



## รายงานการวิจัย

### เครื่องอบแห้งแบบแผ่รังสี

Radiative Dryer

คณบดีวิจัย

หัวหน้าโครงการ  
นายอ้าไพศักดิ์ ทิบุญมา  
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ร่วมวิจัย  
นายนันทวัฒน์ วีระยุทธ  
นายอนิรุตต์ มัทธุจักร

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
ทุนเดินทางได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547



## A Research Report

### Radiative Dryer

#### Researchers

##### Head of Project

Mr. Umphisak Teeboonma  
Faculty of Engineering  
Ubon Rajathanee University

##### Co-researchers

Mr.Nantawatana	Weerayuth
Mr.Anirut	Mathujak

This Research was Financially Supported from Ubon Rajathanee University  
In Fiscal Year, 2004

หัวข้องานการวิจัย	เครื่องอบแห้งแบบแผ่รังสี
หัวหน้าโครงการวิจัย	นายอ่าไฟศักดิ์ ทีบุญมา
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นายนันทวัฒน์ วีระยุทธ นายอนิรุตต์ มัทธุจักร
คณะกรรมการศาสตร์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีงบประมาณ	2547
งบประมาณที่ได้รับ	40,000 บาท

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบ สร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบแผ่รังสี โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งห้องอบแห้งมีขนาดความจุ 6 กิโลกรัม ในการการทดสอบ สมรรถนะเครื่องอบแห้งได้ใช้ปลาสติกและเนื้อวัวเป็นตัวอย่างในการทดสอบเพื่อทำปลาและเนื้อ แടดเตียว โดยมีเงื่อนไขการอบแห้ง คือ อุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วง 60-80 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ 1.) ปริมาณแกลบที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง คือ 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ได้อุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วง 60-80 องศาเซลเซียส 2.) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 59 เปอร์เซ็นต์ 3.) จากการวิเคราะห์ ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนการผลิตปลาและเนื้อแടดเตียวมีค่าเท่ากับ 2.1 และ 1.4 บาท ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ (Keywords): การอบแห้ง / เชื้อเพลิงชีวมวล / แกลบ

Research Title                    Radiative Dryer  
Head of Project                 Mr.Umphisak                 Teeboonma  
Co-researchers                 Mr.Nantawatana             Weerayuth  
                                       Mr.Anirut                     Mathujak  
Faculty of Engineering Ubon Rajathanee University  
In Finance Year                 2004 for 40,000 Bath

### Abstract

The objective of this work was to design, construct, and test the performance of radiative hot air dryer using rice husk as fuel. The dryer has a capacity of 6 kg. To evaluate the performance of the dryer as well as product sun-dried fish and beef, snake skin gourami (*trichogaster pectoralis*) and beef were selected as testing materials. The experiments were carried out at drying air temperatures of 60–70 °C.

The experimental results can be summarized as the followings: First, suitable quantity of rice husk is 0.5 kg/hr, which provides drying air temperatures of 60–70 °C. Secondary, the thermal efficiency of the dryer constructed in this work is approximately 59 percents. Finally, the economic analysis revealed that the production costs of sun-dried fish and beef are 2.1 and 1.4 Baht/kg, respectively.

Keywords: Drying / Biomass fuel / Rice husk

## กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการเพื่อทำงานวิจัยในครั้งนี้ ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์และสำเร็จด้วยดี ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจากผู้เกี่ยวข้องหลาย ๆ ท่าน คณะกรรมการขอขอบคุณคณะกรรมการศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมืออย่างฯ อย่าง และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2547

คณะกรรมการ

มีนาคม 2548

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
 บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
 บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การออกแบบ	20
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	30
3.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล	31
3.4 เครื่องมือวัด	31
 บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสม	32
4.2 ลักษณะพฤติกรรมการอบแห้ง	34
4.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบ	36
4.4 การวิเคราะห์เชิงความร้อน	39
4.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	47

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุป	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	54
ประวัตินักวิจัย	55

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ	21
3.2 ส่วนประกอบของแกลบ	21

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเคลื่อนที่ของความชันระหว่างการทำแท็ง	5
2.2 เส้นกราฟกระบวนการทำแท็ง	7
2.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง	8
2.4 แสดงองค์ประกอบของชิวนมวล	9
2.5 ขนาดและตัวแหน่งวัดอุณหภูมิของเตาเผาใหม่ VFBC	15
2.6 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาใหม่ VFBC	16
2.7 แผนภาพของการติดตั้งระบบชุดทดลอง	16
2.8 รูปร่างของเตาเผาอิร์เทคแบบสองชั้น	17
2.9 ลักษณะของเตาเศรษฐกิจ	18
2.10 เครื่องอบแห้งผักและผลไม้แบบอุ่นคงค์	19
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการเผาแกลบ	22
3.2 หลักการทำงานของห้องเผาใหม้	23
3.3 หลักการทำงานและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้ง	24
3.4 ขนาดและลักษณะของห้องอบแห้ง	26
3.5 ขนาดและลักษณะห้องเผาใหม้	27
3.6 ขนาดและลักษณะของฝาปิดห้องอบ	27
3.7 ขนาดและลักษณะของห้องเผาใหม้	28
3.8 ขนาดและลักษณะของที่ตักและกระแทกแกลบ	28
3.9 ขนาดและลักษณะของท่อน้ำเปล่าไฟ	29
3.10 ลักษณะเครื่องอบแห้งที่ออกแบบสมบูรณ์	29
3.11 การวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ของเตาอบ	30
4.1 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เมื่อใช้แกลบ 0.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	32
4.2 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เมื่อใช้แกลบ 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	33
4.3 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เมื่อใช้แกลบ 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเนื้อ 6 กิโลกรัม	34
4.4 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาที่ผ่านการทำแท็ง	35
4.5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาที่ผ่านการทำด้วยเครื่อง	35
4.6 ปลาแท็งเดียวที่ได้จากการทำแท็ง	36
4.7 ปลาแท็งเดียวที่ได้จากการอบ	37
4.8 เนื้อแท็งเดียวที่ได้จากการทำแท็ง	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 เนื้อแฉดเตี้ยวที่ได้จากเครื่องอบ	38
4.10 ปลาอบสุกที่ได้จากเครื่องอบ	39
4.11 ไก่อบสุกที่ได้จากเครื่องอบ	39
4.12 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียพลังงานในส่วนต่าง ๆ สำหรับกรณีอบเนื้อ	46
4.13 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับกรณีของปลาแฉดเตี้ยว	49
4.14 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับกรณีของเนื้อแฉดเตี้ยว	51

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ประชาชนในประเทศไทยนิยมประกอบอาหารโดยการอบแห้งและย่าง นอกจากนี้แล้วยังใช้ การอบแห้งหรือย่างเพื่อใช้ดูดน้ำอาหารในช่วงเวลาที่มีปริมาณมากเกินความต้องการ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า [1] การปั้งหรือย่างโดยวิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือให้เปลาไฟหรือควันไฟ ส้มผัสดับผลิตภัณฑ์โดยตรง เป็นสาเหตุอย่างหนึ่งของการเกิดโรคมะเร็งซึ่งพบว่ามีสารเคมีที่พบในการประกอบอาหารประเภทปั้งหรือย่าง คือ สารเชทเทอโรซิคลิกเอมีน (Heterocyclic Amines) โพลีไซคลิคอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ซึ่งสารเคมีจำพวกนี้เกิดจากการปั้งย่างที่ไม่เหมือนกัน 2 ประการ คือ

1. ใช้ไฟแรงจนอาหารที่ย่างนั้นไหม้เกรียม
2. เกิดจากควันไฟส้มผัสดับอาหารโดยตรง

นอกจากนี้ยังมีสารเคมีจำพวก ในไตรามีน(Nitrosamine) ซึ่งเป็นสารเคมีที่เกิดจากก๊าซในโตรเจนออกไซด์ในควันไฟทำปฏิกิริยากับสารอะมีน (Amines) หรือสารเคมีที่ได้จากการละลายตัวของโปรตีนและ พบ Dicarbonyl Compound พวก Methyl glyoxal, Glyoxal และ Diacetyl ในอาหารที่ผ่านความร้อนบางชนิด และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดมะเร็งในตับ มะเร็งในกระเพาะอาหาร และมะเร็งในลำไส้ใหญ่ วิธีการป้องกันและลดความเสี่ยงจากการบริโภคอาหารที่ปั้ง ย่าง เผา ทอด ไฟแรง มีอยู่ 3 วิธีคือ

1. ลดการบริโภคอาหารรวมคัน อาหารเผา ปั้ง ย่าง ทอด ไฟแรง
2. ไม่ควรบริโภคอาหารส่วนที่ไหม้เกรียม มิใช่เฉพาะเนื้อสัตว์ แต่รวมถึงอาหารที่ทำจากแป้ง เช่น ขบขนมปังและขنمอบ จนกลایเป็นสิน้ำดala
3. ไม่ควรให้อาหารส้มผัสดับเปลาไฟโดยตรง ควรจะห่อด้วย Aluminum foil ถ้ามีเตาในโตรเวฟ ควรนำอาหารนั้นเข้าในโตรเวฟ 1-3 นาที ก่อน ซึ่งจะพบว่ามีน้ำออกมากจากอาหาร และควรเทน้ำนั้นทิ้ง เพราะส่วนนั้นจะมี Creatinine ซึ่งจะทำให้เกิด PhIP ได้ แล้วค่อยนำอาหารนั้นไปปรงต่อโดยการทอด หรือ ย่าง ปั้ง อบ ได้ตามใจชอบ วิธีนี้จะช่วยลดสารก่อกลัยพันธุ์ และสารก่อมะเร็งได้

จะเห็นได้ว่าการปั้งหรือย่างจากเตาฯลฯ อาหารแบบที่เปลาไฟหรือควันไฟส้มผัสดับอาหารโดยตรง ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง จึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างเตาปั้งหรือย่าง ที่อาหารไม่ส้มผัสดับเปลาไฟหรือควันไฟโดยตรง เพื่อนำไปสู่การใช้งานจริงต่อไป นอกจากนี้ยังเกิดแนวคิดที่จะนำเอาเตาปั้งหรือเตาย่างนี้มาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ใน

ช่วงเวลาที่มีปริมาณเกินความต้องการ ซึ่งจะเป็นผลต่อการดูดนมอาหารแบบทำแห้ง เพราะการทำแห้งของคนโดยทั่วไปจะใช้วิธีการตากแห้งซึ่งถ้าหากแห้งในช่วงฤดูฝนจะมีอุปสรรคมาก เช่น ในฤดูฝนจะมีแมลงน้อยด้วยจากฤดูร้อนเรายังต้องใช้เวลาในการทำแห้งค่อนข้างมากกว่าฤดูร้อน นอกจากนี้ถ้าผลิตภัณฑ์ของเราที่ตากยังไม่แห้งเท่าที่ควร คือระหว่างตากแห้งอาจไม่มีแคดหรืออาจเกิดฟันตกก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ของเราเสื่อมหรือเน่าได้ นั่นก็หมายถึงว่าเราจะต้องสูญเสียผลิตภัณฑ์โดยเปล่าประโยชน์ จะเห็นว่าถ้าเรามีอุปกรณ์ช่วยในการตากแห้งก็จะเป็นอุปสรรคมากในฤดูฝนโดยเฉพาะในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการตากแห้ง ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการตากแห้งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาการตากแห้งโดยการตากแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรชั้นนิด

ผลิตภัณฑ์เกษตร	เวลาที่ใช้ในการตากแห้งโดยประมาณ (วัน)
ปลา	1-2
กล้วย	4-6
ข้าว	1-3
ข้าวฟ่าง	1-3
ข้าวโพด	1-3
มะพร้าว	6-7
ถั่วลิสง	3-5
เนื้อวัว	1-2
นมแม่	2-4

จากเหตุผลต่างๆ ที่กล่าวมาเบื้องต้น คงจะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาอบมาใช้ประโยชน์ในด้านการอบแห้ง และยังค่านึงถึงเรื่องของเชื้อเพลิงที่จะใช้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นเมืองอุ่นช้าอุ่นน้ำเรารึงมีผลผลอยได้จากการสืบข้าวเยอะมาก คือ แกลบข้าว จากการศึกษาพบว่าแกลบมีค่าพลังงานความร้อนสูงถึง  $14.4 \text{ MJ/kg}$  จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการแกะไหมเพื่อ

ให้ความร้อนแก่เตาอบ หากเราสามารถสร้างเตาอบที่สูญเสียความร้อนออกไปได้น้อย จะทำให้เราสามารถประหยัดพลังงานในการอบแห้งได้

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทดลองการนำความร้อนจากเปลวไฟ และควันไฟมาให้ความร้อนกับอาหารที่อยู่ภายในเตาโดยผ่านกระบวนการนำความร้อน การพากความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน
2. ออกแบบ และสร้างเตาอบที่เปลวไฟ และควันไฟไม่สัมผัสกับอาหารโดยตรง

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ออกแบบและสร้างเตาอบที่ไม่ให้เปลวไฟและควันไฟสัมผัสกับอาหาร โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เตาอบที่ทำให้อาหารสุกและแห้งถูกหลักโภชนาการ
2. ทราบถึงสมรรถนะของเตาอบที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง
3. สามารถนำไปใช้ได้จริง ในอุตสาหกรรมให้ครัวเรือน
4. ลดค่าใช้จ่ายในเบี้ยงของพลังงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้ง [2] คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทน้ำสารเกิดชื้นพร้อมกัน ความร้อนจากอากาศร้อนถ่ายเทไปยังผิวด้านนอกของวัสดุทำให้ความชื้นหรือไอน้ำระเหยออกจากผิવัสดุ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดชื้นเป็นแบบการพาความร้อนโดยมีอากาศร้อนเป็นตัวกลางพาความร้อน การอบแห้งในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ลมร้อน การแซ่เชิง การօอสโนมีซิส ในโครงเวฟ เป็นต้น โดยมีหลักการทั่วไป คือ การให้ความร้อนกับอากาศเพื่อนำไปใช้ระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ แหล่งความร้อนที่ใช้ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ เชื้อเพลิง และไฟฟ้า เมื่อนำมาใช้ในการอบแห้งที่เหมาะสมโดยทั่วไปสามารถสรุปได้ดังนี้ อุณหภูมิอากาศอบแห้งประมาณ  $50-70^{\circ}\text{C}$  อัตราการนำอากาศกลับมาใช้อีก  $70-85$  เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะทำให้อัตราการสีน้ำเปลี่ยนของพลาสติกต่ำ ในส่วนของอุณหภูมิหากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้ม ผิวเที่ยวย่น ตัวอย่างอุณหภูมิที่เหมาะสม เช่น การอบแห้งมะละกอแซ่เชื่อมควรใช้อุณหภูมิอบแห้งประมาณ  $60^{\circ}\text{C}$  หรือการอบแห้งลับปะรดแซ่เชื่อมควรใช้อุณหภูมิอบแห้ง  $65^{\circ}\text{C}$  สำหรับความเร็วลมที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง  $2-3$  เมตรต่อวินาที

#### การหาความชื้นในวัสดุ

การหาปริมาณความชื้นของวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ ดังนี้

1. ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเชื่อมความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$M_w = \frac{(w-d) \times 100}{w} \quad (2.1)$$

โดยที่

$M_w$  คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น , (%) มาตรฐานเปียก)

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น , kg

d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง , kg

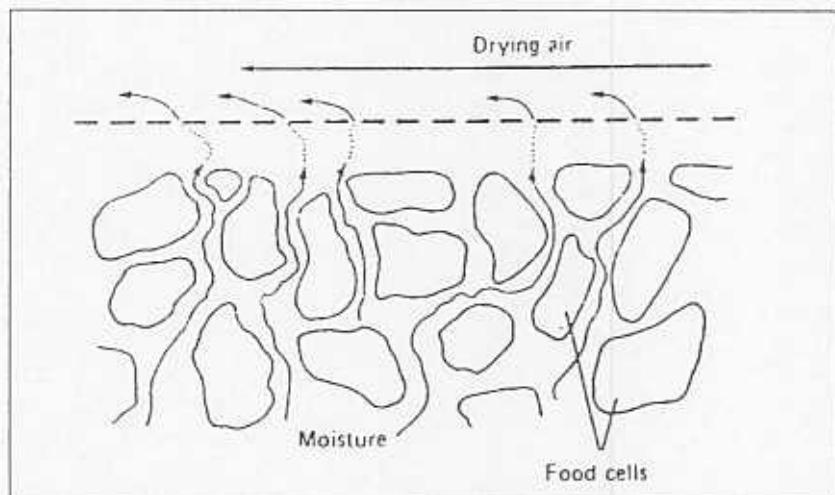
2. ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุ ต่อน้ำหนักของวัสดุแห้ง

$$M_d = \frac{(w-d) \times 100}{d} \quad (2.2)$$

โดยที่  $M_d$  คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น , (%) มาตรฐานแห้ง  
 w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชิ้น , kg  
 d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง , kg

### กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวน้ำอาหารที่เปียกความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและจะทำให้น้ำในอาหารระเหยออกนาด้วยความร้อนแห้งของกรวยเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวน้ำของอาหารต่ำกว่าความดันไอภายในของอาหารเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อนข้างลดต่ำลง เมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล้น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนไปยังผิวน้ำด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงค่าปัลาร์
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหาร ส่วนต่าง ๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกตัดชั้นโดยผิวน้ำของของแข็งในอาหาร
4. ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอาหารของอาหาร

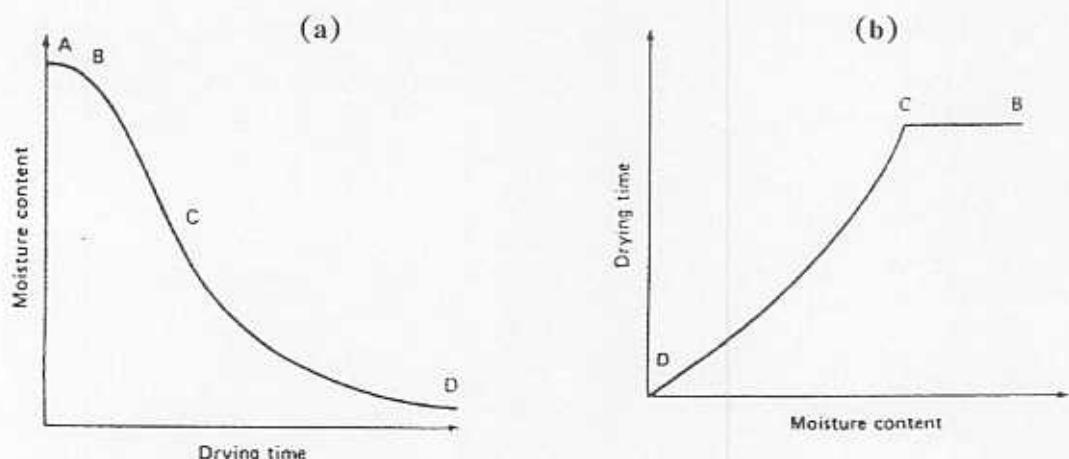
อาหารแบ่งออกเป็นไฮโกรสโคปิก (hygroscopic) และnonไฮโกรสโคปิก (non - hygroscopic) อาหารประเภทไฮโกรสโคปิกเป็นอาหารที่มีค่าความดันไออย่างแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ส่วนอาหารประเภท nonไฮโกรสโคปิกจะมีค่าความดันไอคงที่แม้ว่าจะมีความชื้นแตกต่างกัน เมื่อน้ำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้น ๆ ช่วงแรกของ การอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวน้ำของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิที่กระเพาะ เปียกซึ่งเป็นช่วง AB ในรูปที่ 2.2 หลังจากนั้นจะเป็นช่วงทำให้แห้ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จาก ด้านในของอาหารออกมายังอัตราเร็วเท่ากันมากที่รับเรียงออกจากผิวน้ำ ผิวน้ำจึงยังเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วคงที่ (constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้น วิกฤต แต่ในทางปฏิบัติผิวน้ำของอาหารจะค่อย ๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิด จึงไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้งและอัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอาหารแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ได้แก่

1. ต้องมีอุณหภูมิกระเพาะแห้งสูง
2. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
3. อาหารเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ฟิล์มอาหารที่อยู่รับอาหารจะเกิดขวางการถ่ายเทความร้อนและไอน้ำระหว่างการทำแห้ง ความเร็วของอาหารหรือลมจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไปไอน้ำ จะเคลื่อนที่จากผิวน้ำของอาหารและยังคงอยู่รับอาหาร ทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอและอัตราการทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอาหารแห้งต่ำหรือมีความชื้นสูงจะทำให้อัตราเร็วในการระเหยและการทำแห้งลดลง เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำลงกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (ความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง) หรือที่เรียกว่าเป็นช่วง อัตราลดลง (falling - rate period) สำหรับอาหารแบบ nonไฮโกรสโคปิกจะมีอัตราลดลงเพียงช่วงเดียว ( CD ในรูปที่ 2.2(a)และ( b)) ในขณะที่อาหารแบบไฮโกรสโคปิกมี 2 ช่วง โดยในช่วงแรก ระยะของกระบวนการระเหยจะเคลื่อนที่เข้ามาในอาหารโดยน้ำจะแพร่ผ่านอาหารแข็งเข้าไปในอาหารแห้งและหยุดลงเมื่อระนาบของการระเหย

เคลื่อนที่เข้ามายังจุดศูนย์กลางของอาหารและความดันย่อของน้ำลดต่ำลงกว่าความดันไออกอีมตัวช่วงที่ 2 จะเกิดขึ้นเมื่อความดันย่อของน้ำลดต่ำลงกว่าความดันไออกอีมตัวและเกิดการทำแห้งโดยการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร ( desorption )

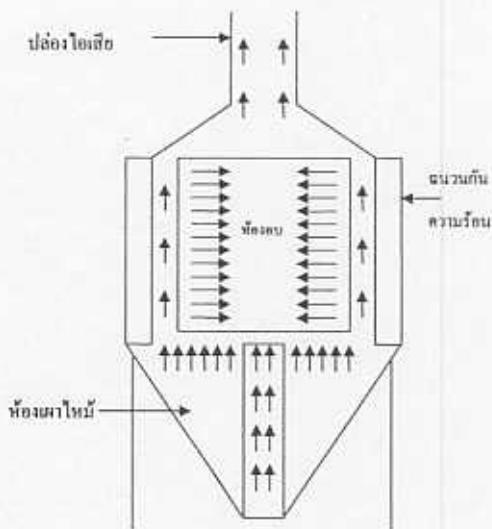
ในช่วงอัตราลดลง อัตราการเคลื่อนที่จากน้ำภายในอาหารมายังผิวน้ำจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวน้ำจึงแห้ง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการการทำแห้งในอาหารบางชนิด เช่น การทำแห้งเนล็ดธัญพืช ความชื้นวิกฤตเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราการทำแห้งจะเปลี่ยนไปในช่วงที่อัตราลดลง ปัจจัยที่สำคัญในช่วงแรกจะคล้ายคลึงกันในช่วงที่อัตราเร็วคงที่ แต่อัตราการถ่ายเทน้ำจะค่อยๆ กลับเป็นปัจจัยควบคุมการทำแห้งที่สำคัญขึ้น



รูปที่ 2.2 เส้นกราฟกระบวนการทำแห้ง

#### หลักการทำแห้งของเตา

จากรูปที่ 2.3 เครื่องอบจะได้รับพลังงานความร้อนจากห้องเผาไหม้แก๊ส (Combustion chamber) เป็นหลัก ควันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ (Hot gas) จะไหลเข้าไปในช่องว่างรอบเตา ซึ่งความร้อนจากควันไฟและความร้อนจากเปลวไฟจะเข้าไปสัมผัสรอบเตา เมื่อมีการสะสมความร้อนมากขึ้นจะเกิดการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เข้าในเตาอบเพื่อเพิ่มความร้อนในส่วนด้านข้าง และด้านบนของเตา



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง

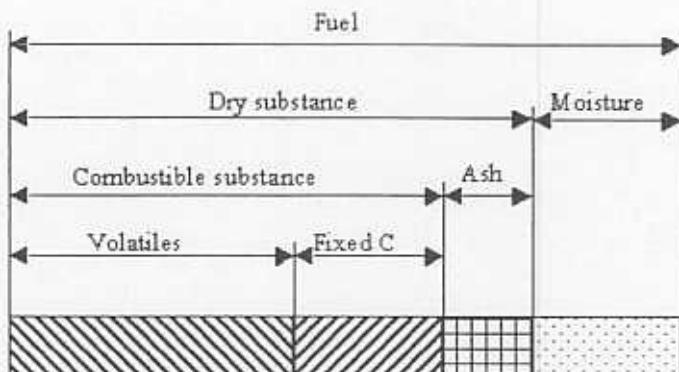
ชีวมวล

ชีวนวลด้วยการรับรู้เชิงสะสานพลังงานจากดวงอาทิตย์ เอาไว้ในรูปของพลังงานเคมี และได้มาจากการสัมผัสร่วม เช่น ต้นไม้ อ้อย มันสำปะหลัง ถ่านฟืน แกลน วัชพืชต่างๆ หรือแม้กระเพื่องชัยและมูลสัตว์ เมื่อผ่านแล้วพลังงานเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมายังรูปของความร้อน จุดเด่นของเชื้อเพลิงชีวนวลด้วยการรับรู้เชิงสะสานพิชัยสั่นต่างจากฟอสซิล ซึ่งใช้เวลาหลายพันปี และก่อผลกระทบมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล องค์ประกอบของชีวนวลด้วยสารทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลักดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วย

1. ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในช่วงมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำช่วงมวลมาเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรจะเกิน 50 เฟอร์เซ็นต์

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้( Combustion substance ) โดยแบ่งส่วนที่เผาไหม้ได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter คือ ส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชื่อมาก็ไม่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ชี้เก้าหัวมวล ส่วนใหญ่จะมีชี้เก้าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลนและฟางข้าวจะมีสัดส่วนชี้เก้าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้ และก่อภัยดับเพลิง



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของชีวมวล

### การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีวิธีการวัด 3 แบบ คือ

- ค่าความร้อนต่ำ หรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อ กิโลกรัม
- ค่าความร้อนสูง หรือ Higher Heating Value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อ กิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$HHV = LHV + 5.72(9H + M) \text{ kcal/kg}$$

$$\text{หรือ } HHV = LHV + 23.95(9H + M) \text{ kJ/kg}$$

เมื่อ H เท่ากับปริมาณแปรรูปเข็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และ  
เมื่อ M เท่ากับปริมาณแปรรูปเข็นต์ของความชื้นในชีวมวล

- ค่าความร้อนแห้ง หรือ Dry Heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อ กิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังนี้

$$\text{Dry Heating Value} = HHV / (100 - M)$$

เมื่อ M เท่ากับปริมาณแปรรูปเข็นต์ของความชื้นในชีวมวล

การวิเคราะห์เตาอบแห้งเชิงพลังงาน  
สมดุลพลังงาน (Energy Balance)

$$\text{ความร้อนเข้าสู่ระบบ} = \text{ พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง} + \text{ ความร้อนอุ่นอกรอบบ }$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง} &= \text{ พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง} \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง} \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียจากน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของไออกไซด์เจน} \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียแห้ง} \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียไปกับความชื้นในอากาศเข้าห้องเผาไหม้ } \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่หมด } \\ &+ \text{ ความร้อนที่สูญเสียไปกับซีลล์ } \\ &+ \text{ ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากผลิต่างอุณหภูมิเดากับสิ่งแวดล้อม } \\ &\quad \text{ หลังสิ้นสุดการอบแห้ง } \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียที่ผ่านเครื่องอบแห้ง } \\ &+ \text{ ความร้อนสูญเสียที่ไม่สามารถหาค่าได้ }\end{aligned}$$

พลังงานในแต่ละส่วนสามารถคำนวณได้จากสมการตั้งต่อไปนี้

### 1. พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง

$$\text{พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง} = m_f \times \text{HHV} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $m_f$  คือ น้ำหนักแกลอนเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้ง, kg  
 HHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแกลอน (14.4 MJ/kg)

### 2. ความร้อนสูญเสียไปกับการอบแห้งเนื้อ

$$e_i = m_{wp}(h_g - h_f) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $m_{wp}$  คือ มวลน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อ, kg  
 $h_g$  คือ เอนthalpie ของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางเตา, kJ/kg  
 $h_f$  คือ เอนthalpie ของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางเตา, kJ/kg

### 3. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง

$$e_2 = x_m m_f (h_g - h_s) \quad (2.5)$$

เมื่อ  $m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิง, kg

$x_m$  คือ อัตราส่วนน้ำหนักความชื้นในเชื้อเพลิงต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง, kg/kg fuel

$h_g$  คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก้าซร้อน, kJ/kg

$h_s$  คือ เอนทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อม, kJ/kg

### 4. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของไฮโดรเจน

$$e_3 = 9x_h m_f (h_g - h_s) \quad (2.6)$$

เมื่อ  $x_h$  คือ อัตราส่วนน้ำหนักของไฮโดรเจนต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง, kg/kg fuel

$m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิง, kg

$h_g$  คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก้าซร้อน, kJ/kg

$h_s$  คือ เอนทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อม, kJ/kg

### 5. ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียแห้ง

$$e_4 = m_{\text{hot gas}} C_p (T_{\text{hot gas}} - T_{\text{amb}}) \quad (2.7)$$

เมื่อ  $m_{\text{hot gas}}$  คือ มวลของไอเสียแห้ง, kg

$C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอเสียร้อนที่, kJ/kg.K

$T_{\text{hot gas}}$  คือ อุณหภูมิของไอเสียร้อน, °C

$T_{\text{amb}}$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C

### 6. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในอากาศที่ใช้เผาไหม้

$$e_5 = m_{\text{air}} \omega C_p (T_{\text{hot gas}} - T_{\text{amb}}) \quad (2.8)$$

เมื่อ  $m_{\text{air}}$  คือ มวลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้, kg

$\omega$  คือ ความชื้นสมบูรณ์ที่สภาวะแวดล้อม, kg moisture/kg dry air

$C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอเสียชิ้น, kJ/kg.K

$T_{hot\_gas}$  คือ อุณหภูมิของไอเสียร้อน, °C

$T_{amb}$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C

### 7. ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมด

$$e_6 = 32750m_{ash}x_c \quad (2.9)$$

เมื่อ  $m_{ash}$  คือ มวลของชิ้นเด็ก้า, kg

$x_c$  คือ อัตราส่วนน้ำหนักคาร์บอนในชิ้นเด็ก้าต่อน้ำหนักชิ้นเด็ก้า, kg/kg ash

### 8. ความร้อนสูญเสียไปกับชิ้นเด็ก้า

$$e_7 = m_{ash}C_p(T_{ash} - T_{amb}) \quad (2.10)$$

เมื่อ  $m_{ash}$  คือ มวลของชิ้นเด็ก้า, kg

$C_p$  คือ ความจุความร้อนของชิ้นเด็ก้า, kJ/kg.K

$T_{ash}$  คือ อุณหภูมิของชิ้นเด็ก้า, °C

$T_{amb}$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C

### 9. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการผลิตต่างอุณหภูมิเดากับลิงแวดล้อมหลังสิ้นสุดการอบแห้ง

$$e_8 = m_{st}C_{p,st}(T_{oven} - T_{amb}) \quad (2.11)$$

เมื่อ  $m_{st}$  คือ มวลของเหล็ก, kg

$C_{p,st}$  คือ ความจุความร้อนของชิ้นเด็ก้า, kJ/kg.K

$T_{oven}$  คือ อุณหภูมิของชิ้นเด็ก้า, °C

$T_{amb}$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C

### 10. ความร้อนสูญเสียที่แผ่นเครื่องอบแห้ง

$$e_9 = qA \quad (2.12)$$

เมื่อ  $q$  คือ flux ความร้อน,  $\text{W/m}^2$   
 $A$  คือ พื้นที่ถ่ายเทความร้อน,  $\text{m}^2$

### 11. ความร้อนที่ไม่สามารถหาค่าได้

$$e_{10} = m_i \text{HHV} - \sum e \quad (2.13)$$

ประสิทธิภาพรวมเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\text{อัตราการอบแห้งเฉลี่ย} \times \text{ค่าความร้อนแห้ง} \times 100\%}{\text{พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง}} \quad (2.14)$$

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

#### 1. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรายปี

สามารถคำนวณได้จากการแปลงมูลค่าเงินลงทุนในปัจจุบันให้เป็นมูลค่าต่อปีตลอดอายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง โดยใช้ capital – recovery factor ( $a/p$ )

$$a/p = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $i$  คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี, %  
 $n$  คือ อายุการใช้งานของเครื่อง, ปี

ได้มูลค่าเงินลงทุนในแต่ละปี ( $C_p$ ) ดังนี้

$$C_p = P_w(a/p) \quad (2.16)$$

เมื่อ  $P_w$  คือ มูลค่าเงินลงทุนในปัจจุบัน, บาท

ในการเปลี่ยนมูลค่าซากของเครื่องอบแห้ง เป็นมูลค่าต่อปีตลอดอายุการใช้งานของเครื่องคำนวณโดยใช้ sinking – fund factor( $a/f$ )

$$a/f = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (2.17)$$

จะได้มูลค่าซากของเครื่องในแต่ละปี ( $C_s$ ) คือ

$$C_s = S(a/f) \quad (2.18)$$

เมื่อ  $S$  = มูลค่าซากของเครื่องอบแห้งเมื่อหมดอายุการใช้งาน, บาท

ค่ารวมค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด ( $C_T$ ) ดังนี้

$$C_T = C_p - C_s + C_e + C_m \quad (2.19)$$

เมื่อ  $C_p$  คือ ค่าใช้งานด้านพลังงานต่อปี, บาท  
 $C_m$  คือ ค่าซ่อมบำรุงเครื่องต่อปี, บาท

