การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

Design and Fabrication of Infrared Grilling Machine for Food Skewer

นางสาววริศรา สาระนิตย์
นางสาวอริสรา เลียงประสิทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

Design and Fabrication of Infrared Grilling Machine for Food Skewer

นางสาววริศรา สาระนิตย์

นางสาวอริสรา เลียงประสิทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Fabrication of Infrared Grilling Machine for Food Skewer

Ms. Waritsara Saranit

Ms. Arissara Liangprasit

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

Design and Fabrication of Infrared Grilling Machine for Food Skewer

ผู้จัดทำ

1. นางสาววริศรา สาระนิตย์ รหัสนักศึกษา 54011150
2. นางสาวอริสรา เลียงประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 54011526

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

นักศึกษา นางสาววริศรา สาระนิตย์ รหัสนักศึกษา 54011150

นางสาวอริสรา เลียงประสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 54011526

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด โดยมีวิธีดำเนินงานดังนี้ 1) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นหมู 2) ออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด และ3) ศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ สมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นหมูที่ใช้ในการออกแบบเครื่องย่าง ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความหนา เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต และมวล เครื่องย่างมีส่วนประกอบหลักคือ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดกลไกจับด้ามไม้ 3) ต้นกำลังและส่งกำลัง 4) แหล่งกำเนิดความร้อนแบบอินฟราเรด และ5) ชุดควบคุมไฟฟ้า การศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แสดงให้เห็นว่า การย่างด้วยเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดสามารถทำให้อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมูมีค่าเท่ากับ 72 องศาเซลเซียสโดยใช้ระยะเวลา 6 นาที 30 วินาที ในระหว่างการย่างพบว่า อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้น ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง และค่าความแข็งของเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่าง แต่ค่าความสว่างมีค่าค่าลดลง จากการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบ 3 ระดับพบว่า ความเร็วรอบของการย่างเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งของลูกชิ้นมากขึ้น แต่ไม่มีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมูพบว่า คะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับการจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างโดยคน เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3 วัน

คำสำคัญ: เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้, การย่างแบบอินฟราเรด, คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design and Fabrication of Infrared Grilling Machine		
By	Ms. Waritsara	Saranit	Student ID 54011150
	Ms. Arissara	Liangprasit	Student ID 54011526
Thesis for	Bachelor's Degree of Food Engineering		
	Department of Food Engineering		
	Faculty of Engineering		
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
Year	2014		
Advisor	Dr. Ekkapong Cheevitsopon		

Abstract

The main objective of this research was to design and fabrication of infrared grilling machine for food skewer. The research comprised 3 important operations: 1) Study the physical properties of pork ball, 2) Design and fabrication of infrared grilling machine, 3) Study effect of infrared grilling on qualities of food skewer. The important physical properties of pork ball to design the grilling machine were length, width, thickness, GMD, and mass. The grilling consisted of 1) Structure, 2) Gripper units, 3) Power and transmission, 4) Infrared heater, and 5) Electrical controller unit. The results indicated that grilling time for increasing temperature at the center of pork to 72 °C was 6 minutes 30 seconds. During grilling it was found that temperature at the center, redness, yellowness and hardness of pork ball were with grilling time, while the brightness of pork ball decreased. When the revolution value of grilling increased, the hardness of pork ball also increased. However, it was no significant effect on brightness, redness, and yellowness. The overall acceptance scores were not different between all samples in the sensory test. When economic analysis, the payback period of infrared grilling machine was 3 days.

