รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเตาอบผลิตผลทางการเกษตร

ผู้วิจัย รศ. วนิดา รัตนมณี
นายประโชติ ดำสองสี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินรายได้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2549

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย “การออกแบบและสร้างเตาอบผลผลิตทางการเกษตร” ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์ให้ความสนับสนุนจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ที่ได้ให้แนวคิด คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการดำเนินงานมาโดยตลอด เพื่อให้ผลงานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์สุริยา จิรสถิตสิน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในส่วนของการคำนวณในงานวิจัยชิ้นนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการทำผลงานวิจัยสิ่งประดิษฐ์จากงบประมาณเงินรายได้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2549

วนิดา รัตนมณี

คำนำ

งานวิจัย “การออกแบบและสร้างเตาอบผลผลิตทางการเกษตร” มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเตาอบผลผลิตทางการเกษตรต้นแบบ ให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและสามารถทำการอบได้ทั้งการอบแบบธรรมดาและอบรมควัน เหมาะสำหรับเกษตรกรและผู้ประกอบการร้านอาหารระดับย่อยได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคณะฯ และผู้ที่สนใจทั่วไป หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับด้วยความเต็มใจและพร้อมที่จะแก้ไขปรับปรุงในโอกาสต่อไป

วนิดา รัตนมณี

3 สิงหาคม 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัย “การออกแบบและสร้างเตาอบผลิตผลทางการเกษตร” มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเตาอบเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตรของไทย เช่น กุ้ง กล้วย และมะพร้าว เป็นต้น สำหรับวิธีการวิจัยในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการในการออกแบบเครื่อง และใช้ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อนของฉนวนกันความร้อนมาช่วยในการออกแบบเตาอบ วิธีการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอบรมควันผลิตผลทางการเกษตร ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยและผลกระทบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการอบ ขั้นตอนการออกแบบเตาอบรมควัน ขั้นตอนสร้างเตาอบรมควันตามที่ได้ออกแบบไว้ และขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพของเตาอบรมควันที่ได้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ ได้เตาอบรมควันผลิตผลทางการเกษตรขนาดเล็กที่มีความสามารถในการอบรมควันกุ้ง 10 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยใช้กุ้งอบรมควันร้อนในการออกแบบการคำนวณ ซึ่งเตาอบรมควันที่สร้างขึ้นนี้สามารถให้ผลที่ดีในการอบผลิตผลทางการเกษตร

Abstract

"Design and development of a small smoker oven prototype for agricultural products" is the research that focuses on design and development a machine to add agricultural products value such as shrimp, banana, coconut etc., in Thailand. For the research methodology, IE techniques, machine design concepts and heat transfer theory were applied to fulfill the goal. There were five steps of the research methodology, the production process of smoked agricultural products data collection, analysis of important factors affecting the production process, design of the smoker oven machine prototype, the machine construction, and conclusion of the machine performance. The obtained result of the research is the small smoker oven prototype with capability of 10 kilograms per batch of shrimp products. Hot smoked shrimps were selected for design calculation of this study. The smoker oven machine prototype gives good results of the smoked agricultural products.

สารบัญ

		หน้า
สารบัญ		
รายการตาราง		
รายการภาพประกอบ		
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
	1.4 วิธีการทำงานวิจัย	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	การสำรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 การสำรวจเอกสาร	4
	2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
3	ข้อมูลเบื้องต้น	45
	3.1 ศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อน	45
	3.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเตาอบที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน	46
	3.3 เปรียบเทียบเครื่องที่ทำหน้าที่ใกล้เคียงกับเครื่องที่ทำการออกแบบ	47
	3.4 ผลผลิตทางการเกษตรและคุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาอบ	47
	3.5 วัสดุประกอบต่าง ๆ ที่ใช้	50
	3.6 การคำนวณการถ่ายโอนความร้อน	51
4	การคำนวณและการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตร	55
	4.1 การออกแบบระบบและสำรวจวัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาอบ	55
	4.2 ผลการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตร	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดลองเตาอบรมควัน	61
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	64
4.5 การส่งมอบเตาอบรมควันให้กับโครงการของมูลนิธิชัยพัฒนา	65
5 สรุปผล	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	70
คู่มือการใช้งานเตาอบรมควัน	
บทความ POMS 19th Annual Conference, U.S.A.	

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	แสดงคุณลักษณะการรมควันแบบเย็นและแบบร้อน	9
2-2	แสดงความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีการตากแห้งและการอบแห้ง	10
2-3	แสดงปริมาณน้ำในผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ	14
2-4	ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (W/mK)	22
2-5	ลักษณะการใช้งานต่าง ๆ ของฮีตเตอร์ท่อกลม	25
2-6	แสดงตัวอย่างการระบุเสปกของฮีตเตอร์ครีบ แบบเหลี่ยม	27
2-7	ตารางแสดงอัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน TOD	38
3-1	การศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อน (Hot Smoked) จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร	45
3-2	เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของแต่ละเครื่องที่ทำการศึกษา	48
3-3	ค่าความร้อนจำเพาะของผลผลิตทางการเกษตรและวัตถุดิบทำอาหาร	51
3-4	ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	51
4-1	เปรียบเทียบเตาอบที่สร้างขึ้นกับเตาอบที่มีอยู่แล้ว	63

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
2-1	แสดงภาพกุ้งขาว	12
2-2	กุ้งอบเกลือ	12
2-3	แสดงฮีตเตอร์แท่งสำหรับใส่โมล ชนิด High Density	24
2-4	แสดงฮีตเตอร์แท่งสำหรับใส่โมล ชนิด Low Density	24
2-5	แสดงภาพตัวอย่าง ฮีตเตอร์ท่อกลมและฮีตเตอร์ครีบ	25
2-6	แสดงภาพตัวอย่างฮีตเตอร์ครีบ แบบเหลี่ยม	26
2-7	แสดงลักษณะทางกายภาพฮีตเตอร์จุ่ม	28
2-8	แสดงฮีตเตอร์อินฟราเรดรูปแบบต่าง ๆ	29
2-9	แสดงการทำงานของแม็กเนติกคอนแทคเตอร์	30
2-10	ภาพแสดงโครงสร้างลักษณะการทำงานของเทอร์โมสตาท	31
2-11	พัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดตรง	32
2-12	พัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า	32
2-13	พัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง	33
2-14	แสดงขั้นตอนที่ 1 การสร้างแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน	36
2-15	แสดงขั้นตอนที่ 2 การสร้างแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน	37
2-16	แสดงขั้นตอนที่ 3 การสร้างแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน	37
4-1	แสดงลักษณะเตาอบรมควัน	60
4-2	แสดงถาดบรรจุสินค้า 16 ถาดภายในเตาอบรมควัน	61
4-3	แสดงการอบกุ้งรมควันเย็นด้วยเตาอบรมควัน	62
4-4	แสดงการอบกุ้งรมควันร้อนด้วยเตาอบรมควัน	62
4-5	เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน	65
4-6	เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน	65
4-7	เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน	66
4-8	เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน	66
4-9	การส่งมอบและถวายเตาอบรมควัน	66
4-10	การส่งมอบและถวายเตาอบรมควัน	67
4-11	การส่งมอบและถวายเตาอบรมควัน	67

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมโดยประชากรร้อยละ 70 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม พืชผลทางการเกษตรจึงเป็นผลผลิตที่หาได้ง่ายและมีจำนวนมาก จากการที่ผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากเกินไปส่งผลต่อการเน่าเสีย การขายในปริมาณที่มากจะทำให้ราคาของผลผลิตต่ำลง และไม่สามารถควบคุมราคาของสินค้าได้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยตัวอย่างกระบวนการแปรรูปสำคัญที่มีใช้กันอยู่ คือ

การอบ เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการแปรรูปและถนอมรักษาผลผลิตทางการเกษตร เช่น กล้วยอบ ลำไยอบ ฟักทองอบ รวมถึงอาหารทะเลในปัจจุบัน เช่น กุ้งหรือปลา ก็เป็นทางเลือกที่ผู้บริโภครับประทานมากขึ้น โดยเฉพาะอาหารทะเลเมื่อนำมาทำการแปรรูปก็จะทำให้มูลค่าของตัวผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งถือเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง และเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ด้วย

การอบรมควัน ถือเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่มีมาเป็นเวลานาน โดยการอบรมควันเป็นกระบวนการใช้ความร้อนและสารเคมีที่มีในควันไม้เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์เป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย การอบรมควันอาหารจึงถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร

ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการออกแบบและสร้างเตาอบแห้ง และเตาอบรมควันขึ้น สรุปได้ดังนี้

1. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่)ได้จัดทำตู้อบกุ้งรมควันชานอ้อยขนาด 10 กิโลกรัม โดยใช้ทดลองอบกุ้งทั้งแบบรมควันร้อนและอบรมควันเย็น

2. บริษัทโชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิตได้จัดทำเตาอบแบบถาดวงล้อหมุน เพื่อใช้อบกุ้งรมควัน ตัวเครื่องสามารถอบได้ตั้งแต่ 50 องศาเซลเซียสขึ้นไป ใช้เวลาในการอบแต่ละครั้งไม่เกิน 20-25 นาที

3. บริษัทห้องเย็นโชติวัฒน์ได้จัดทำเตาอบทดลอง เพื่อใช้อบหัวกุ้งและทดลองอบอาหารต่าง ๆ โดยมีความสามารถในการอบสูงสุด 20 กิโลกรัม อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 50 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการอบไม่เกิน 1-2 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตามในการสร้างเตาอบดังกล่าวยังมีจุดบกพร่องบางประการ คือ

1. มีควันรั่วที่ประตูและบริเวณรอยต่อของตัวเครื่อง
2. ใช้ฮีตเตอร์แบบแท่งซึ่งให้ความร้อนได้น้อยกว่าแบบแผ่นหรือแบบครีบ
3. ไม่มีตัวควบคุมอุณหภูมิ
4. ภายในตู้ทำความสะอาดยาก
5. ตัวพัดลมดูด (Blower) และมอเตอร์มีขนาดใหญ่เกินไป
6. มีเศษสะเก็ดไฟและเขม่าจากเตาเผาชานอ้อยติดเข้าไปในเตาอบ เป็นต้น

จากข้อบกพร่องดังกล่าว งานวิจัยในครั้งนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยทำการออกแบบและสร้างเตาอบผลิตผลทางการเกษตรโดยทำเตาอบให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เหมาะสำหรับเกษตรกรและผู้ประกอบการร้านอาหารระดับย่อยได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และสามารถแก้ไขข้อบกพร่องทั้ง 6 ประการได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบผลผลิตทางการเกษตรต้นแบบ ให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและสามารถทำการอบได้ทั้งการอบแบบธรรมดาและอบรมควัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเตาอบผลผลิตทางการเกษตรได้จริงตามวัตถุประสงค์
2. ใช้หลักการคำนวณความร้อนมาช่วยในการออกแบบ
3. ความสามารถในการอบของเครื่องไม่เกิน 10 กิโลกรัมต่อครั้ง

1.4 วิธีการทำงานวิจัย

วิธีการทำงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับกรรมวิธีการถนอมอาหารโดยการอบในแบบต่าง ๆ เช่น การอบด้วยลมร้อน และการอบรมควันเป็นต้น ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเตาอบเพื่อนำมาออกแบบและสร้างเครื่องอบผลผลิตทางการเกษตรต้นแบบ ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่มีความสามารถในการทนความร้อนและเกิดการสูญเสียของอุณหภูมิให้น้อยที่สุด เพื่อนำมาสร้างตัวเครื่อง ศึกษาหลักการคำนวณการถ่ายโอนความร้อนของฉนวนกันความร้อนเพื่อนำมาช่วยในการออกแบบ ทำการสร้างเครื่องอบและทดลองใช้เครื่องเพื่ออบตัวอย่างของอาหารทะเลและผลผลิตทางการเกษตร และสรุปผลที่ได้จากการสร้างเครื่อง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เตาอบที่สามารถอบได้ทั้งแบบธรรมดาและแบบอบรมควัน

2. สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องอบไปตามสถานที่ต่าง ๆ ได้สะดวก

3. เครื่องมีความสามารถในการอบอาหารทะเลและผลผลิตทางการเกษตรได้หลากหลายภายในเครื่องเดียว

4. สามารถช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาอาหารทะเลและผลผลิตทางการเกษตร

บทที่ 2
การสำรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ก่อนที่จะมีการออกแบบ ได้มีการสำรวจและศึกษาผลงานและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตร โดยแยกเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้ 2 หัวข้อ ดังนี้ คือ ส่วนของการสำรวจเอกสารและส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การสำรวจเอกสาร

จากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ได้มีนักวิจัยคิดค้นและประดิษฐ์เตาอบแบบต่าง ๆ ไว้แล้ว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตาอบกุ้งรมควันชานอ้อยขนาด 10 กิโลกรัม ประดิษฐ์โดยคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่) งบประมาณในการสร้างประมาณ 80,000 บาท โดยส่วนประกอบของตู้อบกุ้งรมควันชานอ้อย มีดังนี้

- ภายนอกตู้อบมีขนาดประมาณ 1.2× 1.5×0.9 เมตร (กว้าง×ยาว×สูง)
- ภายในตู้อบมีขนาดประมาณ 0.66×1.05×0.63 เมตร (กว้าง×ยาว×สูง)
- ภายในผนังตู้ทำด้วยแผ่นสเตนเลส
- ภายในมีชั้นตะแกรงลวดสเตนเลส จำนวน 5 ชั้น
- ตู้อบหุ้มฉนวนภายนอกด้วยสังกะสี
- มีแผ่นหุ้มฉนวนภายนอกด้วยสังกะสี
- มีบานประตู เปิด-ปิด 1 บาน
- มีพัดลมขนาด 0.5 แรงม้า 1450 รอบ
- มีฮีตเตอร์ให้ความร้อนขนาด 3000 วัตต์
- มีชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้บอกตัวเลขเป็นไฟฟ้า

<u>ส่วนประกอบเพิ่มเติม</u>

- ชั้นวางตู้อบพร้อมล้อเลื่อน
- วาล์วเปิด-ปิดควัน
- แผ่นประเก็น
- แผ่นสังกะสี
- แผ่นผ้าใบกันการรั่วของลมร้อน (ต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่อง)

2. เตาอบกุ้งรมควันแบบถาดวงล้อหมุน ประดิษฐ์โดยบริษัทโชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิตได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้อบกุ้งรมควัน โดยเครื่องยังไม่ได้ทำการจดสิทธิบัตร ราคาต้นทุนเครื่องโดยประมาณ 100,000 บาท ข้อดีของเครื่องคือไม่ต้องทำการอุ่นเครื่องก่อนทำการอบและไม่ต้องออกแบบทางเดินลม เพราะเพลาจะทำการหมุนตะแกรงตลอดเวลา นอกจากนี้ข้อเสียของเครื่อง คือ มีควันรั่วที่หน้าประตูเล็กน้อยตัวเครื่องใช้ฮีตเตอร์แบบแท่งซึ่งจะทำให้ความร้อนน้อยกว่าแบบแผ่นไม่มีเทอร์โมสแตทควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องจึงต้องใช้คนควบคุมอุณหภูมิของเครื่องตลอดเวลา ภายในตู้ทำความสะอาดยาก และมีคราบยางอ้อยติดที่เพลาและผนังตู้ยากต่อการทำความสะอาด

ตัวเครื่องมีลักษณะพิเศษที่ต่างจากเตาอบรมควันทั่วไป คือ เป็นที่มีลักษณะคล้ายทรงกระบอก ซึ่งภายในประกอบด้วยถาดสำหรับอาหารทั้งหมด 6 ถาด ซึ่งทั้ง 6 ถาดนี้สามารถหมุนรอบภายในเตาได้ด้วยแกนเพลาตรงกลางเครื่อง จึงไม่จำเป็นต้องออกแบบทางเดินลมสำหรับรมควันอาหาร ตัวเครื่องสามารถอบอาหารได้เกิน 50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบอาหารแต่ละครั้งไม่เกิน 20-25 นาที

3. เตาอบทดลอง ประดิษฐ์โดยบริษัทห้องเย็นโชติวัติได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้อบหัวกุ้งและทดลองอบอาหารต่าง ๆ เครื่องยังไม่ได้ทำการจดสิทธิบัตร ราคาต้นทุนเครื่องโดยประมาณ 2,000-3,000 บาท ข้อดีของเครื่อง คือ สามารถประหยัดงบประมาณในการสร้างเครื่องเนื่องจากนำของที่ไม่ใช้แล้วมาประยุกต์โดยใช้แผ่น color bond เป็นฉนวนด้านนอกแทนแผ่นสแตนเลสทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้มาก และตะแกรงมีความห่างที่พอเหมาะทำให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย ส่วนข้อเสียของเครื่อง คือ มีควันรั่วที่บริเวณรอยต่อของตัวเครื่องเล็กน้อยทำให้ความสูญเสียความร้อน ไม่มีเทอร์โมสแตทควบคุมอุณหภูมิภายใน และตัวดูดอากาศพร้อมมอเตอร์มีขนาดใหญ่

ออกแบบเพื่ออบหัวกุ้งและทดลองอบอาหารต่าง ๆ มีความสามารถในการอบสูงสุดได้ 20 กิโลกรัม โดยใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบไม่เกิน 1-2 ชั่วโมง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเตาอบจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ คุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตร การถ่ายโอนความร้อนและปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการออกแบบ โดยรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.2.1 **กระบวนการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ**

ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นานและมีราคาถูกเมื่อขายในปริมาณที่มาก จึงมีการนำผลผลิตทางการเกษตรต่าง ๆ มาทำการแปรรูปด้วยกระบวนการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ ได้แก่ การอบแห้ง การรมควัน และการตากแห้ง โดยกระบวนการถนอมอาหารแต่ละแบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **การอบแห้ง** (Drying)

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญ ๆ และนำมาอบแห้ง ได้แก่ ธัญพืชชนิดต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มต่าง ๆ เช่น สับปะรด มะม่วงโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งผลไม้จะไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรโดยการอบแห้งก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมาก สรุปได้ดังนี้

(1) เพื่อการถนอมอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

(2) อาหารมีน้ำหนักเบาเพราะน้ำส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกแล้วทำให้สะดวกในการเก็บ การบรรจุหีบห่อ และส่งไปยังที่ห่างไกล

(3) เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปแล้วให้สูงขึ้นกว่าการส่งผลผลิตในรูปวัตถุดิบ

(4) ได้อาหารที่มีรส สี และกลิ่นต่างออกไป เป็นการเพิ่มให้อาหารมีรสชาติมากขึ้น (สมชาติ, 2540)

2. **การรมควัน** (Smoking)

สำหรับการรมควันเป็นวิธีที่ใช้กันมานานและเป็นการถนอมอาหารที่ต่างไปจากการตากแห้งธรรมดาคือ นอกจากจะเป็นการกระทำให้อาหารแห้งแล้วยังมีควันช่วยรักษาให้อาหารเก็บไว้ได้นานยิ่งขึ้นทั้งยังให้กลิ่นและรสชาติต่างออกไปอีกเป็นที่นิยมมาก (วัฒนา, 2522) การรมควันเกิดขึ้นจากขนบธรรมเนียมโบราณที่เอาเนื้อสัตว์ ปลา เคอร์ดของเนยแข็งและสัตว์ปีก ไปตั้งไว้ใกล้ ๆ กับช่องออกของควันและเมื่ออาหารดังกล่าวได้รับไอและควันแทงทะลุเข้าไปในอาหาร จะทำให้คุณภาพการเก็บนานขึ้น นอกจากนี้การรมควันยังให้กลิ่นรสพิเศษกับอาหารอีกด้วย (Borgstrom, 1971)

การรมควันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้หลังจากการหมักเค็ม การรมควันนอกจากจะมีผลในการเก็บรักษาแล้วยังให้กลิ่นรสที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์เนื้อที่สุกแล้วหรือต้องทำให้สุกภายหลังจากการรมควันนั้นนิยมควบคุมอุณหภูมิห้องรมควันที่ 57 องศาเซลเซียสและให้

อุณหภูมิภายในของชิ้นเนื้อเป็น 52 องศาเซลเซียส แต่ในกรณีที่การรมควันเป็นกระบวนการทำเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อพร้อมบริโภคนั้นจำเป็นต้องรมควันจนอุณหภูมิภายในไม่ต่ำกว่า 58 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อจุดมุ่งหมายในการทำลายพยาธิพวก Trichinosis

การรมควันมี 2 แบบคือ 1. แบบเปิดหรือแบบธรรมชาติโดยการสุมไฟด้วยไม้ที่ให้ควัน แล้วแขวนหรือแผ่อาหารไว้เหนือกองเพลิงวิธีนี้อาจจะรมควันอาหารได้ครั้งละมาก ๆ โดยทำเป็นแคร่ขนาดใหญ่แบบการตากแห้งอาหารปกติแต่สุมไฟอ่อน ๆ ให้ควันรมอาหารไปพร้อมกับความร้อนจากไฟที่ช่วยให้อาหารแห้งเร็วขึ้น วิธีนี้เหมาะสำหรับรมควันปลาที่ไม่ต้องการควันมากนัก 2. แบบปิด คือมีสิ่งปกปิดไม่ให้ควันกระจายออกไปมากทำให้อาหารได้รับควันเต็มที่และเสมอกัน ระยะเวลาในที่ใช้สั้นกว่าแบบเปิด วิธีนี้ทำได้หลายแบบ ตั้งแต่แบบง่าย ๆ ไม่ต้องลงทุนมาก คือ ใช้กระป๋องหรือถังขนาดใหญ่ ตัดฝาออกทั้งสองด้านตั้งบนแผ่นอิฐหรือกระเบื้องที่จะใช้สุมควัน แขวนอาหารไว้ตอนบนและปิดพอไม่ให้ควันกระจายออกไปมากนัก ถ้าจะรมควันอาหารครั้งละมาก ๆ อาจสร้างเป็นตู้ขนาดเล็กแล้วสุมควันไว้ที่พื้น เชื้อเพลิงที่ใช้สุมให้เกิดควันอาจใช้ได้หลายชนิด เช่น เศษไม้ กาบมะพร้าว ชานอ้อย ซางข้าวโพด เป็นต้น เชื้อเพลิงแต่ละชนิดให้ปริมาณควัน สีและกลิ่นต่างกันบ้างเล็กน้อย แต่องค์ประกอบของควันที่สำคัญจะคล้ายกันซึ่งได้แก่ พวกฟีนอล กรดอะซิติค และกรีโอโสต ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการป้องกันจุลินทรีย์ต่าง ๆ พวกอัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการให้กลิ่นรสแก่อาหารรมควัน ความร้อนจากควัน นอกจากทำให้อาหารแห้งยังช่วยทำลายจุลินทรีย์ต่าง ๆ ด้วย จุลินทรีย์บางชนิดทนความร้อนและเจริญได้ในอุณหภูมิ 20-45 องศาเซลเซียส ดังนั้นเราจึงนิยมรมควันอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ การรมควันทำโดยพยายามให้ควันหนาและใช้ระยะเวลาสั้นเพื่อทำลายจุลินทรีย์ให้ได้มากที่สุด (วัฒนา, 2522) ข้อดี คือมีควันช่วยรักษาให้อาหารเก็บไว้ได้นานมากขึ้นให้กลิ่นและรสชาติต่างออกไปเป็นที่นิยมมาก และสามารถอบได้ในปริมาณครั้งละมาก ๆ ส่วนข้อเสีย คือ มีข้อจำกัดของวัตถุดิบที่นำมาอบ คือ ต้องสดมากและมีขนาดใกล้เคียงกัน และต้องระวังไม่ให้ไฟแรงเกินไป เพราะอาจเป็นสารก่อมะเร็ง

การอบรมควันแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การรมควันแบบเย็น (Cold Smoking) เป็นการใช้ควันเย็นที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Borgstorm, 1971) ระยะเวลาในการรมควันจะกินเวลาถึงสัปดาห์ ถ้าใช้ควันไม่มาก หรือในกรณีที่ใช้ควันมาก จะใช้เวลาเพียง 2 – 3 วัน การรมควันแบบนี้ใช้กับอาหารอบแห้ง หรืออาหารก่อนทำการหมัก (Lueck, 1980) สำหรับในกรณีประเทศที่มีอุณหภูมิสูง อุณหภูมิของควันอาจจะสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเรียกการรมควันแบบนี้ว่า “การรมควันแบบอุ่น”