## 2. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต

ค่าใช้จ่ายรายปีสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_T = \frac{(C_p - C_s + C_e + C_m)}{N} \quad (2.20)$$

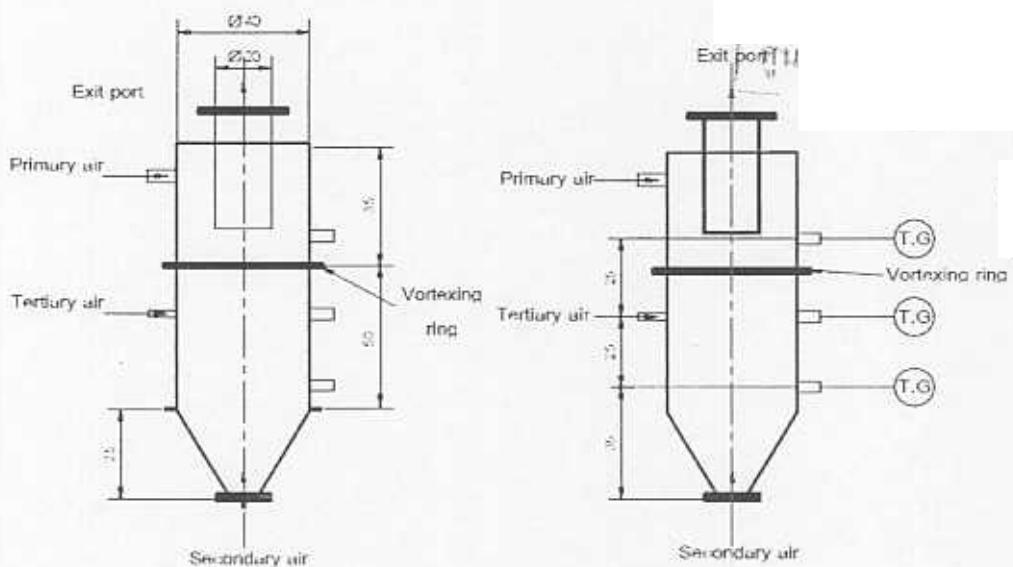
เมื่อ  $N$  คือ จำนวนผลผลิตต่อปี, kg

$C_T$  คือ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต, บาทต่อ กิโลกรัมผลผลิต

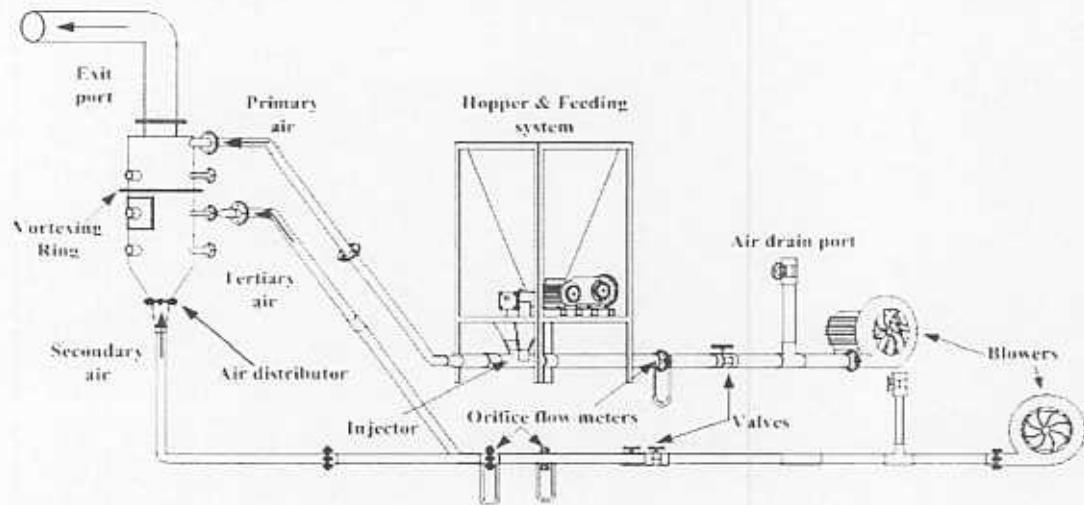
## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

ฐานนิตย์ เมธิyananทและคณะ [3] ศึกษาการนำเข้าจุดเด่นของเตาเผาแบบไฮโคลนและเตาเผาแบบฟลูอิดิช์เบดมาร่วมเข้าด้วยกัน โดยที่จุดเด่นของเตาเผาแบบไฮโคลนคือ สามารถที่จะดักเก็บในให้หลุดออกไปพร้อมกับก๊าซเผาใหม่ สำหรับจุดเด่นของเตาเผาแบบฟลูอิดิช์เบด คือ การเผาใหม้ภายในเตาเผาใหม้มีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ทั่วถึงตลอดทั้งความสูงของเตา โดยที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเตาเผาใหม้แบบบาร์เทค-ฟลูอิดิช์เบดขึ้นมา เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศและแกลบ ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่ได้ก่อร่างมาซึ่งด้านນماออกแบบเตา VFBC โดยเตาเผาแบบVFBC จะแบ่งอากาศที่ใช้ในการเผาใหม้ออกเป็นสามส่วน คือ อากาศส่วนที่ 1 (Primary air) เป็นอากาศที่พาเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่เตาเผาใหม่ โดยอาศัยส่วนที่หนึ่งและแกลบนี้ จะถูกจ่ายแนวสัมผัสตั้งจากกับรัศมีของเตาที่ต่ำหนึ่งด้านบนของเตาที่เหนือแผ่นวงแหวนวอร์เทค ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบบาร์เทคของอากาศและเชื้อเพลิงที่จะป้องกันไม่ให้ออนุภาคของเชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ไม่ให้หลุดออกนอกเตา ทำให้ระยะเวลาการเผาใหม่เชื้อเพลิงภายในเตามีมากขึ้น อากาศส่วนที่สอง (Secondary air) เป็นอากาศที่จ่ายที่ต่ำหนึ่งด้านล่างของเตาที่ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาใหม้แบบฟลูอิดิช์เบดและอากาศส่วนที่สาม (Tertiary air) เป็นอากาศที่ถูกจ่ายในแนวสัมผัสตั้งจากกับรัศมีของเตาที่ต่ำกว่าวงแหวนวอร์เทค ขนาดของเตาและอุปกรณ์ต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6

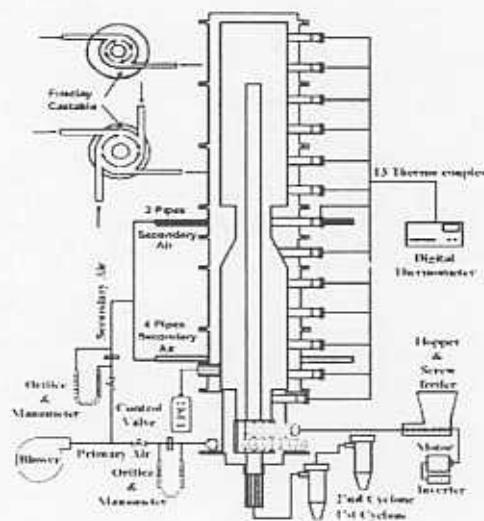


รูปที่ 2.5 ขนาดและตำแหน่งวัดอุณหภูมิของเตาเผาใหม่ VFBC

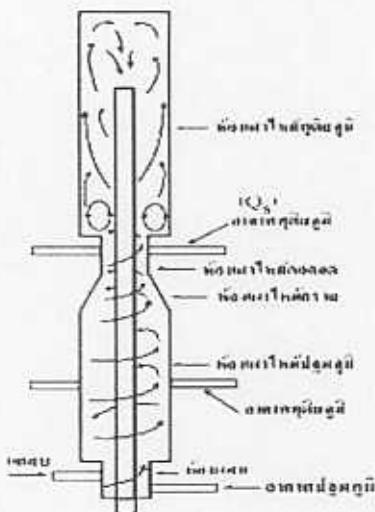


รูปที่ 2.6 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของเตาเผา VFBC

ดิษฐพร ดุงโสานันท์ และคณะ [4] ได้รวมข้อได้เปรียบและ赶来จัดข้อด้อยของเตาเผา ไซโคลน เตาเผาฟลูอิเดซ์เบดและเตาเผาถ่านหินผง เพื่อที่จะนำมาศึกษาถึงการกระจายตัวของ อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆภายในเตาเผา ชี้แจงและค้นจากก้าวไอลีสีย จุดเด่นของเตาเผา แกลบวอร์เก็ตแบบสองชั้น คือ สามารถควบคุมการปล่อยมลพิษจากปล่องทึ่งไอลีสียได้ด้วยอัตรา ส่วนการไหลของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด ทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี มีความเสถียรสูง การ ปล่อยมลพิษต่ำ และจ่ายต่อการปฏิบัติงานในการเผาไหม้ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แผนภาพของการติดตั้งระบบชุดทดลอง



รูปที่ 2.8 รูป่างของเตาเผาอัร์เตคแบบสองชั้น

พิมล วุฒิสินธ์และคณะ [5] ได้ศึกษาการนำเอาแกลบหรือซังข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่า การควบคุมอุณหภูมิลงร้อนให้สม่ำเสมอทำได้ด้วยชั้นยาก นอกจากนี้ยังต้องใช้ผู้ช่วยการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเตาเผาแกลบที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ เป็นเตาแบบปล่องควันและตะแกรงเอียง (Inclined grate) ให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ไม่สูงนัก เนื่องจากสูญเสียความร้อนจากด้านหน้าเตา และทางปล่องควัน เกิดลมภาวะจากลมของเตาแกลบ พุ่งกระเจยออกทางปล่องควัน และสิ้นเปลืองแรงงานในการควบคุมความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ และการป้อนแกลบ กลุ่มงานวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างเตาเผาแกลบแบบใช้โคลนเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ เตาเผาแบบใช้โคลน มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

- ตัวเตาเผา มีลักษณะรูปทรงกระบอกส่วนบนและทรงกรวยตื้นส่วนล่าง
- ด้านบนห้องเผาไหม้ เป็นห้องตักเต้าที่อาจปลิวออกมายังห้องเผาไหม้บางส่วน
- ชุดป้อนแกลบ ประกอบด้วยกระบวนการบรรจุขนาด 100 กก.
- ชุดถ่ายເຄົາແກລບ ประกอบด้วยใบปาดເຄົາແກລບที่ด้านล่างของห้องเผาไหม้.

สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม [6] ได้ค้นคว้าและพัฒนาเตาเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นเตาหุงต้ม ประเภทหนึ่งที่ประยุกต์มาจากเตาอั่งโล้ และเตาฟืนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในชนบท ให้สามารถใช้ได้กับทั้งพื้นและถ่าน และข้อที่น่าสนใจของเตาชนิดนี้อยู่ตรงที่เราสามารถนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็น แกลบ แกนข้าวโพด ชานอ้อย กาบมะพร้าว ลำต้นมัน

สำปะหลัง รวมถึงเศษใบไม้ กิ่งไม้ ที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งต้นไม้มาใช้ได้ ซึ่งจุดหลักของเตาอยู่ที่ การมีปล่องไฟ ที่ช่วยดูดเขม่า ควัน ออกไปทำให้การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้ อxygen ต่อเนื่อง ซึ่งเตามีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเตาเศรษฐกิจ

สมชาติ ไสกอรอนฤทธิ์และคณะ [7] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิเดช์เบด โดยใช้ความร้อนจากเตาเผาแกกลบแบบไฮคลอน(Fluidized Bed Paddy Dryer with Heat from Husk Cyclone Furnace)โดยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิเดช์เบดโดยใช้ความร้อนจากเตาเผาแกกลบแบบไฮคลอนที่ได้พัฒนาขึ้น ช่วยลดความเสียหายของข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง ยึดระยะเวลาในการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น เพิ่มคุณภาพของข้าวเปลือกให้มีเปอร์เซ็นต์ของข้าวตันสูงเมื่อ นำมาผ่านกระบวนการสีข้าว ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง ใช้เทคโนโลยีการอบแห้งแบบใหม่ และพัฒนาหมุนเวียน โดยนำเอาเศษวัสดุที่เหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น แกกลบ ชั้นข้าวโพด หรืออื่น ๆ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันเพื่อให้พัฒนาความร้อนมาใช้ในการ อบแห้ง เครื่องและวิธีการอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิเดช์เบด สามารถอบแห้งข้าวเปลือกที่มี ความชื้นสูงให้ลดลงได้อย่างรวดเร็ว ทั่วถึงและสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าข้าวเปลือกที่ต้องการอบจะมี ความชื้นไม่เท่ากันก็ตาม ความชื้นจะลดลง 8-10 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 1.5 - 2 นาทีต่อรอบเท่านั้น โดยไม่ทำให้เมล็ดแตกกราวเสียหาย ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอบโดยนำเอา พัฒนาความร้อนที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ เครื่องมีขนาดกะทัดรัดให้กำลัง พลิตสูง ลดปัญหาในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา เพราะชั้นส่วนของเครื่องอบไม่มีการเคลื่อนไหว แต่เมล็ดข้าวเปลือกจะเป็นตัวเคลื่อนที่จากการถูกเป่าดันด้วยลมร้อนแทน

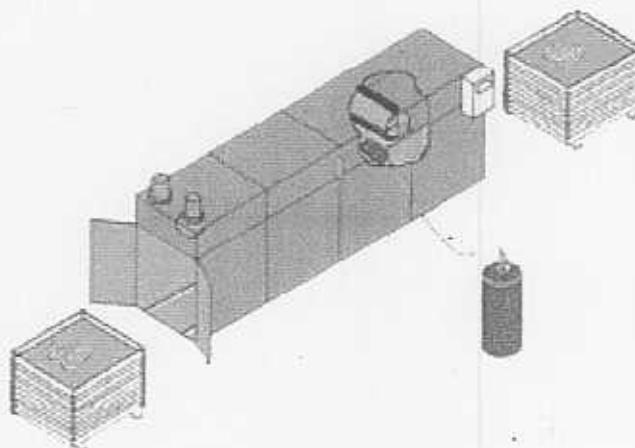
ชุดก็ต์ ชวประดิษฐ์ [8] ทำการอบแห้งโดยการวางวัสดุอบแห้งในรดเข็น ซึ่งมีถาดบรรจุวัสดุ อบแห้ง แล้วเข็นไปไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของเครื่องอบแห้ง จำนวนรดเข็นในอุโมงค์ซึ่งอยู่กับขนาด ของรดเข็นและความยาวของอุโมงค์ ลมร้อนจะไหลผ่านซ่องว่างของอากาศระหว่างถาดและทำให้ วัสดุแห้ง เมื่อวัสดุบนรดเข็นแห้งดีแล้ว จะถูกเข็นออกที่ปลายด้านตรงข้าม และรดเข็นที่บรรจุวัสดุ เป็นจัจจะเคลื่อนเข้าอุโมงค์ตามเข้ามา และดันรดเข็นให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าดังแสดงในรูปที่ 2.10 ดังนั้นจำนวนรดเข็นในอุโมงค์จะคงที่ตลอดเวลา อัตราการนำรดเข็นเข้าและออกจะสอดคล้องกับ อัตราการอบแห้ง

การทำการอบแห้งแบบอุโมงค์อาจแบ่งตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนและรดเข็นได้ เป็น 2 ชนิด คือ

1. เครื่องอบแห้งแบบไอลตามลมร้อน - รดเข็นและลมร้อนจะมีทิศทางตามกัน วัสดุที่แห้ง แล้วจะสัมผัสถูกอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และวัสดุที่เปียกจะสัมผัสถูกอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึง มากไม่ค่อยมีปัญหาด้านคุณภาพของวัสดุหลังอบแห้ง แต่การลินเปลี่ยนความร้อนอาจสูงกว่า เครื่อง อบแห้งแบบไอลสวนทาง

2. เครื่องอบแห้งแบบไอลสวนทางลมร้อน - รดเข็นและลมร้อนจะมีทิศทางที่สวนทางกัน ดังนั้นวัสดุบนรดเข็นใกล้ทางออกจะสัมผัสถูกอากาศที่ร้อนที่สุด ส่วนวัสดุบนรดเข็นที่ตรงทางเข้า จะสัมผัสถูกอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้การใช้ความร้อนสัมผัสในการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวัสดุที่แห้งแล้วจะสัมผัสถูกอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นอาจทำให้คุณภาพของวัสดุ ลดลงได้

การอบแห้งนี้จะใช้วิธีดี กีชั้นอยู่กับเทคนิคและวิธีการอบแห้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ตรงตามที่ตลาดต้องการ



รูปที่ 2.10 เครื่องอบแห้งผักและผลไม้แบบอุโมงค์

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งรายละเอียดในบทนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการทดลอง และการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ในขณะทำการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดังนี้ ดังต่อไปนี้