Key word: Grilling machine for food skewers, Infrared grilling, Food properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาทางด้านทฤษฎี และการปฏิบัติ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ดร.เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษาตลอดจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณคุณอำนาจ คูตะคุ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณสุธัญญา ถาดนาค สำหรับความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ ห้องปฏิบัติการทดลองตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวของคณะผู้วิจัยทุกท่าน สำหรับโอกาสในการศึกษาเล่าเรียน ความห่วงใย กำลังทรัพย์ ตลอดจนกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีเสมอมา

คณะผู้วิจัย
นางสาววริศรา สาระนิตย์
นางสาวอริสรา เลียงประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 รังสีอินฟราเรด (Infrared)	3
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์	11
2.3 ลูกชิ้นหมู	13
2.4 กระบวนการย่าง	14
2.5 อิทธิพลของกระบวนการย่างต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.7 หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องกล	21
2.8 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู	26
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	30
3.3 การศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้	36
3.4 การวิเคราะห์เรื่องการใช้พลังงานของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้	39
3.3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	43
4.1 สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู	43
4.2 หลักการทำงานของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	43
4.3 อิทธิพลของระยะเวลาการย่างต่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู	45
4.4 อิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพของลูกชิ้นหมู	45
4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	50
บทที่ 5 สรุปลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
ภาคผนวก	54
เอกสารอ้างอิง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาของอินฟราเรด	3
รูปที่ 2.2 หลอด Tungsten filament lamp	5
รูปที่ 2.3 หลอด T-3 Quartz lamp	5
รูปที่ 2.4 Quartz tube	5
รูปที่ 2.5 Metal tube	5
รูปที่ 2.6 แผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก	6
รูปที่ 2.7 สเปคตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ	9
รูปที่ 2.8 เฟืองตรง	21
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบตลับลูกปืน (พิพัฒน์, 2554)	22
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเครื่องย่างบาบีคิวไร้ควัน	25
รูปที่ 3.1 การวัดความยาว ความกว้าง และความหนาของลูกชิ้นหมู	26
รูปที่ 3.2 การหาปริมาตรของลูกชิ้นหมูอาศัยหลักการแทนที่น้ำ	27
รูปที่ 3.3 การอบแห้งตัวอย่างลูกชิ้นหมูด้วยตู้อบลมร้อน	28
รูปที่ 3.4 การวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* b*	29
รูปที่ 3.5 การทดสอบค่าความแข็งของลูกชิ้นหมูโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส	29
รูปที่ 3.6 แบบเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	30
รูปที่ 3.7 โครงสร้างเครื่องย่าง	31
รูปที่ 3.8 การกลึงเหล็กเพลาเพื่อทำเสื้อตลับลูกปืน	32
รูปที่ 3.9 ชุดขับเคลื่อนการหมุนรอบตัวเองของผลิตภัณฑ์	32
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งการติดตั้งชุดเฟืองและการติดตัวจับผลิตภัณฑ์	33
รูปที่ 3.11 ระบบต้นกำลัง	33
รูปที่ 3.12 การติดตั้งเพลามอเตอร์เข้ากับเพลาส่งกำลัง	34
รูปที่ 3.13 การติดตั้งแผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก	34
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการต่อสายไฟเข้ากับแผงต่อสายไฟ	35
รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการต่อสายไฟทนร้อนจากแผงต่อสายไฟไปยังเบรกเกอร์	35
รูปที่ 3.16 เครื่องย่างผลิตภัณฑ์เสียบไม้แบบอินฟราเรด	35
รูปที่ 3.17 มิเตอร์ไฟฟ้า	39
รูปที่ 4.1 การใช้ตัวจับจับผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและอุณหภูมิกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู	45
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่า L* ของลูกชิ้นหมู	46
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่า a* ของลูกชิ้นหมู	47
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่า b* ของลูกชิ้นหมู	48
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่าความแข็งของลูกชิ้นหมู	49
รูปที่ ก	ด้านบนของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	55
รูปที่ ข	ด้านหน้าของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	55
รูปที่ ค	ด้านข้างของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดประเภทต่าง ๆ 6

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบหลักการทำงานของฮีตเตอร์ประเภทต่าง ๆ 8

ตารางที่ 3.1 งบประมาณการสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ 40

