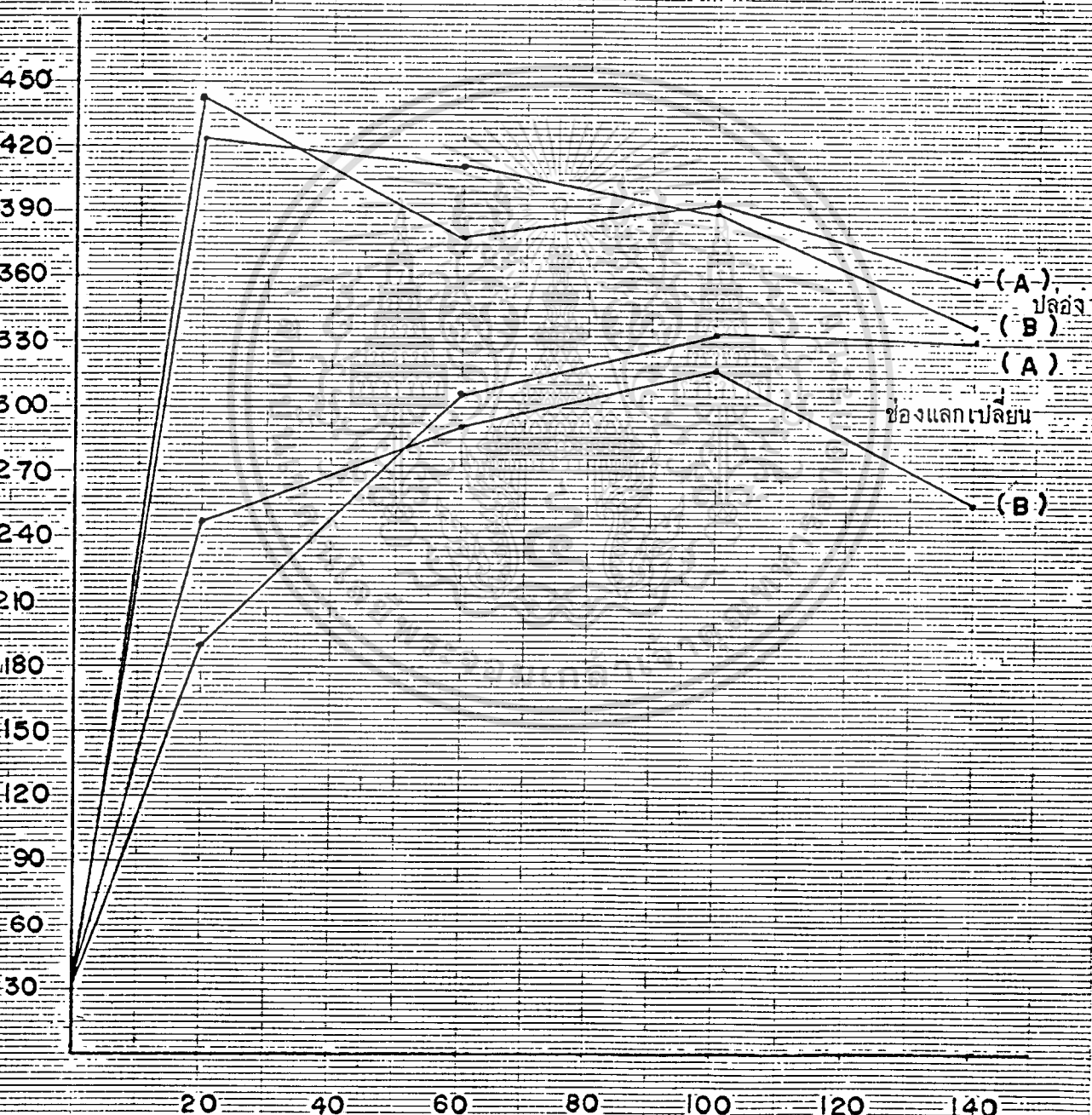
การทดลอง B มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 48.7 - 60.6 °ซ

อุณหภูมิของรางสกรูสูงกว่าอุณหภูมิภายในถังบรรจุ เพราะมีการนำความร้อนตามรางสกรู เนื่องจากส่วนปลายของรางสกรูยื่นเข้าไปในเตา อยู่ใกล้กับช่องสันดาปมากกว่า เพราะมีการระบายความร้อนน้อยกว่า เมื่อสิ้นสุดการสันดาปอุณหภูมิลดลง ซึ่งระดับอุณหภูมิอยู่ในระดับที่ปลอดภัยไม่สามารถติดไฟเศษวัสดุแห้งได้ หากช่วงเวลาสันดาปนานกว่านี้อุณหภูมิรางสกรูมีโอกาสเพิ่มสูงขึ้น จึงควรติดตามรอบรางสกรูตอนใกล้กับช่องสันดาป

### 5.3.2 อุณหภูมิช่องแลกเปลี่ยนความร้อนและที่ปล่องไฟ

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 สามารถเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิที่ช่วงเวลาแลกเปลี่ยนความร้อน และที่ปล่องไฟกับเวลาได้ดังรูปที่ 5.1

ที่ 0 - 50 นาที ซึ่งเป็นช่วงแรกของการทดลอง อุณหภูมิในช่องแลกเปลี่ยนความร้อนของการทดลอง B สูงกว่าที่ A แต่อุณหภูมิที่ปล่องไฟต่ำกว่า เนื่องจากปริมาณอากาศเข้าช่องสันดาปที่การทดลอง B มีปริมาณน้อยกว่าที่ A อุณหภูมิภายในเตาสันดาปมีค่าสูงกว่าและความร้อนสูญเสียออกทางปล่องไฟน้อยกว่า ดังนั้นจึงถ่ายเทความร้อนให้ช่องสันดาปได้มากกว่า แต่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิช่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากการทดลอง A ในช่วงนี้สูงกว่า เนื่องจากปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปมากกว่าที่ให้อุณหภูมิสันดาปสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งอุณหภูมิในช่องแลกเปลี่ยนความร้อนสูงกว่าของการทดลอง B ในช่วงนาที่ที่ 20 - 60 นาทีอุณหภูมิในปล่องไฟลดลงเนื่องจากความร้อนของการสันดาป ส่วนใหญ่มีการถ่ายเทความร้อนให้ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น



รูป 5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของตาที่ปล่องและช่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับเวลา

ในช่วงเวลาที่ 60 - 100 นาทีอุณหภูมิในช่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ด้วยอัตราช้าลงประมาณเกือบเท่ากัน ทั้งการทดลอง A- และ B ส่วนอุณหภูมิในปล่องไฟเพิ่มขึ้น สำหรับการทดลอง A เนื่องจากการสันดาปเป็นไปอย่างดี และการถ่ายเทความร้อนไปยังช่องแลกเปลี่ยนความร้อนช้าลง ดังนั้นความร้อนจึงถ่ายเทออกจากปล่องไฟ ส่วนการทดลอง B อุณหภูมิในปล่องไฟลดลงเพราะการสันดาปเป็นไปไม่ดีเนื่องจากปริมาณอากาศเข้าสู่เตาสันดาปน้อยเกินไป

ในช่วงสุดท้ายของการสันดาป อุณหภูมิในช่องแลกเปลี่ยนความร้อนและปล่องไฟลดลงเนื่องจาก เชื้อเพลิงที่ใช้ในการสันดาปมีปริมาณลดลงมาก การคายความร้อนจากปฏิกิริยาสันดาปจึงลดลง

### 5.3.3 การคำนวณ ความเร็วและมวลอากาศเข้าและออกจากเตา

สิ่งที่ต้องรู้ก่อนการคำนวณหาความเร็ว และมวลทางออกได้ ต้องรู้ค่าความหนาแน่นของอากาศซึ่งมีค่าคงที่เท่ากับ 1.165 กิโลกรัม/(เมตร<sup>3</sup>) (Robert Lo Daugherty, 1977) พื้นที่หน้าตัดทางเข้าของอากาศ 0.112(เมตร<sup>2</sup>) ความเร็วของลมทางเข้ามีค่าแตกต่างกันออกไปตามเวลา ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.9 สำหรับการทดลอง A ส่วนการทดลอง B แสดงในตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณมวลอากาศเข้า และออกที่เวลาต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5.1 วิธีการคำนวณอธิบายได้ดังนี้

$$\text{สูตร } Min = pin \cdot Ain \cdot Vin$$

$Min$  = มวลของอากาศทางเข้า (กิโลกรัม/วินาที)

$pin$  = ความหนาแน่นของอากาศทางเข้า (กิโลกรัม/เมตร<sup>3</sup>)

$Ain$  = พื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศเข้า (เมตร<sup>2</sup>)

$Vin$  = ความเร็วอากาศทางเข้า (เมตร/วินาที)

$$\text{สูตร } Mout = pout \cdot Aout \cdot Vout$$

$Mout$  = มวลของอากาศทางออก (กิโลกรัม/วินาที)

$pout$  = ความหนาแน่นของก๊าซร้อน (กิโลกรัม/เมตร<sup>3</sup>)

$$= \sum_{i=1}^n nj \cdot pi$$

$nj$  = สัดส่วนโดยปริมาตรตัวที่  $i$  ที่มีในก๊าซร้อน

$pi$  = ความหนาแน่นเฉลี่ยของก๊าซตัวที่  $i$  ที่มีในก๊าซร้อน

ตารางที่ 5.1 ความเร็วและมวลของอากาศเข้าสู่เตาเผาและก๊าซร้อนที่ออกจากปล่องควัน

การทดลอง	พื้นที่หน้าตัด ช่องอากาศเข้า (ตารางเมตร)	เวลา นาที	ความเร็ว ทางเข้า (เมตร/วินาที)	ความหนา แน่นของ อากาศ (กก./ม <sup>3</sup> )	มวลอากาศ เข้า (กก.)	พื้นที่หน้าตัด ช่องอากาศออก (ตารางเมตร)	ความหนา แน่นของ ก๊าซร้อน (กก./ม)	ความเร็ว ก๊าซร้อนออก (เมตร/วินาที)	มวลก๊าซร้อนออก (กก.)
1 (1,2,3,4)	0.112	20	0.155	1.165	0.02	0.0113	0.336	5.27	0.02
		60	0.122	1.165	0.0159		0.045	31.27	0.0159
		100	0.165	1.165	0.022		0.049	39.73	0.022
		140	0.15	1.165	0.0195		0.049	35.22	0.0195
2 (5,6)	0.048	20	0.14	1.165	0.0078	0.0113	0.338	2.04	0.0078
		60	0.1	1.165	0.0056		0.046	10.77	0.0056
		100	0.15	1.165	0.0084		0.047	15.82	0.0084
		140	0.14	1.165	0.0078		0.052	13.27	0.0078

ค่าความหนาแน่นของก๊าซ  $i$  ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คำนวณได้จาก

$$\text{สูตร} \quad P_{st,i} T_{st} = p_{i,T_i} T_i$$

เมื่อประมาณให้ความดันที่ปล่อยไฟเท่ากับ 1 บรรยากาศ

$$P_{st,i} = \text{ความหนาแน่นของก๊าซ } i, \text{ ที่สภาวะมาตรฐานที่ } 15^\circ\text{C} \\ (\text{กิโลกรัม/เมตร}^3)$$

$$\text{เมื่อ } P_{st}(\text{O}_2) = 1.357$$

$$P_{st}(\text{CO}_2) = 1.861$$

$$P_{st}(\text{CO}) = 1.185$$

$$P_{st}(\text{N}_2) = 1.185$$

$$T_{st} = \text{อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน } (15^\circ\text{C})$$

$$P_{i,T_i} = \text{ความหนาแน่นของก๊าซตัวที่ } i \text{ ที่อุณหภูมิ } T_i$$

$$T_i = \text{อุณหภูมิของก๊าซตัวที่ } i \text{ } (^\circ\text{C})$$

ตัวอย่าง การคำนวณ การทดลองแบบ A นาทีที่ 20

คำนวณหามวลอากาศที่ทางเข้า

$$\text{Min} = p_{in} A_{in} V_{in}$$

$$p_{in} = 1.165 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3)$$

$$A_{in} = 0.112 \text{ (เมตร}^2)$$

$$V_{in} = 0.155 \text{ (เมตร/วินาที)}$$

$$\text{Min} = (1.165)(0.112)(0.155)$$

$$= 0.02 \text{ (กิโลกรัม/วินาที)}$$

- คำนวณหาความเร็วอากาศทางออก

จากผลการคงมวล มวลที่เข้าสู่ระบบเท่ากับมวลที่ออกจากระบบ

$$\text{ดังนั้น Min} = M_{out}$$

$$M_{out} = p_{out} A_{out} V_{out}$$

$$A_{out} = 0.0113 \text{ (เมตร}^2)$$

$$p_{out} = \sum_{i=1}^4 n_i p_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$n_1 p_1 + n_2 p_2 + n_3 p_3 + n_4 p_4$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาความหนาแน่นของก๊าซร้อน  $p_{\text{O}_2}$ ,  $p_{\text{CO}_2}$ ,  $p_{\text{CO}}$ ,  $p_{\text{N}_2}$

หน้าที่ที่ 20

$$\begin{aligned} T_1 = 30^\circ\text{ซ}, PO_{2,30} &= p_{st} T_{st}/T_i \\ &= 1.357(15)/30 \\ &= 0.678 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 = 191.25^\circ\text{ซ}, PO_{2,444} &= 1.357(15)/444 \\ &= 0.046 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PO_{2,av} \text{ หน้าที่ที่ 20} &= (0.678+0.046)/2 \\ &= 0.362 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

p2 ก๊าซ CO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} T_1 = 30^\circ\text{ซ}, PCO_{2,30} &= 1.861(15)/30 \\ &= 0.931 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 = 191.25^\circ\text{ซ}, PCO_{2,444} &= 1.861(15)/444 \\ &= 0.063 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PCO_{2,av} \text{ ที่ 20 นาที} &= (0.931+0.063)/2 \\ &= 0.497 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

p3 ก๊าซ CO

$$\begin{aligned} T_1 = 30^\circ\text{ซ}, p_{CO,30} &= 1.185(15)/30 \\ &= 0.593 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 = 444^\circ\text{ซ}, p_{CO,444} &= 1.185(15)/444 \\ &= 0.04 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{CO,av} \text{ ที่ 20 นาที} &= (0.592 + 0.04)/2 \\ &= 0.316 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

p4 ก๊าซ N<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} T_1 = 30^\circ\text{ซ}, PN_{2,30} &= 1.185(15)/30 \\ &= 0.593 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$T_2 = 444^\circ\text{ซ}, PN_{2,444} = 1.185(15)/444$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PN_{2,av} = (0.593 + 0.04)/2$$

$$= 0.316 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned} \text{จากตาราง 4.10 } n_1 &= 0.113 \\ n_2 &= 0.083 \\ n_3 &= 0.0025 \\ n_4 &= 0.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{out} \text{ ที่ } 20 \text{ นาที} &= 0.113(0.362) + 0.083(0.497) + 0.0025(0.316) \\ &\quad + 0.8(0.316) \\ &= 0.336 \text{ (กิโลกรัม/เมตร}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } M_{out} &= p_{out} A_{out} V_{out} \\ V_{out} &= M_{out}/p_{out} A_{out} \\ &= 0.02/(0.336)(0.0113) \\ &= 5.27 \text{ (เมตร/วินาที)} \end{aligned}$$

ความเร็วอากาศเข้าทางด้านหน้าเตา

จากตารางที่ 5.1 สามารถเขียนกราฟระหว่างความเร็วอากาศเข้าและ  
ออก ณ เวลาใด ๆ ได้ดังรูปที่ 5.2