#### 3.1 การออกแบบ

##### 3.1.1 ข้อมูลพื้นฐาน

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. ข้อมูลพื้นฐานวัสดุต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการออกแบบเดาอน โดยอาศัยหลักการแผรังสี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าการนำความร้อน (Conduction) ของวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ที่จะนำมาทำผังของอนจากที่ได้ค้นคว้ามาวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงที่เป็นไปได้ 4 ชนิด

1. Aluminum	93.8(162) – 135(234)	Btu.ft/hr.sqft ,F(W/m.K)
2. Zinc	60.5(105) – 72.5(125)	Btu.ft/hr.sqft ,F(W/m.K)
3. Stainless steel	13.8(23.9) – 21.5(36.7)	Btu.ft/hr.sqft ,F(W/m.K)
4. Iron	10.5(18.2) – 15(26)	Btu.ft/hr.sqft ,F(W/m.K)

ซึ่งวัสดุทั้ง 4 ชนิดยังได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ว่าเมื่อโดนความร้อนสูงแล้ว วัสดุจะทำปฏิกิริยาที่ให้สารพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่ และศึกษาความเป็นไปได้ ในแง่ของการนำวัสดุมาทำการสร้างเดาอน นอกจากนี้ยังได้ไปสำรวจตลาดที่ขายวัสดุ พบว่า เหล็กมีความพร้อมทุกอย่าง ดังนั้นจึงใช้เหล็กในการสร้างห้องอบแห้ง

##### 2. ข้อมูลเกี่ยวกับแกลบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนประกอบทางเคมี

$$C = 39.1\%$$

$$O = 36.8\%$$

$$H = 5.8\%$$

$$N = 0.4\%$$

$$S = 0.5\%$$

Ashes = 17.4%

ค่าความร้อน (HHV) = 14.4 MJ/Kg

- สักษณะและคุณสมบัติของแกลบ

แกลบเป็นเปลือกของข้าวที่ได้จากการสีข้าว มีสีดั้งเดิมเหลืองจนถึงสีทอง มีขนาดยาว  
อยู่ระหว่าง 5-10 มม. และกว้าง 2.5-5.0 มม. มีส่วนประกอบของแกลบเป็นเซลลูโลส  
(Cellluose) ร้อยละ 40 ลิกนิน (Lignin) ร้อยละ 30 และชีเดา (Ashes) ร้อยละ 30 ซึ่งไม่เหมาะสมที่  
จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ ตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 แสดงถึงคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

สี	เหลือง/ทอง
ความยาว, มม.	5-10
ความกว้าง, มม.	2.5-5.0
ความแข็ง (Moh's scale)	5.5-6.5
ความหนาแน่นรวม(ก.ก./ล.บ.ม)	96-160
มุมเอียงเวลาตก (Angle of repose)	35

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของแกลบ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
Moisture	0-10.2
Crude protein	1.7-6.4
Crude fat	0.4-3.5
Nitrogen-free extract	25.0-37.8
Crude fiber	31.3-49.9
Pentosans	19.8-26.0
Cellulose	34.2-42.2
Lignin	19.2-32.9
Ashes	14.5-29.0

### 3. วิธีการเผาแกลบ

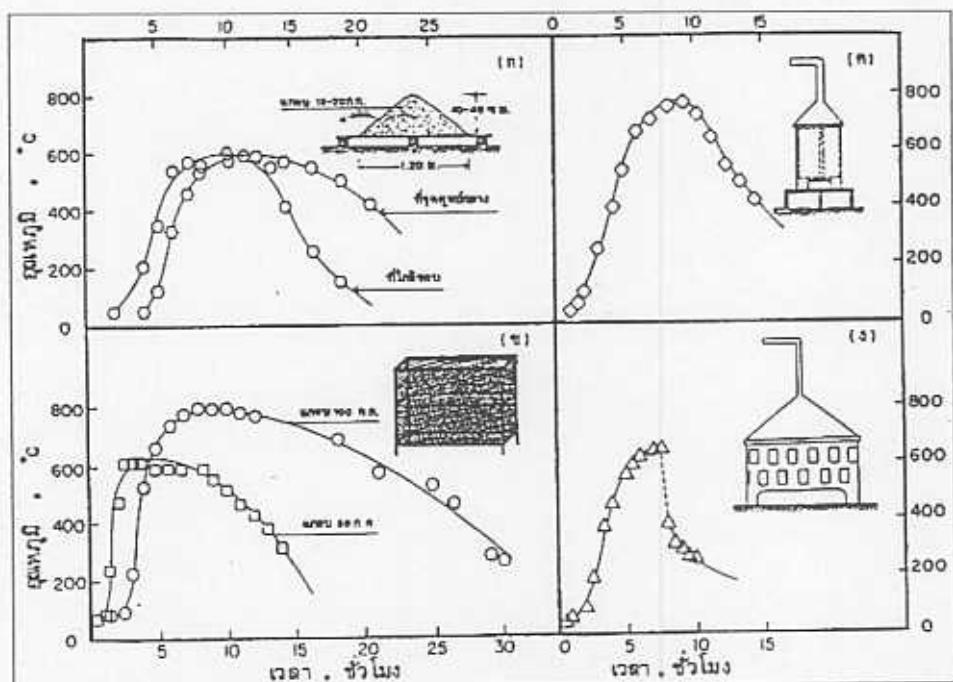
การเผาแกลบทำได้หลายวิธี ดังเด่าเผาจ่ายๆ โดยการเผาเป็นกองหรือนำไปเผาในเตาเผาที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งวิธีการเผาแต่ละวิธีจะได้อุณหภูมิของการเผาแกลบ และใช้เวลาต่างกันดังนี้

1. การเผาแกลบโดยกองแกลบบนแผ่นเหล็กที่มีรูพรุน ช่วงวางสูงจากพื้นเล็กน้อยในที่กลางแจ้ง ขนาดของกองแกลบจะมีผลต่อทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาของการเผาแกลบ จากการศึกษาที่ผ่านพบว่ากองแกลบขนาดเส้นผ่ากลาง 1.2 m สูง 40-50 cm ปริมาณแกลบ 18-20 kg จะมีอุณหภูมิสูงสุดถึง  $600^{\circ}\text{C}$

2. การเผาแกลบในเตาเผา 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการเผาใหม่ของแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน

3. เตาเผาน้ำด กว้าง 105 cm ยาว 105 cm ทำจากเหล็กแผ่นที่มีรูพรุนพบว่าเมื่อใช้แกลบ 50 kg และ 100 kg จะมีอุณหภูมิของการเผาแกลบสูงสุด  $600^{\circ}\text{C}$  และ  $800^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และได้ชี้เน้าแกลบสีขาว

4. เตาเผาถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร แบบของ pcsir (pakistan council of scientific and industrial research) พบว่าอุณหภูมิของการเผาแกลบสูงสุดถึง  $750^{\circ}\text{C}$  และได้ชี้เน้าแกลบสีขาวป่นคำ



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของการเผาแกลบ

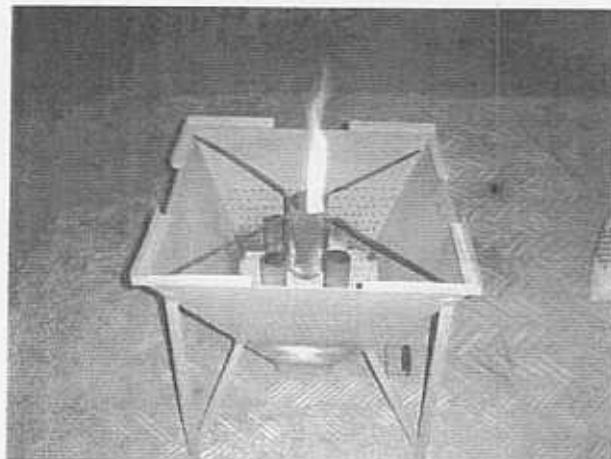
5. เตาเผาอิฐแบบของ pcsir(Pakistan council of Scientific and Industrial Research)พบว่าอุณหภูมิของการเผาแกลบสูงสุดถึง  $650^{\circ}\text{C}$  และได้ชี้เด้าแกลบสีขาวปนด้ำเข่นกัน

### 3.1.2 การออกแบบเตา

การออกแบบเตาด้านบน มีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

#### หลักการทำงานของห้องเผาใหม้

การถ่ายเทแกลบที่เผาใหม้แล้ว (ชี้เด้า) อาศัยน้ำหนักของแกลบจากส่วนบน ชี้เด้าจะไหลผ่านตะแกรง ชี้เด้าที่เกิดจากการเผาใหม้แล้วจะมีขนาดเล็กสามารถหลอดซองผ่านตะแกรงได้

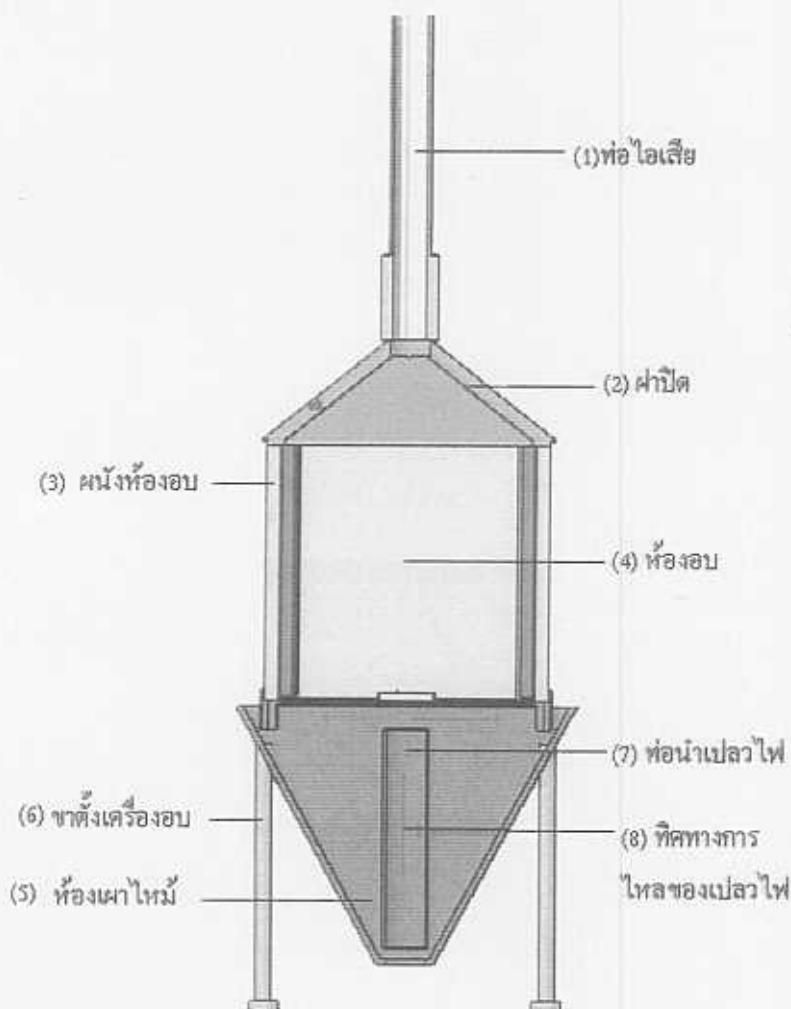


รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของห้องเผาใหม้

แต่ส่วนที่ยังใหม่ไม่เต็มที่จะไม่สามารถหลอดซองตะแกรงได้ จึงต้องเผาต่อไปจนกว่าจะคลายเป็นชี้เด้าจึงจะสามารถหลอดซองตะแกรงได้ จุดที่เผาใหม้จะอยู่ทางด้านล่างของดัวเตา อาการจะเข้ามาทางด้านข้างทั้งสี่ด้านและเกิดการเผาใหม้ที่ส่วนด้านล่างของห้องเผาใหม้ เมื่อเกิดการเผาใหม้เปลาไฟจะไปรวมกันที่ท่อน้ำทางเปลาไฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

### หลักการทำงานและส่วนประกอบเครื่องอบแห้ง

เพลาไฟที่ให้ลมจากส่วนของห้องเผาไหม้ จะไปกระบทกับแผ่นกระยาเปลาไฟที่ติดอยู่ ส่วนปลายของท่อ ทำให้เพลาไฟกระจายไปทุกทิศทาง ต่อจากนั้นเพลาไฟ (ไอเสีย) จะผ่านเข้าไป ในห้องอบซึ่งห้องอบทั้งสี่ด้าน และกระจายความร้อนให้แผ่นเหล็กของห้องอบ จากนั้นแผ่นเหล็ก จะแผ่รังสีให้กับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ข้างใน สำหรับตัวแทนของส่วนประกอบต่างๆ ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง

รายละเอียดวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องอบแห้งมีดังนี้

1. ส่วนของห้องเผาไหม้

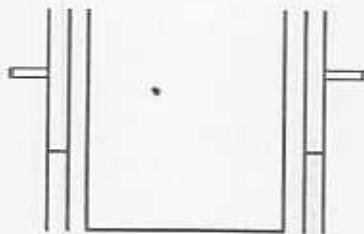
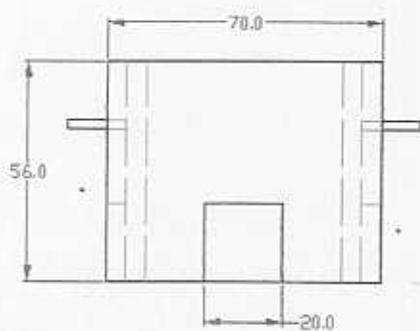
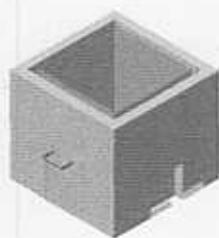
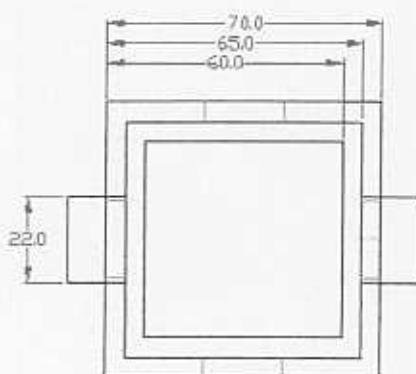
- ส่วนของห้องเผาไหม้ทำจากเหล็กแผ่นหนา 2.4 mm มีลักษณะทรงพีรามิดทรงสี่เหลี่ยมกลวง รอบข้างทั้งสี่ด้านเจาะรูโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm
- ชาตั้งของห้องเผาไหม้ทำจากเหล็กฉากขนาด 1×1 นิ้ว
- ท่อนำทางเปลวไฟจะมีท่อใหญ่ 1 ท่อและท่อเล็ก 5 ท่อทำจากเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 cm. และ 6 cm. หนา 2 mm ยาว 45 cm และ 25 cm. ตามลำดับ โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 mm รอบๆ ท่อ

2. ส่วนของเตาอบ

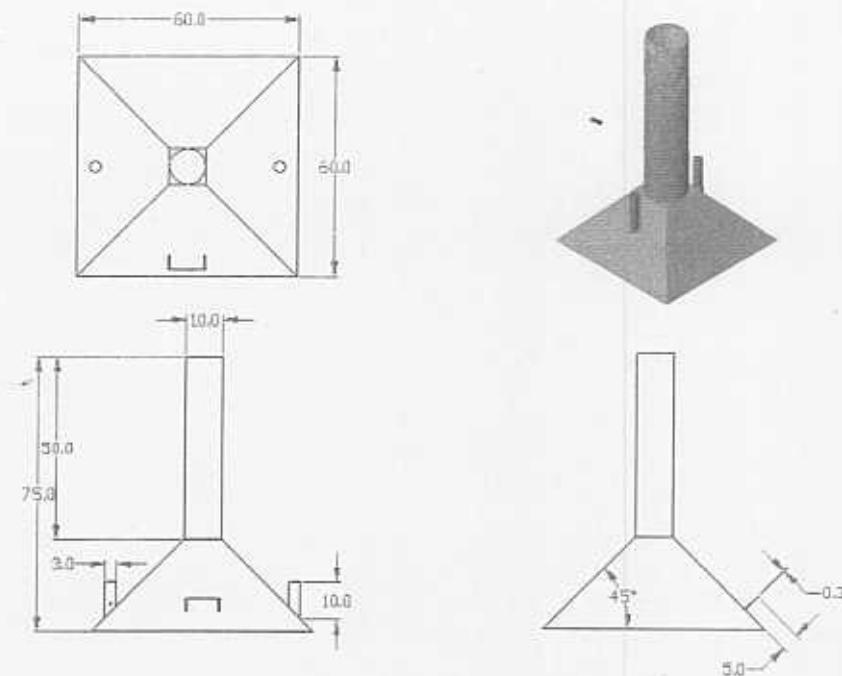
- ผนังด้านนอกใช้เหล็กแผ่นหนา 2.4 mm
- จำนวนติดไว้กับผนังด้านนอก วัสดุที่นำมาใช้เป็นจำนวนคือ ไบแอกก์ทนความร้อน
- ฝ้าปิดด้านบนใช้เหล็กแผ่นหนา 2.4 cm
- ท่อไอเสียใช้ท่อกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm หนา 2 mm
- ตัวเชื้อมระหว่างฝ้าปิดกับห้องอบใช้บานพับขนาดเล็กสองตัว
- ประตูเต้มแกลบ 18×18 cm