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู 44

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ 46

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ 47

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ 48

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ 49

ตารางที่ 4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู 50

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ เปรียบเทียบกับการจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างโดยคน 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อาหารปิ้งย่างถือเป็นอาหารยอดนิยมของคนไทยโดยบริโภคเป็นอาหารจานหลักหรืออาหารว่าง สามารถบริโภคได้ ทุกเพศ ทุกวัย (ลัทธวรรณ, 2554) และหนึ่งในเมนูปิ้งย่างซึ่งเป็นที่นิยม คือ ลูกชิ้นหมู เพราะหาซื้อง่ายและสะดวกต่อการรับประทาน ลูกชิ้นหมูเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อหมู เครื่องเทศหรือสมุนไพร เช่น กระเทียม รากผักชี พริกไทยดำ เครื่องปรุงรส เช่น เกลือ และวัตถุเจือปนอาหารอื่น ๆ โดยการนำมาบดจนละเอียดผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ลวกให้สุก ผึ่งลมเย็น จากนั้นนำไปย่าง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547) โดยวางผลิตภัณฑ์ห่างจากแหล่งให้ความร้อน ซึ่งอาจเป็นเตาถ่าน เตาไฟฟ้า หรือเตาอินฟราเรด ผลิตภัณฑ์จะสุกโดยอาศัยกระบวนการถ่ายเทความร้อน มีการพลิกกลับของอาหารเพื่อการกระจายความร้อนทำให้อาหารสุกทั่วถึง ในการปิ้งย่างโดยทั่วไปจะใช้เตาที่มีรูปแบบการวางตัวของอาหารในแนวนอน กล่าวคือ หลังจากถ่านถูกเผาไหม้อุณหภูมิของถ่านจะสูงขึ้น ไอร้อนจะไหลขึ้นสู่ด้านบน และสัมผัสกับอาหาร เมื่อความชื้นและไขมันในอาหารสัมผัสความร้อนจะหยดกลับลงบนถ่าน เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นเหตุให้เกิดควันที่เกาะติดบนผิวอาหาร ควันเหล่านั้นส่วนใหญ่จะมีสารก่อมะเร็ง (วิมล, 2551) เช่น สารโพลีไซคลิกอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และสารเฮทเทอโรไซคลิกเอมีนส์ (HCAs) (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2556) เตาปิ้งย่างที่ปลอดสารก่อมะเร็งจึงควรมีโครงสร้างของเตาที่ไม่เอื้อต่อการหยดของน้ำหรือน้ำมันจากวัตถุดิบลงไปบนแหล่งความร้อน (ณัฐภูมิ, 2553) เครื่องย่างที่ใช้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดสามารถเพิ่มความร้อน และลดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว เตามีขนาดเล็ก เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถทำความร้อนให้ผลิตภัณฑ์ได้ในเวลาไม่นาน นอกจากนั้นยังเป็นเตาที่มีการควบคุมแม่นยำ ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องย่างที่มีการวางตัวของอาหารในแนวดิ่ง มีการกลับด้านของอาหารแบบอัตโนมัติ ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากรังสีอินฟราเรด และศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร และลดปริมาณสารก่อมะเร็งในอาหารปิ้งย่าง พร้อมตอบสนองต่อด้านสุขอนามัยของผู้บริโภค และช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1.3.2 การเปรียบเทียบอิทธิพลความเร็วรอบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

1.3.3 ในระหว่างกระบวนการย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้วางตัวในแนวดิ่ง

1.3.4 วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เครื่องต้นแบบสำหรับย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1.4.2 องค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ระหว่างกระบวนการย่างแบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