จากรูปที่ 5.2 ความเร็วอากาศเข้าเตาของการทดลอง A และ B ที่  
ช่วงเวลาต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันมากนักค่าเฉลี่ยของความเร็วอากาศ 0.148 เมตร/  
วินาที

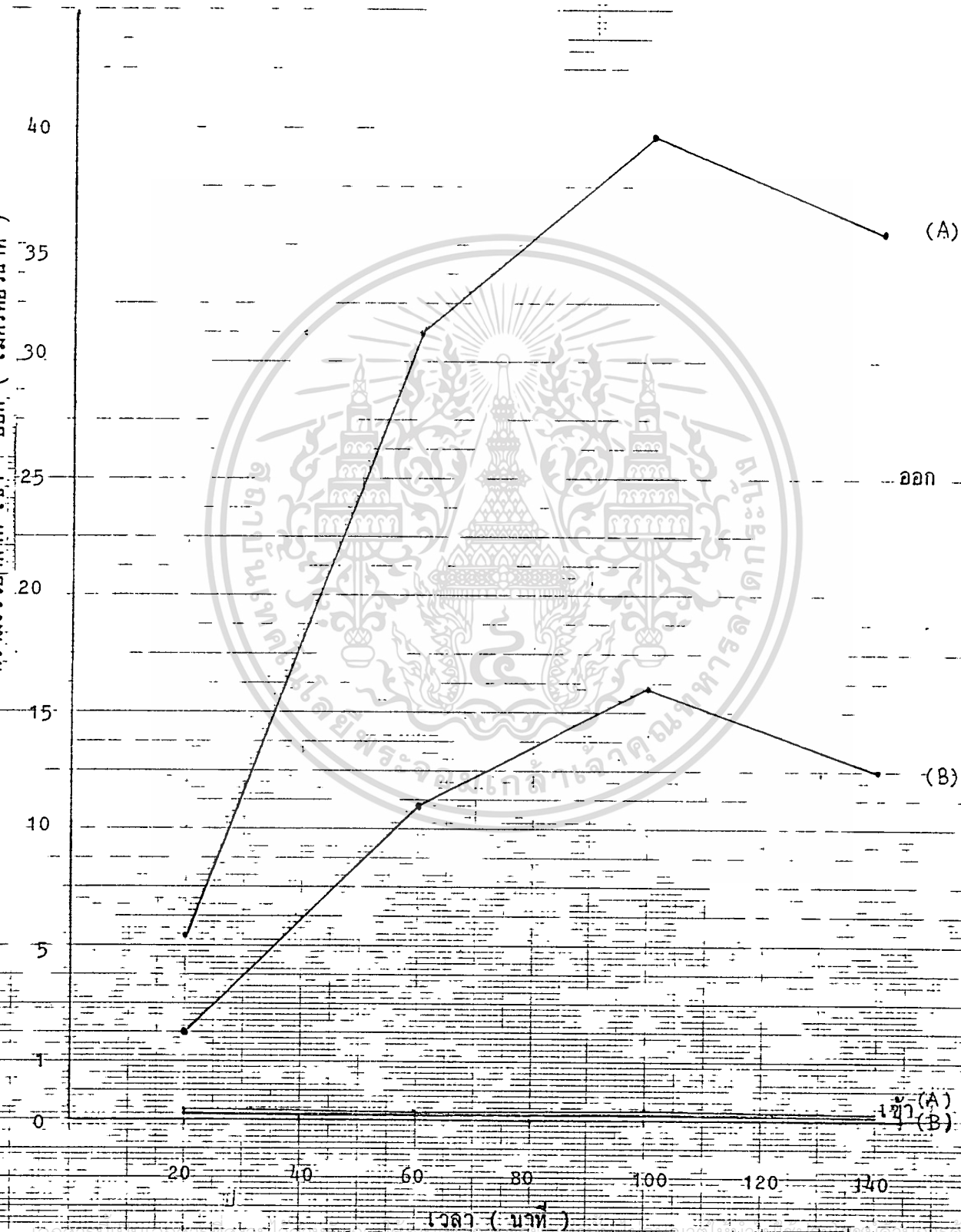
ส่วนความเร็วของอากาศร้อนที่ปล่องของการทดลอง A สูงกว่าการทดลอง  
B เนื่องจากปริมาณอากาศเข้าของการทดลอง A มากกว่า B และความชันของกราฟ  
ทั้งสองจะขึ้นสูงมากช่วงเวลา 20 - 60 แล้วลดลงในช่วงเวลาดังกล่าวเนื่องจากช่วงแรก  
ของการสันดาปมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก ความหนาแน่นของก๊าซร้อนลดลงมากจึงเคลื่อนออก  
จากปล่องเร็วขึ้นแล้วค่อย ๆ ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิลดลงในช่วงหลังของการสันดาป

#### 5.3.4 การคำนวณความร้อนที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน (โยชิอิโกะ, 2525)

การหาความร้อนที่เตาดำยเทให้ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามเวลาที่ผ่านไป

สูตร คำนวณปริมาณความร้อนที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 การเปลี่ยนแปลงความเร็ว เข้า - ออก เทาพื้นที่เวลาใดๆ

- โดยที่  $C_p$  = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่  
 = 0.241 (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม °ซ)  
 $G$  =  $pV$  = มวลของอากาศในช่องแลกเปลี่ยน (กิโลกรัม)  
 $p$  = ความหนาแน่นเฉลี่ยอากาศร้อน (กิโลกรัม/เมตร<sup>3</sup>)  
 $V$  = ปริมาตรช่องแลกเปลี่ยนความร้อน (เมตร<sup>3</sup>)  
 $T_1, T_2$  = อุณหภูมิในช่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยอุณหภูมิเพิ่มจาก  $T_1$  เป็น  $T_2$  เมื่อเวลาผ่านไป (°ซ)

ค่าที่สำคัญต่าง ๆ ในการหาความร้อนแสดงในตารางที่ 5.2 และ 5.3 ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟระหว่างความร้อนที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับเวลาได้ดังรูปที่ 5.3 จะเห็นว่า

ในช่วง 20 นาทีแรกปริมาณความร้อนที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูง ทั้งการทดลอง A และ B ในระยะเวลาต่อมาสำหรับการทดลอง A ปริมาณความร้อนที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับมีปริมาณลดลง ในช่วงเวลา 20 - 100 นาทีแรกอย่างสม่ำเสมอและจึงลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงเวลาต่อมาและเริ่มคลายความร้อนที่เวลา 135 นาที สำหรับการทดลอง B ในช่วงเวลา 20 - 60 นาทีเพราะความแตกต่างของช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันน้อยค่าความร้อนจึงลดลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งคลายความร้อนออกในช่วงสุดท้ายของการสันดาปที่เวลาประมาณ 110 นาที ดังนั้นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ช่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับในช่วงเวลา 140 นาทีเท่ากับ 46.293 และ 38.095 กิโลจูล สำหรับการทดลอง A และ B ตามลำดับ

### 5.3.5 การคำนวณแรงดูดอากาศที่ปล่อง (G.R. Breay et.al, 1986)

เนื่องจากความแตกต่างของความดันบรรยากาศที่ในปล่องและภายนอกอันเป็นสาเหตุมาจากอุณหภูมิของภายในกับภายนอกแตกต่างกัน ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศขึ้น โดยอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นสูงออกไปทางปากปล่องอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลผ่านช่องอากาศทางด้านล่างเข้ามา

แรงดูดอากาศที่ปล่องจึงสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของแรงดูด

ตารางที่ 5.2 การหาความร้อนที่ได้จากเตา การทดลองครั้งที่ 1, 2, 3, 4

$$V = 0.184 \text{ (ม}^3\text{)}$$

เมื่อ  $C_p = 0.241$  กิโลแคลอรี/กิโลกรัม °C

เวลา นาทีที่	อุณหภูมิห้องแลกเปลี่ยน ความร้อน (°C) $T_1, T_2$	ความหนาแน่น ของก๊าซร้อน (kg./m <sup>3</sup> )	ความหนาแน่นเฉลี่ย ของก๊าซร้อน (kg./m <sup>3</sup> )	$T_2 - T_1$ (°C)	ความร้อนที่ได้ จากเตา KJ
20	30 191.25	1.165 0.764	0.9645	161.25	28.86
60	191.25 306	0.764 0.61	0.687	114.75	14.63
100	306 334	0.61 0.582	0.596	28	3.096
140	334 331.25	0.582 0.584	0.583	-2.75	-0.293

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่เวลา 20 นาทีของการทดลอง 1, 2, 3, 4

$$Q_{20} = (0.241)[(0.9645)(0.184)](191.25 - 30)$$

$$= 6.896 \text{ Kcal}$$

$$= 28.86 \text{ KJ}$$

## ตารางที่ 5.3 การหาความร้อนที่ได้จากเตา การทดลองครั้งที่ 5,6

$$V = 0.184 \text{ (ม}^3\text{)}$$

เมื่อ  $C_p = 0.241$  กิโลแคลอรี/กิโลกรัม °C

เวลาที่ นาที	อุณหภูมิห้องแลกเปลี่ยน ความร้อน (°C) $T_1, T_2$	ความหนาแน่น ของก๊าซร้อน (kg./m <sup>3</sup> )	ความหนาแน่นเฉลี่ย ของก๊าซร้อน (kg./m <sup>3</sup> )	$T_2 - T_1$ (°C)	ความร้อนที่ได้ จากเตา KJ
20	30 247	1.165 0.679	0.922	217	37.12
60	247 291	0.679 0.626	0.652	44	5.326
100	291 315	0.626 0.6	0.613	24	2.729
140	315 255	0.6 0.669	0.635	-60	-7.08

## ตัวอย่างการคำนวณ

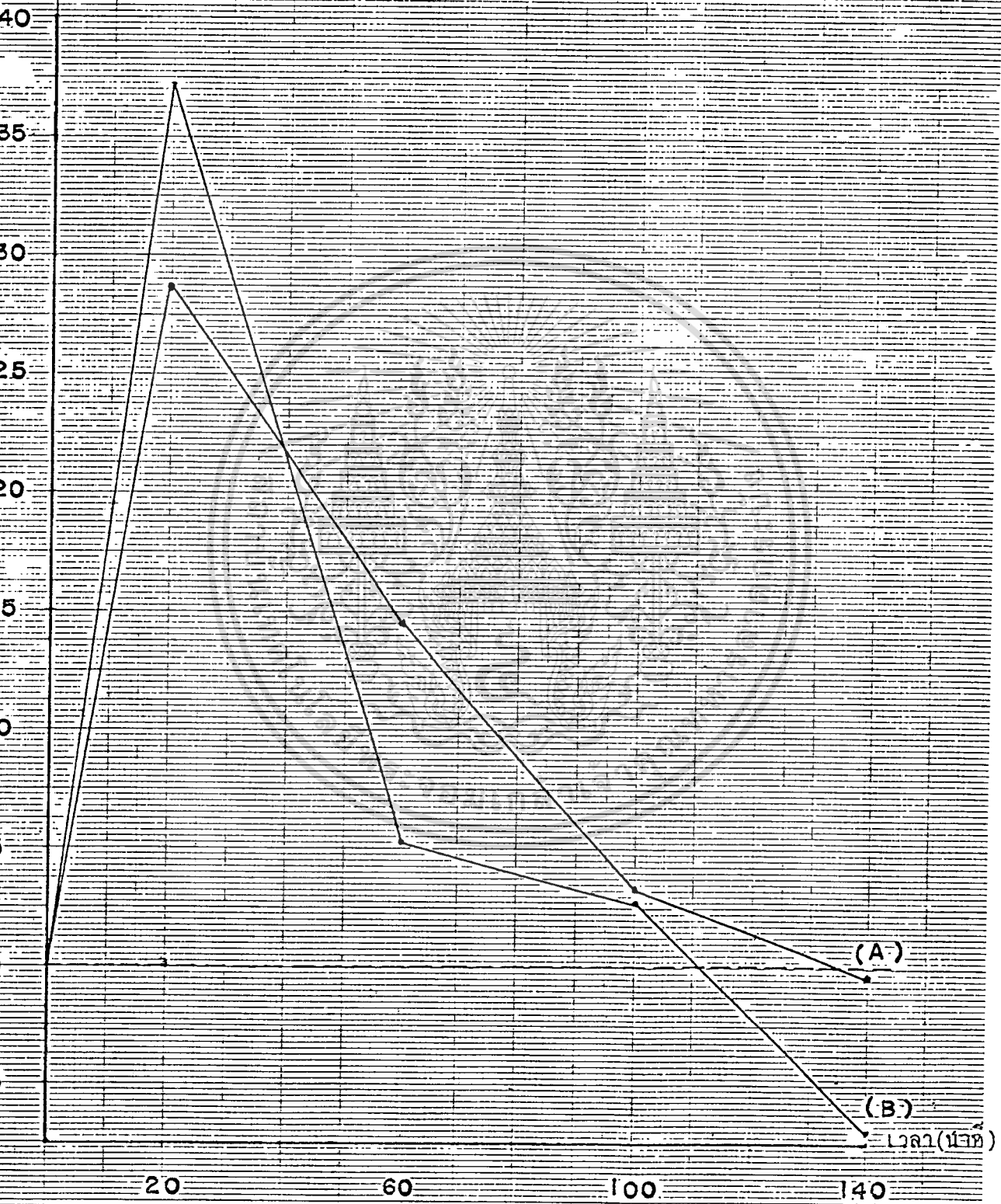
ที่เวลา 20 นาทีของการทดลอง 5,6

$$Q_{20} = (0.241)[(0.922)(0.184)](247 - 30)$$

$$= 8.87 \text{ Kcal}$$

$$= 37.12 \text{ KJ}$$

\*หมายเหตุ 1 kcal = 4.184 kJ



รูป 5-3 ค่าความร้อนที่ให้กับช่องแรกเปลี่ยนความร้อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

โดยที่ แรงดูดอากาศที่ปล่องคำนวณได้ ดังนี้

สูตร  $P_{st} = 9.8067(p_a - p_s)L$

เมื่อ  $p_a$  = ความหนาแน่นของอากาศที่บรรยากาศ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$p_s$  = ความหนาแน่นของก๊าซร้อนที่ปล่อง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$L$  = ความสูงของปล่อง (เมตร)

ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 5.4

#### วิธีการคำนวณ

ตัวอย่าง การคำนวณแรงดูดอากาศที่ปล่องของการทดลอง A ที่เวลา 20 นาที โดยมี ความหนาแน่นของก๊าซร้อนที่ทางออก 0.336 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ความเร็วของก๊าซร้อนที่ทางออก 5.27 เมตร/วินาที, ความสูงของปล่อง 1.73 เมตร, เส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง 0.115 เมตร, ความหนาแน่นอากาศที่บรรยากาศ 1.165 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่า friction factor = 0.025

แทนค่าลงในสูตร  $P_{st} = 9.8067(1.165 - 0.336)1.73$   
 $= 14.07$  กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตารางที่ 5.4 การคำนวณแรงดูดที่ปล่อง

การทดลอง	เวลา (นาที)	Ps ความหนาแน่นของก๊าซร้อนที่ทางออก (กก./ม <sup>3</sup> )	Us ความเร็วของก๊าซร้อนที่ทางออก (ม/วินาที)	แรงดูดที่ปล่อง (Pst) นิวตัน/ม <sup>2</sup>
A	20	0.336	5.27	14.07
	60	0.045	31.27	19.01
	100	0.049	39.73	18.94
	140	0.049	35.22	18.94
B	20	0.338	2.04	14.04
	60	0.046	10.77	18.99
	100	0.047	15.82	18.97
	140	0.052	13.27	18.89