2. การรมควันแบบร้อน (Hot Smoking) วิธีนี้จะใช้อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้รมควันสำหรับวิธีนี้ค่อนข้างสั้น คืออาจจะประมาณ 30 นาที ถึง 3 ชั่วโมง และใช้ควันจำนวนมาก

กลไกการเกิดสีในอาหารรมควัน แม้ว่ากลไกของการเกิดสีในอาหารรมควันจะยังไม่รู้ในรายละเอียดมากนักก็ตาม แต่ว่าในปัจจุบันก็ได้มีการอธิบายชี้แจงกระบวนการนี้มากขึ้น

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าสีในอาหารรมควันนี้ เป็นผลโดยตรงของน้ำมันที่จับติดบนผิวหน้าของอาหารในระหว่างกระบวนการรมควัน น้ำมันในที่นี้หมายถึงส่วนที่กระจายของควันที่สามารถจับติดตามช่องทางออกของท่อและส่วนอื่น ๆ ในเตาเผาตลอดจนบนผิวหน้าของอาหาร (Ruiter, 1979) อย่างไรก็ดีการจับติดของน้ำมันบนผิวหน้าที่เฉื่อย เช่น ไส้ที่เตรียมจากเซลลูโลส สำหรับไส้กรอกจะไม่เกิดสีน้ำตาลในระดับความเข้มเท่ากับสีที่เกิดในอาหารที่เป็นโปรตีนทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนิล-อะมิโน และสารฟีนอลก็มีบทบาทต่อการเกิดสีของอาหารรมควัน

เมื่อกลับมาพิจารณาถึงการดูดกลืนส่วนประกอบของควัน โดยอาหารนั้นแสดงให้เห็นว่า ส่วนที่กระจายหรือส่วนที่เป็นอนุภาคของควันมีความสำคัญน้อยมาก แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นกับแหล่งกำเนิดควัน เช่น การรมควันแบบร้อนดั้งเดิมที่แขวนปลาบนไฟที่กำลังติดอยู่โดยตรง อนุภาคของควันจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสีในอาหาร (Ruiter, 1979) ได้กล่าวว่าอนุภาคที่กล่าวมานี้จะต่างจากอนุภาคที่ได้จากเตาเผาพอสมควร ธรรมชาติของอนุภาคจะขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์ในควัน/ส่วนผสมของอากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ส่วนที่กระจายนี้จะประกอบด้วยหยดน้ำที่มีสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม และมีความหนืดต่ำ แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (ต่ำกว่า 60–70%) ขนาดของอนุภาคจะเล็กลง และบางอนุภาคจะจับติดในลักษณะที่แห้งแต่บางอนุภาคเมื่อรวมตัวจะมีลักษณะเป็นของเหลวเหนียวหนืด เนื่องจากว่าการจับติดของอนุภาคในลักษณะแห้งบนผิวหน้าโปรตีนหรือไม่ใช่โปรตีน จะทำให้เกิดสีเหลืองอ่อน ๆ การเกิดสีรมควันจะต้องเกิดจากการดูดกลืนสารประกอบในควันก๊าซ (Borgstorm, 1971)

จากการอธิบายถึงรายละเอียดคุณลักษณะต่าง ๆ ของการรมควันแบบร้อน และการรมควันแบบเย็นได้แสดงความแตกต่างของแต่ละคุณลักษณะดังแสดงได้จากตารางที่ 2-1

เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการเกิดสีในอาหารรมควันนั้นเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของควันและโปรตีน นอกจากนี้ เจลาติน กรดอะมิโน และเอมีน มีส่วนทำปฏิกิริยากับควันหรือสารละลายควันทำให้เกิดเป็นสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ จากรายงานนี้ชี้ให้เห็นว่ากลุ่มอะมิโนจะเป็นตัวการสำคัญในปฏิกิริยา และปฏิกิริยาการเกิดสีรมควันนั้นจะมีลักษณะเหมือนกับปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาล

ตารางที่ 2-1 แสดงคุณลักษณะการรมควันแบบเย็นและแบบร้อน

	การรมควันแบบร้อน	**การรมควันแบบเย็น**
วัตถุดิบ	สด หรือแช่เยือกแข็ง	หมักเกลือ
อุณหภูมิการรมควัน, องศาเซลเซียส	80 – 70	ต่ำกว่า 40
ระยะเวลาการรมควัน	4 – 5 ชม.	5 วัน
ปริมาณเกลือ, %	4	7 – 15
ความคงตัวของเนื้อ	ฉ่ำ , นุ่ม	ลักษณะแน่น
ความเร็วลมแบบเก่า	4.5 ม.ต่อนาที	ไม่มีหรือมีเล็กน้อย
แบบใหม่พร้อมแรงบังคับหมุนเวียน	23 – 30 ม.ต่อนาที	-
ความชื้นสัมพัทธ์ของควัน, %	14	30
การสูญเสียน้ำหนัก, %	9.2 – 14.3	3 – 5
ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์สุดท้าย, %	60 - 70	48 - 55

ที่มา : วัฒนา ประทุมสินธุ์, 2522

3. การรมควันแบบอื่น ๆ การรมควันแบบอื่น ๆ ผู้บริโภคในบางประเทศต้องการผลิตภัณฑ์รมควันที่มีสีชวนบริโภคแต่ไม่ต้องการกลิ่นรมควันมากเกินไป จึงทำให้มีการคิดค้นสีเทียม และสารละลายของสารประกอบคาร์บอนิลเข้มข้นขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วนับว่าเป็นไปได้เมื่อสารละลายของสารประกอบคาร์บอนิลเข้มข้นฉีดพ่นที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมาก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปทำให้แห้งอีกครั้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาของสีขึ้น แต่สารละลายนี้มีราคาแพง และไม่ค่อยอยู่ตัว

นอกจากวิธีดังกล่าวแล้วอาจจะทำได้โดยการใช้วิธีการจับตัวแบบไฟฟ้าสถิต แต่ว่าวิธีนี้จะให้กลิ่นรสที่ไม่ดีกับผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ไม่นิยมทั่วไป (Ruiter, 1979)

3. การตากแห้ง

เป็นวิธีที่เริ่มจากภูมิภาคที่อากาศแห้ง เช่น ภูเขา และทะเลทราย มนุษย์อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้อาหารแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเมล็ดข้าวและถั่วต่าง ๆ รวมไปถึงเนื้อสัตว์ ปลา และผลไม้ด้วย โดยเฉพาะผลไม้ที่มีรสหวานจัด การตากแห้งจะทำให้น้ำตาลในผลไม้มีความเข้มข้นมากขึ้น เป็นการช่วยให้เก็บผลไม้นั้นไว้นาน เช่น อินทผลัมแห้ง กล้วยตาก และองุ่นแห้ง หรือที่เรียกว่า ลูกเกด (นวลจิตต์, 2542)

การตากแห้งได้พัฒนาขึ้นโดยปราศจากความรู้ปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการถนอมอาหาร หรือความรู้ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการลดลงของความชื้นจากที่ระยะแรกใช้แสงอาทิตย์และกระแสลมเท่านั้นแต่ต่อมาได้มีการใช้เกลือ การรมควัน และวิธีปฏิบัติอื่น ๆ ร่วม

ด้วย (ไพบูลย์, 2529) ข้อดีของการตากแห้ง คือ ทำให้น้ำตาลในผลไม้มีความเข้มข้นมากขึ้น มีสีของอาหารที่ดีน่ารับประทาน และเสียค่าใช้จ่ายน้อย ส่วนข้อเสีย คือใช้เนื้อที่มากได้ปริมาณผลผลิตน้อย และควบคุมความสะอาดได้ยาก

จากการอธิบายถึงรายละเอียดเกี่ยวกับกรรมวิธีการอบแห้งและการตากแห้ง ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการยังมีข้อแตกต่างกันชัดเจนดังแสดงได้จากตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีการตากแห้งและการอบแห้ง

การตากแห้ง	การอบแห้ง
1. อาศัยธรรมชาติ จึงขึ้นอยู่กับสภาพอากาศของแต่ละท้องถิ่น 2. ต้องการเนื้อที่ในการตากแห้งมาก 3. ลำบากในการควบคุมความสะอาดและความปลอดภัย 4. ปริมาณผลผลิตที่ได้น้อยกว่าเพราะ ต้องอาศัยแสงแดดเฉพาะกลางวัน 5. อาจมีการเสื่อมคุณภาพระหว่างการตากแห้ง เช่น น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ เพราะใช้เวลานาน 6. วิตามินหลายอย่างเสื่อม เช่น ซีและเอ เพราะใช้เวลาตากนาน 7. สีอาหารดีกว่า 8. ไม่ต้องใช้เครื่องมือมาก 9. เสียค่าใช้จ่ายน้อย	1. อาศัยการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นในเตาอบได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีเสมอ ไม่ว่าสภาพแวดล้อมเป็นอย่างไร 2. ไม่เปลืองเนื้อที่มาก ซ้อนกันได้ 3. ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องความสกปรก หรือเชื้อโรคเพราะอยู่ในที่ปกปิด 4. ผลผลิตที่ได้มีปริมาณมากเพราะดำเนินงานได้ 24 ชั่วโมง 5. ไม่มีปัญหาด้านการเสื่อมคุณภาพ เพราะเป็นวิธีที่รวดเร็วและมีการควบคุมอุณหภูมิ 6. รักษาวิตามินไว้ได้มากกว่าการตากแห้ง เพราะไม่ถูกแสงแดด 7. สีอาหารด้อยกว่า 8. ต้องการเครื่องมือพิเศษ 9. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก

ที่มา : วัฒนา ประทุมสินธุ์, 2522

2.2.2 **คุณสมบัติผลผลิตทางการเกษตรที่ใช้ในการอบ**

1. คุณภาพของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำที่สดจะมีรสดีไม่มีกลิ่นคาวและกลิ่นเหม็น การบริโภคสัตว์น้ำที่จับขึ้นมาจากแหล่งน้ำใหม่ ๆ ให้คุณภาพความสดดีที่สุดแต่เนื่องจากการจับในปริมาณมากและผู้ซื้ออยู่ในท้องถิ่นที่ไกลออกไป จึงจำเป็นต้องมีวิธีการรักษาความสดของสัตว์น้ำให้คงอยู่นานที่สุดปัจจัยที่สำคัญในการรักษาความสดของสัตว์น้ำ คือ

(1) อุณหภูมิภายในตัวของสัตว์น้ำ ควรลดอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำให้ต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ จะเกิดได้ช้า การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีอัตราลดลงจึงช่วยรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์น้ำให้คงความสดอยู่ได้นาน

(2) การรักษาความสะอาด จุลินทรีย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สัตว์น้ำเน่าเสีย การระวังรักษาความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้รวมทั้งน้ำใช้ที่เกี่ยวข้องสัมผัสกับสัตว์น้ำจะช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่จะเข้าสู่ตัวสัตว์น้ำ

(3) แรงกระแทกหรือแรงกดอัดบนตัวสัตว์น้ำ สัตว์น้ำที่กองทับถมกันมากๆ พวกที่อยู่ด้านล่างจะได้รับความชอกช้ำ เกิดลักษณะเนื้อเยื่อฉีกขาด ลำตัวช้ำ เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เข้าสู่เนื้อเยื่อทำให้สัตว์น้ำเน่าเสียเร็วขึ้นและลุกลามไปถึงสัตว์น้ำตัวอื่นที่เก็บอยู่ในกองเดียวกันด้วย ดังนั้นในการปฏิบัติต่อสัตว์น้ำควรให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อหลีกเลี่ยงการชอกช้ำฉีกขาดของเนื้อเยื่อ

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตร

โดยมีตัวอย่างผลผลิตทางการเกษตรที่มีการนำมาอบ ดังต่อไปนี้

(1) กุ้งขาว (Litopenaeus Vannamei) เป็นกุ้งทะเลในกลุ่มกุ้งขาวแปซิฟิก (Pacific White Shrimp) มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายในหลายประเทศโดยเฉพาะในทวีปอเมริกาและอเมริกาใต้ เช่น สหรัฐอเมริกา เม็กซิโก กัวเตมาลา นิการากัว เป็นต้น กุ้งสายพันธุ์นี้มีความแข็งแรงทนทานต่อธรรมชาติ จึงมีการขยายพันธุ์ได้กว้างไกลในแถบแนวชายฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ตั้งแต่เม็กซิโกถึงเปรู ประเทศที่เพาะเลี้ยงกุ้งขาวเป็นรายใหญ่ของโลกคือ อิควาดอร์

กุ้งขาวเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ทนทานต่อสภาวะธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ดี และสามารถเลี้ยงอย่างหนาแน่นได้ ในระยะการเลี้ยงที่ 90 วัน สามารถมีผลผลิตที่ 70 ตัวต่อกิโลกรัม และในระยะเวลาการเลี้ยงที่ 100 วัน สามารถมีผลผลิตที่ 40 ตัวต่อกิโลกรัม ขนาดตัวที่สมบูรณ์เต็มที่ของของกุ้งสายพันธุ์นี้จะมีขนาดที่เล็กกว่ากุ้งกุลาดำโดยความยาวจากปลายกรีหัวถึงปลายกรีหางยาว 230 มิลิเมตร (9 นิ้ว) ความยาวจากโคนหัวถึงปลายกรีหัว 65 มิลลิเมตร หรือประมาณร้อยละ 28 ของความยาวลำตัว ส่วนความยาวจากโคนหัวถึงปลายกรีหางยาว 165 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 72 ของความยาวลำตัว เส้นรอบวงส่วนหัววัดได้ 94 มิลลิเมตร เส้นรอบวงส่วนของลำตัววัดได้ 98 มิลลิเมตร แพนหางยาว 35 มิลลิเมตร ตาห่างกัน 20 มิลลิเมตร น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย ประมาณ 120 กรัม ลำตัวมีสีขาวใสลักษณะคล้ายกุ้งแชบ๊วย (Penaeus Merquiensis) ตัวอย่างลักษณะของกุ้งขาว แสดงได้ดังรูปที่ 2-1

รูปที่ 2-1 แสดงภาพกุ้งขาว

ราคาวัตถุดิบกุ้งขาว มีดังนี้

- กุ้งขาวใหญ่ (10-25 ตัวต่อกิโลกรัม) ราคาปกติ 380 บาทต่อกิโลกรัม
- กุ้งขาวกลาง (40-50 ตัวต่อกิโลกรัม) ราคาปกติ 240 บาทต่อกิโลกรัม
- กุ้งขาวเล็ก (60-70 ตัวต่อกิโลกรัม) ราคาปกติ 125 บาทต่อกิโลกรัม

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกุ้งขาว เช่น กุ้งอบเกลือ แสดงได้ดังรูปที่ 2-2

รูปที่ 2-2 กุ้งอบเกลือ

(2) มะม่วง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Mangifera Indica Linn. เป็นผลไม้ที่เก่าแก่ที่สุดในกระบวนผลไม้เมืองร้อน เชื่อว่ามีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย แล้วแพร่หลายไปยังประเทศในแถบร้อน และอบอุ่นของโลก มะม่วงชอบดินที่ระบายน้ำได้ดีและสามารถปลูกได้ตั้งแต่ในที่แห้งแล้งจนถึงในที่ ๆ มีฝนตกชุกและให้ผลตามฤดูกาล ซึ่งเมื่อถึงฤดูผลิตจะมีมากจนล้นตลาด ถึงแม้จะใช้รับประทานได้ทั้งดิบและสุกก็ยังเหลืออีกมากจึงได้มีการนำมะม่วงมาแปรรูปด้วยกระบวนการต่างๆรวมทั้งการอบด้วย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงกวน มะม่วงแผ่นบาง เป็นต้น

(3) สับปะรด เป็นผลไม้ที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ ว่า Ananas Comosus Merr. จัดอยู่ในตระกูล Bromeliaceae มีหลายพันธุ์ ส่วนมากเป็นพันธุ์ Smooth-lear Cayemme จังหวัดที่

ปลูกกันมาก ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี เพชรบุรี ฉะเชิงเทรา เป็นต้น ในปีหนึ่ง ๆ จะมีสับปะรดออกสู่ตลาดมากมาย นอกจากเก็บไว้กินในครัวเรือนหรือขายเป็นผลไม้สดแล้วชาวไร่ยังส่งขายให้โรงงานผลิตสับปะรดกระป๋องโรงงานจะคัดเลือกเอาขนาดที่ใช้ได้ถ้าผลไหนมีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไปโรงงานจะไม่รับซื้อทำให้สับปะรดเหลือและเน่าเสียเป็นจำนวนมาก จึงมีการนำมาทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ด้วยกระบวนการต่าง ๆ รวมทั้งการอบด้วย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำสับปะรด สับปะรดกวน สับปะรดแผ่นบาง เป็นต้น

(4) ฟักทอง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Cucurbita Mixima L. เป็นพืชจำพวกผักจัดอยู่ในตระกูล Cucurbitanceae มีหลายพันธุ์ซึ่งแตกต่างกันทั้งขนาด รูปร่าง สีและผิวของผลพันธุ์เบาจะให้ผลใน 50-60 วัน ถ้าพันธุ์หนักประมาณ 90-120 วัน เนื้อฟักทองใช้ปรุงอาหารได้ทั้งคาวและหวาน และมีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูงทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น ข้าวเกรียบฟักทอง ฟักทองในน้ำเชื่อม ฟักทองแห้ง เป็นต้น

(5) กล้วย มีมากมายหลายพันธุ์แต่ที่อยู่ในความนิยมของผู้บริโภคทั้งในรูปการกินสุกและนำไปประกอบอาหารมีไม่กี่ประเภท เช่น กล้วยน้ำว้า มีขึ้นทั่วไปทุกภาคของประเทศไทยด้วยความแพร่หลายจึงมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามท้องถิ่น เช่น ทางภาคเหนือ เรียกว่า กล้วยใต้ คนจันทบุรี เรียกว่า กล้วยมะลิอ่อง คนอุบลฯเรียกว่า กล้วยตานีอ่อง เป็นต้น ลำต้นของกล้วยน้ำว้า มีความสูงไม่เกิน 3.5 เมตร ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ ก้านช่อดอกไม่มีขน เครือหนึ่งมี 8-10 หวี หวีหนึ่งมี 13-16 ผล เนื้อกล้วยมีสีขาว แกนกลางเรียกว่าไส้กลาง มีสีเหลือง ขาว ชมพู จึงทำให้มีการแบ่งเป็น กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าขาว ประโยชน์ของกล้วยน้ำว้ามีมากมาย เช่น ใช้เป็นอาหารเด็กอ่อน บริโภคสด และนำมาทำขนม

3. น้ำในอาหาร

เมื่อพูดถึงน้ำ จะพบว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของอาหารเกือบทุกชนิด คือประมาณร้อยละ 65-90 ของน้ำหนักรวมของอาหาร ดังตารางที่ 2-3 อาหารที่มีปริมาณน้ำมากจะเสื่อมเสียได้รวดเร็ว โดยการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและเคมี น้ำในอาหารจะทำตัวเป็นตัวทำละลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาหาร สถานะของน้ำและลักษณะการกระจายตัวของน้ำในอาหารเป็นสิ่งสำคัญเพราะว่าถ้ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหรือการกระจายน้ำจะมีผลต่อคุณสมบัติหรือการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ (Troller and Christian, 1978)

ตารางที่ 2-3 แสดงปริมาณน้ำในผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่างๆ

ชนิดของอาหาร	ปริมาณน้ำ , %
เนื้อสัตว์	
เนื้อหมูสด	55-60
เนื้อวัวสด	50-70
เนื้อไก่ (ไม่มีหนัง)	74
เนื้อปลา	65-81
ผลไม้	
กล้วย	74-80
มะเขือเทศ สตรอเบอรี่	90-95
ส้ม ลูกท้อ แอปเปิล	85-90
ลูกแพร์	80-85
ผัก	
ถั่วชนิดต่าง ๆ	74-80
มันฝรั่ง แครอท ผักกะหล่ำอิตาลี	80-90
หน่อไม้ฝรั่ง กะกล่ำปลี กะหล่ำดอก	90-95

น้ำในอาหารมีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติของอาหาร เช่น โครงสร้าง หรือความเต่งตึง คุณค่าทางโภชนาการ และรสชาติ การอบแห้งอาจจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเหล่านี้และนำไปสู่การไม่คืนตัวของผลิตภัณฑ์ได้ปัญหาในการอบแห้งของอาหารได้แก่ การลดปริมาณน้ำลงให้เพียงพอที่ทำให้ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นโดยชะลออัตราการเสื่อมเสียทางเคมีจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเอนไซม์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาแต่จะต้องไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์การไม่คืนตัวของผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์จะมีผลกระทบกระเทือนต่อปฏิกิริยามิลาร์ดออโตออกซิเดชันของไขมัน และกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์

การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากปริมาณน้ำน้อยมาก ๆ นั้นดูจะค่อนข้างยากมาก เพราะว่าปฏิกิริยาบางอย่างในผลิตภัณฑ์อบแห้งอาจเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้อาจนำไปสู่การไม่คืนตัวของผลิตภัณฑ์ได้ และปฏิกิริยาเหล่านี้ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาที่เก็บรักษา

4. คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์รมควัน

การรมควันเป็นการแปรรูปและถนอมอาหารที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคอีกชนิดหนึ่ง การที่จะทำผลิตภัณฑ์รมควันให้ได้คุณภาพดี และมีความปลอดภัยจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างที่สำคัญเช่น

(1) วัตถุดิบ ควรมีความสดมากและมีขนาดเท่า ๆ กันหรือใกล้เคียงกัน (สม่ำเสมอ)

(2) ก่อนรมควัน ควรแช่วัตถุดิบในน้ำเกลือแล้วจึงนำไปผึ่งแดดให้ผิวแห้งหมาด การแช่เกลือในอัตราและเวลาที่พอเหมาะกับชนิดและขนาดของวัตถุดิบ นอกจากจะช่วยปรุงรสของผลิตภัณฑ์แล้วยังช่วยลดความชื้นในวัตถุดิบช่วยให้โปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือจับที่ผิวของวัตถุดิบทำให้ผิวของวัตถุดิบไม่แห้งจับควันได้ดีขึ้น และที่สำคัญทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เป็นมันวาวดูน่ารับประทาน

(3) แหล่งควันมาจากหลายทาง เช่น จากชานอ้อย ซังข้าวโพด กาบมะพร้าว และจากขี้เลื่อย ถ้าใช้ขี้เลื่อยควรเป็นขี้เลื่อยที่ได้จากไม้เนื้อแข็งที่ไม่มียางและไม่ผ่านการอบน้ำยาฆ่าแมลงเพราะยาฆ่าแมลงหรือยางไม้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนเป็นสารก่อมะเร็งนอกจากนั้นควรหลีกเลี่ยงการรมควันด้วยไฟแรง (อุณหภูมิมากกว่า 80˚C) มิฉะนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้เกรียม ซึ่งเป็นต้นเหตุของสารก่อมะเร็งได้เช่นกัน

5. การเตรียมวัตถุดิบ

อาหารที่จะนำมารมควันมักจะต้องนำมาหมักกับเครื่องปรุงรสซึ่งมักเป็นส่วนผสมของน้ำตาล เกลือ ซอร์บิทอลและเครื่องเทศบางชนิดหมักให้เครื่องปรุงรสเหล่านี้แทรกลงในเนื้ออาหารแล้วจึงนำมารมควันขณะที่รมควันความชื้นในอาหารจะสูญเสียไปบางส่วนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงด้านคุณสมบัติของอาหาร

2.2.3 การถ่ายโอนความร้อน

ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.1

$$Q_{TOTAL} = Q_{PRODUCT} + Q_{H_2O} + Q_{EVEP} + Q_{LOSS} \quad (2.1)$$

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **ปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์** ปริมาณความร้อนส่วนใหญ่ของการอบแห้งมักจะมาจากปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ไปในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิบรรยากาศไปยังอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการอบแห้ง ซึ่งหาค่าได้โดยสมการสำหรับหาปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ 2.2

$$Q_{PRODUCT} = m_{PRODUCT} \times C_p \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \quad (2.2)$$