### แบบโครงสร้างเครื่องอบแห้ง

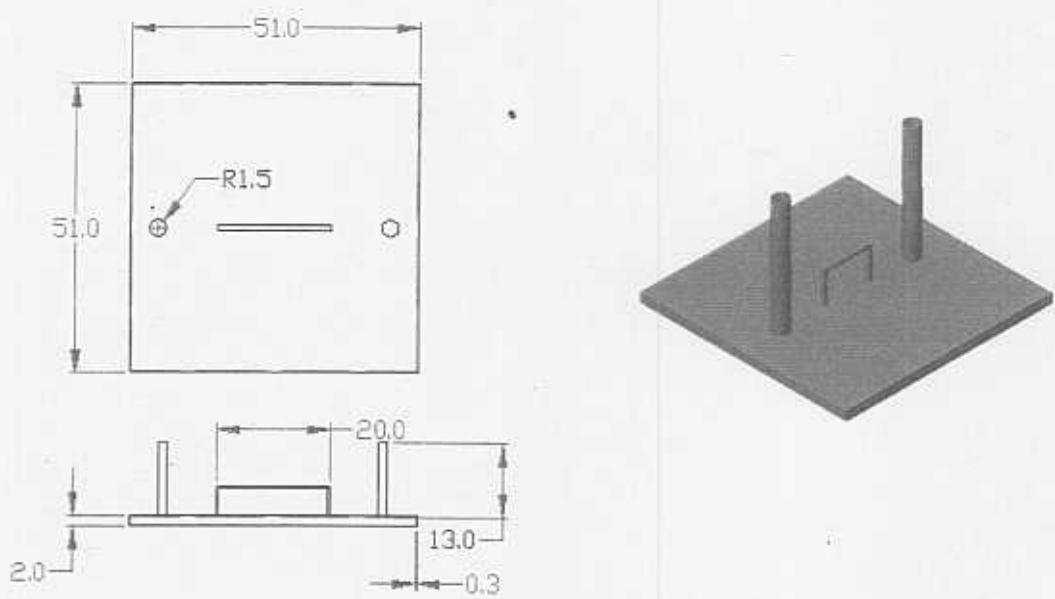
รูปที่ 3.4 ถึง 3.10 แสดงขนาดและลักษณะของส่วนต่างเครื่องอบแห้ง ซึ่งหน่วยต่างๆ ที่ใช้บอกขนาดจะมีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)



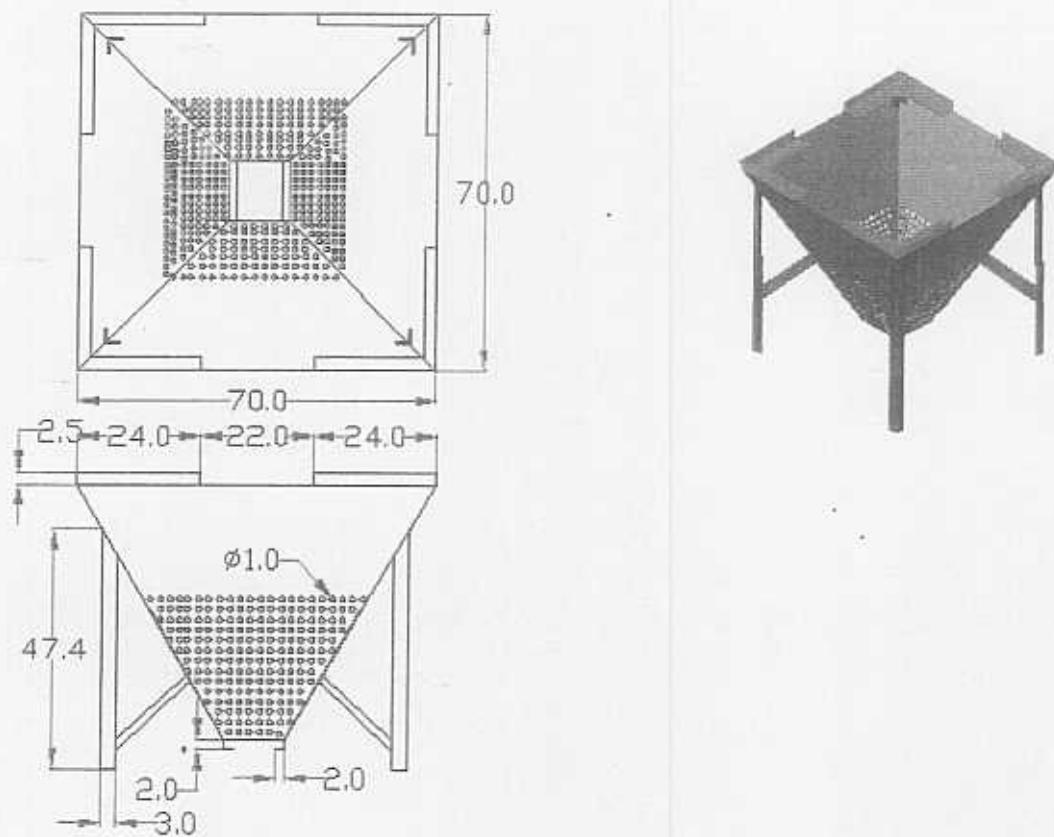
รูปที่ 3.4 ขนาดและลักษณะของห้องอบ



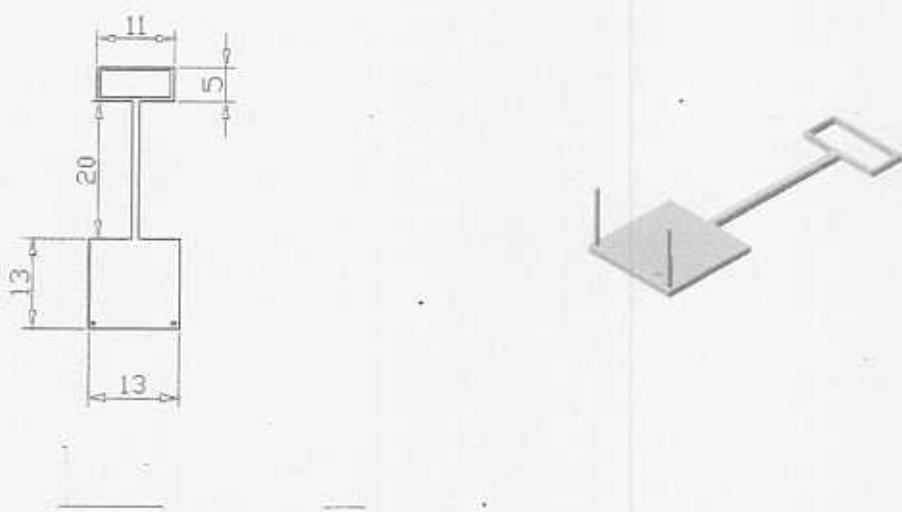
รูปที่ 3.5 ขนาดและลักษณะท่อไอเสียของห้องนอน



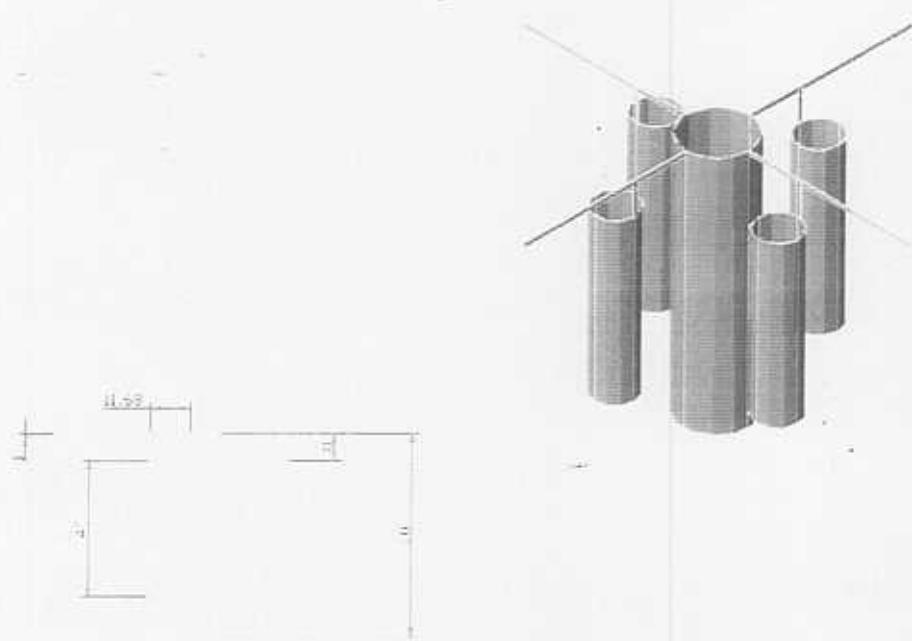
รูปที่ 3.6 ขนาดและลักษณะของฝ้าปิดห้องนอน



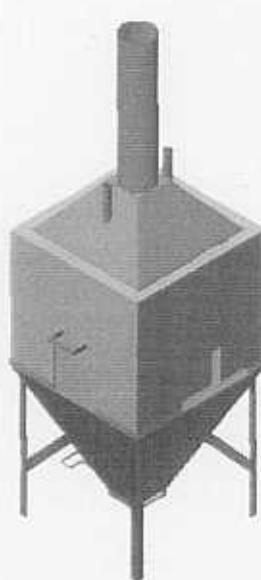
รูปที่ 3.7 ขนาดและลักษณะของห้องเผาใหม้



รูปที่ 3.8 ขนาดและลักษณะของที่ดักและกระแทกแกลบ-



รูปที่ 3.9 ขนาดและลักษณะของท่อน้ำเปลาไฟ

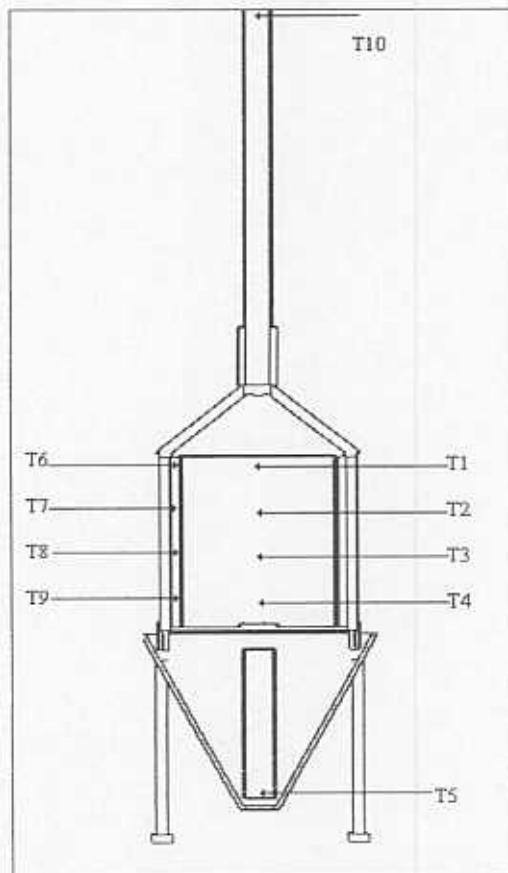


รูปที่ 3.10 ลักษณะเครื่องอบท่ออกรูแบบสมบูรณ์

### 3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งจะมีขั้นตอนที่พожะสรุปคร่าวๆ ได้ดังนี้

1. การเตรียมผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ทดสอบ
2. สูบตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปหาความชื้นเริ่มต้น
3. ซึ่งนำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนทำการทดลอง
4. นำผลิตภัณฑ์วางบนตะแกรงที่เตรียมไว้
5. ซึ่งนำหนักแกลบก่อนทำการทดลอง
6. ทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ตามรูปที่ 3.11
7. วัดความเร็วไอเสียออกจากเตาอบ โดยทำการวัดที่ปล่องระบายน้ำไอเสีย
8. ตรวจสอบคุณสมบัติ สี กลิ่น ลักษณะทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์ที่อบแล้ว
9. นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดลองไปหาความชื้นสุดท้าย
10. ซึ่งนำหนักแกลบหลังทำการทดลอง



รูปที่ 3.11 การวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ของเตาอบ

### 3.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บบันทึกประกอบด้วย

- 1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ทำการซึ่งน้ำหนักการใช้แกลบในการอบแต่ละครั้ง
- 2 ชั้นน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนทำการอบแห้ง
- 3 น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังทำการอบแห้งทุก ๆ 1 ชั่วโมง
- 4 อุณหภูมิตามต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยใช้เครื่อง Data logger
- 5 วัดความเร็วไอเสียออกจากเตาอบ ทำการวัดที่ปล่องระบายน้ำไอเสีย
- 6 องค์ประกอบไออกไซด์ที่ปล่องระบายน้ำไอเสีย

### 3.4 เครื่องมือวัด

1. เครื่องซึ่งน้ำหนักแบบสเกลสามารถอ่านค่าได้สูงสุด 5 kg
2. เครื่องซึ่งน้ำหนักแบบดิจิตอล สามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.0001 g อ่านค่าได้สูงสุด 320 g
3. เครื่อง Data logger และ Thermocouple Type K ใช้วัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ภายในเตา
4. Hotwire anemometer ใช้วัดความเร็วของไออกไซด์
5. Heat flux sensor ใช้วัดความร้อนสูญเสียที่ผนังด้านต่าง ๆ
6. Combustion analyzer ใช้วัดองค์ประกอบของไออกไซด์
7. นาฬิกาจับเวลา

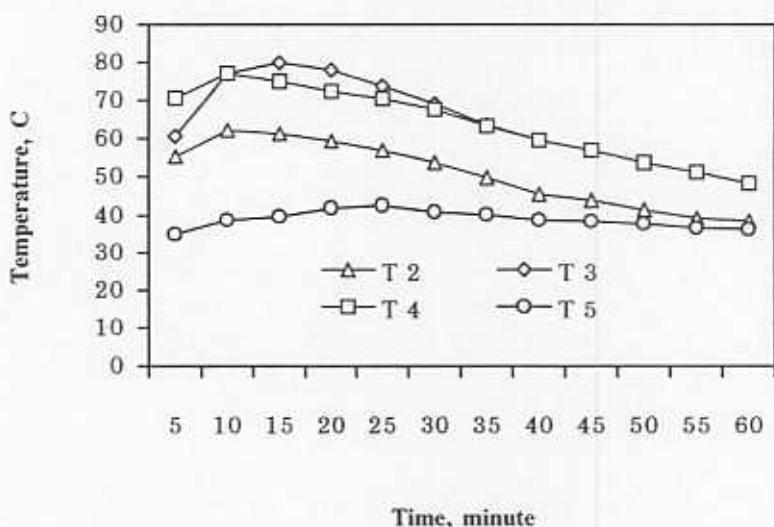
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงผลการศึกษาต่างๆ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ช่วงอุณหภูมิตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจะกล่าวถึงลักษณะพฤติกรรมการอบแห้งที่ได้จากการตากแดด และจากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง สำหรับหัวข้อดังไปก็จะกล่าวถึง ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีตามธรรมชาติ และใช้เครื่องอบแห้ง และในหัวข้อ 4.4 ก็จะแสดงวิธีการวิเคราะห์เชิงความร้อน และสุดท้ายก็จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้ง สำหรับรายละเอียดที่กล่าวมาไม่ตั้งนี้

#### 4.1 การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสม

ในการศึกษาส่วนแรก จะเป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้บ่งชี้ว่าเหมาะสม คือ ช่วงอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ต่างๆ ควรอยู่ในช่วง  $60-70^{\circ}\text{C}$



T2 คือ อุณหภูมิที่ปลายของปล่องไอเสีย ( $^{\circ}\text{C}$ )

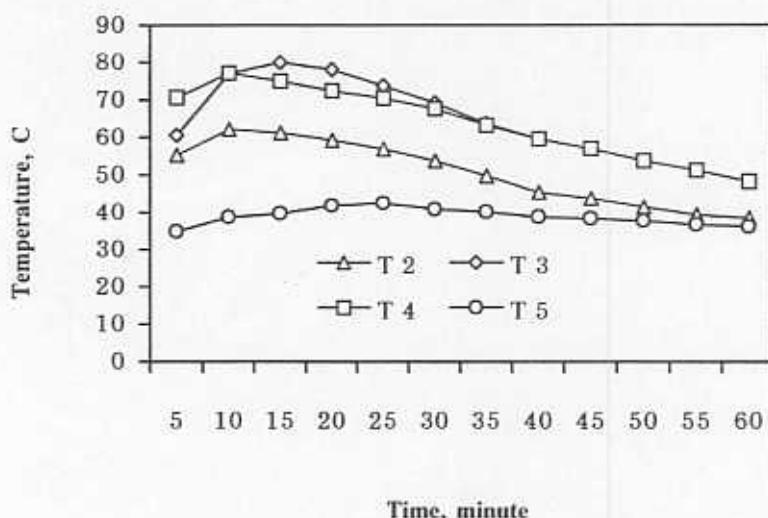
T3 คือ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ( $^{\circ}\text{C}$ )