### 5.3.6 ผลการวิเคราะห์ก๊าซของค์ประกอบ

จากการนำก๊าซตัวอย่างจากการสันดาปมาวิเคราะห์ ซึ่งบันทึกผลในตารางที่ 4.11 และ 4.12 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ก๊าซของค์ประกอบกับเวลา ดังรูปที่ 5.3(ก) และ 5.3(ข) [ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับเปอร์เซ็นต์ก๊าซของค์ประกอบแสดงในรูปที่ 5.4(ก) และ 5.4(ข)]

#### ปริมาณ O<sub>2</sub>

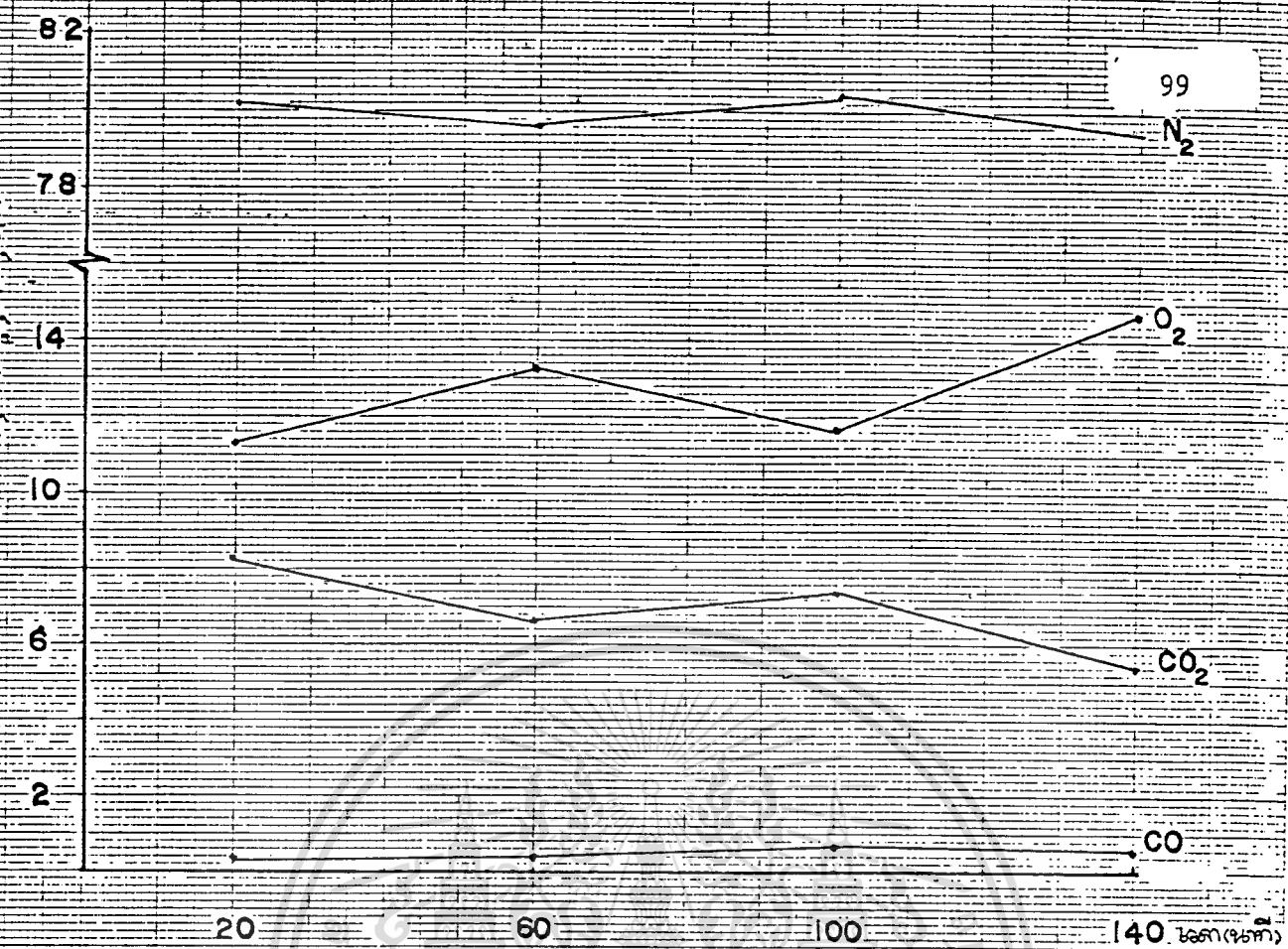
นาทีที่ 20 การทดลอง A จะมีปริมาณ O<sub>2</sub> มากกว่าการทดลอง B เนื่องจากจากการทดลอง B จำกัดอากาศทางเข้า สำหรับการทดลอง A ในช่วงนาทีที่ 20-60 จำนวนออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นแสดงว่า O<sub>2</sub> เหลือใช้ในการสันดาปเนื่องจากอุณหภูมิในช่องสันดาปยังไม่สูงพอ ช่วง 60-100 นาทีจำนวน O<sub>2</sub> จะค่อย ๆ ลดลง แสดงว่าช่วงนี้ได้ใช้ O<sub>2</sub> ในการสันดาปและมีจำนวน O<sub>2</sub> มากในนาทีที่ 140 เพราะซึ่งข้าวหมกทำให้ปริมาณ O<sub>2</sub> เหลือจากการสันดาป ส่วนการทดลอง B ปริมาณ O<sub>2</sub> เพิ่มขึ้น ณ ช่วง 60-100 นาที เนื่องจากจากการสันดาปเพิ่มขึ้นไม่ดี ปริมาณ O<sub>2</sub> จึงเหลือออกมามากและยังคงออกมามากถึงช่วงสุดท้ายของการสันดาป

#### ปริมาณ CO<sub>2</sub>

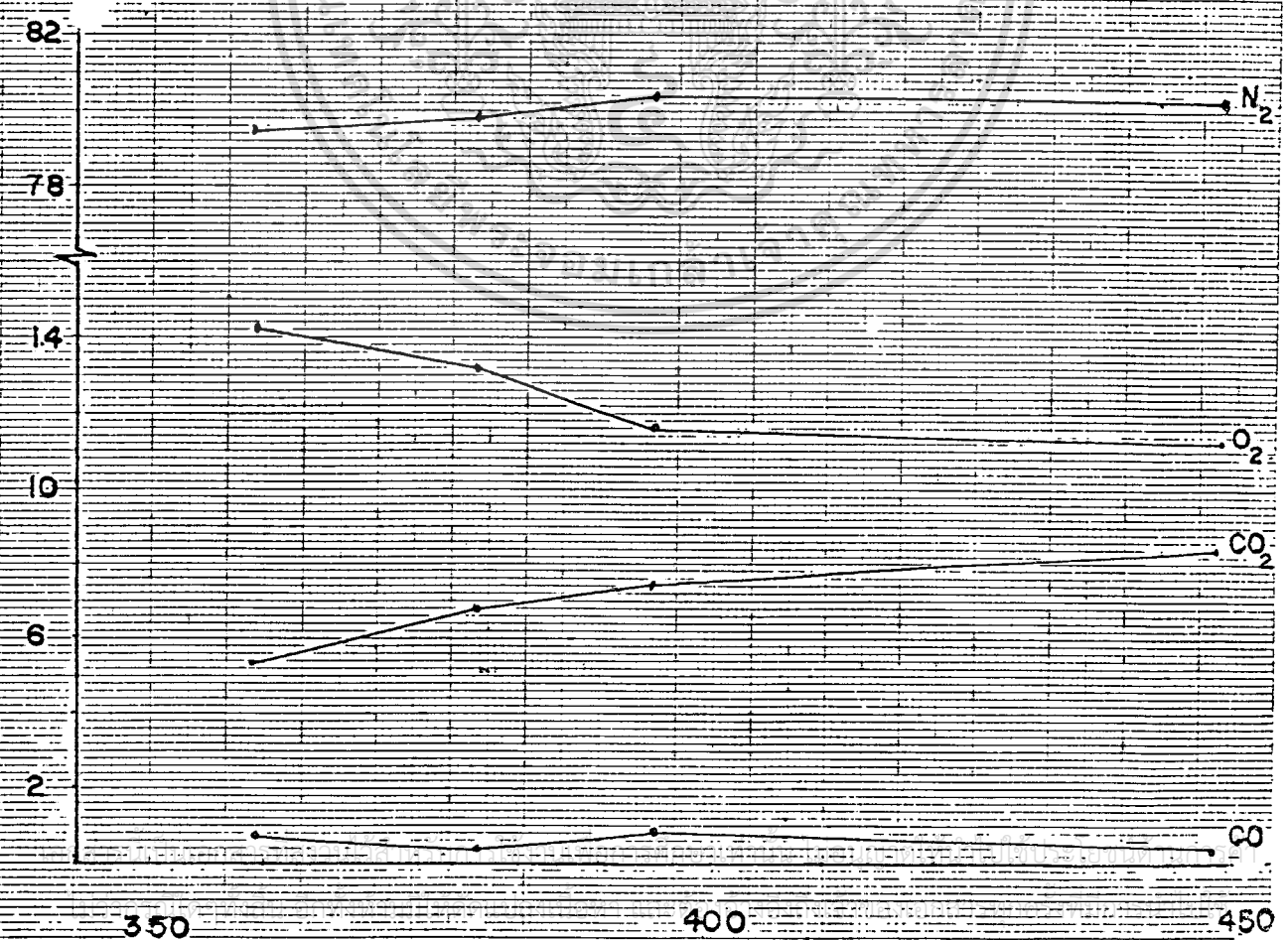
สำหรับการสันดาปที่สมบูรณ์ค่า CO<sub>2</sub> สูงปริมาตร CO<sub>2</sub> จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับ O<sub>2</sub> คือเมื่อ O<sub>2</sub> เหลือน้อยแสดงว่าใช้ O<sub>2</sub> ในการสันดาปให้ CO<sub>2</sub> สูง

#### ปริมาณ CO

เมื่อการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิด CO การทดลอง A ที่นาทีที่ 20 มีปริมาณ CO น้อยกว่าการทดลอง B แสดงว่าการทดลอง A เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างมีน้อยประมาณ 0.05 ซึ่งถือว่าน้อยมาก ที่นาทีที่ 60 การทดลอง A จะมี CO ลดลงอีกเนื่องจากการสันดาปสมบูรณ์นั้นอีกเล็กน้อย นาทีที่ 100-140 ซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการสันดาปเปอร์เซ็นต์ CO ของการทดลอง A ลดลงแต่การทดลอง B เพิ่มขึ้นโดยภาพรวมของการทดลอง A และ B ถือว่ามีการสันดาปสมบูรณ์เพราะมีเปอร์เซ็นต์ CO เกิดขึ้นน้อยมาก

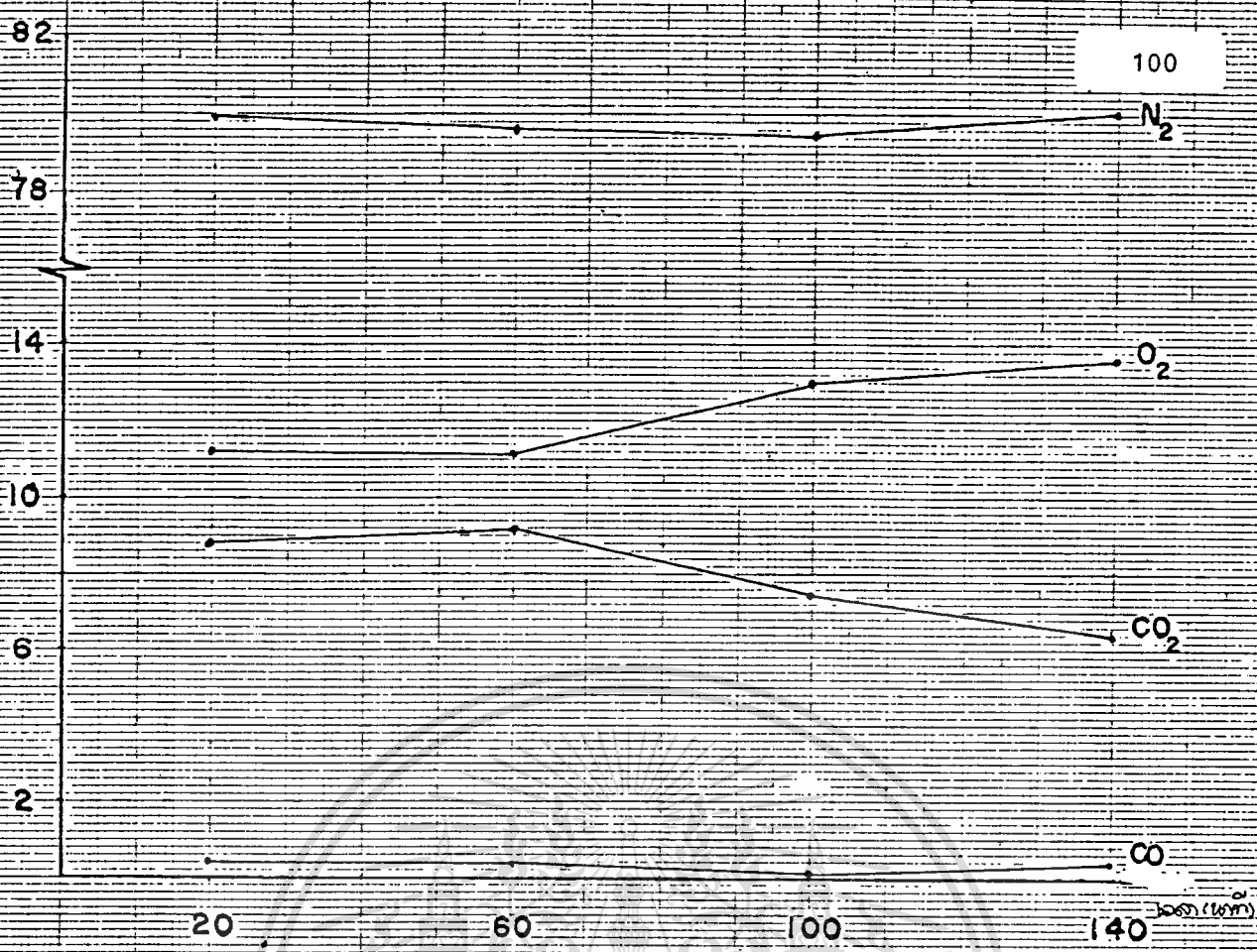


รูป 5.3 (ก) เปอร์เซ็นต์ก๊าซของคัพประกอบในก๊าซตัวอย่างที่เวลาใดๆ (A)