โดย $Q_{PRODUCT}$ คือ ปริมาณความร้อนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ หน่วย kJ

$m_{PRODUCT}$ คือ มวลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง หน่วย kg

C_P คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ หน่วย kJ/kg.°C

T_{DRYING} คือ อุณหภูมิหลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ หน่วย °C

T_{AMB} คือ อุณหภูมิก่อนอบแห้งของผลิตภัณฑ์ หน่วย °C

2. **ปริมาณความร้อนสำหรับระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์** ความชื้นที่ต้องการระเหยออกจากผลิตภัณฑ์หาได้จากการลบกันของความชื้นเริ่มต้นกับความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นค่าที่ต้องหาให้ได้ก่อนอาจจะหาโดยการทำการทดลองหรือข้อมูลจากหนังสือ ซึ่งหาค่าได้โดยสมการที่ 2.3

$$Q_{H_2O} = M_{H_2O} \times C_p \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \quad (2.3)$$

โดย Q_{H_2O} คือ ปริมาณความร้อนสำหรับน้ำที่ระเหยออก หน่วย kJ

M_{H_2O} คือ มวลของน้ำที่ระเหยออก หน่วย kg

C_P คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ หน่วย kJ/kg.°C

T_{DRYING} คือ อุณหภูมิที่ทำให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ หน่วย °C

T_{AMB} คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ หน่วย °C

3. **ปริมาณความร้อนแฝงที่ทำให้น้ำระเหย** การจะเกิดความร้อนแฝงขึ้นนั้น มีเงื่อนไขคือน้ำต้องเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$Q_{EVEP} = M_{H_2O} \times h_{fg} \quad (2.4)$$

โดย Q_{EVEP} คือ ปริมาณความร้อนแฝงที่ทำให้น้ำระเหย

M_{H_2O} คือ ความชื้นหรือมวลของน้ำที่ต้องการระเหยออก

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

4. **ปริมาณความร้อนสูญเสียในส่วนต่าง ๆ** เป็นปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบอบแห้งจะประกอบไปด้วย ความร้อนสูญเสียในส่วนต่าง ๆ เช่น ความร้อนที่ออกไปพร้อมกับอากาศร้อนที่ใช้อบแห้งแล้วและปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ความร้อนที่สูญเสียไปในการทำให้เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังของเครื่องอบแห้งด้วยการพาความร้อนออกสู่บรรยากาศโดยรอบ หาค่าได้จากสมการตัวเลขประมาณ ในที่นี้กำหนดให้มีค่าความร้อนสูญเสียประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังสมการที่ 2.5 (บัญญัติ, 2542)

$$Q_{LOSS} = 0.2(Q_{TOTAL}) \tag{2.5}$$

Q_{LOSS} คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับบรรยากาศโดยรอบ

5. **ปริมาณลมร้อนสำหรับอบแห้ง** สามารถพิจารณาได้จากแนวคิดที่ว่าปริมาณความร้อนรวมที่ใช้ในการอบแห้งจะต้องได้รับมาจากลมร้อนเท่าไหร่ทำให้สามารถหาค่าได้จากสมการสำหรับหาปริมาณลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ได้ดังสมการที่ 2.6

$$Q_{TOTAL} = m_{AIR} \times C_P \times (T_{DRYING} - T_{AMB}) \tag{2.6}$$

โดย Q_{TOTAL} คือ ปริมาณความร้อนรวม หน่วย kJ

m_{AIR} คือ ปริมาณลมร้อนที่ต้องการสำหรับการอบแห้ง หน่วย kg

C_P คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ หน่วย kJ/kg.°C

T_{DRYING} คือ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง หน่วย °C

T_{AMB} คือ อุณหภูมิของบรรยากาศ หน่วย °C

โดยหาค่า C_P ของอากาศได้จากการเฉลี่ยค่าอุณหภูมิ T_{DRYING} + $T_{AMB}/2$ เมื่อเราคำนวณปริมาณลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้ ประโยชน์อีกข้อหนึ่งคือเราสามารถจะนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการเลือกใช้งานโบวเวอร์ได้อย่างถูกต้อง

2.2.4 การเพิ่มผลผลิต

การเพิ่มผลผลิต หมายถึง อัตราส่วนของหน่วยผลผลิตต่อหน่วยกำลังหรือวัสดุที่ป้อนเข้า พูดง่าย ๆ การเพิ่มผลผลิตก็คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณหน่วยที่ผลิตได้ต่อหน่วยของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตนั้น ๆ

การเพิ่มผลผลิต สามารถกระทำได้ด้วย 2 วิธีหลัก ๆ คือ

1. การเพิ่มผลผลิตเชิงปริมาณ เป็นวิธีการเพิ่มปริมาณการผลิตที่อาศัยการเพิ่มคนหรือ เพิ่มอุปกรณ์ เพิ่มเครื่องจักร เพิ่มเวลาทำงานให้มากขึ้นโดยวิธีการนี้ค่อนข้างจะประหยัดจึงมีผู้นิยมใช้กันมากแต่อัตราการผลิตต่อคนต่อเครื่องจักร หรือต่อหนึ่งหน่วยเวลาจะไม่เพิ่มขึ้น

2. การเพิ่มผลผลิตเชิงคุณภาพ เป็นวิธีการเพิ่มปริมาณการผลิตที่อาศัยการเพิ่มอัตราการปฏิบัติงานโดยไม่มีเวลาหยุดพักในช่วงเวลาที่กำหนดเพิ่มความประณีตและการปรับปรุงงาน เพื่อกำจัดความสูญเปล่า การทำงานหนักเกินไปและกำหนดมาตรฐานของผลผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้เป็น 100 % วิธีการหลังนี้ใช้เพิ่มอัตราการผลิตต่อคน ต่อเครื่องจักร หรือต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้

ประสิทธิภาพการผลิต คืออัตราส่วนของปริมาณผลิตผลที่ผลิตได้ต่อปริมาณทรัพยากรที่ใช้ไปซึ่งอาจจะแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

ประสิทธิภาพการผลิต = ปริมาณผลิตผลที่ได้ / ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ไป

= ปริมาณผลผลิต / จำนวนคนหรือจำนวนเครื่อง

2.2.5 การยศาสตร์

การยศาสตร์ หมายถึง การศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน

1. ชีวกลศาสตร์ในการทำงาน

ชีวกลศาสตร์ในการทำงาน คือ การศึกษาความสัมพันธ์ทางกายภาพระหว่างผู้ร่วมปฏิบัติงานกับเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในอันที่จะเพิ่มพูนประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงานและคุณภาพของงานในขณะเดียวกันก็พยายามที่จะลดอัตราเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติหรืออาการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบกล้ามเนื้อและระบบกระดูกของร่างกายผู้ปฏิบัติงาน

ประโยชน์ที่อาจจะได้จากการนำเอาความรู้ทางด้านชีวกลศาสตร์ในการทำงานไปประยุกต์ใช้ มีดังนี้

- เป็นแนวทางการปฏิบัติ สำหรับการออกแบบเชิงวิศวกรรม หรือการปรับปรุงพัฒนาแผนแบบของเครื่องมือ เครื่องจักร และแผนผังของงาน

- ช่วยเร่งเร้าหรือกระตุ้นให้มีการคิดค้นหาแนวทางเลือกใหม่ ๆ ที่ดีสำหรับการทำงาน

- เป็นแบบประเมินคุณค่าและความต้องการแรงงาน หรือจำนวนของคนงานต่อปริมาณงานที่ต้องทำให้เหมาะสมพอดีไม่ขาดไม่เกิน

- มีส่วนร่วมในการเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพนักงานและกำหนดขั้นตอนของการสรรหาบุคลากรและบรรจุบุคคลเข้าทำงานภาคอุตสาหกรรม

- นำเอาไปประยุกต์ใช้ในเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน

- ช่วยลดความผิดปกติซึ่งจะเกิดขึ้นกับร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งจะส่งผลดีในอันที่จะช่วยลดค่ารักษาพยาบาล ค่าชดเชย หรือสินไหมทดแทน ตลอดจนเวลาปฏิบัติงานที่ขาดหายไปเนื่องจากความเจ็บป่วยจากการทำงานของคนงาน

- ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและการเพิ่มผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพ

2. ความเมื่อยล้าจากการปฏิบัติงาน

ความเมื่อยล้า (Fatigue) หมายความว่า สภาวะของร่างกายที่มีความรู้สึกเหนื่อยและเพลีย ซึ่งความรู้สึกนี้เป็นเพียงสภาวะหนึ่งของร่างกาย

ความเมื่อยล้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

ประเภทที่ 1 ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscular Fatigue)

ประเภทที่ 2 ความเมื่อยล้าทั่ว ๆ ไป (General Fatigue) ซึ่งได้แก่

- ความเมื่อยล้าทางร่างกายโดยทั่วไป (General Bodily Fatigue)
- ความเมื่อยล้าทางจิตใจ (Mental Fatigue)
- ความเมื่อยล้าทางระบบประสาท (Nervous Fatigue)
- ความเมื่อยล้าแบบเรื้อรัง (Chronic Fatigue)
- ความเมื่อยล้าเนื่องจากช่วงเวลาปฏิบัติงาน และเวลานอนไม่

สาเหตุของการเกิดความเมื่อยล้า ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านรูปแบบของงาน สภาวะและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน ระยะและช่วงเวลาปฏิบัติงานและตัวผู้ปฏิบัติงานเอง

3. ท่าทางการทำงาน (Work Posture)

โดยปกติในขณะทำงานนั้น ร่างกายของคนที่ทำงานอยู่นั้นจำเป็นจะต้องอยู่ในลักษณะที่มั่นคง มีเสถียรภาพ และมีท่าทางที่สบายตัวพอสมควรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะออกแรงทางกายภาพ ทั้งนี้การรักษาท่าทางการทำงานที่เหมาะสมนั้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น และช่วยลดอันตรายอันอาจเกิดจากการทำงานให้มีน้อยลงด้วย

ท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมและไม่อยู่ในสมดุลจะส่งผลกระทบต่อความเมื่อยล้า ความไม่สะดวกสบาย การเจ็บป่วยของส่วนต่าง ๆ ในร่างกายและความผิดปกติต่าง ๆ เช่น เกิดความเค้นที่กล้ามเนื้อคอ แรงกดที่ข้อต่อการปวดหลังส่วนล่าง การเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อการปวดกระดูกสันหลังส่วนต้นคอ เอ็นอักเสบ ฯลฯ

(1) ความสำคัญและคุณประโยชน์ของท่าทางการทำงานที่เหมาะสมได้ดังนี้

- ช่วยให้การออกแรงที่กล้ามเนื้อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- ช่วยประหยัดพลังงาน ลดการสูญเสียพลังงานของร่างกายโดยไม่จำเป็น
- ช่วยให้ระบบการมองเห็นดีขึ้น และมีผลต่อการลดความเค้นของกล้ามเนื้อคอและหลังของผู้ปฏิบัติงาน
- ช่วยให้การแลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายกับสิ่งแวดล้อมเป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

(2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อท่าทางการทำงานของคน ได้แก่

- การจัดผังของสถานที่ปฏิบัติงาน
- คุณภาพของการออกแบบเครื่องไม้เครื่องมือที่ใช้ประกอบการปฏิบัติงาน
- วิธีการทำงาน
- พฤติกรรมการทำงานของตัวผู้ปฏิบัติงานเอง
- ลักษณะของการใช้สายตาในการทำงาน
- ปริมาณมากน้อยของการออกแรงทำงาน

(3) ลักษณะงานที่เหมาะสมในท่ายืน

การใช้แขนและมือ เหมือนกับการนั่งทำงานโดยต้องปรับระดับความสูงของพื้นผิวงาน จัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ และส่วนประกอบชิ้นงานให้เป็นระเบียบ และอยู่ใกล้ ๆ กัน เพื่อให้สะดวกใช้ ในกรณีที่ต้องมีการยกหรือเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่มีน้ำหนักมาก ต้องมีอุปกรณ์ช่วย

การทำงานในท่ายืนจะเหมาะสมกับ

- งานที่มีน้ำหนักมาก เกินกว่า 4-5 กิโลกรัม
- ต้องมีการหยิบจับชิ้นงาน หรือส่วนของชิ้นงานบ่อย ๆ
- พื้นผิวงานมีหลายส่วน และต้องมีการเคลื่อนย้ายจากส่วนหนึ่งไปยัง อีกส่วนหนึ่งบ่อย ๆ
- งานที่ต้องก้ม ๆ เงย ๆ หรือใช้แรงดึง-ดันบ่อย ๆ

การปรับระดับความสูงของผิวงาน ให้มีความเหมาะสมกับการทำงานในท่ายืน จะช่วยลดความเครียดต่อกระดูกสันหลังและข้อต่อต่าง ๆ ในร่างกายเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของคนงานให้มากขึ้น และลดอุบัติการณ์ความเสี่ยงและความเจ็บป่วยจากการทำงานได้

(4) งานละเอียด

พื้นผิวงานควรมีความสูง 7-10 เซนติเมตร เหนือระดับเอว ซึ่งสามารถวางท่อนแขนในแนวขนานกับพื้นได้ในท่างอศอกประมาณ 90 องศา หรือสูงประมาณ 95-105 เซนติเมตร สำหรับผู้หญิงและประมาณ 100-110 เซนติเมตร สำหรับผู้ชาย

(5) ชิ้นงานที่มีน้ำหนักเบา

พื้นผิวงานควรอยู่ในแนวระดับต่ำกว่าเอว 5 เซนติเมตร หรือประมาณ 85-90 เซนติเมตร สำหรับผู้หญิง และ 90-95 เซนติเมตร สำหรับผู้ชาย

(6) ชิ้นงานที่มีน้ำหนักมาก

พื้นผิวงานควรจะต่ำลงไปอีก สูงประมาณ 70-85 เซนติเมตร สำหรับผู้หญิง และ 75-90 เซนติเมตร สำหรับผู้ชาย

2.2.6 **พลังงานความร้อน**

พลังงานความร้อน ในที่นี้จะกล่าวทฤษฎี 2 ส่วน คือ การถ่ายโอนความร้อน และแหล่งให้พลังงานความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

(1) การนำความร้อน

การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกันโดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซการนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุล หรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านโดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อนจะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไป

ยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) เป็นดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

วัสดุ	**สัมประสิทธิ์การนำความร้อน** (W/mK)
อากาศ(ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อะลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429

(2) การพาความร้อน

การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ในสสารสองสถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้นเนื่องจากเมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ ปรากฏการณนี้มีตัวอย่างคือ การเกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้น

(3) การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวตัวกลางหนึ่งไปยังอีกผิวตัวกลางหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างกันพลังงานของการแผ่รังสีถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) หรือรูปแบบของโฟตอนโดยอาศัยอยู่ในตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถเกิดในสุญญากาศได้

(4) การคำนวณหาปริมาณความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะของสาร

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้สารเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือสถานะ มีหลักการคำนวณดังนี้

คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงแต่ละขั้น โดยแทนค่าในสูตร

กรณีที่มีการเปลี่ยนสถานะ (สังเกตได้จากอุณหภูมิคงที่) ดังสมการที่ 2.7

$$Q' = mL \quad (W) \tag{2.7}$$

เมื่อ L คือ ความร้อนแฝงจำเพาะ (Cal/g , Kcal/kg •C , J/kg • K)

กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (สังเกตได้จากอุณหภูมิไม่คงที่) ดังสมการที่ 2.8

$$Q' = mC_p\Delta T \quad (W) \tag{2.8}$$

เมื่อ Cp คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (Cal/g•C , Kcal/kg•C , J/kg•K)

2. แหล่งให้พลังงานความร้อน

แหล่งให้พลังงานความร้อนมีหลายชนิดหลายประเภทในที่นี้จะกล่าวถึงการให้พลังงานความร้อนเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือการให้พลังงานความร้อนด้วยหลอดไฟ และการให้พลังงานความร้อนด้วยฮีตเตอร์

(1) การให้พลังงานความร้อนด้วยหลอดไฟ

หลอดไฟที่ให้พลังงานความร้อนสูงสุดในบรรดาชนิดของหลอดไฟทั้งหมด คือ หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) หรือหลอดไส้

หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent) เป็นหลอดที่อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อน โดยการให้กระแสไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตนจนร้อนแล้วเปล่งแสงออกมา แต่ให้ประสิทธิผลการส่องสว่างต่ำราว 5-12 lumen/watt ขึ้นอยู่กับวัตต์ของหลอด อายุการใช้งานสั้นคือประมาณ 1000 ชั่วโมง (เป็นอายุเฉลี่ยที่ได้จากห้องปฏิบัติการ แต่การใช้งานจริงอาจมีอายุสั้นหรือมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสภาพแวดล้อมในการใช้งาน) มีอุณหภูมิสีประมาณ 2500-2700 องศาเคลวิน แต่ให้ดัชนีความถูกต้องของสีถึง 97 % แต่เนื่องจากเป็นหลอดที่ไม่ประหยัดไฟ จึงนิยมใช้ในงานตกแต่งแสงสี หรือเน้นความสว่างเฉพาะจุดในบ้านเรือน ห้องแสดงสินค้า ห้องอาหาร เป็นต้น ข้อดีของหลอดชนิดนี้คือราคาถูก จุดติดง่าย และยังใช้กับอุปกรณ์หรี่ไฟได้ด้วย

(2) การให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์

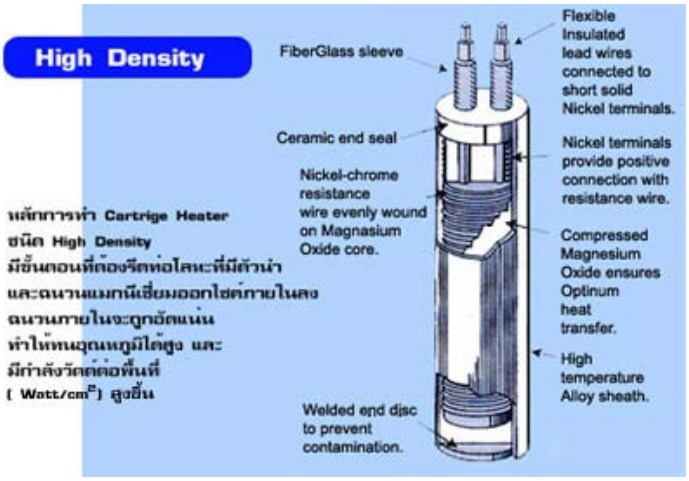
ฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรมที่มีหลักการพื้นฐานคือเมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูงลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูงสำหรับลวดฮีตเตอร์เป็นลวด Kant Hal (นิกเกิ้ล: โครเมี่ยม/80 : 20) ทนอุณหภูมิได้ถึง 1250 องศาเซลเซียส

ชนิดของฮีตเตอร์

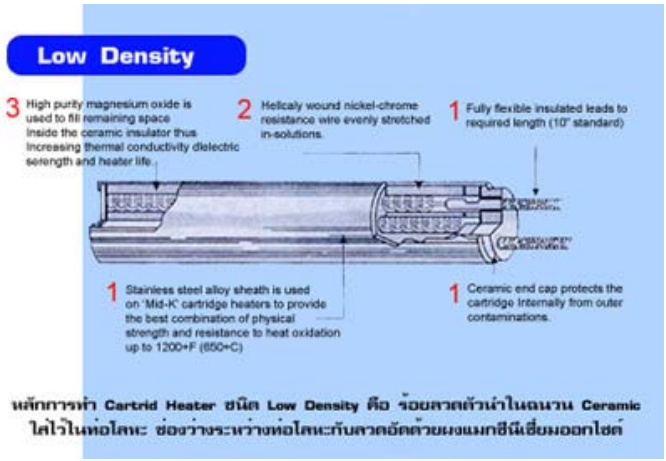
ฮีตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

- ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)

ลักษณะการใช้งานทั่วไปของฮีตเตอร์แท่ง คือใส่ไว้ในช่องของโมลบนวัตถุ ความร้อนจะถูกส่งผ่านจากฮีตเตอร์ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่าง ๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ให้ความร้อนแม่พิมพ์ของเครื่องบรรจุหีบห่องานขึ้นรูปพลาสติก เป็นต้น ฮีตเตอร์แท่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ High Density และ Low Density (บางครั้งเรียกว่า High Temperature และ Low Temperature) ลักษณะทางกายภาพของฮีตเตอร์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2-3 และ รูปที่ 2-4 ตามลำดับ



รูปที่ 2-3 แสดงฮีตเตอร์แท่งสำหรับใส่โมล ชนิด High Density



รูปที่ 2-4 แสดงฮีตเตอร์แท่งสำหรับใส่โมล ชนิด Low Density

- ฮีตเตอร์ท่อกลม และฮีตเตอร์ครีบ (Tubular Heater & Finned Heater)

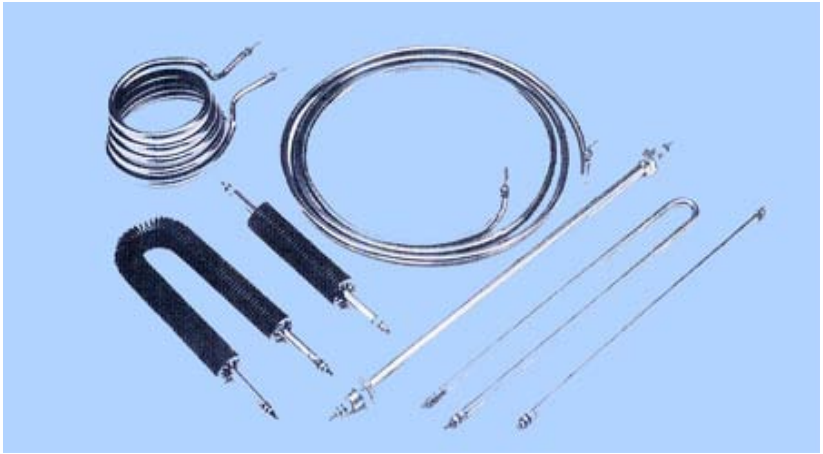
ฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater) โครงสร้างของฮีตเตอร์ท่อกลม คือมีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อนและท่อโลหะจะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานวัสดุที่ใช้ทำ Tubular Heater มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน แสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ลักษณะการใช้งานต่าง ๆ ของฮีตเตอร์ท่อกลม

วัสดุ	การนำไปใช้งาน
ทองแดง	ใช้กับน้ำสะอาด
สแตนเลส 304	ใช้กับอากาศที่มีการหมุนเวียน, เตาอบ, น้ำ, น้ำมัน, ของเหลว หรือในอุตสาหกรรมอาหารที่มี pH 5-9
สแตนเลส 316	ใช้กับอากาศที่มีการหมุนเวียน กรด, สารละลาย, สารเคมี หรือของเหลวที่มีลักษณะกัดกร่อน
อินโคลอย 800	ใช้กับอากาศที่ไม่มีการหมุนเวียน เช่น ในเตาอบ, น้ำ, น้ำมัน และของเหลวทั่วไป

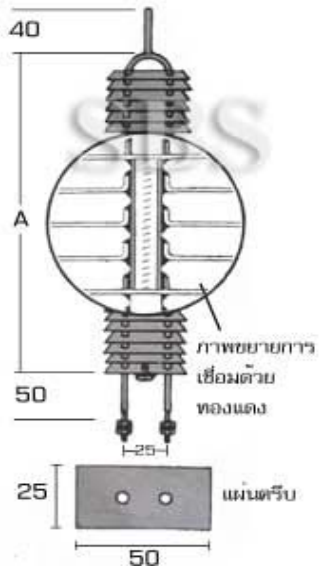
ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) ทำจาก Tubular Heater ที่ดัดเป็นรูปต่าง ๆ และเพิ่มแผ่นครีบม้วนติดกับท่อฮีตเตอร์อย่างต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งส่วนของแผ่นครีบที่เพิ่มขึ้นมาจะทำให้ฮีตเตอร์สามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้น ฮีตเตอร์ท่อกลมและฮีตเตอร์ครีบ นิยมใช้ในการให้ความร้อนกับอากาศ เช่นใช้ในห้องอบแห้งในเตาอบ เป็นต้น