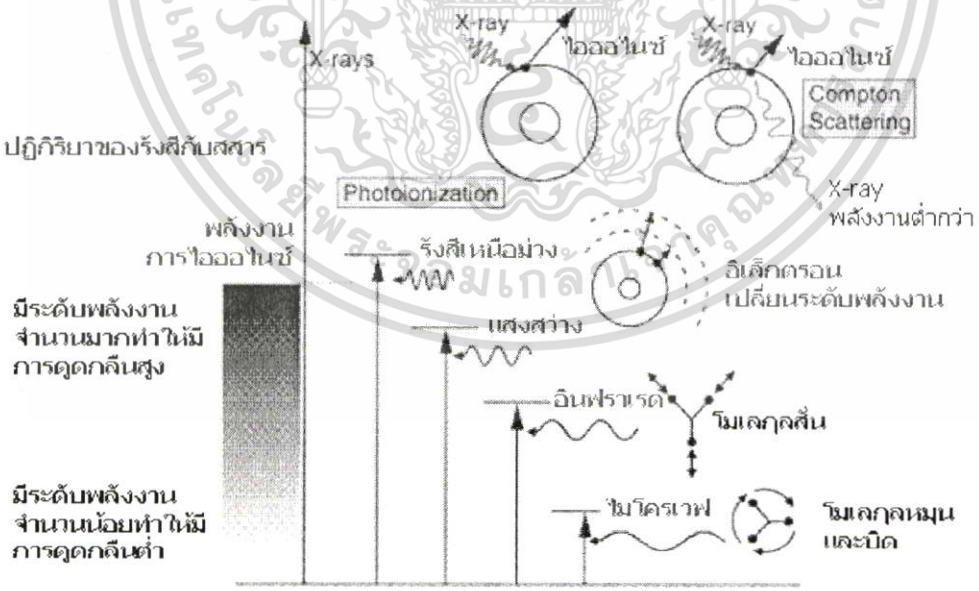
บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 รังสีอินฟราเรด (Infrared)

2.1.1 การเกิดปฏิกิริยาของรังสีกับสสาร (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2553)

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยรังสีหลายแบบ แต่ละแบบมีพลังงานแตกต่างกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยากับวัตถุต่างกันในคลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถผ่านสสารไปได้อย่างง่ายดาย คลื่นไมโครเวฟ (microwave) คลื่นอินฟราเรดและแสงสว่าง สสารสามารถดูดกลืนคลื่นเหล่านี้ได้ดี ส่วนคลื่นอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) หรือยูวี ซึ่งส่วนใหญ่มาจากดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนที่ผิวชั้นนอกของสสาร และถ้าเป็นรังสีเอ๊กซ์ สสารจะดูดกลืนได้ต่ำ ทำให้ทะลุผ่านไปได้ แต่ละส่วนในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยพลังงานควอนตัม (quantum energy) ซึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดกระตุ้นได้ ถ้าพลังงานไม่ถึงหรือไม่พอดีกับระดับพลังงานควอนตัม รังสีจะทะลุผ่านวัตถุนั้นไปโดยไม่เกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาของอินฟราเรด (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานควอนตัมของโฟตอนจากอินฟราเรด ซึ่งเป็นช่วงพลังงานที่ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibrations) ร่างกายของเราจะดูดกลืนอินฟราเรดได้มากกว่าไมโครเวฟ แต่น้อยกว่าแสงสว่าง ผลจากการดูดกลืนอินฟราเรดจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุล รังสีอินฟราเรดจึงสามารถเข้าไปในผิวหนังของมีชีวิตได้มากกว่าแสงสว่าง ส่วนรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) ผิวหนังของเราจะดูดกลืนรังสีได้สูงมากจะมีอันตรายมากขึ้นจากการเกิดกระบวนการไหม้เกิดขึ้นที่ผิวเนื้อเยื่อ