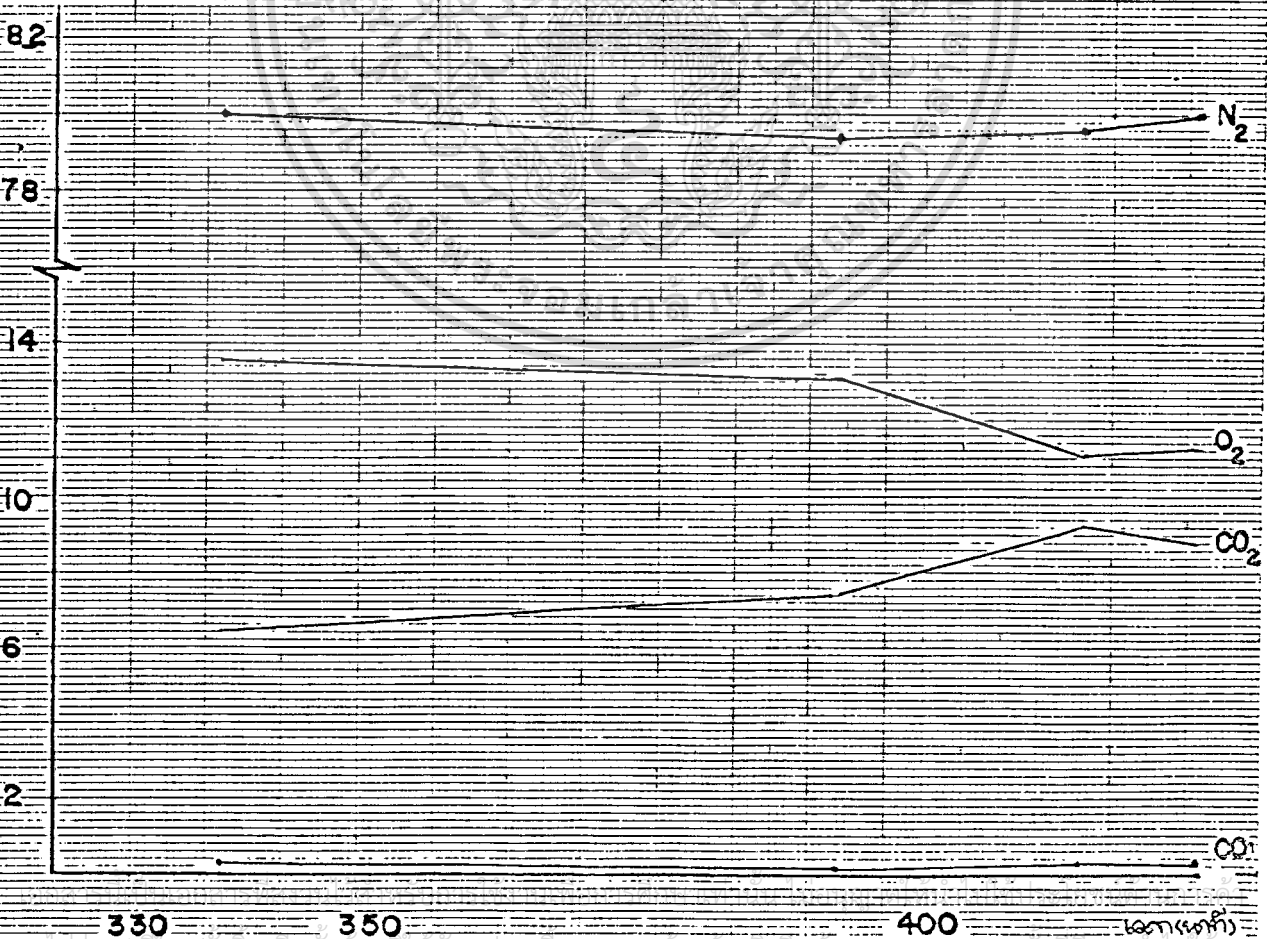


รูป 5.4 (ก) เปอร์เซ็นต์ก๊าซของคัพประกอบในตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป (A)

๒๓๓ (หน้า)



รูป 5.3 (ข) - เปอร์เซ็นต์ก๊าซของค้ประกอบในก๊าซตัวอย่างที่เวลาใดๆ - (B)



รูป 5.4 (ข) - เปอร์เซ็นต์ก๊าซของค้ประกอบในก๊าซตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป - (B)

### ปริมาณ N<sub>2</sub>

ในการสันดาปเชื้อเพลิงโดยตรงถือว่า N<sub>2</sub> ไม่ได้ทำปฏิกิริยาใด ๆ ดังนั้น ปริมาณ N<sub>2</sub> ที่เข้าสู่เตาสันดาปเท่ากับปริมาณ N<sub>2</sub> ที่ออกจากเตาสันดาปปริมาณของ N<sub>2</sub> จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวน O<sub>2</sub> นั่นคือ ถ้าจำนวน O<sub>2</sub> มีมาก จำนวน N<sub>2</sub> จะมีมาก

#### 5.3.7 การหาน้ำหนักเขม่าต่อปริมาตรก๊าซ

จากตารางที่ 4.13 สามารถเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเขม่าต่อปริมาตรก๊าซกับเวลา

จากกราฟรูปที่ 5.5 ช่วง 20 นาทีแรกความแตกต่างของน้ำหนักเขม่าไม่ต่างกัน เพราะช่วงช่วงแรกของการสันดาปยังเกิดเขม่าน้อย และความเร็วอากาศออกจากปล่องน้อย จึงไม่มีแรงพัดพาเขม่าเข้าหรือคาร์บอนออกมาได้มาก ช่วง 40 นาทีต่อมาปริมาณเขม่าเพิ่มขึ้นการทดลอง A มีค่ามากกว่าการทดลอง B เพราะปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นและปริมาณอากาศออกจากปล่องมากกว่าของการทดลอง B ในช่วงสุดท้ายของการสันดาปปริมาณเขม่าลดลงปริมาณอากาศออกจากปล่องไหลลง

#### 5.3.8 การคำนวณสมดุลมวล (ตารางที่ 5.5)

ตัวอย่างการคำนวณ(แบบ A)

1. วัสดุเกษตรเหลือใช้ชื้น หมายถึง มวลซึ่งข้าวโพดซึ่งป้อนเข้าสู่เตา(กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$$\text{วัสดุเกษตรเหลือใช้ชื้น} = 7.2 \text{ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)}$$

2. ความชื้นของเชื้อเพลิง หมายถึง เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักเชื้อเพลิง(x)

$$\text{ความชื้นเชื้อเพลิง(กิโลกรัม/ชั่วโมง)} = \text{ความชื้น(ทศนิยม)} \times \text{มวลเชื้อเพลิง}$$

จากการทดลอง(หัวข้อ 4.2.2) ซึ่งข้าวโพดมีความชื้น 8.6% = 0.086

$$\text{ความชื้นเชื้อเพลิง} = 0.086 \times 7.2 \text{ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)}$$

$$= 0.619 \text{ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)}$$

3. วัสดุเกษตรเหลือใช้แห้ง หมายถึง เชื้อเพลิงไม่รวมความชื้น (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

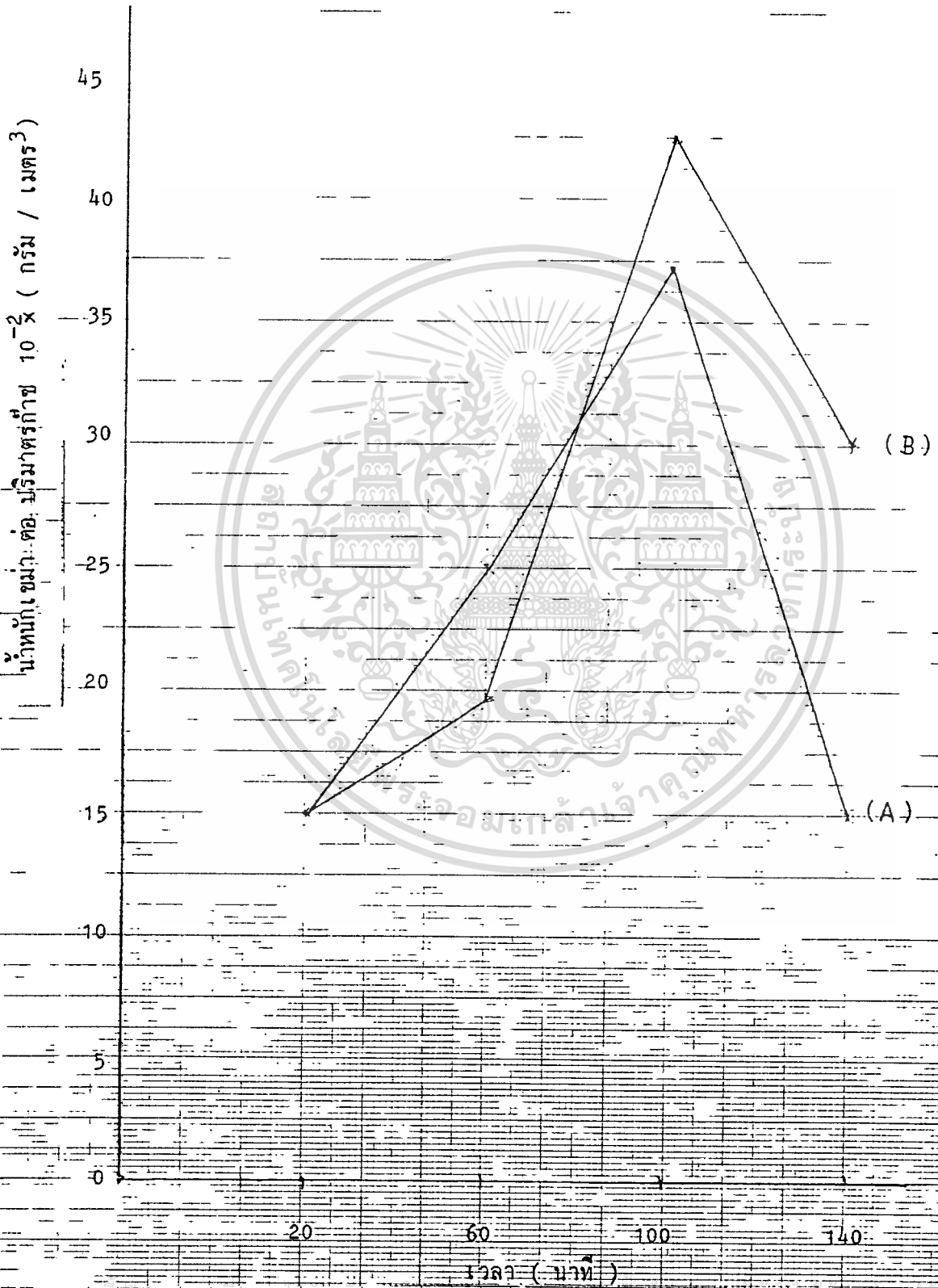
$$\text{เชื้อเพลิงไม่รวมความชื้น} = \text{มวลเชื้อเพลิงชื้น} - \text{ความชื้น}$$

$$= 7.2 - 0.619$$

$$= 6.58 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ ระหว่าง ปริมาณ เหมว. ต่อ ปริมาตร ก๊าซ กับ เวลา

ตารางที่ 5.5 การคำนวณสมดุลมวล - การเคลื่อนไหลมวล (Mass flow)

รายการ	A	B
1. ชั่งข้าวโพดชั้น กก./ชม.	7.2	7.2
2. ความชื้น เปอร์เซนต์	0.086	0.086
กก./ชม.	0.619	0.619
3. ชั่งข้าวโพดแห้ง กก./ชม.	6.58	6.58
4. เถ้า กก.	0.813	0.403
กก./ชม.	0.34	0.17
5. สารระเหย กก./ชม.	6.24	6.41
6. ความชื้นในอากาศเข้า กก./ชม.	1.16	0.44
7. ความชื้นในเชื้อเพลิง เปอร์เซนต์	0.086	0.086
กก./ชม.	0.64	0.64
8. ความชื้นจากปฏิกิริยาเคมี กก./ชม.	3.55	3.55
9. ปริมาณความชื้นที่ได้จากการเผาไหม้ กก./ชม.	5.38	4.63
10. ก๊าซแห้ง กก./ชม.	59.1	19.8
11. ก๊าซแห้ง + ปริมาณความชื้นของการเผาไหม้ กก./ชม.	64.44	24.42
12. 100% อากาศ กก./ชม.	58.2	18.01
13. ปริมาณอากาศทั้งหมด	64.44	24.42
14. ปริมาณส่วนเกิน กก./ชม.	6.24	6.41
15. สัดส่วนอากาศทั้งหมด กก./ชม.	1.10	1.36
16. เปอร์เซนต์อากาศเกิน เปอร์เซนต์	10.00	36.00

4. ไถ้, ด้าน หมายถึง มวลแห้งที่เหลือจากการเผาไหม้ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)  
จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.9)

$$\begin{aligned} \text{ไถ้, ด้า}น &= \text{ปริมาณไถ้+ด้า}น(\text{ทศนิยม}) \times \text{มวลเชื้อเพลิงชื้น} \\ &= (0.813/17.5) \times 7.2 \\ &= 0.34 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

5. สารระเหย หมายถึง ส่วนของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$$\begin{aligned} \text{สารระเหย} &= \text{เชื้อเพลิงแห้ง} - \text{ไถ้, ด้า}น \\ &= 6.58 - 0.34 \\ &= 6.24 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

6. ความชื้นในอากาศ

จาก Psychrometric chart (สมชาติ, 2528)

ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก 25 °ซ และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 30 °ซ

ได้สัดส่วนความชื้นต่อปริมาณอากาศแห้ง = 0.018 (กก.น้ำ/กก.อากาศแห้ง)

จากการคำนวณพื้นที่ไต้กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศออก

และเวลา (กราฟรูปที่ 5.6) ได้น้ำหนักของอากาศ = 150.36 กิโลกรัม

นั่นคืออากาศชื้นทั้งหมด = 150.36 กิโลกรัม

1 กิโลกรัมอากาศแห้งมีน้ำ = 0.018 กิโลกรัม

ดังนั้นอากาศชื้น = 1.018 กิโลกรัม

อากาศชื้น 1.018 กิโลกรัม มีน้ำอยู่ 0.018

"---" 1 "-----" = 0.018 x 1/1.018

อากาศชื้น 150.36 กิโลกรัมมีน้ำ = 0.018 x 150.36

ความชื้นในอากาศมีน้ำ = 2.71 กิโลกรัม/140 นาที

= 1.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง

## 7. ความชื้นในเชื้อเพลิง

ซังข้าวโพด มีความชื้น	=	8.6%
ใช้ซังข้าวโพด	=	17.35 กิโลกรัม
น้ำในซังข้าวโพด	=	(8.6/100) (17.35)
จะมีน้ำในซังข้าวโพด	=	1.49 กิโลกรัม/140นาที่
	=	0.64 กิโลกรัม/ชั่วโมง

## 8. ความชื้นที่เกิดจากการรวมตัวของไฮโดรเจนในซังข้าวโพดกับออกซิเจน

$$\text{สูตรโมเลกุลของซังข้าวโพด} = \text{CH}_{1.5136} \text{O}_{0.7320}$$

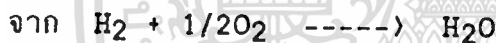
$$\text{CH}_{1.5136} \text{O}_{0.7320} \text{ มีน้ำหนักโมเลกุล} = 25.248 \text{ โมเลกุล}$$

$$\text{แสดงว่า 1 กิโลเมตรของ } \text{CH}_{1.5136} \text{O}_{0.7320} \text{ มีอะตอมของ H} = 1.5136 \text{ กิโลโมล}$$

$$\text{ดังนั้น } 25.248 \text{ กิโลกรัมของ } \text{CH}_{1.5136} \text{O}_{0.7320} \text{ มี H} = 1.5136 \text{ กิโลกรัม}$$

$$1 \text{ "-----"} = 1.5136/25.248$$

$$1 \text{ กิโลกรัม } \text{CH}_{1.5136} \text{O}_{0.7320} \text{ มี H} = 0.06 \text{ กิโลกรัม}$$



$$2 \text{ กก.} \quad \quad \quad 18 \text{ กก.}$$

$$1 \text{ กก.} \quad \quad \quad 9 \text{ กก.}$$

ไฮโดรเจน 1 กิโลกรัมทำปฏิกิริยากับ  $\text{O}_2$  ได้น้ำ 9 กิโลกรัม

ซังข้าวโพด 1 กิโลกรัมมีปริมาณ H อยู่ h กิโลกรัม

ก๊าซร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัมมีน้ำ =  $9 \times 0.06$  กิโลกรัม

1 กิโลกรัมเชื้อเพลิง จะได้น้ำจากการสันดาป = 0.54 กิโลกรัม

ทั้งหมดใช้ซังข้าวโพดแห้ง 6.58 กิโลกรัม/ชม.