ตัวอย่างของฮีตเตอร์ท่อกลมและฮีตเตอร์ครีบ แสดงไว้ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงภาพตัวอย่าง ฮีตเตอร์ท่อกลมและฮีตเตอร์ครีบ

ลักษณะของครีบของฮีตเตอร์นั้นที่พบเห็นกันทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแผ่นกลม แผ่นสี่เหลี่ยมขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตของผู้ผลิตในที่นี้ขอยกตัวอย่างฮีตเตอร์ครีบแบบเหลี่ยม ประกอบการอธิบายเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นภาพตัวอย่างครีบของฮีตเตอร์ครีบแบบเหลี่ยม แสดงดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 แสดงภาพตัวอย่างฮีตเตอร์ครีบ แบบเหลี่ยม

ฮีตเตอร์ครีบแบบเหลี่ยม (Coil Finned Heater) มีคุณลักษณะที่สำคัญคือ

- ใช้สำหรับให้ความร้อนกับอากาศ
- มีความทนทานเพราะท่อฮีตเตอร์และครีบทำจากสเตนเลส 304 (SUS 304)
- มีครีบช่วยระบายความร้อนออกจากตัวฮีตเตอร์ทำให้สามารถใช้วัตต์ได้สูงกว่าแบบไม่มีครีบในพื้นที่เท่ากัน
- ให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมออายุการใช้งานยาวนาน
- เหมาะสำหรับงานในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

<u>ประโยชน์การนำไปใช้งาน</u>

- ใช้สำหรับงานอบแห้ง หรืองานอบไล่ความชื้นทั่วไป เช่น อบพืชผลทางการเกษตร, อบสีรถยนต์, อบแม่พิมพ์พลาสติก, อบไม้ และอบอาหาร เป็นต้น
- ใช้สำหรับห้องควบคุมความชื้นหรือใช้สำหรับลดความชื้นในระบบทำความเย็น
- ใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ลมร้อน เช่น ตู้อบขนม

ข้อควรระวัง

การใช้งานฮีตเตอร์ครีบที่ขนาดวัตต์สูง ๆ ควรใช้งานร่วมกับพัดลม เพื่อช่วยระบายความร้อนออกจากตัวฮีตเตอร์ให้เร็วขึ้นเป็นการใช้งานฮีตเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นการยืดอายุการใช้งานของฮีตเตอร์ให้นานขึ้น

ตัวอย่างเสปกและการแสดงรายละเอียดของเสปกของฮีตเตอร์ครีบแสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 แสดงตัวอย่างการระบุเสปกของฮีตเตอร์ครีบ แบบเหลี่ยม

รุ่น	**ขนาดความยาว (มม.)**		**วัตต์** (W)	**ใช้ไฟ** (VAC)
	L	LF		
CAL-P1061	350	300	600	220
CAL-P1071	350	300	1000	220
CAL-P1062	450	400	800	220
CAL-P1072	450	400	1500	220
CAL-P1063	550	500	1000	220
CAL-P1073	550	500	1750	220
CAL-P1064	675	625	1250	220
CAL-P1074	675	625	2000	220
CAL-P1065	800	750	1500	220

จากตารางที่ 2.6 คอลัมน์ ที่ 1 เป็นการระบุถึงรุ่นที่ใช้ในการสั่งผลิต คอลัมน์ถัดมาคือ 2 และ 3 เป็นการระบุขนาดความยาว ในที่นี้ L คือความยาวทั้งหมดของฮีตเตอร์ ส่วน LF คือความยาวเฉพาะช่วงครีบของฮีตเตอร์ คอลัมน์ที่ 4 และ 5 เป็นการระบุถึงค่าทางไฟฟ้าว่าฮีตเตอร์ชนิดนั้น ๆ ใช้ค่าพลังงานทางไฟฟ้าไปเท่าไร

- ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater)

ฮีตเตอร์จุ่ม ทำจาก Tubular Heater ที่ดัดเป็นรูปตัวยู และเชื่อมติดกับเกลียวซึ่งมีขนาดเกลียวตั้งแต่ 1 นิ้ว 1.1/4 นิ้ว, 1.1/2 นิ้ว, 2 นิ้ว, 2.1/2 นิ้ว ขนาดของเกลียวจะขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีตเตอร์ ซึ่งมีตั้งแต่ 1U, 2U, 3U, 6U ตามความเหมาะสมของกำลังวัตต์และความยาวของตัวฮีตเตอร์ลักษณะทางกายภาพของฮีตเตอร์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2-7

รูปที่ 2-7 แสดงลักษณะทางกายภาพฮีตเตอร์จุ่ม

ฮีตเตอร์แบบจุ่มเหมาะสำหรับใช้กับของเหลว เช่น ต้มน้ำหรืออุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใสฮีตเตอร์แบบเกลียวเข้าไปควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลวเนื่องจากจะทำให้ส่วนที่โผล่พ้นของเหลวร้อนจัดเกินไปทำให้อายุการใช้งานสั้นและเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวทั่วถึงควรติดตั้งใบพัดกวนของเหลวด้วย

- ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

ฮีตเตอร์อินฟราเรด เป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี (เหมือนกับที่ดวงอาทิตย์ส่งความร้อนมายังโลก) จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30-50% ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อในได้ดีกว่าการให้ความร้อนแบบการพา และการนำความร้อนจะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิวแล้วค่อย ๆ ซึมเข้าไปเนื้อในซึ่งใช้เวลามากนอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีคุณลักษณะและคุณสมบัติที่เด่นอีก เช่น

- มีขนาดเล็กกว่าฮีตเตอร์แบบทั่ว ๆ ไป ทำให้ประหยัดเนื้อที่
- การติดตั้ง และการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่าย
- มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่มีเปลวไฟตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง ไฟไม่รั่ว
- ให้รังสีช่วง 3-10 μm. ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี

<u>การประยุกต์ใช้งาน</u>

- ใช้ในการอบแห้งต่าง ๆ เช่น สี, แลกเกอร์, กาว, เมล็ดพันธุ์พืช, อีพอกซี
- ใช้กับอุตสาหกรรมพลาสติก อบพลาสติกให้อ่อนตัวก่อนนำไปเข้าเครื่องเป่า
- ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร ขนมปังเบเกอรี่
- ใช้ในวงการแพทย์ เช่น การอบฆ่าเชื้อ, ห้องอบเด็กทารก
- ใช้กับอุตสาหกรรมเคลือบผิวต่าง ๆ เช่น เคลือบสี, ผิว, เซรามิค, มีรามีน

ข้อควรระวัง

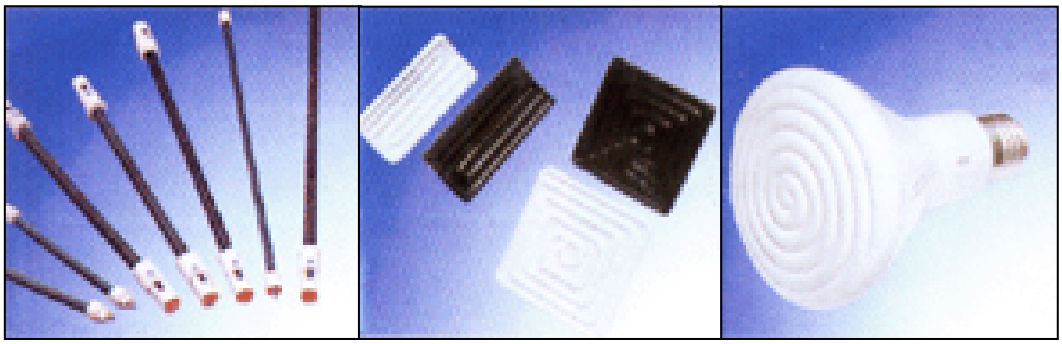
การให้ความร้อนแบบอินฟราเรด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ตัววัตถุจะต้องดูดซับรังสีได้ดี ดังนั้นวัตถุบางชนิดที่มีผิวมันวาวหรือมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดีจะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้

ฮีตเตอร์อินฟราเรดมีด้วยกันหลายลักษณะ ดังรูปที่ 2-8 เช่น

แบบแท่ง แบบโคม ใช้ให้ความร้อนในเตาอบ ใช้งานได้ดีแม้ในระบบเปิด

แบบแผ่นเซรามิค มีขนาดเล็กเหมาะกับงานที่มีพื้นที่ติดตั้งจำกัด

แบบหลอด ใช้ให้ความร้อนแทนไฟสปอรต์ไลท์แต่ประหยัดพลังงานกว่า เนื่องจากไม่มีการสูญเสียพลังงาน นอกจากนี้ยังติดตั้งง่ายสามารถใช้แทนหลอดไฟได้ด้วยเกลียว E27



ก.) แบบแท่ง ข.) แบบแผ่นเซรามิค ค.) แบบหลอด

รูปที่ 2-8 แสดงฮีตเตอร์อินฟราเรดรูปแบบต่าง ๆ

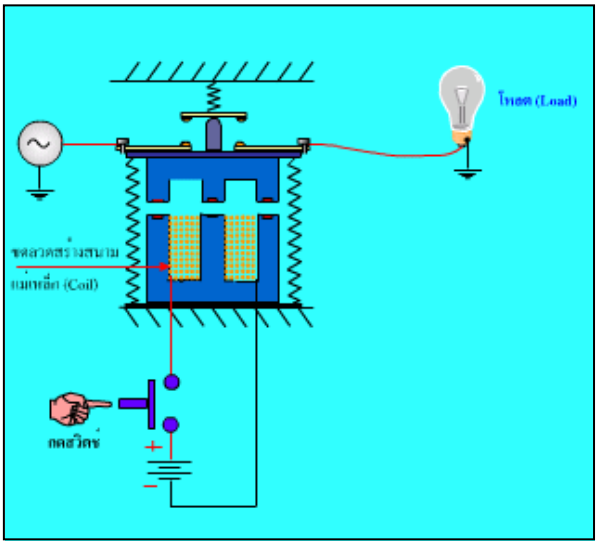
- ฮีตเตอร์อื่น ๆ และฮีตเตอร์ ที่ใช้งานเฉพาะทาง อาทิเช่น
  - ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater) ได้รับการออกแบบสำหรับท่อ หรือถังรูปทรงกระบอก
  - ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater) เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับแม่พิมพ์
  - ฮีตเตอร์บอบบิ้น (Bobbin Heater) ใช้ให้ความร้อนกับของเหลว เช่น งานชุบ, งานแช่ในกรด หรือสารละลาย เป็นต้น

- อุปกรณ์ควบคุม

เนื่องจากฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีกำลังไฟฟ้าค่อนข้างสูง การเปิดหรือปิดจึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยในการเปิดหรือปิดนั่นก็คือ แม็กเนติคคอนแทคเตอร์ และการควบคุมฮีตเตอร์ให้ทำงานได้ตามอุณหภูมิที่เราต้องการจึงจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ควบคุมเช่นกันอุปกรณ์นั้นคือเทอร์โมสตาท ซึ่งรายละเอียดและหลักการทำงานเบื้องต้นของทั้ง 2 อุปกรณ์ข้างต้นนั้นมีดังต่อไปนี้

ก. แม็กเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)

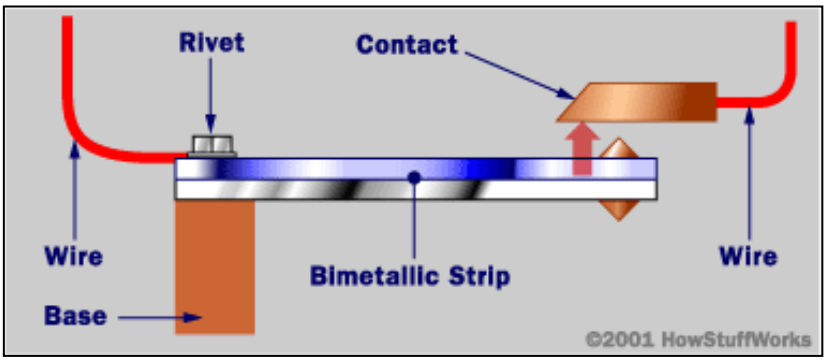
คอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมากคอนแทกเตอร์ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่น ๆ ของระบบไฟฟ้าได้สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุมและคอล์ยของคอนแทกเตอร์กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอล์ยอาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (Remote) ได้ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า ภาพแสดงการทำงานของคอนแทกเตอร์แสดงดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 แสดงการทำงานของแม็กเนติกคอนแทคเตอร์

ข. เทอร์โมสตาท (Thermostat)

Thermostat เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิในระบบทำความร้อนหรือทำความเย็น เพื่อให้อุณหภูมิอยู่ในขอบเขตจำกัดประกอบไปด้วยโลหะสองชนิดคือเหล็กกับทองแดงซ้อนกันใช้ควบคุมความร้อนเมื่อมีอุณหภูมิสูงเหมือนกับสวิตช์อัตโนมัติ ลักษณะการทำงานของเทอร์โมสตาทแสดงดังรูปที่ 2-10 ยกตัวอย่างที่ง่ายและชัดเจนที่สุดคือเตารีด เมื่อเปิดเตารีดกระแสไฟฟ้าจะเข้าไปในวงจรทำให้เทอร์โมสตาทร้อนเมื่อเทอร์โมสตาทร้อนแผ่นโลหะจะงอตัวขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าหยุดไหลผ่านหรือเป็นการตัดวงจร ต่อมาเมื่อความร้อนในเตารีดลดลงเมื่อเทอร์โมสตาทเย็นตัวลงจะทำให้แผ่นโลหะเหยียดตรงเหมือนเดิมกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตามเดิมเป็นการต่อวงจรความร้อนก็จะสูงขึ้นจนกระทั่งเทอร์โทสตาทร้อนแผ่นโลหะงอตัวขึ้นตัดวงจรอีกครั้งหนึ่งและการทำงานจะวนซ้ำไปเช่นนี้ และจะสิ้นสุดระบบเมื่อทำการปิดระบบ



รูปที่ 2-10 ภาพแสดงโครงสร้างลักษณะการทำงานของเทอร์โมสตาท

2.2.8 **พัดลม**

พัดลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบังคับอากาศให้เคลื่อนที่ด้วยความกดดันต่ำ ๆ พัดลมที่ใช้ในงานวิศวกรรมส่วนใหญ่จะใช้ในงานอบแห้งวัสดุเกษตร การระบายอากาศ การทำความเย็น การลำเลียง การให้ความร้อน เป็นต้น

การกำหนดความหมายของ Fan, Blower บางครั้งมักใช้สับสนกันอยู่เสมอ ๆ The Society of Mechanical Engineers ได้จำแนกอุปกรณ์ดังกล่าวเป็น 2 ประเภทคือ

- Class I เป็นอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดัน $\geq$ 1 ปอนด์ / นิ้ว^2 (27.7 นิ้วของน้ำ) อุปกรณ์ใน Class นี้ส่วนใหญ่จะมีชื่อเรียกว่า Blower

- Class II เป็นอุปกรณ์ที่ทำงาน ณ ความดัน $<$ 1 ปอนด์ / นิ้ว^2 (27.7 นิ้วของน้ำ) อุปกรณ์ใน Class นี้ส่วนใหญ่จะมีชื่อเรียกว่า Centrifugal Fan, Fan และ Exhausters

การจำแนกใน Class I นั้นจะไม่พิจารณาถึงความร้อนเนื่องจากการอัดและน้ำหนักจำเพาะของอากาศที่เปลี่ยนไป แต่ใน Class II นั้นจะพิจารณาในหัวข้อดังกล่าว

1. **ลักษณะการสร้างของพัดลม**

(1) พัดลมหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fans)

(2) พัดลมอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)

เนื่องด้วยในการทำงานวิจัยนี้ ได้พิจารณาเลือกลักษณะของพัดลมที่มีความเหมาะสมในการสร้างคือพัดลมแบบหมุนเหวี่ยง และในรายงานฉบับนี้จะนำเสนอเฉพาะพัดลมหมุนเหวี่ยงเท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow Fans) พัดลมแบบนี้จะใช้ได้ดีกับงานที่มีความต้านทานลมสูง หรือ “เฮดลมสูง” อากาศจะไหลเข้าขนานกับแกนของใบพัดและตั้งฉากกับแกนของใบพัดตรงทางออกมีลักษณะการสร้าง 3 แบบคือ

- แบบใบพัดรัศมีตรง (Straight Blade หรือ Radial Fans) พัดลมชนิดนี้จะมีเพลาโตมีจำนวนซี่ใบพัด 5-12 ซี่ ลักษณะการสร้างเป็นใบล้อหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำ ปกติใช้เป็นพัดลมระบายอากาศเสียออกไปสู่ภายนอกเหมาะกับอากาศสกปรก หรืองานที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุซึ่งไหลผ่านตัวพัดลม ตัวอย่างพัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดตรงแสดงได้ดังรูปที่ 2-11

รูปที่ 2-11 พัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดตรง

- แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward Curved Blade Fans) การทำงานของพัดลมชนิดนี้จะมีเสียงเบาที่สุดเมื่อเทียบกับพัดลมชนิดอื่น ๆ มีข้อเสียคือมีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง และมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียร ใบพัดของพัดลมชนิดนี้มีใบที่ละเอียดประมาณ 20-64 ซี่ เพลาใบพัดมีขนาดเล็ก หมุนด้วยความเร็วรอบสูงกว่าพัดลมใบพัดรัศมีตรง ความเร็วลมที่เคลื่อนที่จะเร็วกว่าพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหลัง ที่ความเร็วปลายใบพัดเท่ากันโดยรูปที่ 2-12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างเพิ่มขึ้น ค่ากำลังงานที่ให้กับแกนของพัดลมจะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลังได้ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้พัดลมประเภทนี้กับระบบที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรเปิดกว้างประมาณ 30-50 %

รูปที่ 2-12 พัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า

- แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans) พัดลมประเภทนี้จะมีราคาสูง แต่มีข้อได้เปรียบมากกว่าพัดลมประเภทอื่นอาทิ การทำงานของพัดลมไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง ไม่มีช่วงของการทำงานของพัดลมที่ไม่มีความเสถียร ช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของพัดลมคือช่วงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 50-60 % ใบพัดของพัดลมประเภทนี้จะมีซี่ใบไม่ถี่ละเอียดเท่ากับพัดลมใบพัดโค้งไปข้างหน้า จะมีซี่ใบพัดประมาณ 10-50 ซี่ มุมที่โค้งไปข้างหลังนี้จะต้องเป็นมุมที่พอเหมาะ ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานความกดดันโดยตรงได้มากที่สุด เหมาะใช้กับการระบายอากาศเนื่องจากสามารถควบคุมความกดดันและปริมาณลมได้ง่ายกว่า ตัวอย่างพัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งไปข้างหน้าแสดงได้ดังรูปที่ 2-13

รูปที่ 2-13 พัดลมหมุนเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง

2. **ทฤษฎีของพัดลม**

ความกดดันลมที่เกิดขึ้นมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งปริมาตรของลมหรืออากาศจะถูกจับเหวี่ยงออกไปด้วยใบพัด และเกิดจากการที่ปลายใบพัดขับลมมาด้วยความเร็ว ทำให้พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปเป็นค่าความกดดัน

ความกดดันที่เกิดจากแรงเหวี่ยงดังกล่าวเรียกว่า ความกดดันสถิตย์ (Static Pressure) ความกดดันสถิตนี้จะเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนระหว่างความเร็วลมที่เคลื่อนที่ขณะออกจากเส้นขอบใบพัดกับความเร็วลมขณะที่เคลื่อนที่เข้าสู่ซี่ใบพัดดังนั้นหากใบพัดยิ่งยาวความกดดันสถิตจะยิ่งมาก

ค่าประสิทธิภาพของพัดลมนั้นจะมีค่าประมาณ 40-70 % ค่าความกดดันจริงของลมได้จากผลรวมของความกดดันสถิตกับค่าเฮดความเร็วของลมขณะที่เคลื่อนที่ออกจากใบพัด

3. การประหยัดพลังงานในระบบการส่งลมจากพัดลม

จะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ปริมาณลมที่ส่งจะต้องเหมาะสมกับภาระงานที่ใช้
- ความยาวของท่อลมจะต้องมีขนาดสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และมีจุดหักเลี้ยวน้อยที่สุด เพื่อลดความต้านทานการไหลของอากาศให้น้อยลง
- กรณีที่ท่อลมเป็นท่อสี่เหลี่ยมจะต้องมีความกว้างและความสูงของท่อเท่ากัน
- ภายในบริเวณจุดที่ท่อต่อกันจะต้องเป็นพื้นผิวเรียบเสมอกัน หรือเป็นการต่อท่อแบบหน้าแปลน (Flange)
- กรณีที่เครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์ จะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบได้

2.2.9 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เป็นเรื่องของการวิเคราะห์ทางเทคนิค (Technical Analysis) ควบคู่ไปกับการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) เพื่อศึกษาสิ่งที่ดีที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ความสำเร็จทางวิศวกรรมในการสร้าง หรือทำสิ่งใด ๆ ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงการใช้เงินลงทุนไปได้ทำให้ต้องเกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์อยู่ตลอดเวลา

1. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Analysis)

การลงทุนทำสิ่งใด ๆ สิ่งที่ผู้ลงทุนทั่วไปคำนึงถึงเป็นอันดับแรก คือ มีความคุ้มทุนมากหรือน้อย ดังนั้นการลงทุนจึงต้องทราบถึงจุดคุ้มทุนโดยจุดคุ้มทุนเป็นจุดที่ยอดรวมรายได้เท่ากับยอดรวมรายจ่าย (ต้นทุน)

ยอดรวมรายได้ = ยอดรวมรายจ่าย

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเกิดขึ้นได้ต้องมีการหาข้อมูลต้นทุน หลังจากได้ข้อมูลต้องจำแนกข้อมูลนั้น และคำนวณหาค่าที่จุดคุ้มทุนขั้นตอนโดยสรุปมีดังนี้

(1) การรวบรวมข้อมูลด้านรายได้ รายได้เกิดจากการขายสินค้ามักแปรผันตรงกับปริมาณการขาย ความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ ปริมาณการขาย และราคาสินค้าสามารถหาได้ดังนี้ สมการที่ 2.9

$$R = pN \tag{2.9}$$

เมื่อ R คือ รายได้

N คือ ปริมาณการขาย

p คือ ราคาสินค้าต่อหน่วย

ราคาสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะเศรษฐกิจ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราระหว่างประเทศ อุปสงค์ อุปทาน ยอดปริมาณการซื้อมากน้อยของลูกค้า ซื้อปริมาณมากอาจได้รับส่วนลดจากการซื้อมาก ซื้อปริมาณน้อยส่วนลดจากการซื้อย่อมได้ส่วนลดน้อย นอกจากนี้ยังอาจขึ้นกับระยะเวลาการจ่ายเงิน จ่ายเป็นเงินสด หรือเครดิตด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนราคาสินค้าอาจมีหลายราคาได้

(2) การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านค่าใช้จ่าย

ข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายต้องจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- ต้นทุนคงที่ ต้นทุนส่วนนี้ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณการขายหรือปริมาณการผลิต เป็นต้นทุนคงที่ เช่น ค่าเช่า ค่าเสื่อมราคา เงินเดือนผู้บริหาร ค่ารักษาความปลอดภัย ค่าประกันภัยต่างๆ เป็นต้น
- ต้นทุนแปรผัน ต้นทุนส่วนนี้สัมพันธ์กับปริมาณการผลิตในลักษณะแปรผันตามปริมาณการผลิต ผลิตมากใช้มาก ผลิตน้อยใช้น้อย เช่นวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงทางตรง ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิต ค่าซ่อมบำรุง ค่ากล่องบรรจุสินค้าเป็นต้น

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับปริมาณการขายสินค้า เป็นดังสมการที่ 2.10

$$C = F + V \qquad (2.10)$$

แต่ $V = Nv$

เพราะฉะนั้น $C = F + Nv$

เมื่อ C คือ ค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้น

F คือ ค่าใช้จ่ายคงที่

V คือ ค่าใช้จ่ายแปรผัน

N คือ ปริมาณการขาย

v คือ ต้นทุนแปรต่อหน่วย

(3) การคำนวณหาจุดคุ้มทุน (ค่า N) การวิเคราะห์หาค่าจุดคุ้มทุนว่าอยู่ที่จุดใดค่าใดต้องเริ่มต้นจากคำนิยามของคำว่า จุดคุ้มทุนที่ต้องการนั้นเอง ดังนี้