2.1.2 การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

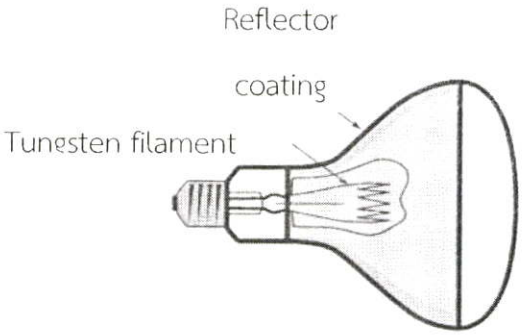
หน่วยเล็กที่สุดของวัตถุ คือ โมเลกุล ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุต่าง ๆ การที่วัตถุสามารถอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ เนื่องจากโมเลกุลเหล่านั้นมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน เมื่อวัตถุได้รับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความถี่ของคลื่นใกล้เคียงกับการสั่นของโมเลกุล จะส่งผลให้โมเลกุลต่าง ๆ มีการสั่นที่รุนแรงขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระมีพลังงานมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัววัตถุ การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด (0.76 ไมโครเมตร – 1 มิลลิเมตร) ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ ช่วงรังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ คลื่นสั้น คลื่นปานกลาง และคลื่นยาว

การดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุลักษณะพื้นผิวของวัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ วัตถุที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 เมตร ได้ดี ยกเว้นโลหะที่ขัดขึ้นเงา เช่น ทอง เงิน เป็นต้น

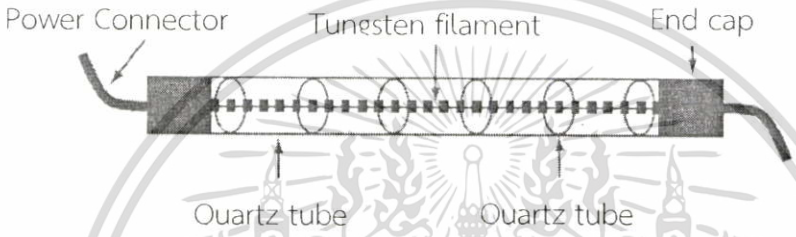
การใช้งานรังสีอินฟราเรดจะต้องมีตัวปล่อยคลื่น (IR Emitter) ซึ่งประกอบด้วย ตัวปล่อยคลื่นสั้น (Short Wave) ตัวปล่อยคลื่นปานกลาง (Medium Wave) และตัวปล่อยคลื่นยาว (Long Wave) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

1) คลื่นสั้น มีความยาวคลื่นในช่วง 0.76-2 ไมโครเมตร ตัวปล่อยคลื่น ได้แก่ หลอด Tungsten filament หรือ หลอด T-3 Quartz lamps เป็นต้น (รูปที่ 2.2, รูปที่ 2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

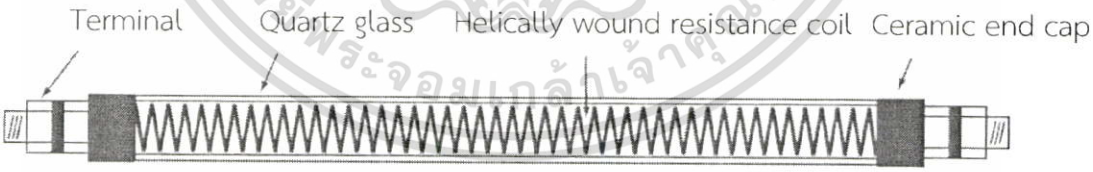


รูปที่ 2.2 หลอด Tungsten filament lamp (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

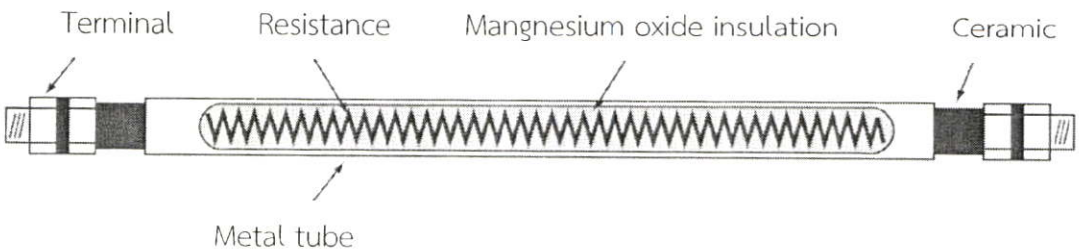


รูปที่ 2.3 หลอด T-3 Quartz lamp (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