น้ำที่เกิดจากการรวมตัว =  $6.58 \times 0.54 = 3.55$  กิโลกรัม/ชั่วโมง

9. ความชื้นที่เกิดจากการสันดาปทั้งหมด =  $1.16 + 0.64 + 3.55$  กิโลกรัม/ชั่วโมง

ความชื้นเกิดจากการสันดาปซังข้าวโพด = 5.35 กิโลกรัม/ชั่วโมง

10. ก๊าซแห้ง หมายถึง ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยไม่รวมความชื้นที่เกิดขึ้น  
จาก ก๊าซชื้น = ก๊าซแห้ง + ความชื้น

$$= 150.36 \text{ กิโลกรัม/140 นาที} = 64.64 \text{ กก./ชม.}$$

$$\text{ก๊าซแห้ง} = 64.44 - 5.35$$

$$\text{จะได้ก๊าซแห้ง} = 59.1 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

11. ก๊าซแห้ง+ปริมาณความชื้นจากการเผาไหม้ = ผลบวกของก๊าซแห้งและอัตราความชื้นที่ได้  
จากการเผาไหม้ ใช้ในการหาปริมาณอากาศที่ต้องการในการเผาไหม้

$$\text{ก๊าซแห้ง} + \text{ปริมาณความชื้นจากการเผาไหม้} = 59.1 + 5.35$$

$$= 64.44 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

12. 100 เปอร์เซ็นต์ต่ออากาศ เป็นอากาศที่ต้องการใช้ในการเผาไหม้สมบูรณ์

$$\text{ก๊าซแห้งและความชื้นที่ได้จากการเผาไหม้} = \text{สารระเหย} + \text{อากาศที่ให้}$$

$$\text{อากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์(100% อากาศ)} = 59.1 + 5.35 - 6.24$$

$$= 58.2 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

13. ปริมาณอากาศทั้งหมด = ปริมาณอากาศที่เข้าสู่เตาสันดาป(กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

$$= 64.44 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

14. ปริมาณอากาศส่วนเกิน(กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$$= \text{ปริมาณอากาศทั้งหมด} - \text{ปริมาณอากาศที่ต้องการเผาไหม้สมบูรณ์}$$

$$= 64.44 - 58.20 = 6.24 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง}$$

15. สัดส่วนอากาศทั้งหมด หมายถึง อากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ ประสิทธิภาพ  
(effective Combustion) เป็นฟังก์ชันของสภาพทางกายภาพของเชื้อเพลิง(ก๊าซ,  
ของเหลว, หรือของแข็ง) และสมรรถนะของอุปกรณ์เผาไหม้ เช่น

$$\text{หากต้องการอากาศเกิน 25% สัดส่วนของอากาศทั้งหมด} = 0.25 + 1 = 1.25$$

$$\text{สัดส่วนของอากาศทั้งหมด} = \frac{\text{ปริมาณอากาศทั้งหมด(กิโลกรัม/ชั่วโมง)}}{\text{ปริมาณอากาศสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์}}$$

$$= \frac{64.44}{58.2} = 1.10$$

$$\text{ปริมาณอากาศเกิน} = 10\%$$

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นการทดลอง A มีปริมาณอากาศเกินประมาณ 10% ส่วนการทดลอง B มีปริมาณอากาศเกิน 36% โดยที่ปริมาณก๊าซขึ้นออกจากปล่องควัน มีค่าเท่ากับ 64.44 , 24.24 กิโลกรัม/ชั่วโมง สำหรับการทดลอง A และ B ตามลำดับ ซึ่งการทดลอง B น้อยกว่า A มากผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับข้อมูลทางทฤษฎีโดยที่ทั้งการทดลอง A, B ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากการวัดอัตราการอากาศเข้าเตาสันดาปซึ่งมีค่าต่ำมากใช้เครื่องวัดที่ความไวต่ำ ทำให้ผลการวัดไม่แน่นอนและอัตราการไหลออกจากปล่องควันที่ใช้การคำนวณแทนการวัดโดยตรง



## 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การทดลอง A และ B จะมีการสูญเสียความร้อนทางปล่องไฟค่อนข้างมาก

1. เนื่องจากการระบายความร้อนในช่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำกัด จึงควรมีการระบายความร้อนออกจากช่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามเวลา

2. ควรมีการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนที่แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยทำเป็นครีป รอบครึ่งทรงกระบอก

3. ควรเพิ่มระยะทางที่ก๊าซร้อนออกจากช่องสันดาปไปยังปล่องควันให้มากขึ้น ให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นก่อนที่จะออกจากปล่องไฟ

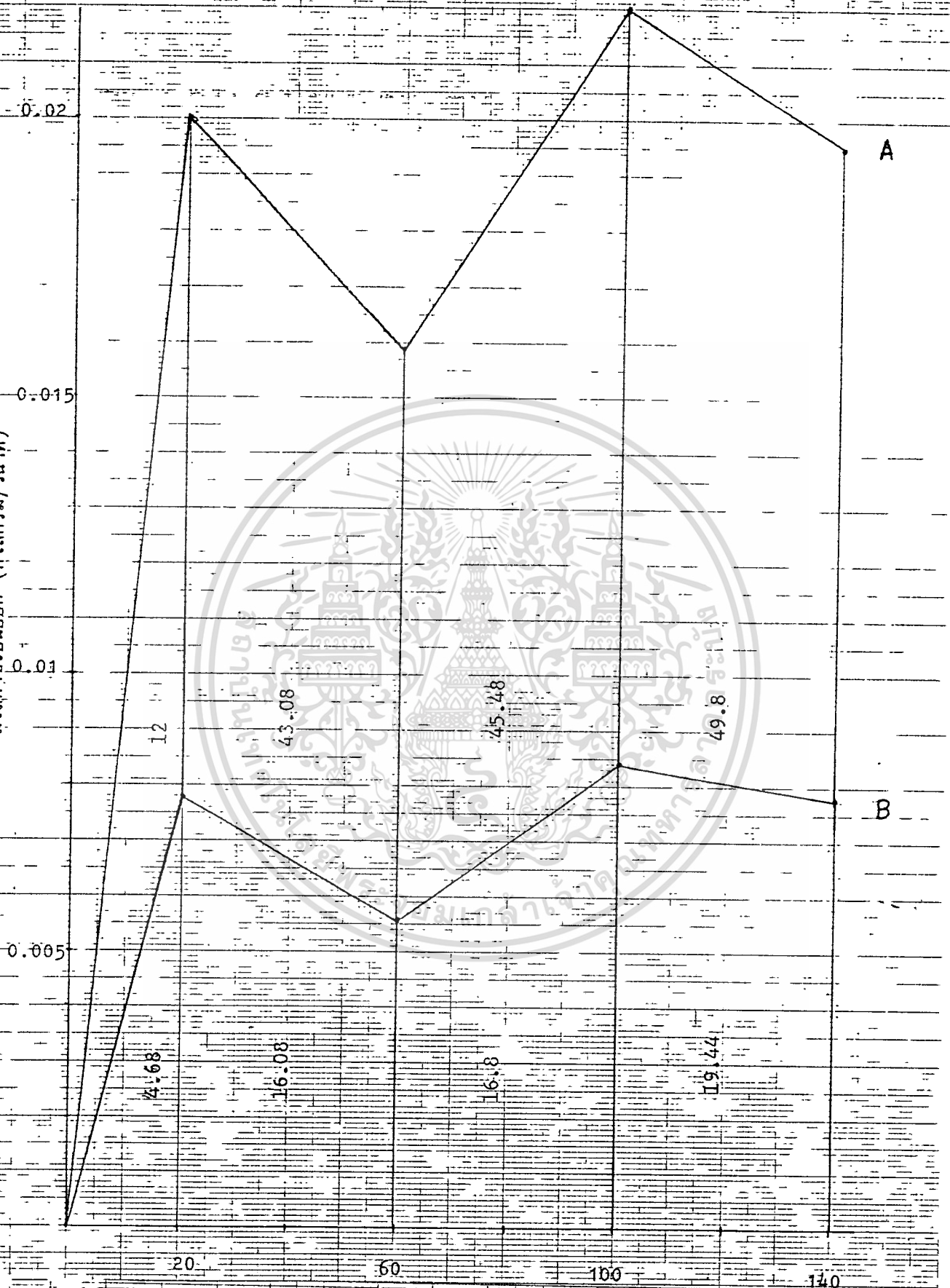
5.4.2 ถึงแม้ว่าการสันดาปในแบบ A ซึ่งให้มีปริมาณอากาศเข้ามากกว่าแบบ B สันดาปได้ดีกว่าแต่เพื่อให้มีการสันดาปในช่องสันดาปด้านบนเชื้อเพลิงดีขึ้น ควรเจาะช่องที่ผาด้านหน้าของช่องสันดาป โดยมีแผ่นเปิด-ปิดมิให้อากาศเข้าไปสันดาปกับก๊าซร้อนที่ยังไม่ได้ลุกไหม้ก่อนออกจากเตาไป

5.4.3 ตะแกรงเผา จากการสังเกตการเคลื่อนตัวของขังข้าวโพดในตะแกรงจะเคลื่อนตัวได้ลำบาก จึงทำให้ขังข้าวโพดมากองอยู่ที่บริเวณปากรางสกรู ทำให้อากาศจากใต้ตะแกรงที่ขึ้นมาช่วยในการสันดาปมีน้อย การแก้ไขการทำให้ตะแกรงเอียงลงต่ำมุม เพื่อให้ขังข้าวโพดเคลื่อนตัวได้สะดวกขึ้น

5.4.4 ช่องสันดาป จากลักษณะเปลวไฟที่ลุกติดพุ่งขึ้นมาติดที่เพดาน วัสดุที่ใช้ควรใช้เหล็กทนไฟ จากรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าช่องสันดาปจะเป็นส่วนที่ต้องชำระก่อนเพราะเปลวไฟ

5.4.5 เนื่องจากเตามีน้ำหนักมาก ทำให้ลำบากในการเคลื่อนย้าย ควรติดล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย

5.4.6 เครื่องมือวัดความเร็วอากาศเข้าที่ใช้มีความไวต่ำและอุปกรณ์เก็บก๊าซและเขม่าที่สร้างขึ้นมา ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจผิดพลาดได้มาก อย่างไรก็ตามก็เพียงพอที่จะประมาณสมรรถนะของเตาสันดาปได้

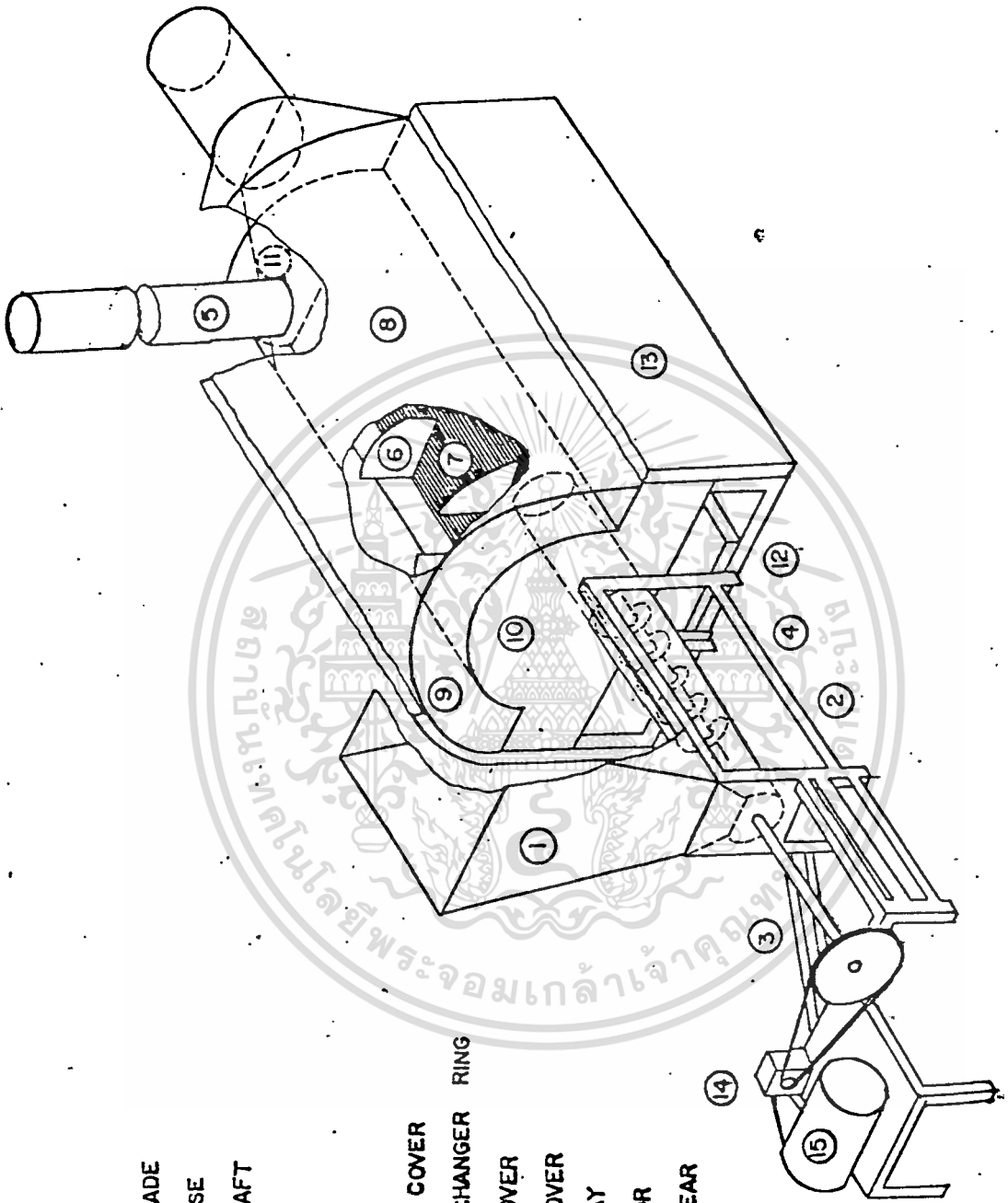


รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลอากาศที่ออกและเวลา

เวลา (นาที)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- 1 HOPPER
- 2 SCREW BLADE
- 3 SCREW CASE
- 4 SCREW SHAFT
- 5 STACK
- 6 BAFFLE
- 7 GRATE
- 8 FURNACE COVER
- 9 HEAT EXCHANGER RING
- 10 FRONT COVER
- 11 BACK COVER
- 12 ASH TRAY
- 13 INSULATOR
- 14 WORM GEAR
- 15 MOTOR

ISOMETRIC FIGURE OF BIOMASS COMBUSTOR.