รายได้รวม = รายจ่ายรวม

ดังนั้น $R = C$

$Np = F + Nv$

$$N = \frac{F}{P-v}$$

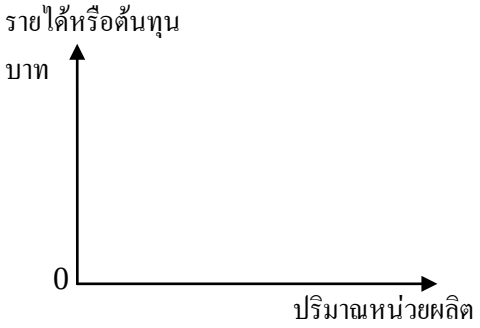
ค่า p – v มีชื่อเรียกว่า ส่วนผลได้ต่อหน่วย (Marginal Contribution) เป็นส่วนที่ราคาขายต่อหน่วยหักต้นทุนแปรผันต่อหน่วย รายได้ที่เหลือจากนั้นมีไว้จ่ายเป็นค่าใช้จ่ายคงที่เมื่อคำนวณหาค่า N ได้ ผลลัพธ์ของ N คือ ค่าจุดคุ้มทุนที่ต้องการนั่นเอง

(4) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยวิธีสร้างแผนภูมิ (Break-Even Chart)

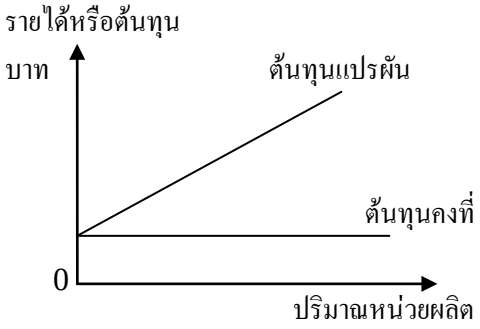
ขั้นที่ 1 ลากเส้นตรง 2 เส้นในแนวนอน (Horizontal Line) เป็นแนวแกน X กับลากเส้นในแนวดิ่งหรือแนวตั้ง (Vertical Line) เป็นแกน Y ทั้งนี้กำหนดให้แกน X เป็นจำนวนหรือปริมาณหน่วยผลิต ส่วนแกน Y กำหนดให้เป็นจำนวนเงินที่เป็นรายได้ ต้นทุนแปรผัน และต้นทุนคงที่ ดังรูปที่ 2-14

ขั้นที่ 2 ลากเส้นที่เป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันลงในแกน X-Y ดังรูปที่ 2-15 เนื่องจากต้นทุนคงที่มีค่าคงที่ไม่ได้แปรผันตามปริมาณการผลิต ดังนั้นเส้นที่ได้ในแผนภูมิจุดคุ้มทุนจึงขนานกับแกน X ส่วนต้นทุนที่เป็นต้นทุนแปรผันสามารถลากเส้นได้จากการรู้ความชัน (Slope) ของเส้นหากพิจารณาจากแผนภูมิจุดคุ้มทุน ความชันคือต้นทุนต่อหน่วย
ในขั้นที่ 2 สามารถลากเส้นต้นทุนได้ 2 เส้น คือ เส้นต้นทุนคงที่กับต้นทุนแปรผัน

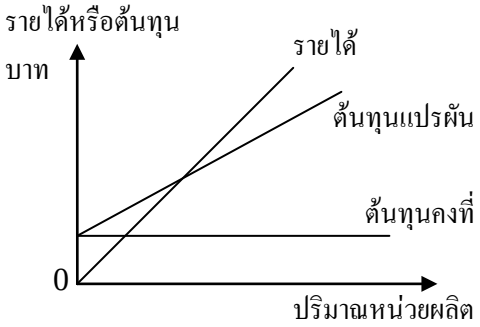
ขั้นที่ 3 ลากเส้นรายได้ลงในแผนภูมิจุดคุ้มทุนด้วยความชันที่เป็นราคาต่อหน่วย แสดงดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-14 แสดงขั้นตอนที่ 1 การสร้างแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน



รูปที่ 2-15 แสดงขั้นตอนที่ 2 การสร้างแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน



รูปที่ 2-16 แสดงขั้นตอนที่ 3 การสร้างแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

จุดตัดที่ได้ คือจุดคุ้มทุนที่กล่าวถึง เหนือจุดคุ้มทุนไปทางขวามือจะมีกำไรเกิดขึ้น ตรงข้ามจุดในตำแหน่งต่ำกว่าจุดคุ้มทุนทางซ้ายมือจะเกิดการขาดทุน

2. **ค่าเสื่อมราคา** (Depreciation)

ค่าเสื่อมราคาหมายถึงทรัพย์สินที่ลดมูลค่าตามกาลเวลาที่ผ่านไป หรือตามระยะเวลาการใช้งาน

ทรัพย์สินนำมาคิดค่าเสื่อมราคาควรมีลักษณะ ดังนี้

(1) ต้องเป็นสิ่งที่ใช้ในทางธุรกิจหรือสร้างรายได้

(2) มีอายุการใช้งานยาวนานมากกว่า 1 ปีขึ้นไป

(3) ต้องเป็นสิ่งที่สึกหรอ ล้าสมัย หรือเสื่อมตามธรรมชาติ

(4) ต้องไม่ใช้สินค้าคงคลัง สินค้าในสต๊อก หรือทรัพย์สินเพื่อการลงทุน

มูลค่าทางพาณิชย์ หมายถึง มูลค่าปัจจุบัน (Present Worth) ที่เจ้าของทรัพย์สินจะได้รับประโยชน์ (กำไร) ในอนาคตจากคุณสมบัติจำเพาะ (Particular Property) ของทรัพย์สิน

นั้น การวัดมูลค่าที่ใช้กันทั่วไปคือมูลค่าทางการตลาด (Market Value) อันหมายถึงผู้ซื้อและผู้ขายทั้ง 2 ฝ่ายพึงพอใจในเงื่อนไขข้อตกลงร่วมกันที่จะทำการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน ทั้งนี้ผู้ซื้อมีความมั่นใจว่า ราคาตลาดของสิ่งของที่ตนเองต้องการซื้อในมูลค่าปัจจุบันสามารถทำให้ตนเองได้รับกำไร หรือดอกเบี้ย หรือประโยชน์บางสิ่งที่ต้องการจากสิ่งที่ซื้อในอนาคต

การคิดค่าเสื่อมราคามักนิยมนำเอามูลค่าทางการตลาดมาเป็นมูลค่าเริ่มต้นของการคิดค่าเสื่อมราคา ดังนั้น เมื่อมีการนำทรัพย์สิน หรือเครื่องจักรมาใช้งานจึงทำให้มูลค่าลดลง มูลค่านี้คือมูลค่าการใช้งานนั้นเอง

3. การคำนวณค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าหลักสำคัญจะต้องรู้ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า และอัตราค่าไฟฟ้า ซึ่งแต่ละประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้ามีอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไปแต่หลักการในการคิดค่าไฟฟ้านั้นเป็นไฟในทิศทางเดียวกันอาจต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในโครงงานนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณค่าไฟฟ้าเฉพาะของประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ (อัตรา 4.1 TOD) เท่านั้น

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ในส่วนนี้ประกอบไปด้วย 2 อัตราค่าไฟฟ้าคือ

- อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD)
- อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

อัตรา TOD และ TOU เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนดให้ราคาแตกต่างกันตามช่วงเวลาเหมือนกันแต่รายละเอียดของช่วงเวลา และราคาที่แตกต่างกันตามค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์) และค่าพลังงานไฟฟ้า (หน่วย)

อัตราตามช่วงเวลาต่อวัน TOD แสดงรายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้าแยกตามประเภทของแรงดันไฟฟ้าตังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ตารางแสดงอัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน TOD

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท / กิโลวัตต์)			**ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท / หน่วย)**
	Peak	Partial	Off Peak	
1. แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
2. แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	285.05	58.88	0	1.7034
3. แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	332.71	68.22	0	1.7314

หมายเหตุ Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

Partial : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน

(ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)

Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน

ขั้นตอนวิธีการคำนวณค่าไฟฟ้าอัตรา TOD มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) หาความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาความต้องการพลังไฟฟ้าหน่วยเป็นกิโลวัตต์

(2) คำนวณหาหน่วยการใช้ไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น Unit หรือ kW-hr จากสูตร

หน่วยการใช้ไฟฟ้า = (จำนวนวัตต์ * จำนวนชั่วโมงใช้งานต่อเดือน)/1000

(3) คำนวณค่าไฟฟ้าฐานประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ

ก. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า จากสูตร

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า = ความต้องการพลังไฟฟ้า * อัตราความต้องการพลังไฟฟ้าของแต่ละช่วงเวลา

ข. ค่าพลังงานไฟฟ้า จากสูตร

ค่าพลังงานไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้า (Unit) * อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า

(4) คำนวณค่าไฟฟ้าผันแปร (ค่า Ft) จากสูตร

ค่าไฟฟ้าแปรผัน = พลังงานไฟฟ้า (Unit) * ค่า Ft

(5) คำนวณภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

(6) สรุปค่าไฟฟ้าจริง คือ ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น เป็นส่วนหนึ่งซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์ไตร่ตรอง แก้ไข ปรับปรุง ข้อมูลเชิงทฤษฎี เพื่อประยุกต์ใช้งานเข้ากับการทำโครงงาน การสร้างและทดลองใช้อุปกรณ์ช่วยบรรจุยางพาราแผ่นรมควัน เป็นการต่อไป

2.2.10 **ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการออกแบบ**

นอกจากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ ทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตรที่ใช้ในการอบและทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งเป็นทฤษฎีที่สำคัญในการออกแบบเตาอบแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการออกแบบเตาอบอีก ได้แก่ การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากอ้อย คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี คุณสมบัติของควัน การผลิตควัน ผลกระทบของการรมควันที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์และผลกระทบของการรมควันต่อสุขภาพ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากอ้อย

นอกจากจะหีบอ้อยเอาน้ำอ้อยไปทำน้ำตาลแล้ว ส่วนประกอบส่วนอื่น ๆ ของอ้อยที่เหลือ เช่น ชานอ้อย กากน้ำตาลหรือโมเลส (molasses) และขี้ผึ้ง ฯลฯ ก็สามารถนำไปดัดแปลงให้เป็นประโยชน์ทาง อื่นได้อีกด้วย

ชานอ้อย (bagasse) หมายถึงเศษเหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกจากท่อนอ้อยแล้ว เมื่อท่อนอ้อยผ่านลูกหีบชุดแรกอาจจะมีน้ำอ้อยตกค้างเหลืออยู่ยังหีบออกไม่หมด แต่พอผ่านลูกหีบชุดที่ 3-4 ก็จะมีน้ำอ้อยตกค้างอยู่น้อยมาก หรือแทบจะไม่เหลืออยู่เลย คือเหลือแต่เส้นใยล้วน ๆ ผลพลอยได้อันดับต่อมา ได้แก่ ฟิลเตอร์มัด (filter mud) หรือบางแห่งก็เรียกฟิลเตอร์เพรสเค็ก หรือฟิลเตอร์เค็ก หรือฟิลเตอร์มัด (filter-press cake, filter or filter muck) ซึ่งจะถูกแยกหรือกรองหรือทำให้น้ำอ้อยบริสุทธิ์โดยวิธีอื่นใดก็ตามสิ่งสกปรกที่แยกออกมาก็คือ ฟิลเตอร์เค็ก ผลพลอยได้ อันดับสุดท้ายจากโรงงานน้ำตาลก็ได้แก่ กากน้ำตาล หรือโมลาส (molasses) ซึ่งมีลักษณะข้นเหนียวสีน้ำตาลแก่ที่ไม่สามารถจะสกัดเอาน้ำตาล ออกได้อีกโดยวิธีปกติ

ในอดีตใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำในหม้อน้ำให้เดือดแล้ว ใช้กำลังไอน้ำสำหรับเดินเครื่องจักรไอน้ำและสำหรับกำเนิดไฟฟ้าในระยะเวลาต่อมาชานอ้อยในยุคก่อน ๆ ยังมีน้ำตาลที่หีบออกไม่หมดหลงเหลืออยู่มาก และเป็นการสะดวกในการที่ป้อนชานอ้อยจากลูกหีบลูกสุดท้ายเข้าสู่เตาต้มน้ำหรือ boiler ได้ทันที ถึงกระนั้นก็ตามชานอ้อยก็ยังคงเหลืออยู่อีกมาก เนื่องจากหม้อน้ำใช้ไม่หมดทำให้เกิดปัญหาในการกำจัด และทำลายให้หมดไปจากบริเวณโรงงาน แม้ว่าบางโรงงานในแถบเวสต์อินดีสจะดัดแปลงไปใช้กลั่นเหล้ารัมหรือแอลกอฮอล์บ้างชานอ้อยก็ยังคงเหลืออยู่มากมาย

2. คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี

ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์กับงานและตามชนิดของฉนวน ซึ่งคุณสมบัติที่ดีนั้นพิจารณาได้ดังนี้

(1) ควรมีน้ำหนักเบาและมีค่าความหนาแน่นน้อย

(2) มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ กล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมาก

(3) ในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี

(4) มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมากหรือไม่มีเลยจะดีมาก

(5) สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดีโดยเฉพาะทางเคมี

(6) มีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยาก

(7) ต้องทนต่อการเกิดไฟได้ดี

(8) ใช้กับระดับอุณหภูมิที่กว้าง

(9) ติดตั้งเพื่อใช้งานได้สะดวก

(10) มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

ปัจจุบันมีการผลิตฉนวนกันความร้อนในหลายรูปแบบขึ้น เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ต่อไปจะกล่าวถึงฉนวนกันความร้อนบางชนิดที่สำคัญ ๆ และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนี้

- ใยแก้ว (Glass Fiber)
- ใยแร่(Mineral Fiber)
- ใยเซลลูโลส (Cellulose)
- โฟม (Foam)

3. **คุณสมบัติของควัน**

คุณสมบัติทางกายภาพของควันปัจจุบันการรมควันเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมจะต้องพิจารณาทั้งควันและอาหารที่จะถูกรมควัน ควันที่ใช้ได้จากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของอินทรีย์โดยเฉพาะควันที่ใช้ในอาหารได้จากการเผาไหม้อย่างช้า ๆ ของไม้ที่ไม่ผ่านสารเคมีใด ๆ

ควันที่ใช้ในการรมควันนั้นเป็นสารผสมเชิงซ้อนสารประกอบเคมีที่พบในควันมีประมาณกว่า 200 ชนิด ซึ่งองค์ประกอบนี้จะถูกกระทบกระเทือนจากพารามิเตอร์หลาย ๆ อย่าง เช่น แบบชนิดของไม้ ความชื้นของไม้ อุณหภูมิที่ทำการเผาและปริมาณออกซิเจนระหว่างการผลิตควัน ควันนี้จะประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนของอนุภาคของแข็งและของเหลว และส่วนที่สองเป็นส่วนของก๊าซ ส่วนที่เป็นอนุภาคนี้จะแพร่กระจายอยู่ในตัวกลางของก๊าซที่เรียกว่า แอโรซอล (Aerosol) (Lueck , 1980) ขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 50 – 800 ไมโครเมตร องค์ประกอบของส่วนที่เป็นอนุภาคและส่วนที่เป็นไอจะขึ้นกับอุณหภูมิความหนาแน่นของควัน และวิธีปฏิบัติกับควัน เช่น การล้าง หรือการกรองผ่านเครื่องมือกล หรือทางไฟฟ้า ได้มีการประมาณว่าส่วนที่เป็นไอจะมีประมาณ 10% ของปริมาตรทั้งหมด

ควันประกอบด้วยสารประกอบทั้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และน้ำหนักโมเลกุลน้อย เช่น คาร์บอนิล กรดอินทรีย์ ฟีนอล แอลกอฮอร์ ไฮโดรคาร์บอนและก๊าซต่าง ๆ (Daun, 1979) จากส่วนประกอบทางเคมีจะเห็นว่าสารเหล่านี้สามารถละลายน้ำได้ไม่มากก็น้อย โดยเฉพาะส่วนที่ละลายน้ำได้จะเป็นส่วนสำคัญในการผลิตควันเหลว เพราะว่าส่วนที่ละลายน้ำได้นี้อุดมด้วยองค์ประกอบที่จะเป็นหรือเป็นที่ต้องการในการรมควันอาหารในขณะที่ส่วนที่ไม่ละลายน้ำประกอบด้วย น้ำมัน เขม่าและโพลีไซคลิก-ไฮโดรคาร์บอนและบางชนิดของสารนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง อุณหภูมิและการปฏิบัติทางไฟฟ้าสถิตจะมีผลกระทบกระเทือนต่อองค์ประกอบของควันถ้าให้ควันผ่านการทำให้เย็นก่อนเข้าห้องรมควัน ส่วนประกอบที่มีจุดเดือดสูง

เช่น น้ำมัน โพลีไซคลิก-ไฮโดรคาร์บอนก็จะถูกกำจัดไปได้บ้างหรือถ้าผ่านควันไปสนามไฟฟ้าสถิต ส่วนที่เป็นอนุภาคในควันก็จะเปลี่ยนแปลงและสามารถแยกได้ง่าย

4. การผลิตควัน

ควันโดยปกติเกิดจากการเผาไหม้ของไม้ องค์ประกอบของไม้ประกอบด้วย เซลลูโลส ร้อยละ 50 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 25 และลิกนินร้อยละ 25 โดยประมาณ โครงสร้างของลิกนินของไม้เนื้ออ่อนจะแตกต่างจากไม้เนื้อแข็งโดยลิกนินของไม้เนื้ออ่อนจะมีหมู่เมทอกซีน้อยกว่าไม้เนื้อแข็ง

ควันที่ได้จากการเผาไหม้อย่างช้า ๆ เป็นศตวรรษแล้วที่อาหารโดยเฉพาะปลาและเนื้อจะถูกนำไปให้สัมผัสกับควันที่ออกมาจากเตาไฟเปิดโดยตรงจากประสบการณ์และขนบธรรมเนียมของแต่ละท้องถิ่นทำให้เกิดประเพณีการรมควันที่แตกต่างกันการให้อาหารสัมผัสกับควันที่ได้จากการเผาไหม้ช้า ๆ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น นอกเหนือจากการเลือกแบบชนิด ของไม้ตามประสบการณ์แล้วบางครั้งอาจจะใช้ไม้หลาย ๆ ชนิด รวมทั้งการเติมเครื่องปรุงแต่งระหว่างการผลิตควันด้วยการทำควันและการรมควันจะทำในห้อง ๆ เดียว สำหรับโรงงานแปรรูปเนื้อ แบบใหม่ เครื่องทำควันส่วนมากจะแยกออกจากห้องรมควัน และทั้งเครื่องกำเนิดควันและห้องรมควันจะควบคุมด้วยไฟฟ้า

5. ผลกระทบของการรมควันที่มีต่อผลิตภัณฑ์

(1) คุณค่าทางโภชนาการ สารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในควันสามารถรักษาคุณค่าโภชนาการของอาหารรมควันได้ทั้งนี้เพราะว่าสารดังกล่าวมีคุณสมบัติการเป็นวัตถุกันหืน สารประกอบฟีนอลที่มีจุดเดือดสูงจะมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันหืนได้มากกว่าสารประกอบฟีนอลที่มีจุดเดือดต่ำ วิธีการทำควันมีผลกระทบกระเทือนต่อกิจกรรมการเป็นวัตถุกันหืนได้ เช่น วิธีการเผาไหม้อย่างช้า ๆ ควันที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณสมบัติการเป็นวัตถุกันหืนมาก นอกจากนี้ส่วนที่เป็นอนุภาคจะช่วยเสริมคุณสมบัติการเป็นวัตถุกันหืนได้มากกว่าส่วนที่เป็นไอ (Daun,1979)

เนื่องจากทั้งควันและไนไตรต์มีคุณสมบัติการเป็นวัตถุกันหืนอย่างรุนแรงฉะนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าสารดังกล่าวจะประกอบกันขึ้นเป็นกลิ่นรสที่สำคัญของเนื้อหมัก (Pearson and Tauber, 1984)

กิริยาการเป็นสารทำลายแบคทีเรียนั้นสืบเนื่องมาจากผลร่วมระหว่างความร้อน ความแห้ง และองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในควันไม้ (Pearson and Tauber,1984) แต่ว่าสารประกอบของควันนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่สุด เมื่อสารประกอบในควัน เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ กรดอะซีติก และสารอื่น ๆ อยู่บนผิวหน้าของอาหารจะสามารถป้องกันการเกิดสปอร์และการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อราหลายชนิด เนื่องจากว่าสารประกอบในควันแทงทะลุเข้าไปในส่วนภายในของ

อาหารค่อนข้างข้ามาก ฉะนั้นจึงไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อจุลินทรีย์ในส่วนที่ลึกเข้าไปในอาหาร (Daun, 1979)

(2) คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส Daun (1979) กล่าวว่าสีของอาหารรมควันจะเป็นปัจจัยในการยอมรับของผู้บริโภค การเกิดสีในอาหารรมควันจะสัมพันธ์โดยตรงกับระดับความชื้น ความเข้มข้น และอุณหภูมิ สีที่ดีควรจะมีระดับความชื้น 6–10 % เพื่อทำให้การดูดกลิ่นควันที่ดีและแห้งพอที่จะทำให้เกิดการแทงทะลุของควัน

อุณหภูมิและความชื้นเป็นปัจจัยวิกฤตต่อการเกิดสีและรสความชื้นมีความจำเป็นต่อการดูดกลืนของสารประกอบในไอ อุณหภูมิของการรมควันควรต่ำพอที่จะป้องกันการแห้งมากเกินไป อย่างไรก็ตามการรมควันที่อุณหภูมิต่ำสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติของกลิ่นได้ คือการดูดกลืนฟีนอลที่มีจุดเดือดสูงลดลง ดังนั้นวิธีการรมควันจึงมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นและรสของอาหารรมควัน คุณลักษณะของกลิ่นและรสในอาหารรมควันเกิดจากสารฟีนอล ในส่วนที่เป็นไอจะมีฟีนอลชนิดต่าง ๆ ถึง 20 ชนิด ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อกลิ่นและรสสำหรับควันเหลว ซึ่งทำให้สามารถรมควันที่อุณหภูมิต่ำ จะเป็นเหตุให้กลิ่นควันเปลี่ยนไป ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ควันเหลวจะมีกลิ่นอ่อนลงเพราะมีฟีนอลเพียง 2–3 ชนิด และผลิตภัณฑ์นี้มีกลิ่นหอมกว่ากลิ่นที่ได้จากการรมควันแบบดั้งเดิม

เมื่อสารประกอบในควันทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ผิวหน้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสหลายอย่าง (Daun,1979) การสูญเสียการละลายของโปรตีนระหว่างการรมควันอาจเกิดจากผลของควันและความร้อน การสูญเสียการละลายของโปรตีนในเนื้อสัตว์รมควันสัมพันธ์กับการเกิดการเชื่อมโยงของโปรตีนที่ผิวหน้าร่วมกับการเกิดสีและกลิ่น เมื่อเกิดการเชื่อมโยงมากเกินไปจะไปยับยั้งการแทงทะลุขององค์ประกอบของควัน จากผลดังกล่าวบริเวณใต้ผิวหน้าที่ยังไม่สัมผัสกับควันจะมีลักษณะนิ่มสามารถแตกตัวได้ในขณะที่ผิวหน้าจะมีลักษณะแข็ง

6. ผลกระทบของการรมควันต่อสุขภาพ

การรมควัน Daun (1979) รายงานว่าได้พบสารประกอบเคมีในอาหารรมควันอยู่ 2 หมู่ที่น่าจะทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ ได้แก่ โพลีไซคลิกอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน และไนโตรซามิน