T4 คือ อุณหภูมิของช่องอากาศด้านข้างห้องอบ ( $^{\circ}\text{C}$ )

T5 คือ อุณหภูมิของจนวน ( $^{\circ}\text{C}$ )

รูปที่ 4.1 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่างๆ เมื่อใช้แกลบ 0.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง โดยที่ใช้แกลบ เฉลี่ย 0.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่แสดงในรูปที่ 4.1 เป็นกรณีที่ภายในห้องอบแห้งยังไม่มีผลิตภัณฑ์อยู่ภายใน จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าห้องอบแห้งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง  $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$  โดยที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ  $65^{\circ}\text{C}$  ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแรกได้อุบกน้ำ มาเป็นข้อมูลสำหรับทดลองเพิ่มเติม เมื่อจากการทดลองครั้งที่ 1 ยังไม่มีผลิตภัณฑ์อยู่ภายใน ห้องอบแห้ง ดังนั้นหากต้องการอุณหภูมิห้องอบแห้งเฉลี่ยประมาณ  $65^{\circ}\text{C}$  ในช่วงที่ทำการอบแห้ง เรายังต้องทำให้ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่า  $65^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจริงๆ คือการให้พลังงานมากขึ้น เพื่อนำไปทดเชยพลังงานที่จะถูกใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์

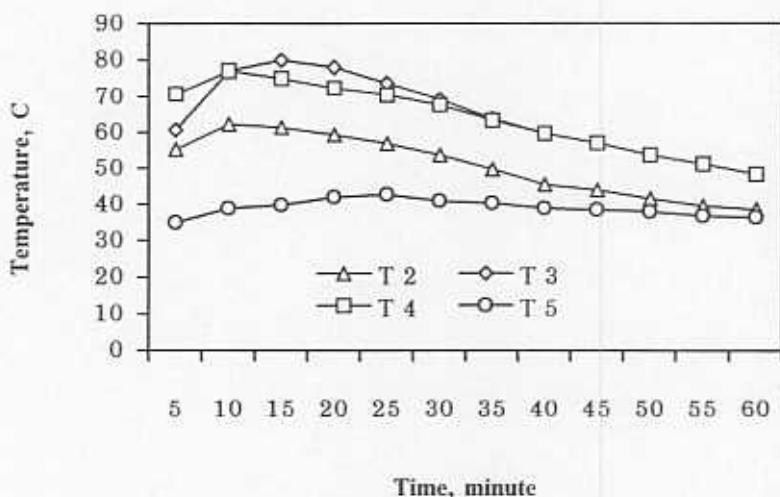


- T2 คือ อุณหภูมิที่ปลายของปล่องไอเสีย ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T3 คือ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T4 คือ อุณหภูมิของช่องอากาศด้านข้างห้องอบ ( $^{\circ}\text{C}$ )
- T5 คือ อุณหภูมิของจนวน ( $^{\circ}\text{C}$ )

รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่างๆ เมื่อใช้แกลบ 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง โดยที่ใช้แกลบ เฉลี่ย 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากกราฟในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าช่วงอุณหภูมิกายในห้องอบแห้งจะสูงกว่ากรณีใช้แกลบ 0.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเล็กน้อย ซึ่งโดยเฉลี่ยก็ประมาณ  $4^{\circ}\text{C}$  เมื่อดูแนวโน้มความเป็นไปได้ในการควบคุมอุณหภูมิกายในห้องอบแห้งให้ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ  $65^{\circ}\text{C}$  เมื่อมีผลิตภัณฑ์อยู่ภายใน ดังนั้นในขั้นตอนถัดไปได้ทดลองใส่ผลิตภัณฑ์เข้าไป โดยได้ลองใช้เนื้อ

6 กิโลกรัมในการทดสอบ (ໄລ່ເຕັມຄວາມຈຸ) ສ້າງຮັບອຸພທູນທີ່ໄດ້ຈາກການທົດສອບສາມາດແສດງໄດ້ດັ່ງຮູບທີ່ 4.3 ຈາກການທົດລອງຈະໄດ້ວ່າເນື້ອໄສເພີດວັນທີເຂົ້າໄປກີ່ຍັງສາມາດຄວບຄຸມອຸພທູນໃຫ້ອ່ຍ່ໃນຊ່ວງ 50-80°C ໂດຍມີອຸພທູນເຈີ່ຍຕິດລອດການທົດລອງປະມານ 65°C ຈາກຂ້ອສຽບປຽບນີ້ ທ່ານໃນງານວິຈัยນີ້ໄດ້ເລືອກທີ່ຈະປ້ອນແກລນໂດຍເລີ່ມຕໍ່ວ່າອົດຮັບ 0.5 ກີໂລກຣັນຕ່ອໜ້ວໂນງ



T2 ຕີ່ອ ອຸພທູນທີ່ປ່າຍຂອງປ່າຍໄວເສີຍ (°C)

T3 ຕີ່ອ ອຸພທູນກາຍໃນຫ້ອນບ່າງ (°C)

T4 ຕີ່ອ ອຸພທູນຂອງໜ່ອງກາສດ້ານຫ້າງຫ້ອນ (°C)

T5 ຕີ່ອ ອຸພທູນຂອງຈນວນ (°C)

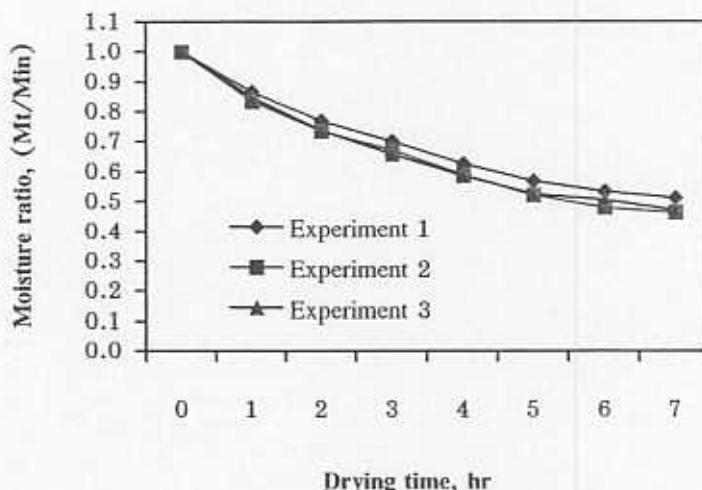
ຮູບທີ່ 4.3 ແສດງອຸພທູນທີ່ຕໍ່ແໜ່ງຕ່າງໆ ເນື້ອໃຊ້ແກລນ 0.5 ກີໂລກຣັນແລະເນື້ອ 6 ກີໂລກຣັນ

#### 4.2 ລັກຜະພາດຸຕິກຣມການອົບແໜ້ງ

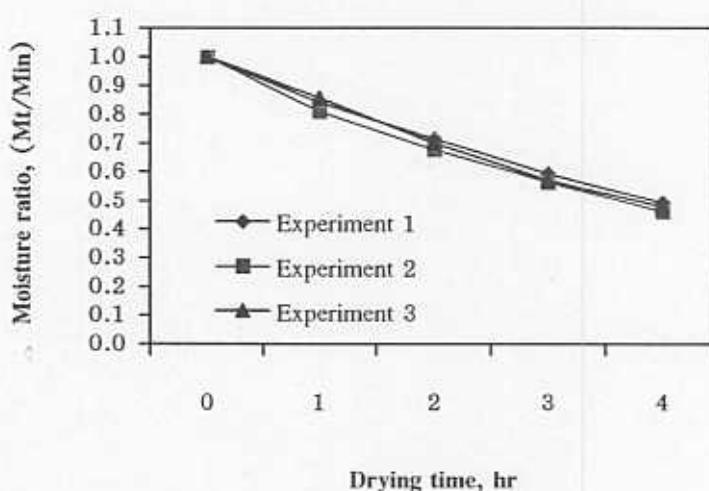
ສ້າງຮັບໃນສ່ວນຂອງການສຶກພາພາດຸຕິກຣມການອົບແໜ້ງ ໃນງານວິຈัยນີ້ໄດ້ສຶກພາພາດຸຕິກຣມການອົບແໜ້ງປາ ພັ້ນໃນການຟີທີ່ຕາກແດດ ແລະກາຮີທີ່ໃຊ້ເຄື່ອງອົບແໜ້ງ ໂດຍຂອ້ມູນທີ່ໄດ້ຈາກການສຶກພາຈະແສດງໃນຮູບຂອງເຫຼວມໄຣມິຕີ ສິ່ງໃນທີ່ນີ້ຕີ່ອ ແສດງພລອອກມາໃນຮູບປອງສັດສ່ວນຄວາມຫື້ນແລະເວລາ ຕັ້ງແສດງໃນຮູບທີ່ 4.4 ແລະ 4.5

ຮູບທີ່ 4.4 ແສດງລັກຜະການເປີ່ມຍັງແປ່ງຄວາມຫື້ນກົດລົງທຶນທີ່ໄດ້ປາມາຕາກແດດ ໂດຍໃນການທົດສອບຕາກແດດ ໄດ້ເວີ່ມທົດລອງຕັ້ງແຕ່ເວລາ 8.00 ນ - 17.00 ນ. ສິ່ງໄດ້ມີການທົດລອງຫ້າຫລາຍການທົດລອງເພື່ອຕຸລັກຜະແນວໂນ້ມທີ່ເກີດຫື້ນ ຈາກການທົດລອງຕາກປາລາທີ່ຄວາມຫື້ນເຮັ່ມຕົ້ນໂດຍເລີ່ມປະມານ 500 ເປົ້ອເຊັ້ນຕໍ່ມາດຽວງແໜ້ງ ເປັນເວລາ 7 ຊົ່ວໂມງ ພບວ່າຄວາມຫື້ນສຸດທ້າຍຈະອູ່ທີ່ປະມານ 220 ເປົ້ອເຊັ້ນຕໍ່ມາດຽວງແໜ້ງ ໂດຍລັກຜະຂອງປາລາທີ່ໄດ້ຈະມີລັກຜະເໝີອນປາແດດ

เดียวที่วางขายตามห้องตลาด และความชื้นสุดท้ายที่ได้ก็ใกล้เคียงกันกับปลาแಡเดตเดียวที่ขายตามห้องตลาด



รูปที่ 4.4 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาที่ผ่านการตากแดด



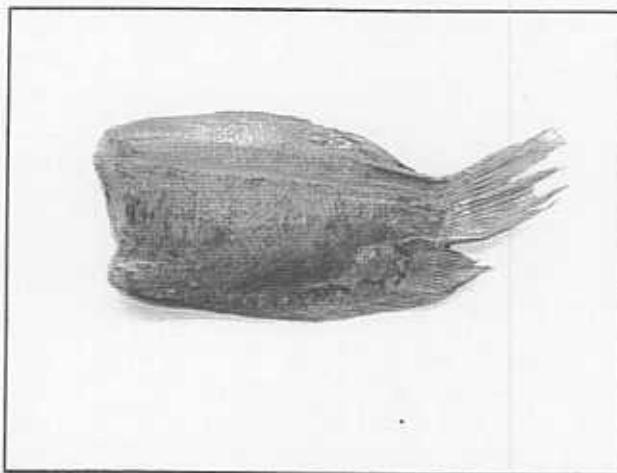
รูปที่ 4.5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาที่ผ่านการอบด้วยเครื่อง

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นกรณีที่นำปลามาเข้าเครื่องอบ ในการทดลองได้นำปลาที่มีความชื้นใกล้เคียงกับการทดลองกรณีตากแดด ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบผลการทดลอง อาย่างไรก็ตามในส่วนของการควบคุมตัวแปรในการเปรียบเทียบก็ได้เลือกใช้วิธีเปรียบเทียบโดยใช้เกณฑ์ของตัวแปรริมิติแล้ว ในการทดลองอบปลาที่ความชื้นเริ่มต้นโดยเฉลี่ย

ประมาณ 500 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่ง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พนักงานชั้นสุดท้ายจะอยู่ที่ประมาณ 200 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่ง จากการทดลองนี้จะเห็นว่าความสามารถลดระยะเวลาในการทำปลาแดดเดียวลงมาเป็น 3 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากอบแห้งด้วยเครื่องสามารถให้ผลลัพธ์ได้อย่างต่อเนื่องมากกว่าวิธีการตากแดด หากเปรียบเทียบจากกราฟในรูปที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นอย่างชัดเจนว่ากราฟในรูปที่ 4.5 มีความลาดชันค่อนข้างมากกว่ากราฟในรูปที่ 4.4 นั่นหมายความว่าอัตราการอบแห้งของกรณีใช้เครื่องมีค่านากกว่า ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง

#### 4.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบ

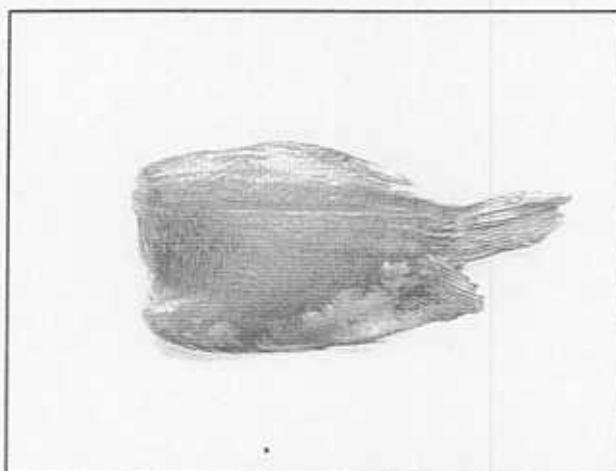
ในการศึกษาได้คุ้งลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งในแต่ละวิธี ซึ่งประกอบด้วยวิธีดังเดิม คือ การตากแดด และวิธีที่สอง คือ การใช้เครื่องอบ ในรูปที่ 4.6 ได้แสดงถึงลักษณะของปลาสลิดแดดเดียวที่ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยการตากแดด โดยมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 500 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่ง ตากแดดเป็นเวลา 7 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 220 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห่ง สำหรับลักษณะปลาที่ได้จากการตากแดดจะนำไปใช้เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทั่วๆ ไปของปลาที่ได้จากการอบโดยใช้เครื่องที่สร้างขึ้น หากดูจากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเป็นลักษณะโดยทั่วไปของปลาที่วางขายตามห้องตลาด อายุ่ไร้ก้านตามปลาที่ได้จากการตากแดดในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ค่อนข้างจะดีกว่าที่วางขายตามห้องตลาด เพราะว่ามีการเตรียมที่ดีกว่า



รูปที่ 4.6 ปลาสลิดแดดเดียวที่ได้จากการตากแดด

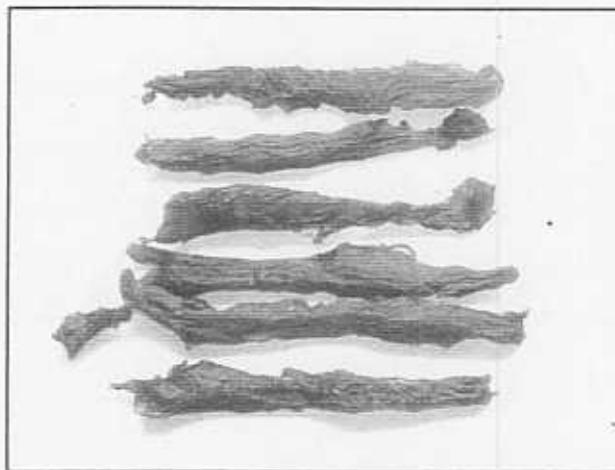
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะปลาสลิดแดดเดียวที่ได้จากการอบแห้ง ซึ่งใช้เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง โดยความชื้นเริ่มต้นของปลาที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากันกับปลาที่ใช้ตากแดด และเป็นปลาที่ซื้อมาในครั้งเดียวกันด้วย หากดูจากสีของปลาจะเห็นว่า ปลาที่ได้จากการอบจะมีสีที่เข้มกว่า

เนื่องจากมีความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่า และอีกประการหนึ่งที่ทำให้สีปลาเป็นเช่นนี้ เพราะว่า การให้ความร้อนกับปลา จะเกิดจากการแผ่รังสีมากกว่าการพากความร้อน ทำให้ผิวน้ำของปลาไม่รอยไหม้ หรือเสียบด้วยกัน ความชื้นก็สามารถถูกขับออกได้อย่างรวดเร็ว เพราะว่าการให้ความร้อนแบบแผ่รังสีจะอาศัยคลื่นแม่เหล็กที่สามารถถ่ายลูปผ่านผิวน้ำของปลาได้ ซึ่งจุดนี้เองที่เป็นข้อดีของการให้ความร้อนแบบแผ่รังสี