รูปที่ A1 เตาสับคานชีวมวลแบบมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19	ASH TRAY	B D
18	BAFFLE	D
17	BACK COVER	D
16	FRONT COVER	D
15	HOPPER	B F L
14	BEARING $\phi 30$	U
13	WORM GEAR 1:60	U
12	MOTOR 1/4 HP	U
11	FRAME OF MOTOR, WORM GEAR	B
10	SCREW SHAFT	H
9	SCREW BLADE	J
8	SCREW CASE	F
7	SUPPORTING FRAME OF SCREW	B
6	STACK	I
5	FURNACE COVER	E
4	HEAT EXCHANGER PLATE	D
3	GRATE	G O
2	SUPPORTING BODY	A D
1	SUPPORTING FRAME	A

No

PARTS

MATERIALS

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

TABLE OF PARTS

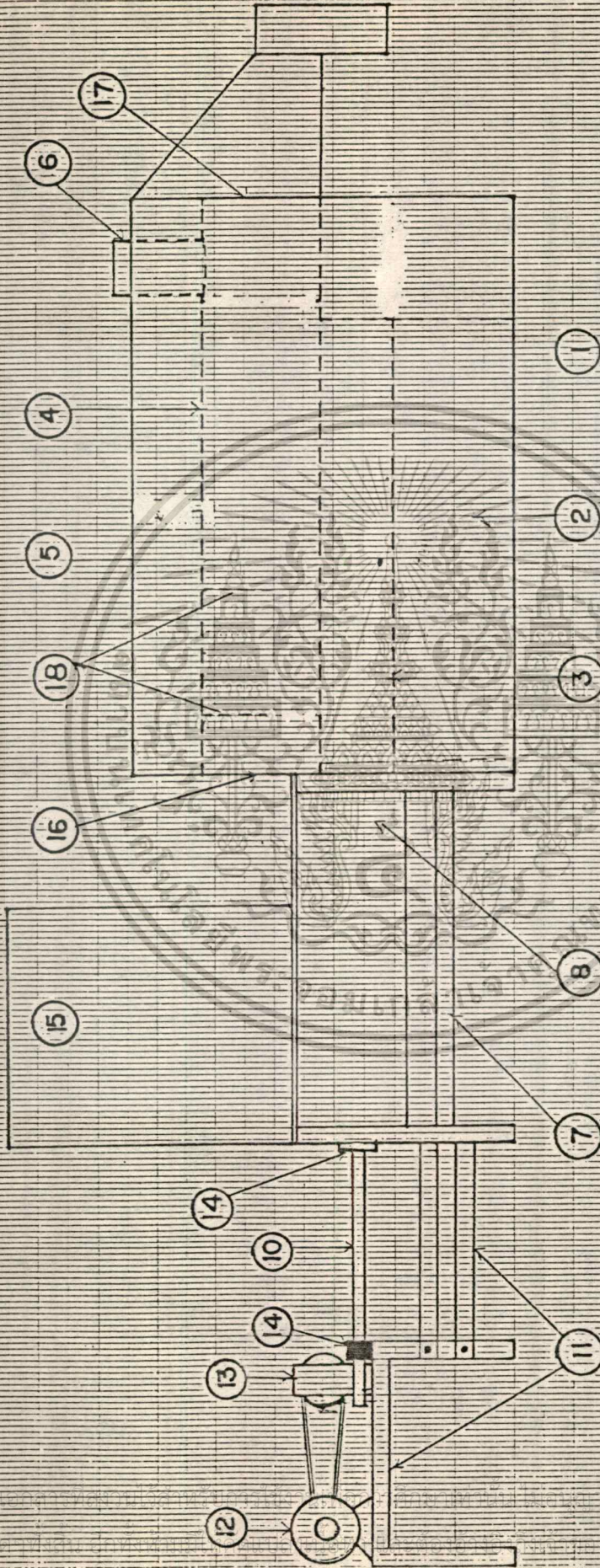
U	UNIDENTIFIED MATERIALS	
O	FLAT BARS	35x3
N	BOLT , NUT	M6
M	BOLT , NUT	M10
L	SHOP RIVETS	∅3
K	GRATE STEEL	∅6x4
J	SCREW BLADE	∅180
I	PIPE STEEL	∅120x4
H	SHAFT	∅30
G	DEFORMED BARS	∅10
F	SHEET STEEL	1.2
E	SHEET STEEL	1.4
D	SHEET STEEL	4.6
C	ANGLE BARS	38x38x5
B	ANGLE BARS	20x20x2
A	ANGLE BARS	50x50x5

No

MATERIALS

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

TABLE OF MATERIALS

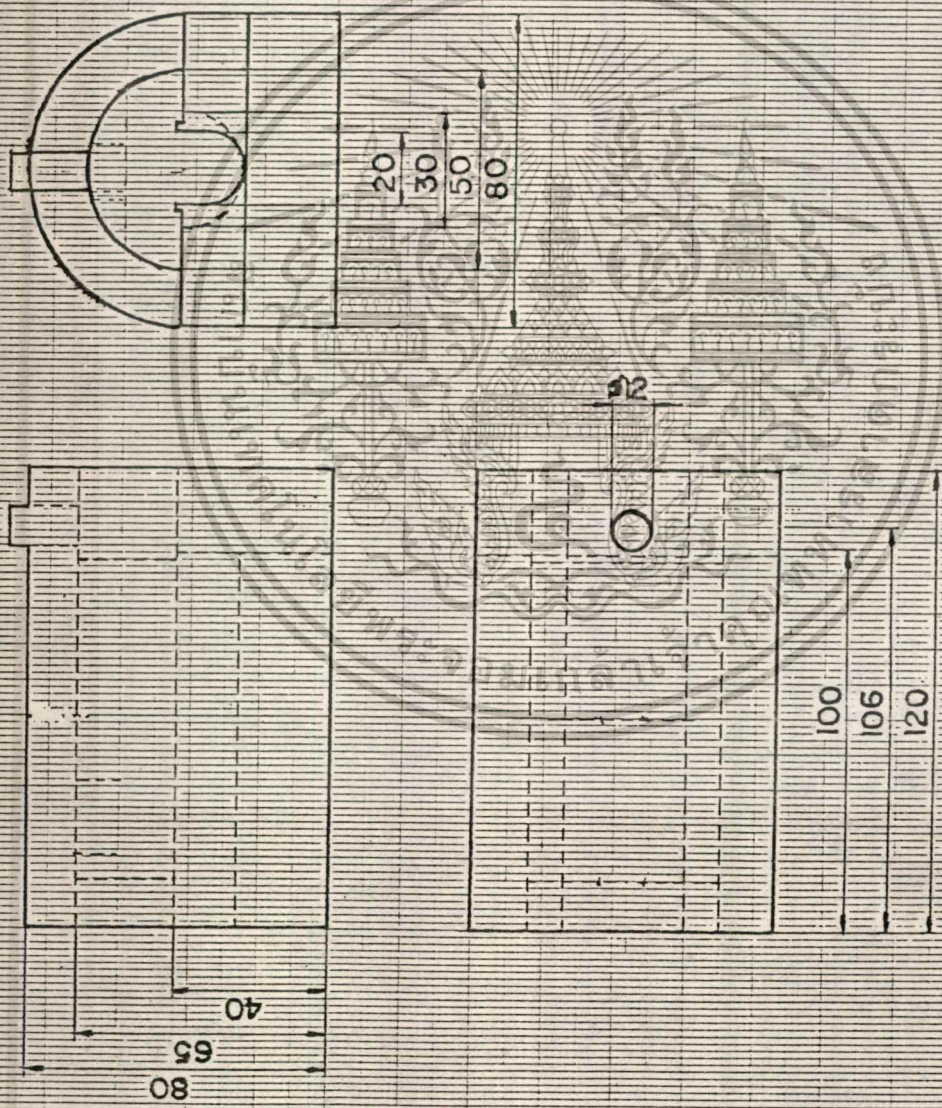


SCALE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

BIOMASS COMBUSTOR DIAGRAM

23 DECEMBER 1989

1:12



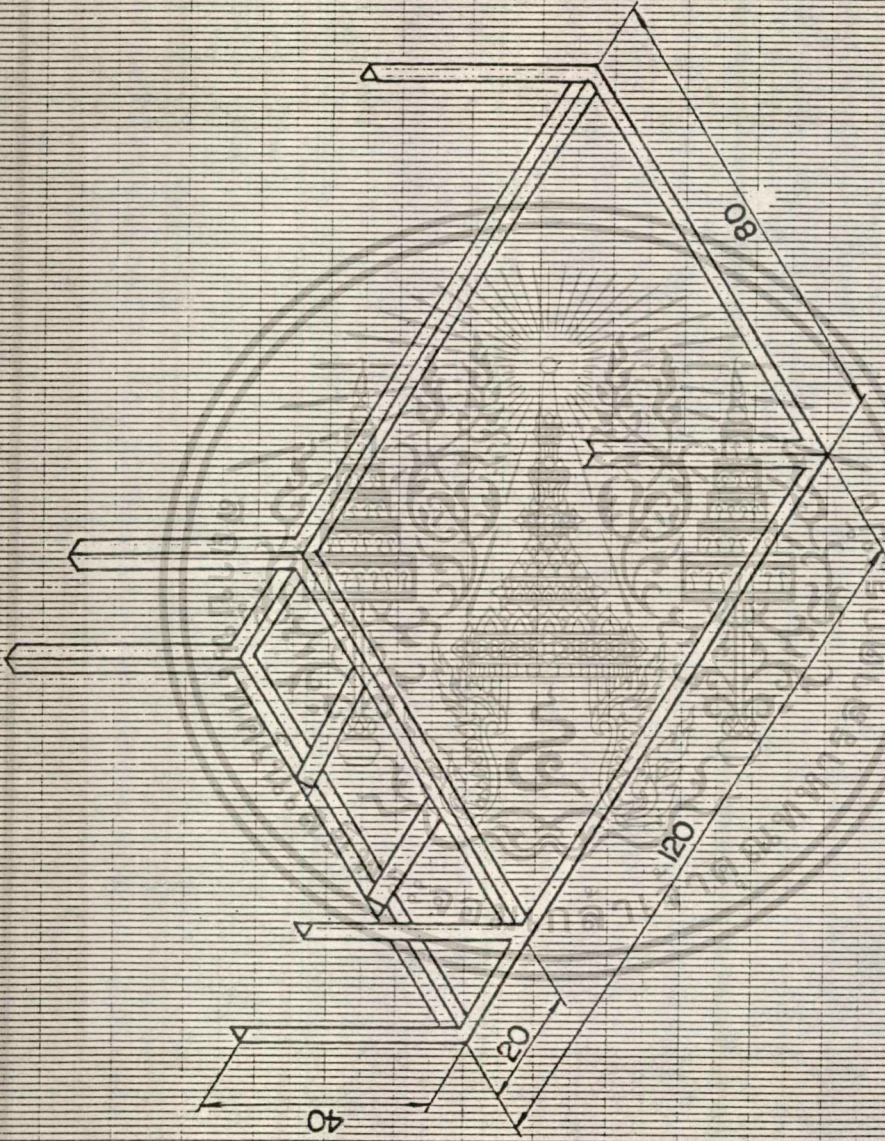
SCALE

1:18

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

THREE VIEWS OF COMBUSTOR

16 DECEMBER 1989



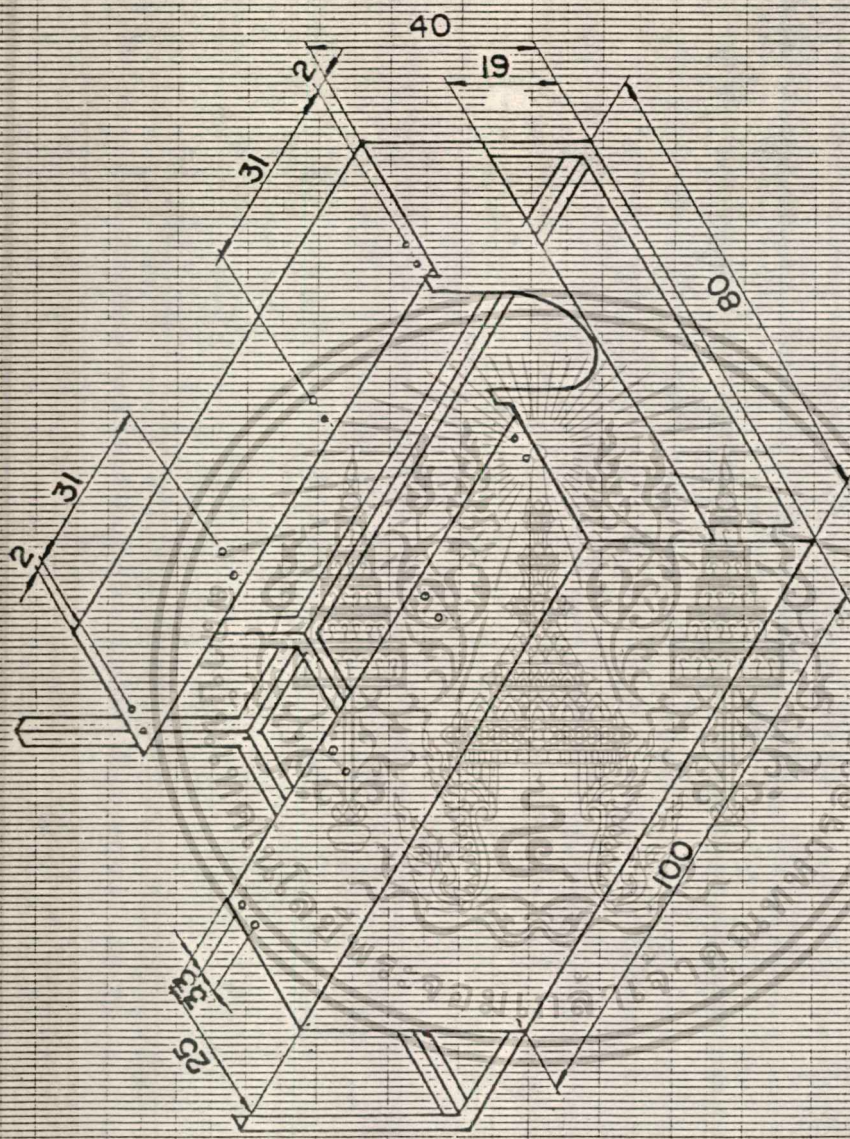
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

16 DECEMBER 1989

SUPPORTING FRAME

SCALE

1:12



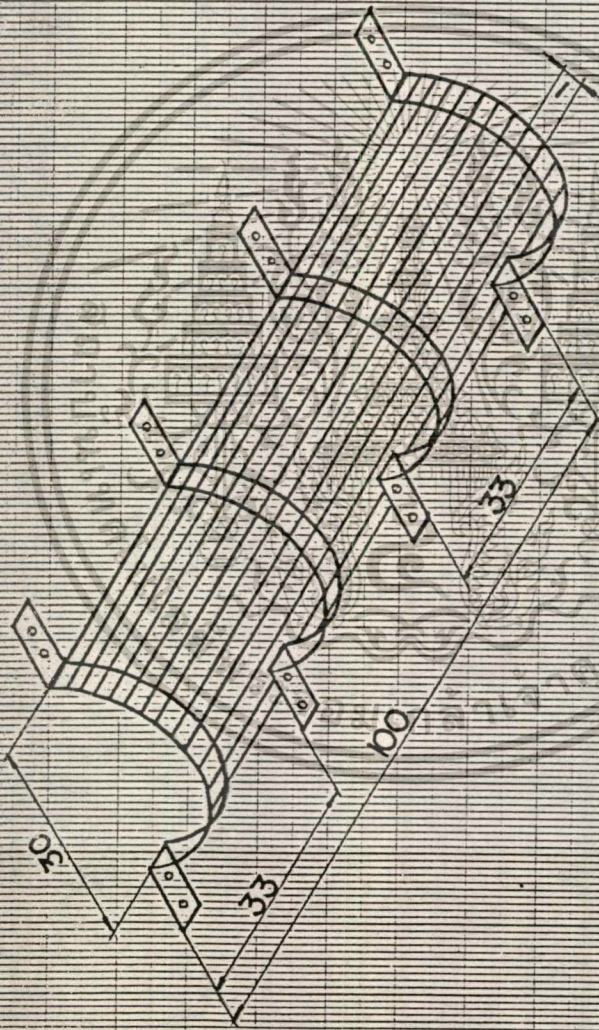
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