เป็นที่รู้กันทั่วไปว่าสารโพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนมีอยู่ในควันไม้และสามารถจับติดบนผิวหน้าของอาหาร หรือถูกดูดกลืนจากอาหารซึ่งรมควันด้วยวิธีดั้งเดิมได้ง่าย สารประกอบที่พบมากในผลิตภัณฑ์รมควันคือ เบนโซ (เอ) ไพรีน ปริมาณของโพลีไซคลิกอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอนอยู่ระหว่าง 1–58 พีพีบี โดยในปลาจะมีเบนโซ (เอ) ไพรีนสูงกว่าในเนื้อปริมาณที่แท้จริงของสารนี้จะถูกกระทบกระเทือนจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น วิธีการทำควัน วิธีการใช้ควัน และเวลากับอุณหภูมิที่ใช้รมควันฉะนั้นการลดปริมาณ เบนโซ (เอ) ไพรีนสามารถทำได้โดยลดอุณหภูมิ

ในการรมควัน หรือใช้เครื่องกำเนิดควันแยกออกไปหรือใช้ควันเหลวซึ่งพบว่าไม่มีผลต่อการเกิดไนโตรซามินในอาหารรมควัน (Skrypec et al., 1985)

บทที่ 3
ข้อมูลเบื้องต้น

ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างเตาอบที่ใช้ในการอบแบบธรรมดาและอบรมควันผลผลิตทางการเกษตร โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบครั้งนี้มีดังนี้

3.1 ศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อน (Hot Smoked)

ศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อนจากคณะอุตสาหกรรมเกษตรโดยมีรายละเอียด ดังนี้

ศึกษาการรมควันโดยไม่ต้องเอาหัวกุ้งออก

น้ำหนักกุ้งรับมา	4.5	กิโลกรัม
น้ำหนักกุ้งหลังคัดขนาด	4.5	กิโลกรัม
วัตถุดิบกุ้งที่ใช้มีขนาด	56	ตัว/กิโลกรัม
น้ำหนักกุ้งเริ่มต้น	4.5	กิโลกรัม

<u>กระบวนการผลิต</u>

1. ล้างทำความสะอาดกุ้ง
2. แช่น้ำปรุงสูตรปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. อบที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง (ชั่วโมงแรกใช้การรมควัน)
4. บรรจุถุง
5. ชุดการทดลอง

การศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อนชุดควบคุมผลการทดลองชุดที่ 1 แสดงได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อน (Hot Smoked) จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร

ชุดการทดลอง	นน. เริ่มต้น (g)	นน.หลังแช่ซอส (g)	นน.หลังรมควัน (g)	นน. ผลิตภัณฑ์ %	ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์	ลักษณะกลิ่นของผลิตภัณฑ์
1. ชุดควบคุม	4500	4500	1750	38.88	ตัวกุ้งสีน้ำตาลเข้ม หัวกุ้งสีดำจาง ๆ	ปกติ

ความชื้นสุดท้าย 37.56 %

3.2 รายละเอียดเกี่ยวกับเตาอบที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน

1. บริษัทโชติวัฒน์อุตสาหกรรมการผลิต ได้จัดทำเตาอบเพื่อใช้อบกุ้งรมควันโดยมีรายละเอียดดังนี้

ชื่อเครื่อง เตาอบกุ้งรมควันแบบถาดวงล้อหมุน

สิทธิบัตร ยังไม่ได้ทำการจด

ราคาต้นทุนเครื่องโดยประมาณ 100,000 บาท

ข้อดี - ไม่ต้องทำการอุ่นเครื่องก่อนทำการอบ

- ไม่ต้องออกแบบทางเดินลม เพราะเพลาจะทำการหมุนตะแกรงตลอดเวลา

ข้อเสีย - มีควันรั่วที่หน้าประตูเล็กน้อย

- ตัวเครื่องใช้ฮีทเตอร์แบบแท่ง ซึ่งจะให้ความร้อนน้อยกว่าแบบแผ่น

- ไม่มีเทอร์โมสแตทควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่อง จึงต้องใช้คนควบคุมอุณหภูมิของเครื่องตลอดเวลา

- ภายในตู้ทำความสะอาดยาก และมีคราบยางอ้อยติดที่เพลาและผนังตู้ยากต่อการทำความสะอาด

รายละเอียดของเครื่อง

ตัวเครื่องมีลักษณะพิเศษที่ต่างจากเตาอบรมควันทั่วไป คือ เป็นที่มีลักษณะคล้ายทรงกระบอก ซึ่งภายในประกอบด้วยถาดสำหรับอาหารทั้งหมด 6 ถาด ซึ่งทั้ง 6 ถาดนี้สามารถหมุนรอบภายในเตาได้ด้วยแกนเพลาตรงกลางเครื่อง จึงไม่จำเป็นต้องออกแบบทางเดินลมสำหรับรมควันอาหาร ตัวเครื่องสามารถอบอาหารได้เกิน 50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการอบอาหารแต่ละครั้งไม่เกิน 20 – 25 นาที

2. บริษัทห้องเย็นโชติวัติได้จัดทำเตาอบทดลองเพื่อใช้อบหัวกุ้งและทดลองอบอาหารต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ชื่อเครื่อง เตาอบทดลอง

สิทธิบัตร ยังไม่ได้ทำการจด

ราคาต้นทุนเครื่องโดยประมาณ 2,000-3,000 บาท

ข้อดี - ประหยัดงบประมาณในการสร้างเครื่องเนื่องจากนำของที่ไม่ใช้แล้วมาประยุกต์ใช้

- ใช้แผ่น color bond เป็นฉนวนด้านนอกแทนแผ่นสแตนเลสทำให้ลดค่าใช้จ่าย

- ตะแกรงมีความห่างที่พอเหมาะทำให้ทำความสะอาดได้ง่าย

ข้อเสีย - มีควันรั่วที่บริเวณรอยต่อของตัวเครื่องเล็กน้อยทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน

- ไม่มีเทอร์โมสแตทควบคุมอุณหภูมิภายใน

- ตัวดูดอากาศพร้อมมอเตอร์มีขนาดใหญ่

รายละเอียดของเครื่อง

ออกแบบเพื่ออบหัวกุ้งและทดลองอบอาหารต่างๆ มีความสามารถในการอบสูงสุดได้ 20 กิโลกรัม โดยใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 50 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการอบไม่เกิน 1-2 ชั่วโมง

3.3 เปรียบเทียบเครื่องที่ทำหน้าที่ใกล้เคียงกับเครื่องที่ทำการออกแบบ

จากการศึกษารายระเอียดเกี่ยวกับเตาอบที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน ทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเตาอบเครื่องที่ทำหน้าที่ใกล้เคียงกับเครื่องที่ทำการออกแบบได้ดังตารางที่ 3-2

จากตารางที่ 3-2 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละเครื่องที่ทำการศึกษา ซึ่งได้แก่ 1. ตู้อบกุ้งรมควันชานอ้อยขนาด 10 กิโลกรัม 2. เตาอบรมควันกุ้งแบบถาดวงล้อหมุน และ 3. เตาอบทดลอง โดยจะนำข้อดีและข้อเสียของแต่ละเครื่องมาปรับปรุงเพื่อพัฒนาเตาอบรมควันที่จะสร้างขึ้น

3.4 ผลผลิตทางการเกษตรและคุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาอบ

ในการออกแบบครั้งนี้ ได้ศึกษาข้อมูลของกุ้งเป็นหลัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กุ้งขาว (Litopenaeus Vannamei) จากการทำการศึกษาผลการทดลองอบกุ้งรมควันแบบร้อน(Hot Smoked) จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร เลือกใช้วัตถุดิบกุ้งที่มีขนาด 56 ตัว/กิโลกรัม ซึ่งเป็นกุ้งขนาดกลาง นำมาล้างทำความสะอาดและนำมาแช่ในน้ำปรุงโดยไม่นำหัวและเปลือกออก ซึ่งมีอุณหภูมิก่อนทำการอบประมาณ 10 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองในตารางที่ 3-1 กุ้งมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 61.12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก โดยคิดจาก (100% - น้ำหนักผลิตภัณฑ์ = 100 – 38.88) หลังจากทำการอบจนกุ้งสุกที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส กุ้งจะมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 37.56 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก คุณสมบัติสุดท้ายของกุ้งจะมีลักษณะตัวมีสีน้ำตาลเข้ม หัวกุ้งมีสีดำจาง ๆ และมีลักษณะของกลิ่นปกติ ซึ่งราคาปกติของวัตถุดิบกุ้งขนาดกลางประมาณ 240 บาท/กิโลกรัม และเมื่อนำมาทำการแปรรูปโดยการอบรมควันจะมีราคาประมาณ 500-600 บาท โดยอ้างอิงราคาประมาณจากกุ้งเสียบซึ่งตัวเล็กกว่าแต่มีความแห้งมากกว่ากุ้งอบรมควันเนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีการอบกุ้งรมควันขาย

ตารางที่ 3-2 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของแต่ละเครื่องที่ทำการศึกษา

ชื่อเครื่อง	**สิทธิบัตร**	**ขนาด (ก×ย×ส) หน่วยเมตร**	**วัสดุที่ใช้สร้างเครื่อง**	**ความสามารถในการอบ**	**ขอบเขตในการอบ**	**งบประมาณที่ใช้สร้างเครื่อง (บาท)**
1.ตู้อบกุ้งรมควันชานอ้อยขนาด 10 กิโลกรัม	ยังไม่ได้ทำการจดสิทธิบัตร	1.2×1.5×0.9	- แผ่นสเตนเลส - แผ่นสังกะสี - ฮีตเตอร์ - พัดลม - ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น -วาล์วเปิด –ปิดควัน - ตะแกรง -มอเตอร์	-อบได้สูงสุด10 กิโลกรัม -อบอาหารได้ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส -ใช้เวลาในการอบไม่เกิน 1 ชั่วโมง	ออกแบบเพื่ออบกุ้งเพียงอย่างเดียว	85,000

ตารางที่ 3-2 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของแต่ละเครื่องที่ทำการศึกษา (ต่อ)

ชื่อเครื่อง	สิทธิบัตร	ขนาด (ก×ย×ส) หน่วยเมตร	วัสดุที่ใช้สร้างเครื่อง	ความสามารถในการอบ	ขอบเขตในการอบ	งบประมาณที่ใช้สร้างเครื่อง (บาท)
2 .เตาอบรมควันกุ้งแบบถาดวงล้อหมุน	ยังไม่ได้ทำการจดสิทธิบัตร	มีลักษณะคล้ายทรงกระบอก	- แผ่นสเตนเลส - แผ่นสังกะสี - ฮีตเตอร์ - ตะแกรง -เพลา - มอเตอร์	-อบได้สูงสุด 60 กิโลกรัม -อบอาหารได้ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส -ใช้เวลาในการอบไม่เกิน 20-25 นาที -หมุนรอบภายในเตาด้วยแกนเพลา	ออกแบบเพื่ออบกุ้งเพียงอย่างเดียว	100,000
3. เตาอบทดลอง	ยังไม่ได้ทำการจดสิทธิบัตร	1×2.5×1	-- แผ่นสเตนเลส - ฮีตเตอร์ - พัดลม -แผ่นปิด –เปิดควัน -เทอร์โมมิเตอร์ -แผ่นฉนวน -ตะแกรง -มอเตอร์	-อบได้สูงสุด 20 กิโลกรัม -อบอาหารได้ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส -ใช้เวลาในการอบไม่เกิน 1-2 ชั่วโมง	ออกแบบเพื่ออบหัวกุ้งและทดลองอบอาหารต่าง ๆ ซึ่งที่เคยทดลองไปแล้วคือกล้วยน้ำว้า	2,000-3,000 เนื่องจากวัสดุบางอย่างนำของเก่าที่เหลือมาใช้

3.5 วัสดุประกอบต่าง ๆ ที่ใช้

จากการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตร ได้เลือกใช้วัสดุต่าง ๆ ที่นำมาใช้สร้างเตาอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แผ่นสแตนเลส หนา 2 มิลลิเมตร ใช้สำหรับประกอบเป็น

- ผนังเตาด้านนอก
- ผนังเตาด้านใน
- ผนังประตูเตา
- ผนังเตาเผาชานอ้อย
- ปล่องปลอยควันของเตาอบและเตาเผาชานอ้อย
- โครงชั้นตะแกรงวางกุ้ง

2. แผ่นสแตนเลส หนา 0.7 มิลลิเมตร ใช้สำหรับประกอบเป็น

- โครงตัวกรองสำหรับดักเขม่า
- ชุดท่อต่อระหว่างชุดพัดลมดูดอากาศกับเตาเผาชานอ้อย
- ชุดท่อต่อไหลเวียนกลับระหว่างเตาอบและชุดท่อต่อระหว่างชุดพัดลมดูดอากาศกับเตาเผาชานอ้อย
- ชุดท่อต่อไหลเวียนกลับระหว่างเตาอบและเตาเผาชานอ้อย

3. แผ่นฉนวนใยหิน 16 K หนา 2 นิ้ว หรือประมาณ 5 เซนติเมตร สำหรับบุไว้ตรงกลางระหว่างผนังเตาอบด้านในและด้านนอก รวมถึงบุไว้ที่ชุดท่อต่อทั้งหมดด้วย

4. แผ่นตะแกรงสแตนเลส ความถี่ปานกลาง สำหรับยึดติดกับโครงชั้นตะแกรงเพื่อประกอบเป็นชั้นตะแกรงสำหรับวางกุ้ง

5. ฝอยขัดหม้อ ยึดติดกับโครงสแตนเลส ประกอบเป็นชุดตัวกรองเขม่า โดยแบ่งเป็นแบบหยาบและแบบละเอียด

6. ชุดควบคุมอุณหภูมิคู่กับ PT 100 (เซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น)

7. ขดลวดความร้อน (Heater) แบบครีบ ขนาด 3,000 วัตต์ 2 ตัว

8. พัดลมดูดอากาศ (Blower) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร พร้อมมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้า เป็นตัวส่งควันเข้าเตาอบ

9. แผ่นเหล็กฉากสำหรับประกอบเป็นโครงเตาอบ

10. วาล์วลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อ ใช้สำหรับเป็นตัวปิด-เปิด ทางแยกของท่อในการไหลเวียนลมร้อน

3.6 การคำนวณการถ่ายโอนความร้อน

ในการคำนวณการถ่ายโอนความร้อนของเตาอบ จะคิดปริมาณความร้อนที่ใช้อบผลิตภัณฑ์โดยต้องทราบค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาอบ ในการออกแบบเตาอบนี้ ได้นำกุ้งเป็นวัตถุดิบหลัก ดังนั้นแสดงค่าความร้อนจำเพาะของกุ้ง ดังตารางที่ 3-3 และแสดงความจุความร้อนจำเพาะของน้ำดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 ค่าความร้อนจำเพาะของผลผลิตทางการเกษตรและวัตถุดิบทำอาหาร

วัตถุดิบ	**กระบวนการ**	**ปริมาณความชื้น (%)**	**ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.˚K)**	**อ้างอิง**
กุ้งนาง	ผสม	75.63	3.45	Rahman 1993
กุ้งนางลายเสือ	ผสม	76.49	3.41	Rahman 1993

ตารางที่ 3-4 ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (ที่มา : จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ)

T (˚C)	C_p (kJ/kg.˚C)
0	4.220
10	4.195
20	4.185
25	4.182
30	4.181
40	4.181
50	4.183
60	4.187
70	4.192
80	4.199
90	4.208
100	4.219

การคำนวณหาค่า Heat load

1. กุ้งนำเข้าห้องอบ 10 Kg มีความชื้น 61.12% อุณหภูมิก่อนนำเข้าเตาอบ = 10 °C (ได้ข้อมูลมาจากการวิจัยของคณะอุตสาหกรรมการเกษตร ม.สงขลานครินทร์) โดยใช้ค่าความชื้นในการคำนวณ = 75.63% จากตาราง 3-3 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากคณะอุตสาหกรรมการเกษตร

2. กุ้งนำออกจากเตาอบ มีความชื้นเหลือในเนื้อกุ้ง 37.56% อุณหภูมิสุดท้าย = 65°C (ได้ข้อมูลมาจากการวิจัยของคณะอุตสาหกรรมการเกษตร ม.สงขลานครินทร์)

3. ใช้เวลาอบ 7 ชั่วโมง (ใช้การรมควันในชั่วโมงแรก)

4. C_p ของกุ้ง = 3.48 KJ/Kg°C, C_p ของน้ำ = 4.187 KJ/Kg°C โดยการหาค่า C_p ของอากาศได้จากการเฉลี่ยค่าอุณหภูมิ $(T_{DRY} - T_{AMB})/2 = (65-10)/2 = 37.5$ °C และเปิดค่าจากตารางเทอร์โมไดนามิกส์

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งในการคำนวณจะใช้ค่าตัวแปรของกุ้ง มีดังนี้

Q° คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อน , หน่วยเป็น KW

M คือ มวลของกุ้ง , หน่วยเป็น Kg

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของกุ้ง, หน่วยเป็น KJ/Kg °C มีค่า 3.48 KJ/Kg °C จากตาราง Specific heat เนื่องจากความชื้นของกุ้งมีค่า 61.12% โดยความชื้นของกุ้งคำนวณได้จาก Material Balance

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ $(T_{out} - T_{in})$, มีหน่วยเป็น °C คำนวณได้โดย

$$\Delta T = (T_{out} - T_{in})$$

$$\Delta T = (65 - 10)$$

$$\Delta T = 55\ ^{\circ}C$$

ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมด สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3.1 แต่เนื่องจากในการออกแบบเตาอบ กำหนดให้อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการอบ คือ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งการที่จะเกิดความร้อนแฝงขึ้นนั้นอุณหภูมิจะต้องสูงตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ขึ้นไป เนื่องจากน้ำจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในการคำนวณจึงไม่คิดค่าความร้อนแฝง Q_{EVEP}

$$Q_{TOTAL} = Q_{PRODUCT} + Q_{H2O} + Q_{LOSS} \qquad (3.1)$$

$Q_{PRODUCT}$ = ปริมาณความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของกุ้ง (Q°_{1})

Q_{H2O} = ปริมาณความร้อนในการระเหยน้ำ (Q°_{4}) ซึ่งหาได้จากผลรวมของปริมาณความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือด (Q°_{2}) และปริมาณความร้อนในการทำให้น้ำระเหยเป็นไอ (Q°_{3})

Q_{LOSS} = ปริมาณความร้อนสูญเสียให้ Fresh Air (Q°_{5}) และปริมาณความร้อนที่สูญเสียในสิ่งแวดล้อม (Q°_{6})

คำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิง (ชานอ้อย)ที่ใช้

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแป้งชานอ้อย = 12,500 KJ/Kg (เทียบเท่ากับไม้)

คำนวณหาค่าปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ = $\frac{\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด}}{\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแป้งชานอ้อย}}$

ปริมาณลมร้อนสำหรับอบแห้ง

C_p ในที่นี้คือความร้อนจำเพาะของอากาศ, หน่วย kJ/kg°C หาค่าจากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ที่อุณหภูมิเฉลี่ย $(T_{DRYING} + T_{AMB})/2 = (65 + 10)/2 = 37.5$ องศาเซลเซียส ได้ค่าเท่ากับ 1.0069 kJ/kg°C

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วยเป็น kg/m^3 หาได้จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (338 องศาเคลวิน) ได้ค่าเท่ากับ 1.0411 kg/ m^3

m°_{AIR} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

ν_{air} คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ มีหน่วยเป็น m^3/kg หาค่าได้จาก

$$\nu_{air} = 1/\rho$$
$$= 1/1.0411$$
$$= 0.961\ m^3/kg$$

$$Q_{TOTAL} = m_{AIR} \times C_P \times (T_{DRYING} - T_{AMB})$$
$$Q^{\circ}_{TOTAL} = m^{\circ}_{AIR} \times C_P \times (T_{DRYING} - T_{AMB})$$

$$m^{\circ} = \frac{Q^{\circ}}{C_{pair}\Delta T} = \frac{475.2\ \frac{KJ}{Hr}}{1.0069 KJ \times (65-10)^{\circ}C / Kg^{\circ}C}$$
$$= 8.58\ Kg/Hr$$

$$V^{\circ} = m^{\circ}\nu_{air} = 8.58\frac{Kg}{Hr} \times 0.961\frac{m^3}{Kg} = 8.25\frac{m^3}{Kg}$$

เปลี่ยนหน่วยของค่า V° (อัตราการไหลของอากาศ) จาก m^3/kg เป็น cfm โดยมีค่าเท่ากับ 0.588 cfm แทนค่าในสมการจะได้

$$V^{\circ} = 8.25 \times 0.588 = 4.85 \text{ cfm}$$

v_{air} = Specific volume of air

$\dot{V}$ = Volume flow rate of air

โดย Q_{TOTAL} คือ ปริมาณความร้อนรวม หน่วย kJ

m_{AIR} คือ ปริมาณลมร้อนที่ต้องการสำหรับการอบแห้ง หน่วย kg

C_P คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ หน่วย kJ/kg.°C

T_{DRYING} คือ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง หน่วย °C

T_{AMB} คือ อุณหภูมิของบรรยากาศ หน่วย °C

โดยหาค่า C_P ของอากาศได้จากการเฉลี่ยค่าอุณหภูมิ $(T_{DRYING} + T_{AMB})/2$

จากการคำนวณทำให้สามารถเลือกใช้พัดลมดูดอากาศได้เหมาะสม คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และมอเตอร์ ½ แรงม้า

บทที่ 4
การคำนวณและการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตร

4.1 การออกแบบระบบและสำรวจวัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาอบ

การออกแบบระบบและสำรวจวัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาอบนั้น ได้ออกแบบเป็นลักษณะเตาอบขนาดเล็กสามารถอบได้ทั้งแบบอบแห้งและอบรมควัน โดยให้ตู้ภายนอกมีขนาด 0.9 x 0.9 x 1 เมตร (กว้าง×ยาว×สูง) ภายในตู้ประกอบด้วยชั้นตะแกรงลักษณะรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้งหมด 16 ถาด สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์สำหรับอบได้ถาดละ 300-450 กรัม โดยออกแบบให้แต่ละถาดมีขนาด 30 x 30 เซนติเมตร ส่วนประกอบอื่น ๆ ประกอบด้วย ชุด fillter มีขนาด 12.5×52.5×10 เซนติเมตร (กว้าง× ยาว× สูง) เป็นตัวกรองสำหรับดักเขม่าตั้งแต่เตาเผาชานอ้อยจนมาถึงเตาอบ โดยวัสดุที่ใช้ คือ แผ่น stainless filter ยึดติดกับโครงแผ่นสแตนเลส โดยแบ่งเป็นตัวกรองแบบหยาบจำนวน 3 ตัว และตัวกรองแบบละเอียดจำนวน 2 ตัวโดยแต่ละชั้นมีขนาด 10×12.5×2.5 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×หนา) และแต่ละชั้นห่างกัน 10 เซนติเมตร ตัวกรองเขม่าทุกจุดตามท่อต่าง ๆ รวมถึงเตาเผาชานอ้อยจะยึดเป็นแผงเดียวกันคล้ายรวงผึ้งเพื่อสะดวกในการถอดเปลี่ยนทำความสะอาด ผนังเตาอบด้านในตัวเครื่องใช้แผ่นสแตนเลสในการหุ้มผนังเตาเผาชานอ้อยมีขนาด 30×30×30 เซนติเมตร (กว้าง× ยาว× สูง) โดยมีปล่องปล่อยควันทิ้งบางส่วน ใช้แผ่น color bond หุ้มเตาอบและเตาเผาชานอ้อยเพื่อลดการสูญเสียความร้อนของอุณหภูมิ จากการออกแบบเตาอบนี้มีความสามารถในการอบได้ครั้งละไม่เกิน 10 กิโลกรัม และสามารถกำหนดอุณหภูมิในการอบไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิภายในตู้บอกตัวเลขเป็นไฟฟ้า ผนังตู้บุด้วยฉนวนใยหินมีความหนาด้านละ 5 เซนติเมตร ท่อต่อระหว่างชุดพัดลมดูดอากาศกับเตาเผาชานอ้อยมีขนาด 15×15×30 เซนติเมตร (กว้าง × ยาว × สูง) ใช้ขดลวดความร้อน (heater) แบบครีบขนาด 6000 วัตต์หรือ 6 กิโลวัตต์ และใช้พัดลมดูดอากาศเป็นตัวส่งควันเข้าตู้เพื่อใช้ในการอบอาหารมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า จากการออกแบบระบบรวมทั้งวัสดุต่าง ๆ ในการสร้างเตาเอา ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เพื่อสร้างเตาอบต่อไป