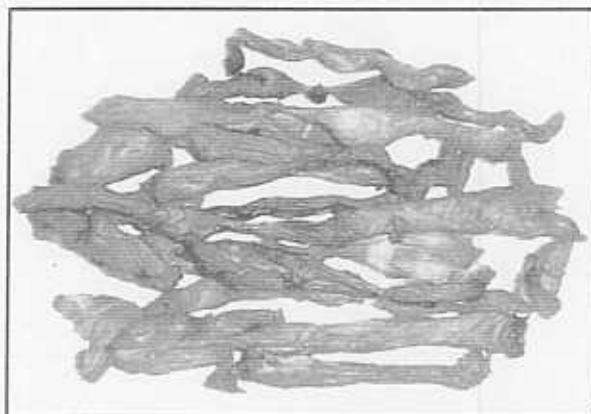
รูปที่ 4.7 ปลาสลิดแಡดเดียวที่ได้จากการเครื่องอบ

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของเนื้อแಡดเดียวที่ได้จากการตากแดด จากการทดลองพบว่า ถ้านำไปเผาที่มีความชื้นเริ่มต้น 400 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ไปตากแดดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้เนื้อแಡดเดียวที่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง



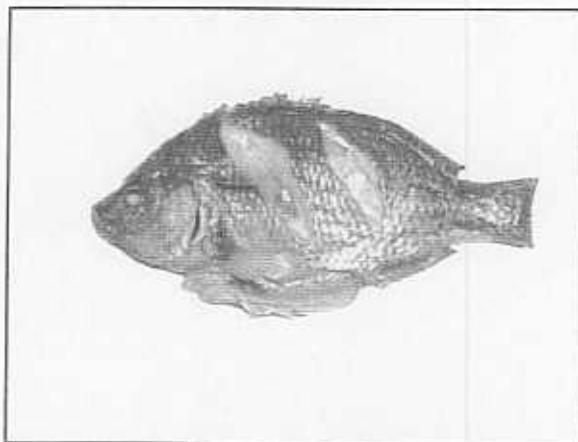
รูปที่ 4.8 เนื้อแಡดเดียวที่ได้จากการตากแดด

จากรูปที่ 4.8 จะสังเกตจะเห็นว่าเนื้อที่นำไปตากแฉดจะมีสีค่อนข้างออกแดงเข้ม ผิวนอกจะเห็นรอยเที่ยวย่นที่ชัดเจนเมื่อเทียบกับเนื้อที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.9 สำหรับการทดลองในเรื่องของเนื้อจะเห็นผลที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน คือ ระยะเวลาการทำ สำหรับการตากแฉดจะใช้เวลา 6 ชั่วโมง ในขณะที่ถ้าใช้เครื่องอบแห้งจะใช้เวลาเพียง 30 นาที สำหรับเหตุผลหลักๆ ที่ทำให้เกิดความแตกต่าง คือ พลังงานที่เนื้อดีรับ ซึ่งวิธีการใช้เครื่องจะให้พลังงานความร้อนกับเนื้อค่อนข้างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ รวมทั้งกระบวนการให้ความร้อนแบบแผ่รังสีก็ยังช่วยทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพสูงด้วย และสำหรับสิ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนอีกประการ คือ สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้เครื่องจะมีสีคล้ำขึ้น กับเนื้อย่าง แต่เป็นเนื้อที่ยังไม่สุก สำหรับสาเหตุที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ไม่เหมาะสม (สูงเกินไป)

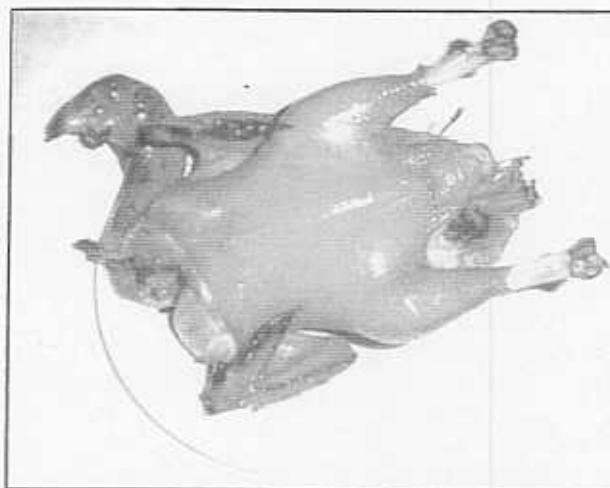


รูปที่ 4.9 เนื้อแฉดเดียวที่ได้จากการอบ

ในส่วนของการทดสอบอบผลิตภัณฑ์ให้สุก เพื่อให้สามารถรับประทานได้เลียนนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้เลือกทดลองกับปลา尼ล และไก่ สำหรับวิธีการอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุกจะกระทำการต่างจากวิธีการอบที่ผ่านมา คือ ในการอบเพื่อให้สุกจะใช้แกลบครั้งละ 1 กิโลกรัม และเปิดช่องปล่อยไอเสียเต็มที่ซึ่งจะได้อุณหภูมนิภัยในห้องอบแห้งประมาณ  $100-120^{\circ}\text{C}$  และใช้เวลาในการอบประมาณ 30 นาที ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่อบสุกดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 ปลาอบสุกที่ได้จากการเผือกอบ



รูปที่ 4.11 ไก่อบสุกที่ได้จากการเผือกอบ

#### 4.4 การวิเคราะห์เชิงความร้อน

##### 4.4.1 การวิเคราะห์การเผาไหม้

ในการวิเคราะห์ที่จะแสดงรายละเอียดให้เห็นดังต่อไปนี้ เป็นเพียงการวิเคราะห์หนึ่ง ถ้าอย่างเท่านั้น ซึ่งได้เลือกร(TM)แบบแห้งเนื้อแต๊ดเตี๊ยบมาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ สิ่งแรกที่ต้องทราบ คือ องค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแก๊สเป็นองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

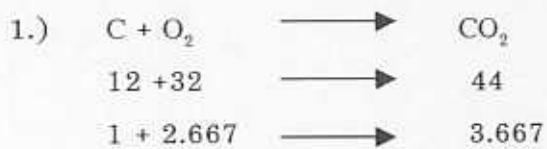
$$\begin{aligned}
 C &= 39.1 \% \\
 O &= 36.8 \% \\
 H &= 5.8 \% \\
 S &= 0.5 \% \\
 N &= 0.4 %
 \end{aligned}$$

ธาตุประกอบโดยรวม = 71.01

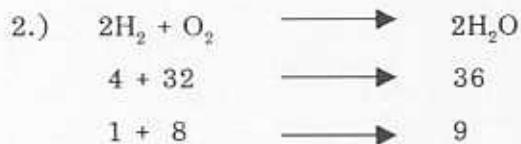
Ash และอื่นๆ = 17.4 %

และแกลบมีค่าความร้อน HHV = 14.4 MJ/kg

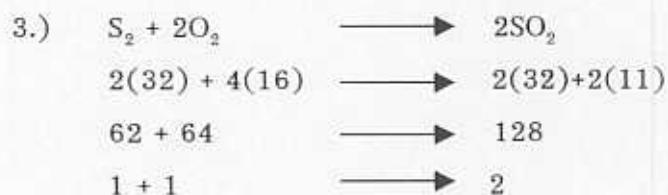
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้แกลบ สามารถสรุปได้ดังนี้



ตั้งน้ำ 0.391 kg ของ C จะใช้ O<sub>2</sub> = 2.667 × 0.391 = 1.043 kg



ตั้งน้ำ H = 0.058 kg จะใช้ O<sub>2</sub> = 0.058 × 8 = 0.464 kg



ตั้งน้ำ S = 0.005 kg จะใช้ O<sub>2</sub> = 0.005 × 1 = 0.005 kg

จากการวิเคราะห์พบว่าถ้าใช้แกลบ 1 kg จะต้องใช้ O<sub>2</sub> ทั้งหมด = 1.043 + 0.464 + 0.005 = 1.512 kg

สำหรับการเผาไหม้แกลบ ชั่งแกลบมี  $O_2$  ออยู่แล้ว = 0.368 kg ดังนั้นการเผาไหม้ต้องการใช้  $O_2$  จากอากาศ =  $1.512 - 0.368 = 1.144 \text{ kg}$  แต่เนื่องจากอากาศภายในอกจะมี  $O_2$  ออยู่ประมาณ 23.2% โดยน้ำหนัก ดังนั้นเพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์จะต้องใช้อากาศจากภายในอก =  $1.144 / 0.232 = 4.93 \text{ kg}$

### สมการสมดุลมวลการเผาไหม้

$$\begin{aligned} \text{มวลเชื้อเพลิง}(m_f) + \text{มวลอากาศแห้ง}(m_d) + \text{มวลอากาศชื้น}(m_w) &= \\ \text{มวลไอเสียชื้น}(m_{w_e}) + \text{มวลของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้}(m_r) + \text{มวลไอเสียแห้ง} \end{aligned}$$

ในการวิเคราะห์สามารถทำได้ดังนี้ เช่น ใช้แกลบ 0.5 kg ความชื้นจำเพาะอากาศ ( $\varpi$ ) 0.023 kg moisture/kg dry air และของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้ 0.06 kg จากข้อมูลเบื้องต้น สามารถหามวลไอเสียได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลไอเสีย } (m_e) &= (m_f) + (m_d)(1+\varpi) - (m_r) \\ &= 0.5 + 4.93 (1+0.023) - 0.06 \\ &= 5.483 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความชื้นในไอเสีย } (m_w) &= 9m_H + m_w \text{ ในอากาศ} \\ &= (9 \times 0.058) + (4.93 \times 0.023) \\ &= 0.522 + 0.113 \\ &= 0.635 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ไอเสียแห้ง } (m_{dg}) &= m_e - m_w \\ &= 5.483 - 0.635 \\ &= 4.848 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.4.2 การคำนวณความร้อนสูญเสีย

##### 1. พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง

$$\text{พลังงานเคมีในเชื้อเพลิง} = m_f \times \text{HHV}$$

เมื่อ  $m_f$  = น้ำหนักแกลบเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อ = 0.5 kg

HHV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแกลบ = 14.4 MJ

ดังนั้น ปริมาณพลังงานเคมีในเชื้อเพลิง =  $0.5 \times 14.4 = 7200 \text{ kJ}$

## 2. ความร้อนสูญเสียไปกับการอบแห้งเนื้อ

$$e_1 = m_{wp}(h_g - h_f)$$

เมื่อ  $m_{wp}$  คือ มวลน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อ = 1.8 kg

$h_g$  คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางเตา  $74^\circ\text{C}$   
(2628.8 kJ/kg)

$h_f$  คือ เอนทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ยกลางเตา  $74^\circ\text{C}$   
(292.98 kJ/kg)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อ} &= 1.8 \times (2628.8 - 292.98) \\ &= 4204.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

## 3. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง (ความชื้นในเชื้อเพลิงแกลบ 10 %)

$$e_2 = x_m m_f (h_g - h_s)$$

เมื่อ  $m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิง = 0.5 kg

$x_m$  คือ อัตราส่วนน้ำหนักความชื้นในเชื้อเพลิงต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง  
= 0.1 kg/kg fuel

$h_g$  คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก้าชร้อน  $68^\circ\text{C}$   
(2623.35 kJ/kg)

$h_s$  คือ เอนทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อม  $30^\circ\text{C}$   
(125.79 kJ/kg)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น พลังงานความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิง} \\ &= 0.5 \times 0.1 \times (2623.35 - 125.79) \\ &= 124.88 \text{ kJ} \end{aligned}$$

## 4. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากน้ำที่เกิดจากการรวมตัวของไฮโดรเจนกับออกซิเจน

$$e_3 = 9x_b m_f (h_g - h_s)$$

เมื่อ  $x_b$  คือ อัตราส่วนน้ำหนักของไฮโดรเจนต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง  
 $(0.058 \text{ kg/kg fuel})$   
 $m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิง = 0.5 kg  
 $h_e$  คือ เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิก้าชร้อน 68 °C  
 $(2623.35 \text{ kJ/kg})$   
 $h_a$  คือ เอนทัลปีของน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C  
 $(125.79 \text{ kJ/kg})$

ดังนั้น ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ของไฮโดรเจน

$$= 9 \times 0.058 \times 0.5 \times (2623.35 - 125.79) \\ = 651.86 \text{ kJ}$$

### 5. ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียแห้ง

$$e_4 = m_{\text{hot gas}} C_p (T_{\text{hot gas}} - T_{\text{amb}})$$

เมื่อ  $m_{\text{hot gas}}$  คือ มวลของไอเสียแห้ง = 4.848 kg  
 $C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอเสียร้อนที่ 68 °C  
 $(1.008 \text{ kJ/kg.K})$   
 $T_{\text{hot gas}}$  คือ อุณหภูมิของไอเสียร้อน = 68 °C

ดังนั้น ความร้อนสูญเสียไปกับไอเสียแห้ง

$$= 4.848 \times 1.008 \times (68 - 30) \\ = 185.7 \text{ kJ}$$

### 6. ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในอากาศที่ใช้เผาไหม้

$$e_5 = m_{\text{air}} \omega C_p (T_{\text{hot gas}} - T_{\text{amb}})$$

เมื่อ  $m_{\text{air}}$  คือ มวลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ = 4.93 kg  
 $\omega$  คือ ความชื้นสมบูรณ์ที่สภาวะแวดล้อม = 0.023  
 $C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอเสียชื้นที่ 68 °C  
 $(1.88 \text{ kJ/kg.K})$

$$T_{\text{hot gas}} \quad \text{คือ อุณหภูมิของไอเสียร้อน} = 68^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{amb}} \quad \text{คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม} = 30^{\circ}\text{C}$$

ดังนั้น ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในอากาศที่ใช้เผาไหม้

$$= 4.93 \times 0.023 \times 1.88 \times (68 - 30)$$

$$= 8.1 \text{ kJ}$$

#### 7. ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมด

$$e_6 = 32750 m_{\text{ash}} x_c$$

เมื่อ  $m_{\text{ash}}$  คือ มวลของชี้เก้า = 0.06 kg  
 $x_c$  คือ อัตราส่วนน้ำหนักคาร์บอนในชี้เก้าต่อน้ำหนักชี้เก้า  
 $(0.39 \text{ kg/kg ash})$

ดังนั้น ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่หมด

$$= 32750 \times 0.06 \times 0.39$$

$$= 766.35 \text{ kJ}$$

#### 8. ความร้อนสูญเสียไปกับชี้เก้า

$$e_7 = m_{\text{ash}} C_p (T_{\text{ash}} - T_{\text{amb}})$$

เมื่อ  $m_{\text{ash}}$  คือ มวลของชี้เก้า = 0.06 kg  
 $C_p$  คือ ความจุความร้อนของชี้เก้า = 0.87 kJ/kg.K  
 $T_{\text{ash}}$  คือ อุณหภูมิของชี้เก้า = 35 °C  
 $T_{\text{amb}}$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม = 30 °C

ดังนั้น ความร้อนสูญเสียไปกับชี้เก้า

$$= 0.06 \times 0.87 \times (35 - 30)$$

$$= 0.261 \text{ kJ}$$

9. ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากผลิตภัณฑ์ต่างอุณหภูมิแตกต่างกับสิ่งแวดล้อมเมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง

$$e_8 = m_{st} C_{p,st} (T_{st} - T_{amb})$$

เมื่อ  $m_{st}$  คือ มวลของเหล็กที่ใช้สร้างเครื่อง = 40 kg

$C_{p,st}$  คือ ค่าความจุความร้อนของเหล็ก = 0.68 kJ/kg.K

$T_{st}$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของเหล็ก = 55 °C

ดังนั้นความร้อนที่สูญเสีย

$$= 40 \times 0.68 \times (55 - 30)$$

$$= 680 \text{ kJ}$$

10. ความร้อนสูญเสียที่ผ่านผังเครื่องอบแห้ง

$$e_9 = qA$$

เมื่อ  $q$  คือ flux ความร้อนที่ผ่าน = 220 W/m<sup>2</sup>

$A$  คือ พื้นที่ผ่าน = 0.392 m<sup>2</sup>

ดังนั้นความร้อนสูญเสีย คือ

$$= 4 \times 220 \times 0.392$$

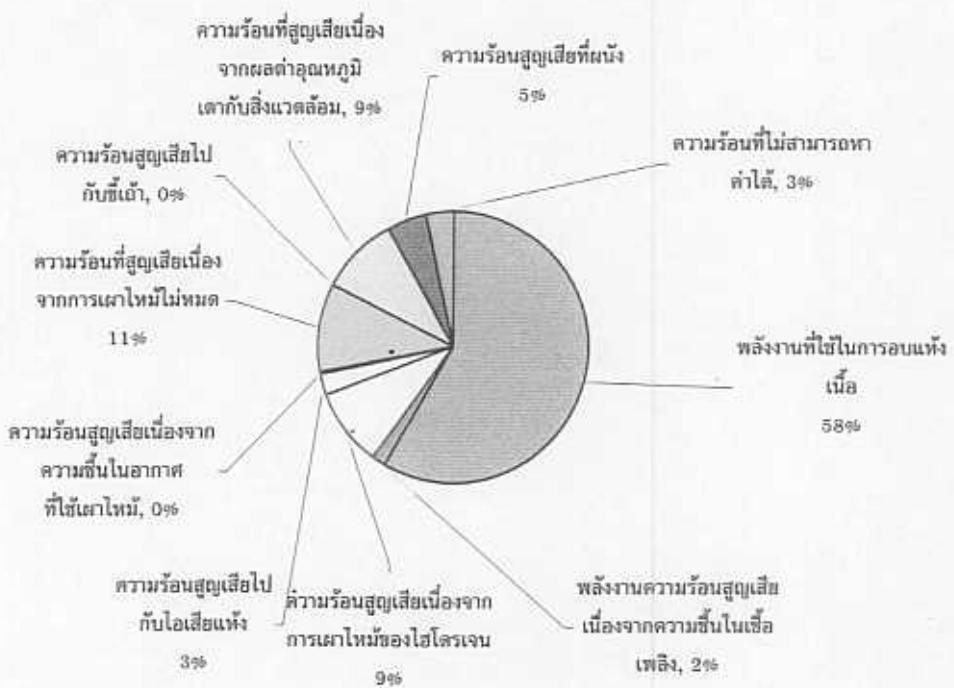
$$= 344.96 \text{ kJ}$$

11. ความร้อนที่ไม่สามารถหาค่าได้

$$\begin{aligned} e_{10} &= m_f HHV - \sum e \\ &= (7200 - 6966.61) \text{ kJ} \\ &= 233.4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในระบบทำให้ทราบว่า พลังงานที่ป้อนให้กับระบบประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ถูกใช้ในการไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ รองลงมาพลังงานจะสูญเสียไปกับการเผาไหม้ไม่หมด และการเผาไหม้โดยเร่งกับพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากผลิตภัณฑ์ต่างอุณหภูมิแตกต่างกัน