SCALE

SUPPORTING BODY

1:12

16 DECEMBER 1989



SCALE

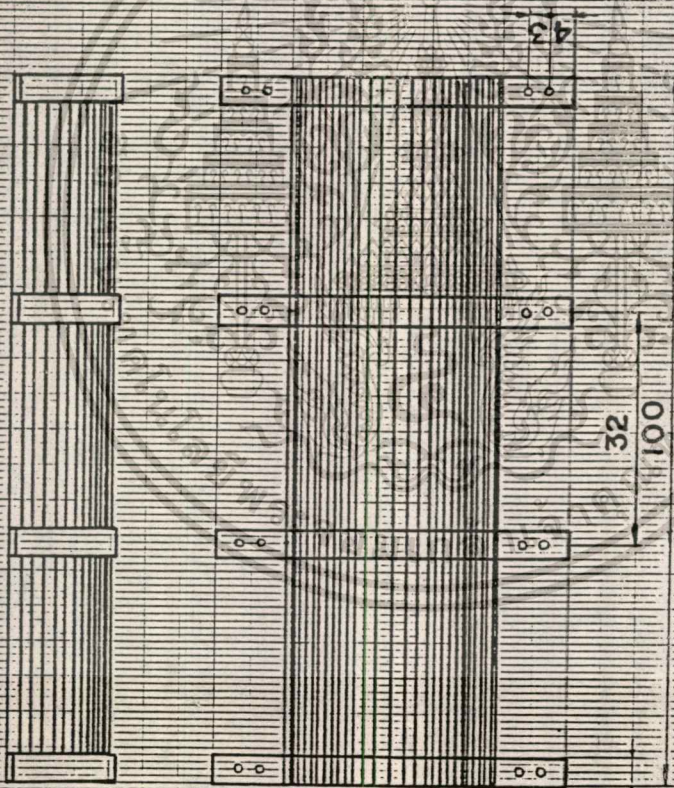
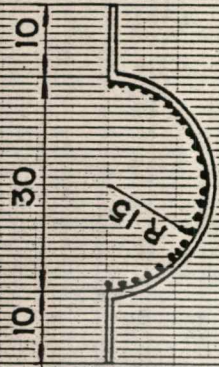
1:10

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL

ENGINEERING

GRATE

16 DECEMBER 1989



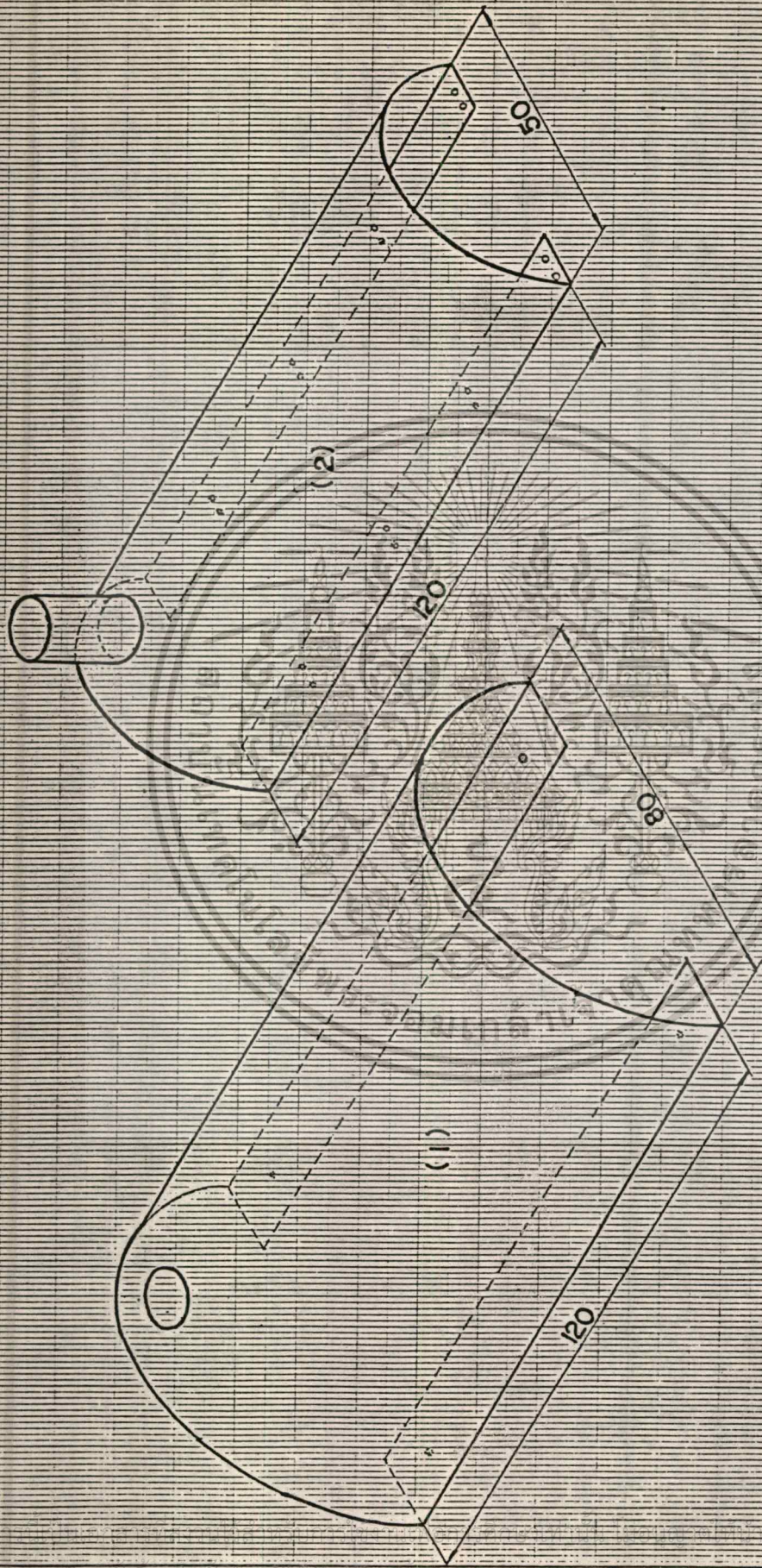
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

SCALE

16 DECEMBER 1989

GRATE

1:10



DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

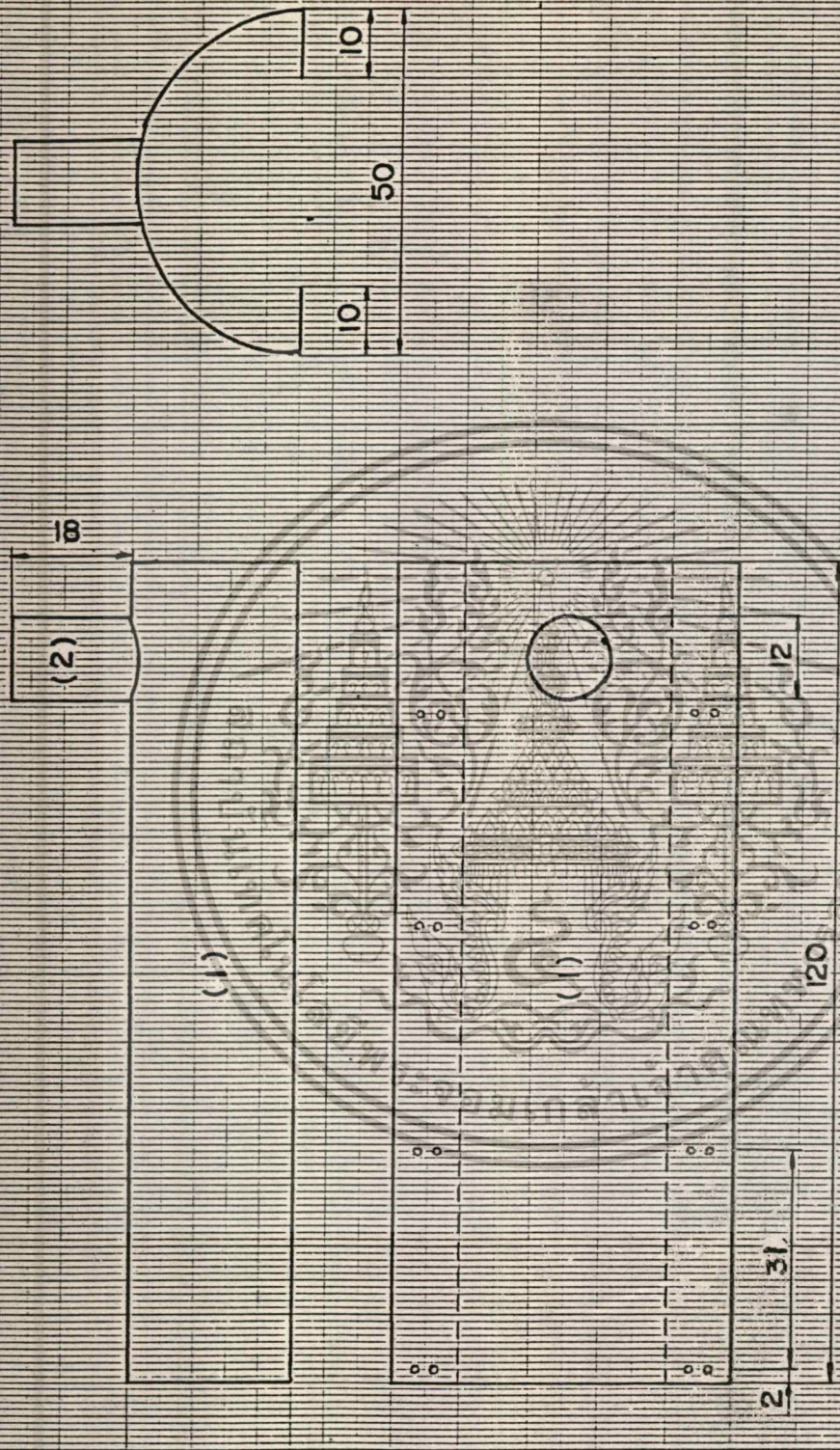
SCALE

16 DECEMBER 1989

FURNACE COVER, HEAT EXCHANGER

1:2

(1) (2)



SCALE

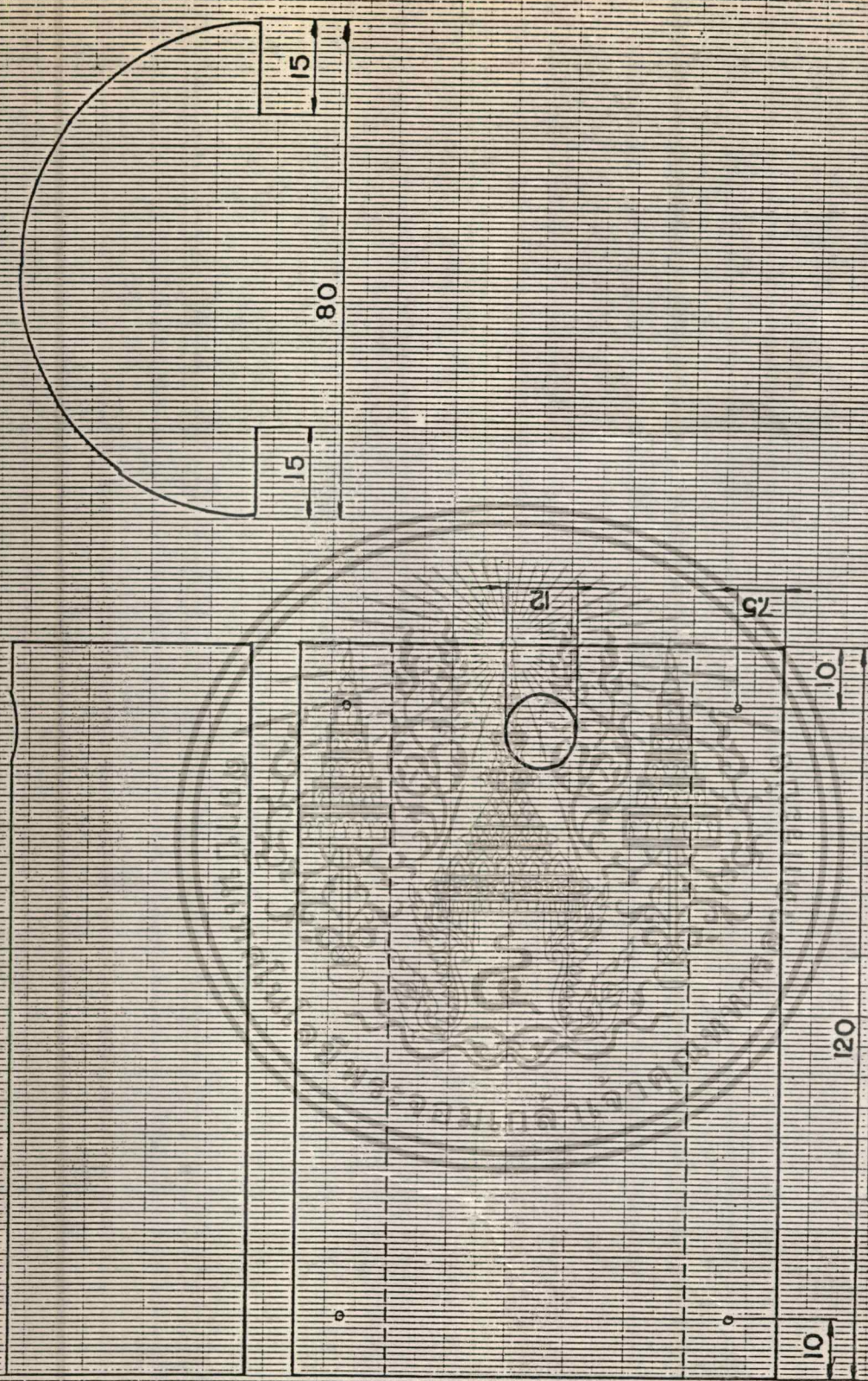
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

1:10

(1)