การคำนวณหาค่า Heatload

ในการสร้างเตาอบจะต้องมีคำนวณหาค่า Heatload เพื่อหาขนาด Heater ที่เหมาะสม โดยข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการคำนวณหาค่า Heatload มีดังนี้

ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการคำนวณหาค่า Heatload

<u>กุ้ง</u>		
น้ำหนักกุ้ง	10	Kg
ความชื้นของกุ้ง	61.12%	
เวลาที่ใช้ในการอบกุ้ง	7	Hr
<u>ตู้อบ</u>		
ด้านของแปดหลี่ยม	0.42	m
สูง	1.07	
ความหนาของฉนวน	0.04	m
<u>ถาดวางกุ้ง</u>		
กว้าง	0.62	m
ยาว	0.62	m
สูง	0.05	m
<u>มอเตอร์</u>		
กำลัง	0.4	kW
<u>Blower</u>		
กำลัง	0.25	kW
แรงดัน	880	Pa
ความเร็วของใบพัด	2800	rpm
ปริมาตรลม	500	m^3/h
<u>ท่อจากตู้ใส่ชานอ้อย</u>		
เส้นผ่านศูนย์กลาง	3	inch
<u>ท่อจาก Heater</u>		
เส้นผ่านศูนย์กลาง	4	inch
<u>ท่อส่งควันกลับจากตู้อบ</u>		
เส้นผ่านศูนย์กลาง	1	inch

ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 ซึ่งหาได้จากผลรวมของปริมาณความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของกุ้ง (Q°_1) ปริมาณความร้อนในการระเหยน้ำ (Q°_4) ปริมาณความร้อนสูญเสียให้ Fresh Air (Q°_5) และปริมาณความร้อนที่สูญเสียในสิ่งแวดล้อม (Q°_6)

ปริมาณความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของกุ้ง (Q°_1)

น้ำหนักกุ้ง = $\frac{10}{(7\times3600)}$ = 0.000397 Kg/s

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของกุ้ง = 3.48 KJ/Kg °C

อุณหภูมิของกุ้งก่อนอบ = 10 °C

อุณหภูมิของกุ้งหลังอบ = 65 °C

ความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของกุ้ง = 0.000397 x 3.48 x (65-10)

= 0.076 kW

ปริมาณความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือด (Q°_2)

ความชื้นกุ้งก่อนอบ 61.12%

ความชื้นกุ้งหลังอบ 37.56%

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.187 KJ/Kg K

อุณหภูมิของน้ำก่อนอบ 283 K

จุดเดือดของน้ำ 373 K

คำนวณน้ำหนักน้ำ = $\frac{(10\times61.12\%)-(10\times37.56\%)}{(7\times3600)}$

= 9.35×10^{-5} Kg/s

ปริมาณความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือด

= น้ำหนักน้ำ x C_pของน้ำ x (373-283)

= 9.35×10^{-5} x 4.187 x 90

= 0.035 kW

ปริมาณความร้อนในการทำให้น้ำระเหยเป็นไอ (Q°_3)

ความร้อนในการทำให้น้ำระเหยเป็นไอ = น้ำหนักน้ำ x ความร้อนแฝงจำเพาะ

= 9.35×10^{-5} x 2270 KJ/kg

= 0.212 kW

ปริมาณความร้อนในการระเหยน้ำ (Q°_4)

ความร้อนในการระเหยน้ำ = $Q^{\circ}_2 + Q^{\circ}_3$

= 0.035 + 0.212

= 0.247 kW

ปริมาณความร้อนสูญเสียให้ Fresh Air (Q°_5)

Air Flow rate = $\frac{500}{3600}$ = 0.139 m^3/s

% Air Flow rate for Closed System = 10%

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ = 1.0057 $KJ/Kg^{\circ}C$

ค่าความหนาแน่นของอากาศที่ 30 $^{\circ}C$ = 1.1774 Kg/m^3

อุณหภูมิของอากาศก่อนผ่าน heater = 30 $^{\circ}C$

อุณหภูมิของอากาศหลังผ่าน heater = 65 $^{\circ}C$

ความร้อนสูญเสียให้ Fresh Air = (0.139 x 10%) x 1.1774 x 1.0057 x (65-30)

= 0.576 kW

ปริมาณความร้อนที่สูญเสียในสิ่งแวดล้อม (Q°_6)

พื้นที่ผิวตู้อบ = $\left(2\sqrt{((0.42^2/2)+0.42)^2-(0.42^2)}\right)$ x 2+(6 x 0.42 x 1.07)

= 4.3998 m^2

ค่าการนำความร้อนฉนวนใยหิน = 0.161 $W/m^{\circ}C$

ความหนาฉนวน = 0.04 m

อุณหภูมิของผิวตู้อบ = 65 $^{\circ}C$

อุณหภูมิของอากาศ = 30 $^{\circ}C$

ความร้อนที่สูญเสียในสิ่งแวดล้อม = $\frac{4.3998 \times 0.161 \times (65-30)}{0.04 \times 1000}$

= 0.6198 kW

ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

คำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดได้ดังนี้

$= \quad \dot{Q}_1 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6$

$= \quad 0.076 + 0.247 + 0.576 + 0.6198$

$= \quad 1.5188 \text{ kW}$

หรือ $= \quad 1,519 \text{ Watt}$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ Heat ขนาด 6,000 วัตต์ ใช้ไฟฟ้า 220 V

คำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิง(ชานอ้อย)ที่ใช้

ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด = 1.5188 kW หรือ 5,467.68 KJ/Hr

ค่าความความร้อนของเชื้อเพลิงแป้งชานอ้อย = 12,500 KJ/Kg (เทียบเท่ากับไม้)

เพราะฉะนั้น ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ $= \dfrac{\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด}}{\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแป้งชานอ้อย}}$

$$= \frac{5,467.68 \dfrac{\text{KJ}}{\text{Hr}}}{12,500 \dfrac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$= \quad 0.4374 \text{ Kg/Hr}$

$= \quad 437.4 \text{ gm/Hr}$

เลือกขนาด Fan สำหรับระเหยน้ำ

$$= \frac{125 \dfrac{\text{KJ}}{\text{Hr}}}{\dfrac{0.72\text{KJ} \times (65 \quad 10)^{\circ}\text{C}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}}$$

$$= 3.156\text{Kg/Hr}$$

$$= 3.156 \frac{\text{Kg}}{\text{Hr}} \times 1.005 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} = 3.1718 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

$\dot{V} = 3.1718 \times 0.000588 = 1.87\text{scfm}$

v_{air} = Specific volume of air

$\dot{V}$ = Volume flow rate of air

นำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดไปออกแบบและสร้างเตาอบผลผลิตทางทางเกษตรได้ผลแสดงในข้อที่ 4.2

4.2 ผลการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตร

จากผลการออกแบบเตาอบผลผลิตทางการเกษตรที่ได้มีขนาด 1.2 x 2 x 1.8 เมตร มีน้ำหนัก 550 กิโลกรัม แสดงในรูปที่ 4-1

รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะเตาอบรมควัน

จากรูปที่ 4-1 แสดงเตาอบรมควันที่ได้จากการออกแบบซึ่งประกอบด้วยห้องอบหกเหลี่ยมขนาด 0.9 x 0.9 x 1 เมตร ภายในประกอบด้วยถาดบรรจุ 16 ถาด ขนาดถาด 30 x 30 cm. โดยลักษณะถาดภายในเตาอบเป็นดังแสดงในรูปที่ 4-2 ซึ่งแกนจะหมุนด้วยความเร็วรอบขนาด 25 รอบต่อนาที สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 300 – 450 กรัมต่อถาด และบรรจุได้สูงสุด 10 กิโลกรัมต่อการอบ 1 รอบ Heater ให้ความร้อนมีขนาด 6,000 วัตต์ ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนให้ถาดหมุนมีขนาด 1 แรงม้า ในการใช้งานเตาอบสามารถปรับอุณหภูมิได้จากอุปกรณ์ปรับตั้งบนแป้นหมุนหน้าเครื่องซึ่งสามารถตั้งอุณหภูมิห้องอบในการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่าง ๆ ได้ในช่วง 0 - 120 ºC

รูปที่ 4-2 แสดงถาดบรรจุสินค้า 16 ถาดภายในเตาอบรมควัน

4.3 ผลการทดลองเตาอบรมควัน

ทดลองใช้เตาอบรมควันแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ได้แก่ กุ้งรมควันเย็น และกุ้งรมควันร้อน

1. กุ้งรมควันเย็น

ใช้วัตถุดิบกุ้งขาวแวนาไม 54 กก./วัน นำมาแปรรูปโดยเริ่มจากนำวัตถุดิบกุ้งขาวแวนาไมมาทำการ เด็ดหัว ปอกเปลือก ลอกหางออก จนน้ำหนักกุ้งเหลือ 29.16 กก./วัน จากนั้นจึงนำไปแช่ในเครื่องปรุงรส แล้วนำมาอบรมควัน 40 นาที ที่อุณหภูมิ 45 °C แล้วอบต่อ (ไม่รมควัน) อีก 30 นาที ที่ 45 °C ซึ่งหลังจากการอบจะทำให้เหลือน้ำหนักกุ้ง 24.30 กก./วัน กุ้งรมควันเย็นแสดงได้ดังรูปที่ 4-3

รูปที่ 4-3 แสดงการอบกุ้งรมควันเย็นด้วยเตาอบรมควัน

2. กุ้งรมควันร้อน

ใช้วัตถุดิบกุ้งขาวแวนาไม 27 กก./วัน นำมาแปรรูปโดยนำกุ้งขาวแวนาไมมาทำการเด็ดหัวและดึงไส้ ทำให้เหลือน้ำหนักกุ้ง 14.58 กก./วัน จากนั้นจึงนำไปแช่เครื่องปรุงรส แล้วนำไปอบรมควัน 40 นาทีที่อุณหภูมิ 65 ºC และอบไม่รมควันต่ออีก 120 นาที ที่ 65 ºC หลังจากการอบจะทำให้กุ้งเหลือน้ำหนัก 5.94 กก./วัน กุ้งรมควันร้อนแสดงได้ดังรูปที่ 4-4

รูปที่ 4-4 แสดงการอบกุ้งรมควันร้อนด้วยเตาอบรมควัน

จากการทดลองใช้เตาอบรมควันแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร พบว่าเตาอบสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 300 – 450 กรัมต่อถาด เตาอบประกอบด้วยถาดบรรจุผลิตภัณฑ์สำหรับแปรรูป 16 ถาด ขนาดถาด 30 x 30 cm. หมุนด้วยความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที บรรจุได้สูงสุด 10 กิโลกรัมต่อการอบ 1 รอบ สามารถตั้งอุณหภูมิห้องอบในการอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่าง ๆ ได้ในช่วง 0 - 120 ºC ประสิทธิภาพในการอบคือหนึ่งวันสามารถอบได้ตามจำนวนครั้งที่ต้องการ แต่ต้องน้ำหนักไม่เกินกำหนดในการอบแต่ละครั้ง

เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของเตาอบที่สร้างขึ้นกับเตาอบที่มีอยู่ในปัจจุบัน 3 เครื่องดังได้กล่าวไปแล้วในตารางที่ 3-2 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-1 ดังนี้

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบเตาอบที่สร้างขึ้นกับเตาอบที่มีอยู่แล้ว

ชื่อเครื่อง	ขนาด (ม.)	วัสดุที่ใช้	ความสามารถในการอบ	ขอบเขตการอบ	งบประมาณที่ใช้ (บาท)
ตู้อบกุ้งรมควันชานอ้อย	1.2 x 1.5 x 0.9	แผ่นสเตนเลส, แผ่นสังกะสี, ฮีตเตอร์, พัดลม, ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น, วาล์วเปิด-ปิดควัน, ตะแกรง, มอเตอร์	- อบได้สูงสุด 10 กก. - อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 70˚C ใช้เวลาในการอบไม่เกิน 1 ชม.	อบกุ้งอย่างเดียว	85,000
เตาอบรมควันกุ้งแบบถาดวงล้อหมุน	-	แผ่นสเตนเลส, แผ่นสังกะสี, ฮีตเตอร์, ตะแกรง, เพลา, มอเตอร์	- อบได้สูงสุด 60 กก. - อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 50˚C เวลาในการอบไม่เกิน 20-25 นาที	อบกุ้งเพียงอย่างเดียว	100,000
เตาอบทดลอง	1 x 2.5 x 1	แผ่นสเตนเลส, ฮีตเตอร์, ตะแกรง, แผ่นฉนวน, มอเตอร์, เทอร์โมมิเตอร์, พัดลม, แผ่นปิด-เปิดควัน	- อบได้สูงสุด 20 กก. - อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 50˚C เวลาในการอบไม่เกิน 1-2 ชม.	อบหัวกุ้ง และอาหารต่าง ๆ ที่ทดลองไปแล้วคือกล้วยน้ำว้า	2,000-3,000 เนื่องจากวัสดุบางอย่างนำของเก่าที่เหลือมาใช้
เตาอบที่สร้างขึ้น	1.2.x 2 x 1.8	แผ่นสเตนเลส, ฮีตเตอร์, ตะแกรง, พัดลมดูดอากาศ, แผ่นฉนวนใยหิน, มอเตอร์, ขดลวดร้อน, พัดลม, วาล์วปิด-เปิดควัน, ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น, แผ่นเหล็กฉาก, ฝอยขัดหม้อ	- อบได้สูงสุด 10 กก. - อุณหภูมิในการอบ 0-120˚C - อบรมควันได้ทั้งร้อนและเย็น - สามารถตั้งเวลาและอุณหภูมิในการอบได้	อบ ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กุ้ง ปลา กล้วย เป็นต้น	100,000

จากตารางที่ 4-1 เมื่อทำการเปรียบเทียบเตาอบที่สร้างขึ้นกับเตาอบที่มีอยู่แล้ว พบว่าเตาอบที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเตาอบที่มีอยู่แล้ว แต่มีข้อที่ดีกว่า คือ สามารถปรับตั้งเวลาและอุณหภูมิในการอบได้ โดยอุณภูมิในการอบสามารถตั้งค่าได้ถึง 120 ˚C นอกจากนั้นยังสามารถอบได้ทั้งแบบธรรมดาและแบบรมควัน การอบรมควันนั้นก็สามารถอบได้ทั้งแบบรมควันร้อน และรมควันเย็น และสามารถอบผลผลิตทางการเกษตรได้หลากหลายอีกด้วย

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลองใช้เตาอบรมควันแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร กุ้งรมควันเย็น และกุ้งรมควันร้อน ได้ผลเป็นดังนี้

1. กุ้งรมควันเย็น

ทำการอบกุ้งรมควันเย็นวันละ 6 รอบ ๆ ละ 29.16/6 = 4.86 กก. เรียงใส่ถาด 16 ถาด ๆ ละ 4.86 x 1000/16 = 303 กรัม จะได้กุ้งรมควันเย็น 24.30 กก. (จากน้ำหนักก่อนอบ 29.16 กก.) บรรจุถาดละ 180 ก. จะผลิตได้วันละ 24.30 x 1000/180 = 135 ถาด ต้นทุนผันแปรต่อถาด (รวมค่าแรง) เท่ากับ 93.24 บาท/ถาด หรือ 518 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์ ราคาขายต่อถาดเท่ากับ 190 บาท/ถาด หรือ 1,055 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์ จะได้กำไรขั้นต้นต่อถาดเท่ากับ 96.76 บาท ดังนั้นกำไรโดยรวมเท่ากับ 96.76 x 135 หรือ 13,062.60 บาท/วัน

2. กุ้งรมควันร้อน

อบกุ้งรมควันร้อนได้วันละ 3 รอบ ๆ ละ 14.58/3 = 4.86 กก. เรียงใส่ถาด 16 ถาด ๆ ละ 4.86 x 1000/16 = 303 กรัม เมื่ออบเสร็จแล้วจะได้กุ้งรมควันร้อน 5.94 กก. บรรจุลงถาด ๆ ละ 75 กรัม ผลิตกุ้งรมควันร้อนได้วันละ 5.94 x 1000/75 = 80 ถาด ต้นทุนผันแปรต่อถาด (รวมค่าแรง) เท่ากับ 53.59 บาท/ถาด หรือ 714.54 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์ ราคาขายต่อถาดเท่ากับ 110 บาท/ถาด หรือ 1,466 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์ จะได้กำไรขั้นต้นต่อถาดเท่ากับ 56.41 บาท ดังนั้นกำไรโดยรวมเท่ากับ 56.41 x 80 = 4,512.80 บาท/วัน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองใช้เตาอบรมควันแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เตาอบรมควันที่สร้างขึ้นสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มากขึ้นโดยสามารถเพิ่มมูลค่าหรือผลกำไรให้กับผลิตได้

แต่อย่างไรก็ตามเตาอบที่สร้างขึ้นนี้เป็นเพียงเตาอบต้นแบบที่ต้องมีการพัฒนาให้มีประสิทธิเพิ่มขึ้นและสามารถใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

4.5 การส่งมอบเตาอบรมควันให้กับโครงการของมูลนิธิชัยพัฒนา

เตาอบรมควันที่สร้างขึ้นได้นำถวายแด่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในการเสด็จพระราชดำเนินติดตามความก้าวหน้าการดำเนินงานโครงการของมูลนิธิชัยพัฒนา เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2553 จังหวัดพังงา โดยรูปภาพแสดงการจัดเตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควันแสดงได้ดังรูปที่ 4-5, 4-6, 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ ส่วนรูปภาพแสดงการส่งมอบและการนำถวายแด่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นดังรูปที่ 4-9 4-10 และ 4-11 ตามลำดับ

รูปที่ 4-5 เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน

รูปที่ 4-6 เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน

รูปที่ 4-7 เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน

รูปที่ 4-8 เตรียมความพร้อมในการส่งมอบเตาอบรมควัน

รูปที่ 4-9 การส่งมอบและถวายเตาอบรมควัน

รูปที่ 4-10 การส่งมอบและถวายเตาอบรมควัน

รูปที่ 4-11 การส่งมอบและถวายเตาอบรมควัน

จากผลการทดลองการออกแบบและสร้างเตาอบผลิตผลทางการเกษตร เตาอบรมควันที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการอบกุ้งรมควัน 10 กิโลกรัมต่อครั้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบให้ผลที่ดี สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

บทที่ 5
สรุปผล

จากการออกแบบและสร้างเตาอบรมควันทำให้ได้เตาอบที่สามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้หลายชนิดซึ่งในที่นี้ได้ทดลองเตาอบรมควันด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ กุ้งรมควันเย็น และกุ้งรมควันร้อน เตาอบที่ได้มีขนาด 1.2 x 2 x 1.8 เมตร น้ำหนัก 550 กิโลกรัม มีลักษณะเป็นห้องอบ 6 เหลี่ยม ขนาด 0.9 x 0.9 x 1 เมตร ประกอบด้วยถาดบรรจุสินค้า 16 ถาดซึ่งสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้สูงสุด 10 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยตั้งอุณหภูมิห้องอบได้ในช่วง 0 - 120 °C และจุดควันโดยใช้ชานอ้อยหรือกากมะพร้าว

ผลที่ได้จาการทดลองใช้เตาอบรมควันแปรรูปผลิตภัณฑ์ พบว่าสามารถผลิตกุ้งรมควันเย็นได้วันละ 24.30 กก. คิดเป็นกำไร 13,062.60 บาท/วัน ผลิตกุ้งรมควันร้อนได้วันละ 5.94 กก. คิดเป็นกำไร 4,512.80 บาท/วัน จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าเตาอบรมควันที่สร้างขึ้นนอกจากจะช่วยสร้างผลกำไรให้กับอุตสาหกรรมแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีสีสัน ลักษณะ และคุณภาพที่ดีอีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบเตาอบที่สร้างขึ้นกับเตาอบที่มีอยู่แล้ว พบว่าเตาอบที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเตาอบที่มีอยู่แล้ว แต่มีข้อที่ดีกว่า คือ สามารถปรับตั้งเวลาและอุณหภูมิในการอบได้ โดยอุณภูมิในการอบสามารถตั้งค่าได้ถึง 120°C นอกจากนั้นยังสามารถอบรมควันได้ทั้งแบบรมควันร้อน และรมควันเย็น และสามารถอบผลผลิตทางการเกษตรได้หลากหลาย

และเนื่องจากเตาอบรมควันที่สร้างขึ้นนี้เป็นเพียงเครื่องต้นแบบจึงมีข้อจำกัด คือ การกระจายความร้อนยังไม่ดีนัก ต้องมีการปรับปรุงในอนาคต และยังไม่มีอุปกรณ์ดักเขม่าชานอ้อยเมื่อใช้งานไปนาน ๆ จึงต้องล้างอุปกรณ์ด้วยสารละลายโซดาไฟ

อย่างไรก็ตามเตาอบผลิตผลทางการเกษตรที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตรให้กับผู้ผลิตสามารถเพิ่มผลกำไรได้

บรรณานุกรม

คณาจารย์ภาควิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 2521. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการผลิต . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : หจกการพิมพ์พระนคร

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2540. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ. การถ่ายโอนมวลและหลักปฏิบัติการเฉพาะหน่วยพื้นฐาน

ดรุณี ธนะนันท์กูล. 2522. ระบบการผลิตอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์.2542. การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด .

ประภาศรี สิงห์รัตน์. 2533. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ: มหาวิทยาสงขลานครินทร์.

ผศ.ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ. 2545.Heat Transfer. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเอสพรินติ้งเฮ้าส์.

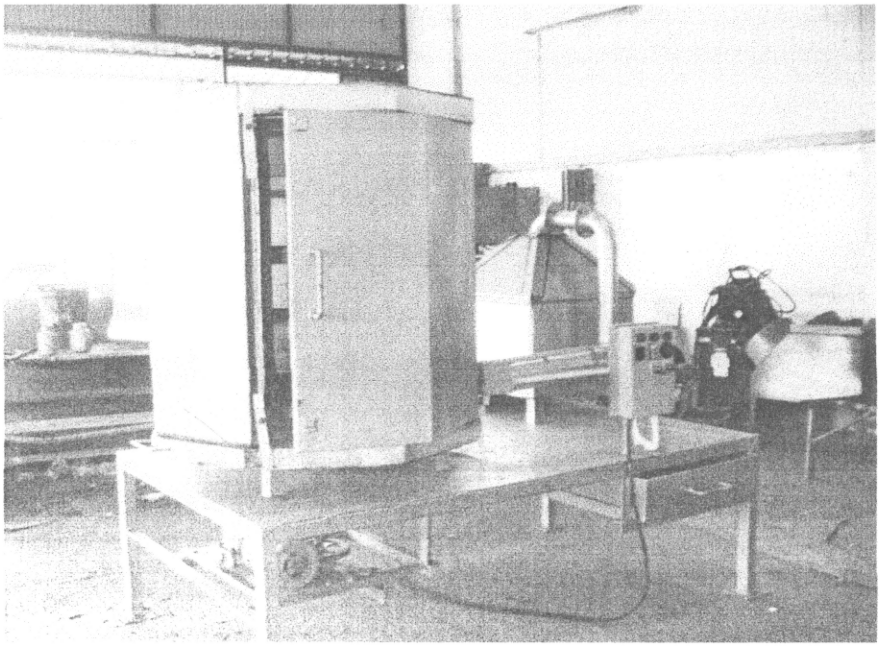
วัฒนา ประทุมสินธุ์. 2522. ตำราวิชาการถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประสานมิตร.

ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. 2528. เทคโนโลยีการแปรรูปและถนอมอาหาร.กรุงเทพฯ

ภาคผนวก

คู่มือการใช้งาน

เตาอบรมควัน (Smoked Oven) ขนาดเล็ก



จัดทำโดย

รศ.วนิดา รัตนมณี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หาดใหญ่

วันที่.....