สิงแวดล้อม สำหรับเบอร์เชิญตัวการใช้พลังงานที่สูญเสียไปกับส่วนต่างๆ สามารถดูได้จากรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เบอร์เชิญตัวการสูญเสียพลังงานในส่วนต่างๆ สำหรับกรณีอบเนื้อ

#### 4.4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เพื่อประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นพารามิเตอร์แรกที่ใช้ประเมิน คือ ประสิทธิภาพรวม ซึ่งหาได้จาก

$$\eta = \frac{\text{อัตราการอบแห้ง} \times \text{ความร้อนแห้ง}}{\text{พลังงานที่ใช้ทั้งหมด}}$$

สำหรับการอบเนื้อ ซึ่งมีอัตราการอบแห้ง 1.8 kg/h ดังนั้นจะได้ว่า

$$\eta = \frac{1.8 \times 2335.82}{7200}$$

$$= 58.4\%$$

สำหรับพารามิเตอร์ที่สองที่นิยมใช้ประเมินเครื่องอบแห้ง คือ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{SMER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg}}{\text{พลังงานที่ใช้หั้งหมุด, MJ}}$$

$$= \frac{1.8, \text{ kg}}{7.2, \text{ MJ}}$$

$$= 0.25 \frac{\text{kg}}{\text{MJ}}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา จากการวิเคราะห์พบว่าสมรรถนะเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างดี

#### 4.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาต้นทุนในด้านต่างๆ มีข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง 5,000 บาท และมีข้อมูลฐานอื่นๆ ดังนี้

1. ราคาแกลบกิโลกรัมละ 30 สตางค์
2. อัตราดอกเบี้ย 8 เปอร์เซ็นต์
3. อายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง 5 ปี
4. ค่าบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งปีละ 5 เปอร์เซ็นต์ของราคានุทุน
5. น้ำส่วนต่อ拿来ใช้ในกระบวนการ 250 ครั้ง ใน 1 ปี
6. เครื่องอบแห้งถูกใช้งาน 250 ครั้ง ใน 1 ปี

สำหรับรายละเอียดของการวิเคราะห์ต้นทุนการทำปลา และเนื้อแಡดเดียวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของปลาแಡดเดียว

จากการทดลองพบว่าหากใช้ปลาหนัก 6 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้น 500 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยอบแห้งเป็นเวลา 4 ชั่วโมงจะได้ปลาแಡดเดียวที่มีความชื้นสุดท้าย 200 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จำนวน 3 กิโลกรัม โดยใช้แกลบ 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากข้อมูลเบื้องต้นนี้สามารถวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_p$ ) คำนวณได้จาก

$$C_p = 5,000 \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$= 5,000 \frac{0.08(1+0.08)^5}{(1+0.08)^5 - 1}$$

$$= 1,252.3 \quad \text{บาท/ปี}$$

มูลค่าซากของเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_s$ ) คำนวณได้ดังนี้

$$C_s = (0.1 \times 5,000) \left( \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right)$$

$$= (0.1 \times 5,000) \left( \frac{0.08}{(1+0.08)^5 - 1} \right)$$

$$= 85.2 \quad \text{บาท/ปี}$$

ค่าซ่อมบำรุงรายปี ( $C_m$ )

$$C_m = 0.05 \times 5,000$$

$$C_m = 250 \quad \text{บาท/ปี}$$

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรายปี ( $C_e$ )

พลังงานที่ใช้ได้แก่ แกลบ ดังนั้นค่าใช้จ่าย คือ

$$C_e = 0.5 \times 4 \times 0.3 \times 250$$

$$C_e = 150.0 \quad \text{บาท/ปี}$$

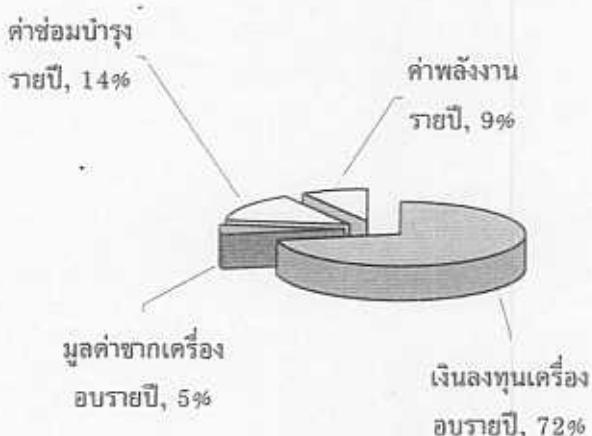
### ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด

$$C_T = C_p - C_s + C_m + C_e$$

$$C_T = 1,252.3 - 85.2 + 250.0 + 150.0$$

$$= 1,567.1 \text{ บาท/ปี}$$

จากการวิเคราะห์สามารถแสดงเป็นรูปที่ 4.13 ได้ดังนี้



รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับการผลิตของปลาสติกเดียว

### ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตปลาสติกเดียว} &= 3 \text{ กิโลกรัม/วัน} \times 250 \text{ วัน/ปี} \\ &= 750 \text{ กิโลกรัม/ปี} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมปลาสติกเดียว} = \frac{1,567.1}{750} = 2.1 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

#### 4.5.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเนื้อแตดเตี๋ยว

จากการทดลองพบว่าหากใช้น้ำหนัก 6 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้น 400 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยอบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะได้เนื้อแตดเตี๋ยวที่มีความชื้นสุดท้าย 90 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จำนวน 4.2 กิโลกรัม โดยใช้แกลบ 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากข้อมูลเบื้องต้นนี้สามารถวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

เงินลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_p$ ) คำนวณได้จาก

$$C_p = 5,000 \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$= 5,000 \frac{0.08(1+0.08)^5}{(1+0.08)^5 - 1}$$

$$= 1,252.3 \text{ บาท/ปี}$$

มูลค่าชาากของเครื่องอบแห้งรายปี ( $C_i$ ) คำนวณได้ดังนี้

$$C_i = (0.1 \times 5,000) \left( \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right)$$

$$= (0.1 \times 5,000) \left( \frac{0.08}{(1+0.08)^5 - 1} \right)$$

$$= 85.2 \text{ บาท/ปี}$$

ค่าซ่อมบำรุงรายปี ( $C_m$ )

$$C_m = 0.05 \times 5,000$$

$$C_m = 250 \text{ บาท/ปี}$$

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรายปี ( $C_e$ )  
พลังงานที่ใช้ได้แก่ แกลบ ดังนั้นค่าใช้จ่าย คือ

$$C_e = 0.5 \times 1 \times 0.3 \times 250$$

$$C_e = 75.0 \text{ บาท/ปี}$$

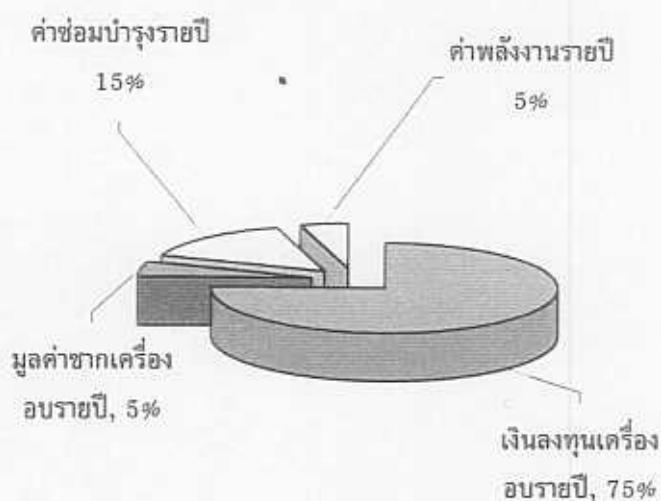
ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด

$$C_T = C_p - C_s + C_m + C_e$$

$$C_T = 1,252.3 - 85.2 + 250.0 + 75.0$$

$$= 1,492.1 \text{ บาท/ปี}$$

จากการวิเคราะห์สามารถแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับกรณีของเนื้อแเดดเดียว

### ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต

$$\begin{aligned}\text{ผลผลิตปลาแಡดเดีย } &= 4.2 \text{ กิโลกรัม/วัด} \times 250 \text{ วัด/ปี} \\ &= 1050 \text{ กิโลกรัม/ปี}\end{aligned}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมปลาแಡดเดีย } = \frac{1,492.1}{1050} = 1.4 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ทั้งสองชนิดพบว่า เนื้อแಡดเดีย้มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าปลาแಡดเดีย ซึ่งสาเหตุหลักๆ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตปลาแಡดเดียจะนานกว่า เนื่องจากปลาจะมีหนังที่ทำหน้าที่สมูoothกันน้ำ ทำให้หน้าในตัวปลาเระเหยือกมากกว่าเนื้อ ในขณะที่หากเราพิจารณาโครงสร้างของเนื้อพบว่าน้ำที่อยู่ในเนื้อจะสามารถกระเหยือกนาได้เร็ว เพราะว่าที่ผิวน้ำของเนื้อในแต่ละด้านในมีเซลล์ที่ทำหน้าที่เป็นกำแพงกันน้ำเหมือนปลากันน้ำ

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

งานวิจัยได้ออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งที่มีขนาดความจุ 6 กิโลกรัม โดยใช้ แกลบเป็นเชื้อเพลิง โดยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นได้มีการประเมินทั้งด้านสมรรถนะและทางด้าน เศรษฐศาสตร์ ซึ่งในการออกแบบและสร้างได้เน้นให้สามารถใช้งานง่าย บำรุงรักษาง่าย และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง ใน การทดสอบเครื่องอบแห้งที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงได้มีการทดสอบทั้ง การอบเพื่อให้สุกซึ่งใช้อุณหภูมิในการทำให้สุกอยู่ประมาณ  $100-120^{\circ}\text{C}$  และอบเพื่อทำปลาและ เนื้อแടตเดียวซึ่งควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $60-80^{\circ}\text{C}$

จากการใช้งานเพื่ออบผลิตภัณฑ์ให้สุกพบว่าผลที่ได้ค่อนข้างดี ลักษณะโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่น่าพอใจย่างมาก และยังพบว่ากลิ่นของเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้เลย ใน ฐานของการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 59 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตพบว่า ปลาและเนื้อ แടตเดียวมีต้นทุนในการผลิตเท่า 2.1 และ 1.4 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องอบแห้งโดยใช้เชื้อเพลิงข้าวมวลที่สร้างขึ้นนี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อีกด้วย การนำก้อนหินหรือวัสดุที่เก็บความร้อนได้ดีมาเพิ่มเข้าไปบริเวณช่องว่างที่ไอร้อนผ่าน เพื่อเป็นตัว เก็บสะสมพลังงาน และเพิ่มระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของไอร้อน ซึ่งจะทำให้ไอร้อนสามารถแผ่รังสี ความร้อนเข้าไปในห้องอบได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนและส่งผลให้ประสิทธิภาพของ เครื่องอบสูงขึ้นด้วย

2. การควบคุมความร้อนภายในห้องอบให้มีอุณหภูมิคงที่  $60-70^{\circ}\text{C}$  นั้น อาจสามารถทำ ได้โดยการค่อยๆ เดินเชื้อเพลิงแกลบลงไปในห้องเผาใหม่ เมื่อจากการเดินเชื้อเพลิงลงไปครั้งเดียว จะทำให้มีอุณหภูมิสูงในช่วงแรก

3. ในการที่จะทำเนื้อแടตเดียวโดยใช้เครื่องอบแห้ง ควรศึกษาหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการอบด้วยหลักการแผ่รังสี เพื่อให้สีของเนื้อเป็นที่น่าพึงพอใจ และมีลักษณะทั่วๆ ไปคล้าย กับที่วางขายตามห้องตลาด

## บรรณานุกรม

1. วนันท์ ศุภพิพัฒน์. 2538. อาหาร โภชนาการและสารเป็นพิษ. กรุงเทพฯ:แสงการพิมพ์.
2. สมชาติ ไสกแรมฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเนล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 338 หน้า.
3. ฐานิตย์ เมธيانนท์ นิวติ พิริยะรุ่งโรจน์ และ สมชาติ ไสกแรมฤทธิ์. 2547. เดาเพา ใหม่ウォร์เทคโนโลยีด้วยเบตแบบสองห้องเผาใหม่สำหรับเชื้อเพลิงแก๊ส. วารสารสังคมศาสตร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 26. ฉบับที่ 6. หน้า 875-893.
4. ติมรุพร ดุจโสananนท์ อิ่งยง แก้วก่อเกียรติ ภูรินทร์ อัครกุลธร และ พงษ์เจต พรมวงศ์. 2547. พฤติกรรมการเผาใหม่ของเตาแก๊สบาร์เทคแบบสองชั้น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18. วันที่ 18-20 ตุลาคม 2547. จังหวัดขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 1117-1121.
5. <http://www.doa.go.th/AedWeb/Cyclone.htm>. 13/08/2547.
6. [http://www.ata.or.th/ata/prose/html/se\\_technology/download/ecostove.pdf](http://www.ata.or.th/ata/prose/html/se_technology/download/ecostove.pdf). 13/08/2547.
7. สมชาติ ไสกแรมฤทธิ์ ชนิด สวัสดีเสวี สมบูรณ์ เวชกานา อดิศักดิ์ ชูจินดา และบุญรุ่ง ศรีสวัสดิ์. 2544. เดาเพาแก๊สแบบไฮคลอนสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก. วารสารราชบัณฑิตยสถาน. ปีที่ 26. ฉบับที่ 2. หน้า 68-80.
8. <http://www.doa.go.th/AedWeb/OVEN.HTM>. 15/08/2547.

## ประวัตินักวิจัย

### หัวหน้าโครงการ

ชื่อ (ภาษาไทย) นายอ่อมพิสก์ ทีบูญมา  
 (ภาษาอังกฤษ) MR. UMPHISAK TEEBOONMA  
 ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 7  
 Email : umphisak@hotmail.com

### ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก)	สาขาวิชา	ชื่อสถาบัน การศึกษา
2539	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี
2542	วิศวกรรมศาสตรมหา บัณฑิต	วิศวกรรมเครื่องกล	สถานบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ
2545	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี

### ผู้ร่วมโครงการ

ชื่อ (ภาษาไทย) นายนันทวัฒน์ วีระยุทธ  
 (ภาษาอังกฤษ) MR.NANTAWATANA WEERAYUTH  
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 6  
 Email : Weerayuth\_sn@yahoo.co.uk

### ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก)	สาขาวิชา	ชื่อสถาบัน การศึกษา
2539	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี
2544	วิศวกรรมศาสตรมหา บัณฑิต	วิศวกรรมเครื่องกล	สถานบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ (ภาษาไทย) นายนายอนิรุตต์ มัธจักก์  
 (ภาษาอังกฤษ) MR. ANIRUT MATHUJAK  
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์  
 Email : anirut@eng.ubu.ac.th

#### ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก)	สาขาวิชา	ชื่อสถาบัน การศึกษา
2540	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี
2542	วิศวกรรมศาสตรมหา บัณฑิต	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าอันบุรี