HEAT EXCHANGER FLATE, STACK

16 DECEMBER 1989



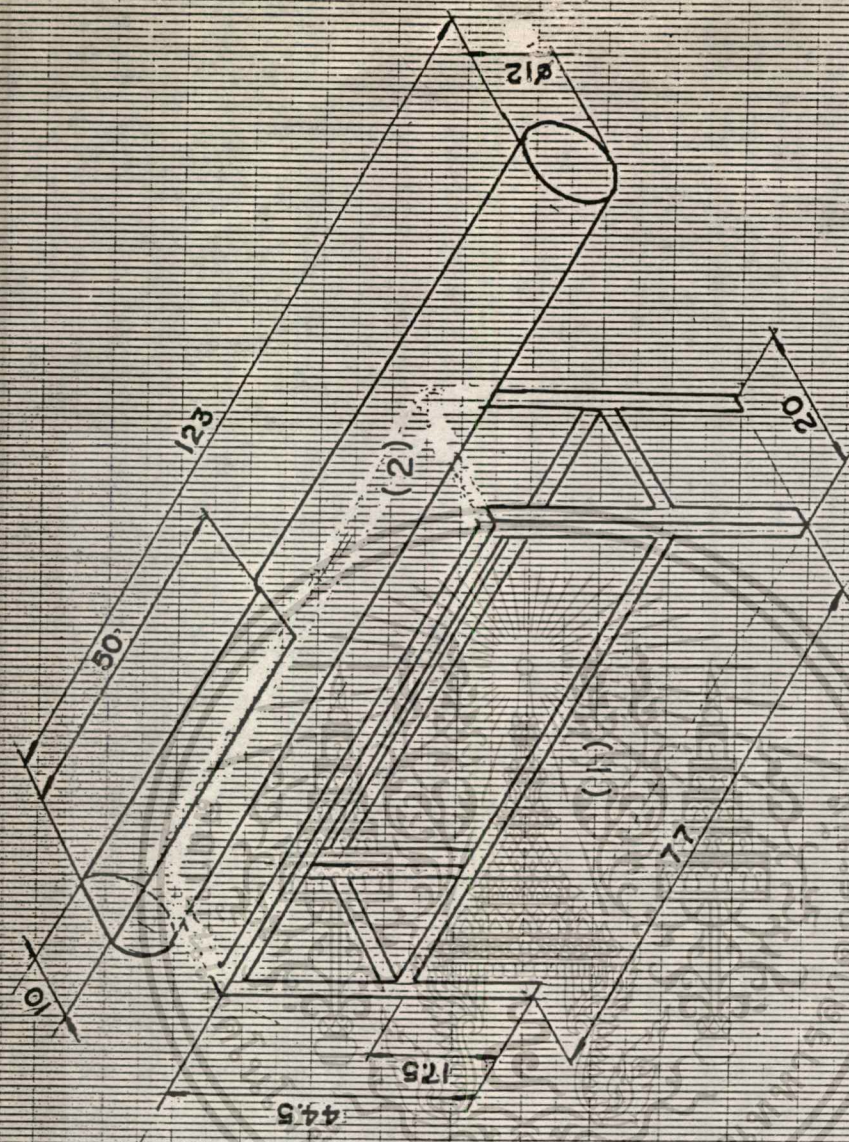
SCALE

1:10

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

FURNACE COVER

16 DECEMBER 1989



DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

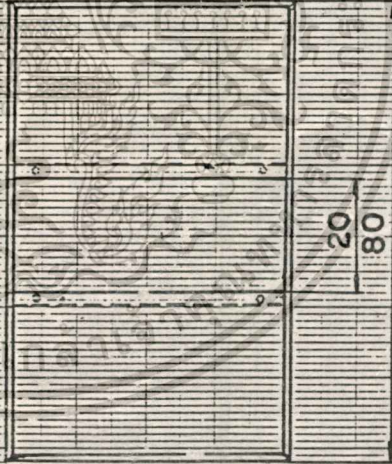
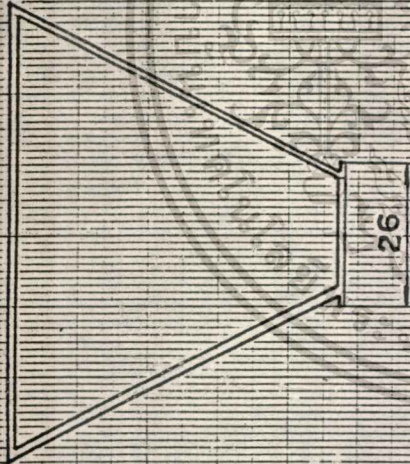
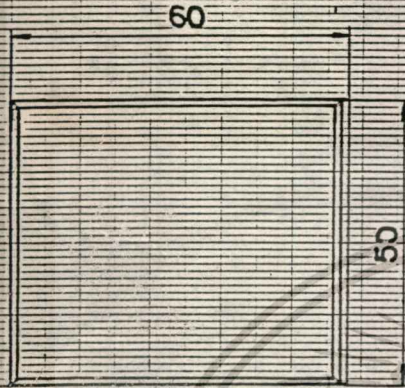
SCALE

16 DECEMBER 1989

SUPPORTING SCREW CASE

1:10

(1) (2)



DEPARTMENT OF AGRICULTURE - ENGINEERING

SCALE

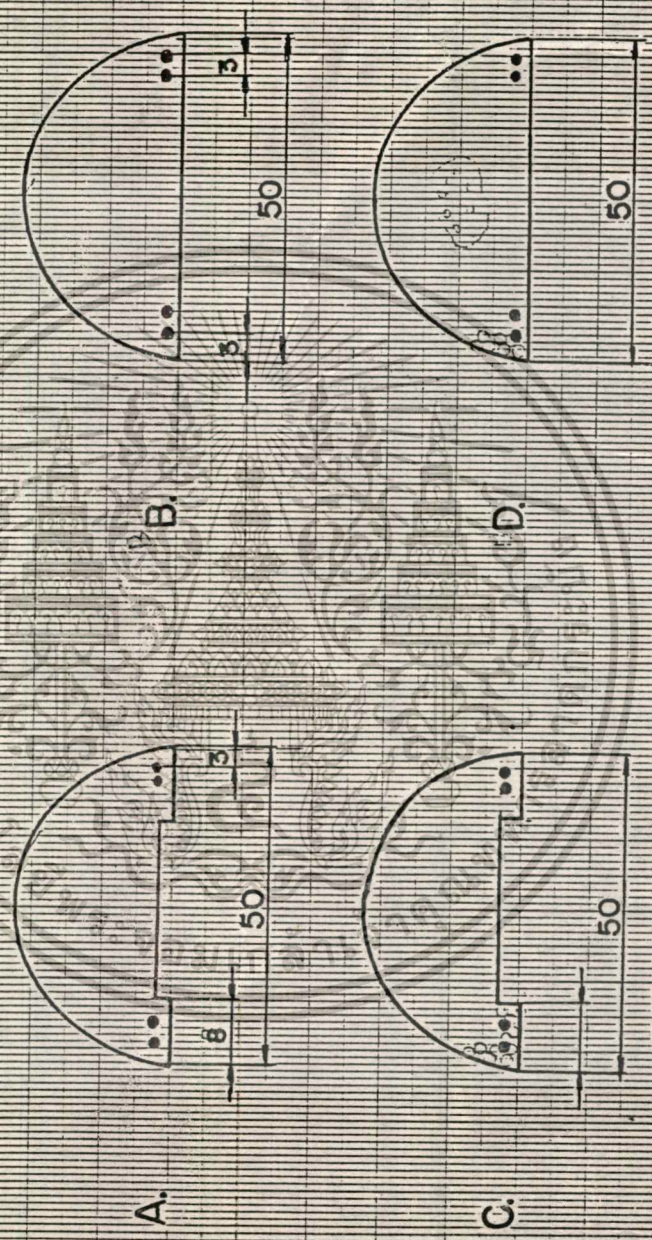
HOPPER

16 DECEMBER 1989

1:12

A SOLID FRONT COVER      B SOLID BACK COVER

C PERFORATED FRONT COVER      D PERFORATED BACK COVER



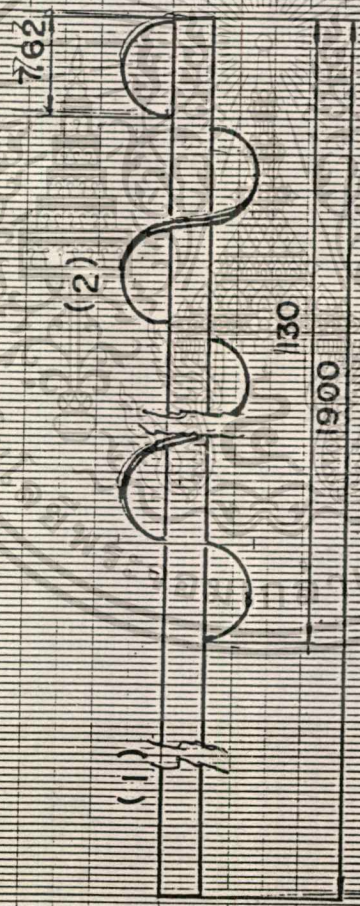
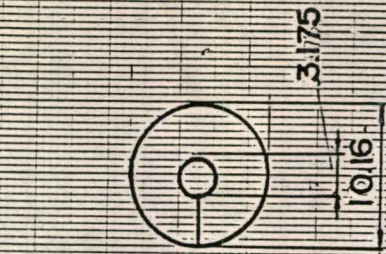
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

SCALE

1:12

FRONT COVER , BACK COVER

6 DECEMBER 1989



SCALE

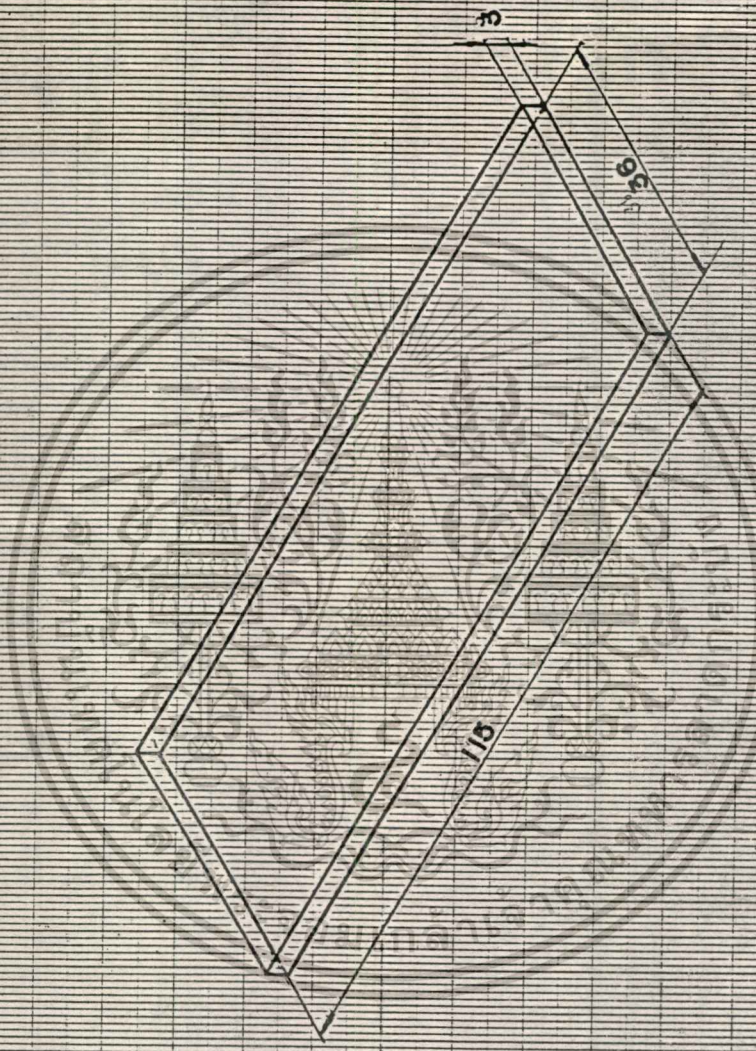
1:5

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

(1) SCREW SHAFT, SCREW BLADE (2)

16 DECEMBER 1989

วันที่ 16 ธันวาคม 1989



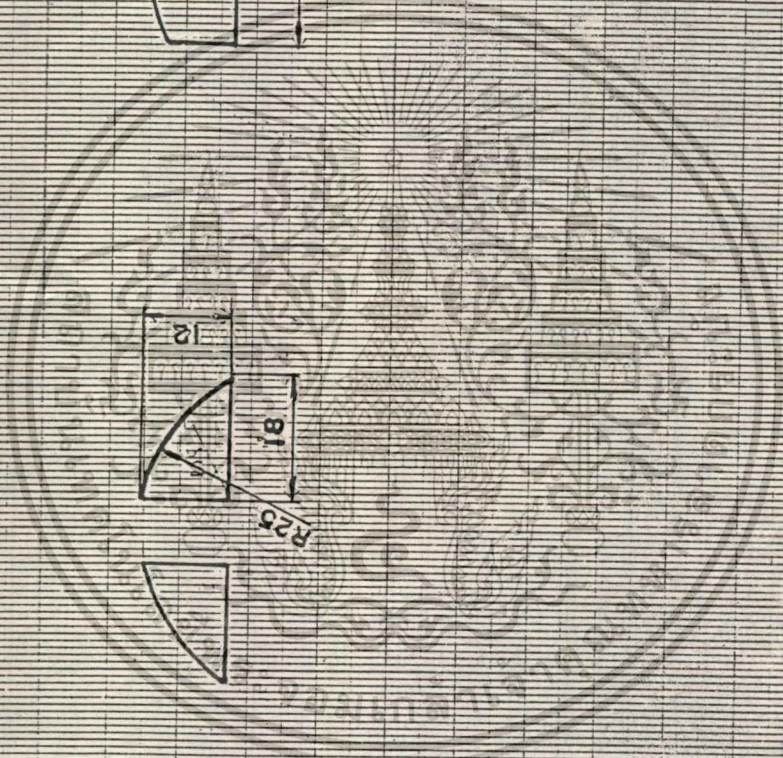
SCALE

.10

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

ASH TRAY

16 DECEMBER 1989



SCALE

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ENGINEERING

1:10

BAFFLE

23 DECEMBER 1989

## กิติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเกษตรนี้ ได้เริ่มต้นโครงการตั้งแต่ชั้นภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2532 จนกระทั่งสิ้นสุดลงด้วยความเรียบร้อยในปลายภาคการศึกษา 2532 ทั้งนี้ด้วยความอนุเคราะห์จากท่านผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือทั้งทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นผลให้โครงการประสบความสำเร็จได้ ดังจะขอกล่าวนามดังนี้ ศาสตราจารย์-โตชิโอะ อิจิมา อ.ประสิทธิ์ คำพันธ์ ภาควิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง สำนักงานพลังงานแห่งชาติ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ร้านก๊องจิ้นง่วน และที่ไม่อาจลืมที่จะกล่าวได้คือ อ.ปานมนัส ศิริสมบุญ ขอให้ความดีทั้งหลายของรายงานฉบับนี้ ตลบันดาลให้ท่านผู้มีพระคุณทุกท่าน ประสบแต่ความสุข ความเจริญทุกท่านตลอดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. นิยม จันทร์เทพาและธีระ มนต์ธรรม, "การผลิตและใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง", สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 72 หน้า, 2527.
2. โยชิโกะ ทาคามุระ, "เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 264 หน้า, 2525.
3. หลาบ รัชสิริ, "เครื่องยนต์สันดาปภายใน", มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 540 หน้า, 2528.
4. สุชัย ศศิวิมลพันธุ์, "เทคโนโลยีไอน้ำ", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 271 หน้า, 2526.
5. สมชาติ โสภณรณฤทธิ, "การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหาร", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 202 หน้า, 2528.
6. G.R.Breag, A.P. Harker and A.E. Smith, "An introduction to small-scale natural draught wood-fired furnace system", Tropical Development and Research Institute, 33p., 1986.
7. Stephon J. Marley, J.Paul W. Claar II and Wesley F. Buchele, "Development of a Concentric-vortex Agricultural-Residue Furnace", Journal Paper No. J-9878 of the Iowa Agric. and Home Economics Experiment Station, 1978, Iowa State University, Ames. Iowa 50011.
8. J.W. Rose and J.R. Cooper, "Technical Data on Fuel", The British national committee world energy-conference, 297p., 1977.
9. Robert L. Daugherty And Joseph B.Franzini, "Fluid-Mechanics with Engineering Applications", McGraw-Hill Kogakusha, LTD. 564p., 1977
10. Spivakosky A. and V. Dyaehkor, "Conveying Machines 1, 2",