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
1	รายละเอียดด้านเทคนิคของเตาอบรมควัน	1
2	รายละเอียดการอบรมควันผลิตภัณฑ์ต่างๆ	3
	2.1 กุ้งรมควันเย็น	3
	2.2 กุ้งรมควันร้อน	4
	2.3 ปลากะพงรมควันเย็น	5
	2.4 ปลากะพงรมควันร้อน	6

1.รายละเอียดด้านเทคนิคของเตาอบรมควัน

ขนาด 1.2 x 2 x 1.8 m.

น้ำหนัก 550 kg.

ส่วนประกอบสำคัญ	ห้องอบ 6 เหลี่ยม ขนาด 0.9 x 0.9 x 1
	บรรจุผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 300 – 450 กรัมต่อถาด
	ถาดบรรจุสินค้า 16 ถาด ขนาดถาด 30 x 30 cm. หมุนด้วยความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที
	บรรจุผลิตภัณฑ์ได้สูงสุด 7.2 กิโลกรัมต่อการอบ 1 รอบ
	Heater ให้ความร้อน ขนาด 6,000w. จำนวน 2 ชุด
	การปรับอุณหภูมิสามารถปรับตั้งได้จากแป้นหมุนหน้าเครื่อง
	อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (thermostat) ตั้งอุณหภูมิห้องอบได้ในช่วง 0 - 120 °C
	เตาจุดควัน ใช้ชานอ้อยหรือกากมะพร้าว
	มอเตอร์ขับให้ถาดหมุนขนาด 1 แรงม้า
	การบำรุงรักษา ล้างคราบเขม่าชานอ้อยด้วยการละลายโซดาไฟ
	แบบแปลน แสดงในเอกสารที่แนบด้านหลัง

ข้อจำกัดของเครื่องต้นแบบ

1. ไม่มีอุปกรณ์ดักเขม่าชานอ้อยเมื่อใช้งานไปนานๆ ต้องล้างอุปกรณ์ด้วยสารละลายโซดาไฟ

2. การกระจายความร้อนยังไม่ดีนัก ต้องมีการปรับปรุงในอนาคต

ขั้นตอนการใช้ตู้อบ

วิธีการอบธรรมดา

- [ ] จัดเรียงผลิตภัณฑ์ลงในตะแกรง
- [ ] นำตะแกรงใส่ในเตาอบและปิดฝา
- [ ] เปิดเครื่องเตาอบ
- [ ] ปรับตั้งเวลา และอุณหภูมิ
- [ ] เปิด Heater เพื่อทำการอบผลิตภัณฑ์
- [ ] อบรมควันตามเวลาที่กำหนดไว้

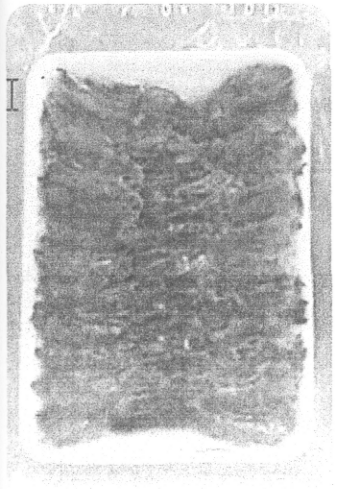
วิธีการอบรมควัน

- [ ] จัดเรียงผลิตภัณฑ์ลงในตะแกรง
- [ ] นำตะแกรงใส่ในเตาอบและปิดฝา
- [ ] เปิดเครื่องเตาอบ
- [ ] ปรับตั้งเวลา และอุณหภูมิ
- [ ] เปิด Heater และ Blower เพื่อทำการอบรมควันผลิตภัณฑ์
- [ ] เผาชานอ้อยเพื่อใช้ควันในการอบ
- [ ] ตรวจสอบการเติมเชื่อเพลิงเรื่อยๆ
- [ ] อบรมควันตามเวลาที่กำหนดไว้

2.รายละเอียดการอบรมควันผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.1 <u>กุ้งรมควันเย็น</u>

(Cold Smoked Shrimps)



ใช้วัตถุดิบกุ้งขาวแวนาไม 54 กก./วัน

แปรรูป เด็ดหัว ปอกเปลือก ลอกหาง แช่เครื่องปรุง ฯลฯ เหลือ 29.16 กก./วัน

อบรมควัน 40 ที่อุณหภูมิ 45 °C

อบต่อ (ไม่รมควัน) อีก 30 นาที ที่ 45 °C

อบวันละ 6 รอบๆ ละ 29.16/6 = 4.86 กก.

เรียงใส่ถาด 16 ถาดๆ ละ 4.86 x 1000/16 = 303 กรัม

ได้กุ้งรมควันเย็น 24.30 กก. (จากน้ำหนักก่อนอบ 29.16 กก.)

บรรจุถาดละ 180 ก.

ผลิตได้วันละ 24.30 x 1000/180 = 135 ถาด

ต้นทุนผันแปรต่อถาด (รวมค่าแรง) = 93.24 บาท/ถาด

= 518 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

ราคาขายต่อถาด = 190 บาท/ถาด

= 1,055 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

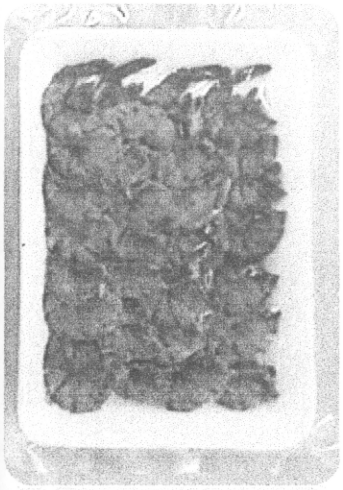
กำไรขั้นต้นต่อถาด = 96.76 บาท

กำไรโดยรวม = 96.76 x 135

= 13,062.60 บาท/วัน

2.2 <u>กุ้งรมควันร้อน</u>

(Hot Smoked Shrimps)



ใช้วัตถุดิบกุ้งขาวแวนาไม 27 กก./วัน

แปรรูป เด็ดหัว ดึงไส้ แช่เครื่องปรุงรส เหลือ 29.16 กก./วัน

อบรมควัน 40 ที่อุณหภูมิ 65 °C

อบไม่รมควันต่อ อีก 120 นาที ที่ 65 °C

อบได้วันละ 3 รอบๆ ละ 14.58/3 = 4.86 กก.

เรียงใส่ถาด 16 ถาดๆ ละ 4.86 x 1000/16 = 303 กรัม

อบเสร็จแล้วได้กุ้งรมควันร้อน 5.94 กก.

บรรจุถาดละ 75 ก.

ผลิตได้วันละ 5.94 x 1000/75 = 80 ถาด

ต้นทุนผันแปรต่อถาด (รวมค่าแรง) = 53.59 บาท/ถาด

= 714.54บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

ราคาขายต่อถาด = 110 บาท/ถาด

= 1,466 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

กำไรขั้นต้นต่อถาด = 56.41 บาท

กำไรโดยรวม = 56.41 x 80

= 4,512.80 บาท/วัน

2.3 <u>ปลากะพงรมควันเย็น</u>

(Cold Smoked Barramundi)

ใช้วัตถุดิบปลากะพงเลี้ยง ขนาด 0.5 – 0.8 กก./ตัว รวม 81 กก./วัน

แปรรูป ขอดเกล็ด ลอกหนัง แล่ฟิลเล็ต ตัดแต่ง สไลด์เป็นแผ่นบาง แช่น้ำปรุงรส เหลือน้ำหนัก 40.50 กก.

อบรมควันด้วยชานอ้อย 40 นาที อุณหภูมิ 45 °C

อบไม่รมควันต่อ อีก 30 นาที ที่ 45 °C

อบได้วันละ 6 รอบๆ ละ 40.50/6 = 6.75 กก.

เรียงใส่ถาด 16 ถาดๆ ละ 6.75 x 1000/16 = 422 กรัม

ได้ปลากะพงรมควันเย็น 31.59 กก./วัน (จากน้ำหนักก่อนอบ 40.50 กก.)

บรรจุถาดละ 105 ก.

ผลิตได้วันละ 31.59 x 1000/105 = 301 ถาด

ต้นทุนผันแปรต่อถาด (รวมค่าแรง) = 47.01 บาท/ถาด

= 447.74 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

ราคาขายต่อถาด = 104 บาท/ถาด

= 990 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

กำไรขั้นต้นต่อถาด = 56.99 บาท

กำไรโดยรวม = 56.99 x 301

= 17,154 บาท/วัน

2.4 <u>ปลากะพงรมควันร้อน</u>

(Hot Smoked Barramundi)

ใช้วัตถุดิบปลากะพงขาวเลี้ยงขนาด 0.5 – 0.8 กก./ตัว รวม 41 กก./วัน

แปรรูป ขอดเกล็ด ลอกหนัง แล่ฟิลเล็ต ตัดแต่ง สไลด์เป็นแผ่นบาง แช่น้ำปรุงรส เหลือน้ำหนัก 20.50 กก.

อบรมควันด้วยชานอ้อย 45 นาที อุณหภูมิ 65 °C

อบไม่รมควันต่อ อีก 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 65 °C

อบได้วันละ 3 รอบๆ ละ 20.50/3 = 6.83 กก.

เรียงใส่ถาด 16 ถาดๆ ละ 6.83 x 1000/16 = 427 กรัม

ได้ปลากะพงรมควันร้อน 14.59 กก./วัน (จากน้ำหนักก่อนอบ 20.50 กก.)

บรรจุถาดละ 90 ก.

ผลิตได้วันละ 14.35 x 1000/90 = 159 ถาด

ต้นทุนผันแปรต่อถาด (รวมค่าแรง) = 44.02 บาท/ถาด

= 489.14 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

ราคาขายต่อถาด = 104 บาท/ถาด

= 1.155 บาท/กก.ผลิตภัณฑ์

กำไรขั้นต้นต่อถาด = 59.98 บาท

กำไรโดยรวม = 59.98 x 159

= 9,536.82 บาท/วัน

Abstract Number : 008-0147

Abstract Title : Design and Development of a Small Smoker Oven Prototype for Agricultural Products

Wanida Rattanamanee, Suriya Jirasatitsin, Prachot Dumsongsri, Chutima Homin

and Pornsawan Rujiratesareekul

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai,

Songkhla, Thailand ,90112 Tel. : 074-287025-6, Email : suriya.j@psu.ac.th

POMS 19th Annual Conference

La Jolla, California, U.S.A.

May 9 to May 12, 2008

Abstract - "Design and development of a small smoker oven prototype for agricultural products" is the research that focuses on design and development a machine to add agricultural products value such as shrimp, banana, coconut etc., in Thailand. For the research methodology, IE techniques, machine design concepts and heat transfer theory were applied to fulfill the goal. There were five steps of the research methodology, the production process of smoked agricultural products data collection, analysis of important factors affecting the production process, design of the smoker oven machine prototype, the machine construction, and conclusion of the machine performance. The obtained result of the research is the small smoker oven prototype with capability of 10 kilograms per batch of shrimp products. Hot smoked shrimps were selected for design calculation of this study. The smoker oven machine prototype gives good results of the smoked agricultural products.

Keywords: machine design, productivity, manufacturing process, smoked agricultural products

1. INTRODUCTION

Thailand is an agricultural country. There are a lot of agricultural products such as fresh Thai fruits, fishes, shrimps, etc. (shown in Fig. 1). These products are seasonal. It means that there is a huge number for one period per year. The effect of this situation is the price of products is lower than usually event. Thai farmers are much suffered because their main gain is money from selling agricultural products. A way to increase their income is to increase value added of the products and times to keep products; for example, dried products, smoked and dried products, etc. (shown in Fig. 2).

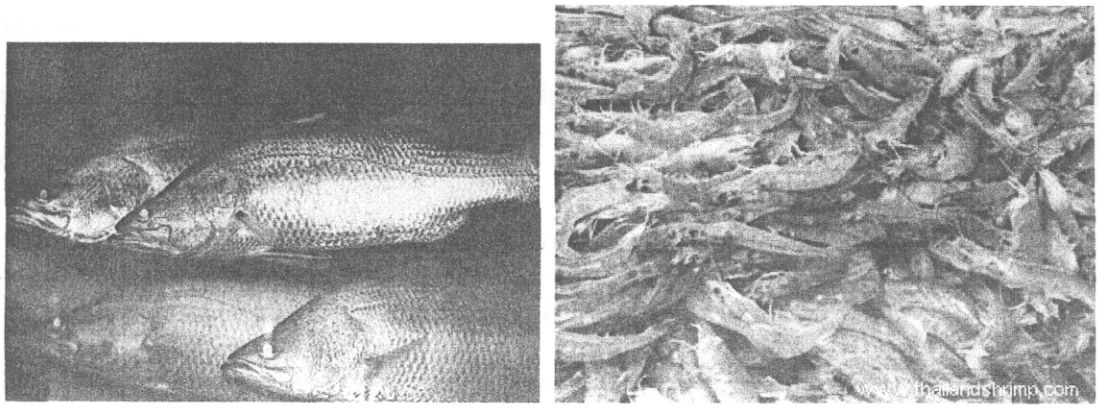


Fig. 1. Some examples of Thai agricultural products

Fig. 2. Some examples of smoked products

There are many methods to produce dried or smoked and dried Thai agricultural products such as natural method (drying in open air by sunshine) or technological method (drying or smoking by equipments). However, for controlling quality and quantity of products, the technological method is more appropriate. Oven technology is widely used to produce dried or smoked products. In earlier times, smoking was a form of food preservation but now products are smoked more for flavor and appearance. In general, there are two methods for smoking: hot and cold smoking. The hot smoking process has become more popular in recent years because hot-smoked products have more powerful taste and a firmer consistency than cold-smoked products. The firm consistency is caused by the heat-treatment that takes place during smoking.

There are many researchers who study and design about the smoker oven. However, there are some problems for using conventional ovens as follows:

- They can not product smoked and dried products at the same oven.
- Their size is too big to use by a group of Thai agricultures.
- The oven which products smoked products has some problems of the smoked products such as soot at products, uncontrolled oven temperature, hard to clean the oven, etc.

So the objective of this research is to design and develop a small smoker oven prototype for agricultural products. This equipment can increase Thai agriculture income by improve value added and quality of the agricultural products.

2. METHODOLOGY

For the research methodology, machine design concepts and IE techniques were applied to fulfill the goal. First of all, the production processes of dried or smoked and dried the agricultural products were studied in detail. Secondly, the important factors of production process were analyzed how they affect the designed oven. The third step was design the smoker oven prototype according to the analyzing data.

Fourthly, the smoker oven prototype was developed and tested. Finally, the results of the smoker oven were analyzed and concluded. The following steps explained in detail have been done to achieve the research goal.

2.1 Production Process Data Collection

In this research, the processes to produce dried or smoked and dried agricultural products were studied in detail. In general, smoked and dried agricultural product process flowchart is shown in Fig. 3.

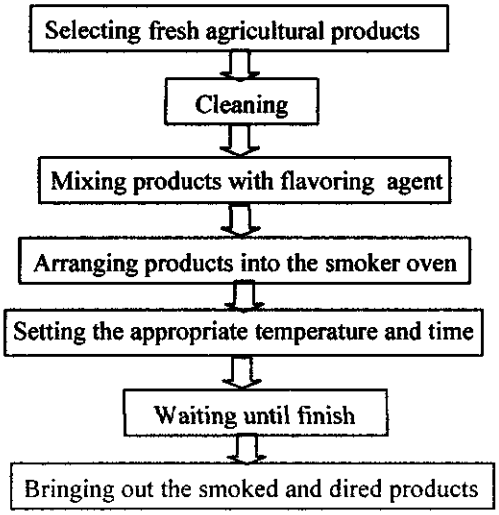


Fig. 3. The smoked and dried agricultural product production processes

The first step of smoking process, especially hot smoking, is selecting the fresh products. This step is very important because using poor quality products will produce a poor smoked product. Then products will be cleaned carefully. During preparation the products should be kept as cool as possible. This will keep down bacterial growth and spoilage. The next step is mixing the products with flavoring agent. This mix formula is very important for smoked products because customers will make their decision to buy the smoked products because of their taste. After that, the mixed products will be arranged to the trays and

brought to the oven. Then the oven will be set temperature about 65 °C within 6 to 8 hours after placing the prepared products in the smoking oven. The final step is testing the smoked products and checking their characteristics.

The tradition process, some oven's capacity is 50 kilogram per time. Some is 20 kilogram per time. The big size is not appropriate for small group of agricultures. So Cherdrungsi, K. and Ooraikul, B. (2008) designed and developed a small oven which produces hot and cold smoked Vanami shrimps. However, the small size oven still has some process and product problems such as soot at products, uncontrolled oven temperature, hard to clean the oven. So this research design and develop a new small smoker oven prototype to solve these problems. In addition, the design capacity of the oven is 10 kilograms of Vanami shrimps per time of smoking.

2.2 Important Characteristic Analysis

The main objectives of the research are to design and develop the small smoker and dry oven for small group of Thai agricultures. From analyzing smoke and dry process data, the important characteristics of the oven are as follow;

- The capacity of the oven is 10 kilogram of Vanami shrimps per time. Because this research focus on a small group of Thai agricultures.
- There is no soot entered to the oven. Because the previous oven has the major defect in that there is some soot moved to the products. It causes the smoked products have bad smell and performance.
- There is a temperature control system. Because the previous oven can not control the oven temperature.
- There is a smoke box to make bagasse smoke. This characteristic can protect the soot moved to the products.
- There is a motor to drive the food trays rotating to increase the quality of smoked products.

From these characteristics, the small smoke oven was designed.

2.3 The Small Smoker oven Design

From the five important characteristics, the small smoker oven was designed to support them. The designed oven consists of five important parts. The first part is the oven body made from stainless. There are trays inside the body. Some fresh agricultural products such as shrimps are put on these trays that can be rotated with the appropriate speed. The second part is a motor used to drive the trays. The third part of the oven is the stainless box. Bagasse is put to the box for burning. Then there will be bagasse smoke. The fourth part is stainless pipes connected between the smoke box and the oven body. Bagasse smoke will be moved through the pipes from the box to the body. The final part is the temperature control system. The appropriate temperature to produce the smoked and dried products is set by the temperature control.

3. RESULTS

The results of the research consist of two parts. The first part is the detail design of the small smoker oven prototype. The second is the developing of the smoker and dry oven.

3.1 The Detail Design of the Small Smoker and Dry Oven

From the conceptual design, the detail design of the small smoke oven prototype was developed as shown in Fig. 4. The designed small oven is fixed to the table for comfortable moving. The smoke box (Fig. 4, (2)) is located outside the oven body (Fig. 4, (1)). Some bagasse is burned in the box and smoke will be passed to the oven body through the pipe connected between the oven body and the smoke box. In addition, there is a filter in the pipe for preventing the soot moved to the oven body. Furthermore, there is a temperature control (Fig. 4, (3)) to control the temperature in the oven.

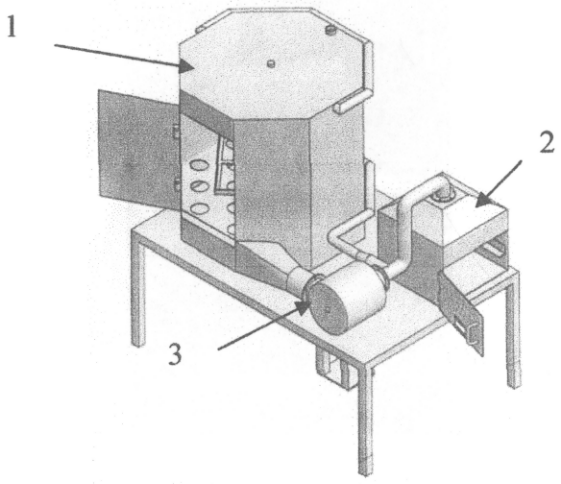


Fig. 4. The detail design of the small smoker oven

3.2 The Developing of the Small Smoker and Dry Oven

From the detail design, the small smoker oven prototype was developed as shown in Fig. 5. Inside the oven body, there are four trays (shown in Fig. 6) rotated by motor with the appropriate speed. Fig. 7 shows the smoke box to burn some bassage and produce smoke. Fig. 8 shows the temperature control system.

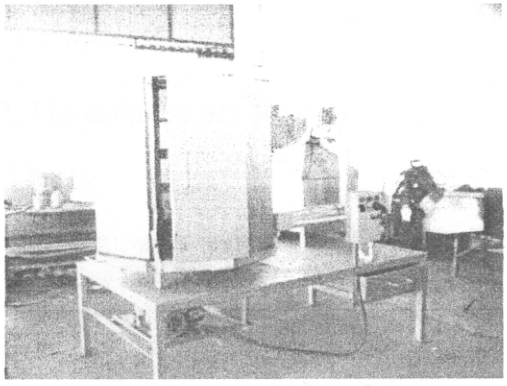


Fig. 5. The smoker and dry small oven prototype

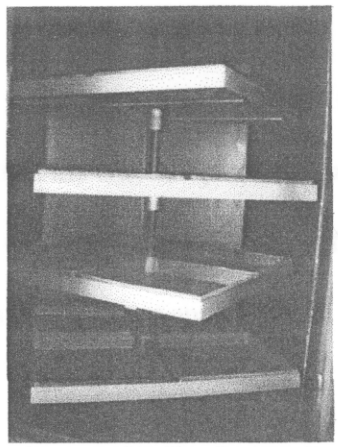


Fig. 6. The trays inside the oven body

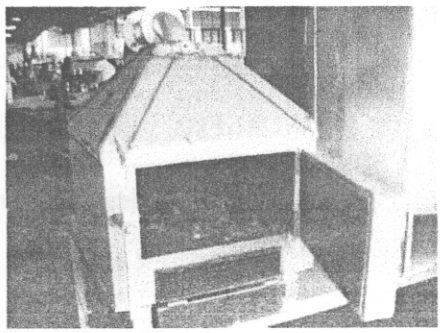


Fig. 7. The stainless box for developing the smoke

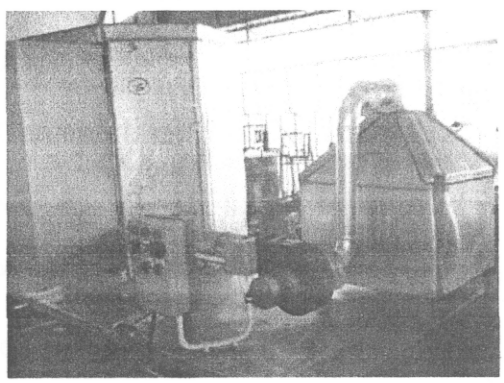


Fig. 8. The temperature control system and stainless pipes

4. CONCLUSION

The designed small smoker oven prototype was developed for small group of Thai agricultures to produce the hot smoked products. Because the smoked product can add value for the agriculture products, the small smoke oven is very useful. Its capacity is 10 kilograms of Vanami shrimps. The future work is to find the efficiency of the smoker oven and do the cost analysis.

ACKNOWLEDGMENTS

This research is funded by the Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand

REFERENCES

[1] D.S. Sink, *Productivity Management: Planning, Measurement and Evaluation, Control and Improvement*, John Wiley & Sons, New York, 1985

[2] William J. Stevenson, *Operation Management*, 8th ed., The McGraw Hill Companies, Inc., New York, 2005

[3] J.Tompkins, J.White, Y.John, E.Frazelle, J.Tanchoco, and J.Trevino, *Facility Planning*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

[4] J.Apple, *Material Handling System Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

[5] Thomya, T. (2002). *Pneumatics and Basic Electrical Pneumatics*. Technological Promotion Association (Thai-Japan), Bangkok, Thailand.

[6] J.Shang, "Robust Design and Optimization of Material Handling in an FMS", *International Journal of Production Research*, Vol.33.1995, pp.2473-2454.

[7] Lee J. Krajewski and Larry P. Ritzman, *Operation Management: Process and value Chains*, 7th ed., Pearson Education, Inc., New Jersey, 2005

[8] Shigley, T.L. and Mischke, C. R. (1989). *Mechanical Engineering Design*, 5th ed. McGraw-Hill, Singapore.

[9] Barnes, M.R. (1980). *Motion and Time Study Design and Measurement of Work.* John Wiley & Sons, New York.

[10] Cherdrungsi, K. and Ooraikul, B. (2008). Product Development for Hot and Cold Smoked Vanaimi. Research Project.