2) คลื่นปานกลาง มีความยาวคลื่นในช่วง 2-4 ไมโครเมตร ตัวปล่อยคลื่น ได้แก่ คอยล์หรือลวดที่บรรจุในแท่ง Quartz หรือ ท่อ Silicon หรือ ท่อ Metal radiant rubes เป็นต้น (รูปที่ 2.4, รูปที่ 2.5)



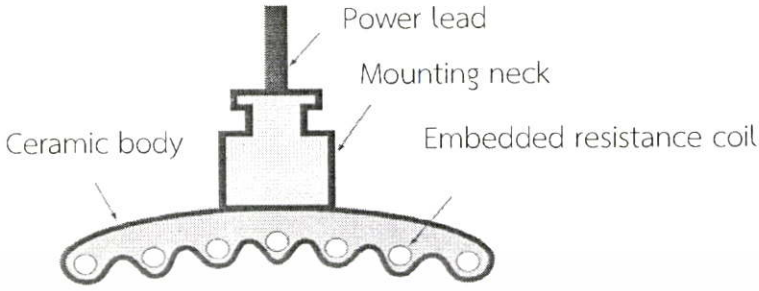
รูปที่ 2.4 Quartz tube (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)



รูปที่ 2.5 Metal tube (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คลื่นยาว มีความยาวคลื่นในช่วง 4 ไมโครเมตร - 1 มิลลิเมตร ตัวปล่อยคลื่น ได้แก่ แผงเซรามิก หรือ แผงแก้ว เป็นต้น (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดประเภทต่าง ๆ (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

	Short-wave Hight-Intensity	Medium-wave Hight-Intensity	Long-wave Hight-Intensity
Rediant Source Temperature	4,000 – 2,175 องศาฟาเรนไฮต์	2,175 – 857 องศาฟาเรนไฮต์	857 – 400 องศาฟาเรนไฮต์
Peak Wave Range	1.2 - 2.0 ไมโครเมตร	2.0 - 4.0 ไมโครเมตร	4.0 - 6.0 ไมโครเมตร
Watt Density, W/in	Typical – 60 Max. – 1,200	Typical – 30 Max. - 80	Typical – 15 Max. - 40
Direct Radiation as Percent of Input Energy	88 – 72 เปอร์เซ็นต์	60 – 40 เปอร์เซ็นต์	50 – 20 เปอร์เซ็นต์
Relative heat-up	seconds	Seconds to minutes	minute
Cool-down time			
Mechenical Shock Resistance	Poor	Good to excellent	Varies with design

แสดงให้เห็นได้ว่าคลื่นสั้นจะสามารถทะลุทะลวงได้ดีที่สุด และให้ความร้อนได้รวดเร็ว แต่สำหรับการให้ความร้อนที่ผิวจะด้อยกว่าคลื่นปานกลาง หรือ คลื่นยาว ช่วงรังสีที่เหมาะสมที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาใช้ในการทำความร้อนกับวัตถุ คือ ช่วงรังสีคลื่นยาว คลื่นความยาวช่วงอื่นจะถือเป็นความสูญเสีย (เนื่องจากวิ่งทะลุวัตถุ หรือถูกสะท้อนกลับ) ดังนั้นการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่มีประสิทธิภาพ จะต้องมีความสามารถในการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของคลื่นอินฟราเรดให้มากที่สุด คือ ช่วง 3 – 10 มิลลิเมตร องค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดคลื่นอินฟราเรดและวัตถุเป้าหมาย ในขณะที่การทำความร้อนด้วยวิธีการพา และการนำความร้อน จะเน้นที่ตัวกลาง ปรากฏการณ์ในขณะที่คลื่นรังสีอินฟราเรดตกระทบกับวัตถุมี 3 แบบ คือ ส่งผ่าน ดูดซับ และสะท้อน โดยถ้าเป็นวัตถุหนา ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีเพียงเฉพาะส่วนที่ดูดซับ เท่านั้น อย่างไรก็ตามหากให้ความร้อนกับวัตถุดำ (Black Body) จะถือว่าการถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบมีค่ารวมกันเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าพลังงานสำหรับรังสีอินฟราเรดที่วัตถุสะท้อนออกมีค่า 30 เปอร์เซ็นต์ และมีการส่งผ่าน 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวัตถุจะดูดซับรังสีเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

2.1.3 ฮีตเตอร์อินฟราเรด (ศุภพงษ์, 2550)

ฮีตเตอร์อินฟราเรด หมายถึงตัวกำเนิดแสงอินฟราเรดซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นยาว ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ ซึ่งรังสีคลื่นความยาวนี้จะทำให้โมเลกุลของวัตถุสั่น ก่อให้เกิดความร้อนขึ้น

ฮีตเตอร์อินฟราเรด แบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแบล็ค และฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบควอท

1) ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแบล็คมีลักษณะเป็นแท่งอินฟราเรดสีดำ สามารถติดตั้งได้ 360 องศา ภายในแท่งอินฟราเรดฮีตเตอร์สีดำจะมีลวดตัวนำอยู่ภายใน และมีการใช้ผงแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า นำความร้อนได้ดีแต่ไม่นำไฟฟ้า เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ ตัวอินฟราเรดฮีตเตอร์จะให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยจะติดตั้งคู่กับโคมสังกะสีซึ่งมีคุณสมบัติการสะท้อนทำให้ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานสูงขึ้น

2) ฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบควอทมีลักษณะเป็นแท่งอินฟราเรดสีขาว สามารถติดตั้งได้ในแนวนอนเท่านั้นเนื่องจากฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบนี้จะไม่มีการใช้ผงแมกนีเซียมออกไซด์ ทำให้ลวดตัวนำที่อยู่ภายในตัวฮีตเตอร์เกิดการชำรุดและฉีกขาดได้ง่าย ซึ่งเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ ตัวอินฟราเรดฮีตเตอร์จะให้ความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยสามารถติดตั้งคู่กับโคมสังกะสีเพื่อทำให้การกระจายความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เปรียบเทียบลักษณะการใช้งานของฮีตเตอร์ประเภทต่างๆ

ในการให้ความร้อนโดยฮีตเตอร์มีลักษณะการใช้งานรวมถึงหลักการทำงานที่แตกต่างกันไปเพื่อตอบสนองความต้องการที่หลากหลาย (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบหลักการทำงานของฮีตเตอร์ประเภทต่างๆ (ภาคอุตสาหกรรม, 2554)

ประเภทของฮีตเตอร์	ลักษณะการใช้งาน
ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)	ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก
ฮีตเตอร์ครีบ (Finned Heater) และ ฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater)	ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ใช้ในการอบแห้งในเตาอบ
ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater) หรือ ฮีตเตอร์ต้มน้ำ	ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานต้มน้ำ, ต้มน้ำมัน, งานผสมสาร
บอบบิ้นฮีตเตอร์ (Bobbin Heater)	ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การต้มน้ำ, ต้มน้ำมัน, งานผสมสาร (เหมือนกับฮีตเตอร์จุ่ม)
ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)	ใช้ให้ความร้อนกับวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัตถุมันวาวมีคุณสมบัติสะท้อนแสง ทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดอย่างเต็มที่ เหมาะสำหรับใช้ติดตั้งในเตาอบ
ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater)	ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก
ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater)	ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงได้
ฮีตเตอร์เส้น (Cable Heater)	ใช้ให้ความร้อนเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นน้ำแข็งในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำๆ สามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมทำความเย็น

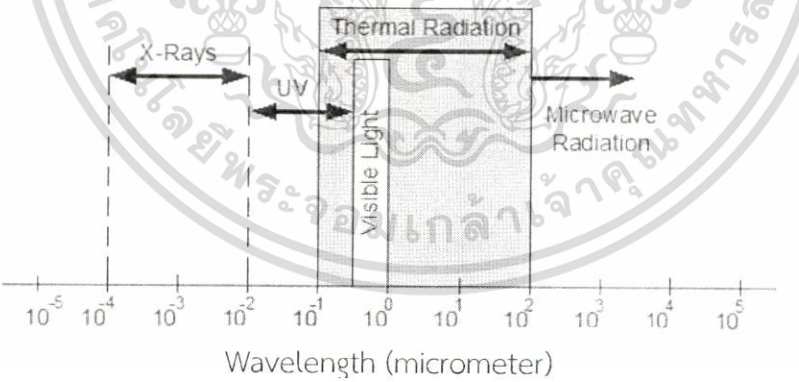
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การแผ่รังสีอินฟราเรด (วัชรินทร์, 2556)

การแผ่รังสี คือพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกจากสสาร (Matter) ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) หรือโฟตอน (Photon) เนื่องมาจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมหรือโมเลกุล เป็นการถ่ายเทพลังงานโดยไม่ต้องอาศัยสารตัวกลาง ซึ่งมีความเร็วสูงสุดเท่ากับความเร็วแสง และเกิดได้ในสุญญากาศ การถ่ายเทพลังงานความร้อนนั้นเกิดจากรังสีที่ปลดปล่อยจากวัตถุต่างๆ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวมันเอง และอุณหภูมิที่ล้อมรอบ กระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารนั้นเทคนิคการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวมักจะถูกใช้ในรูปของตัวทำความร้อน ความยาวคลื่นระหว่าง 2.5-30 ไมโครเมตร

การแผ่รังสีอินฟราเรด เป็นกลไกที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ (zero absolute temperature)

รังสีอินฟราเรด หมายถึงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงของรังสีความร้อน (Thermal Radiation) มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร ผู้ค้นพบรังสีอินฟราเรด คือ นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ Sir William Herschel จากการทดลองวัดอุณหภูมิของแถบสีรุ้งจากปริซึม ซึ่งรังสีอินฟราเรดนี้อยู่ในช่วงคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของแสงสีแดง มนุษย์จึงไม่สามารถมองเห็นแต่สามารถรู้สึกถึงความร้อนได้



รูปที่ 2.7 สเปคตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ (นวภัทรา และ ทวีพล, 2555)

หลักการแผ่รังสีอินฟราเรดตามกฎของแพลงค์ (Plank's law) กล่าวถึงวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเคลวิน (-273 องศาเซลเซียส) มีพลังงานภายในตัว และมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแปรผกผันกับอุณหภูมิ วัตถุดำมักจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวัตถุจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามของวัตถุดำ คือวัตถุที่สามารถดูดกลืน (Absorb) และเปล่งรังสี (Emit) ออกมาจากตัวเองได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ว่าที่ความยาวคลื่นหรือทิศทางใด วัตถุดำจึงเป็นเพียงวัตถุในอุดมคติเท่านั้น เพราะว่าวัตถุที่มีอยู่จริงทุกชนิดจะดูดกลืนและเปล่งรังสีได้น้อยกว่าวัตถุดำ (John and Beckman, 2006) เมื่อวัตถุดำถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ T พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกเปล่งรังสีออกจากผิวของวัตถุ

สภาพการเปล่งรังสี (Emissivity, ε) จากวัตถุที่แท้จริงจะมีค่าน้อยกว่าวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน เป็นไปตามอัตราส่วนของพลังงานที่แผ่รังสีทั้งหมดของวัตถุใด ๆ หารด้วยพลังงานที่แผ่รังสีทั้งหมดของวัตถุดำ ดังนี้

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \tag{2.5}$$

เมื่อ E คือ พลังงานที่แผ่รังสีทั้งหมดของวัตถุใดๆ (วัตต์)

σ คือ ค่าคงที่สเตฟัน - โบลทซ์มัน ($\sigma = 5.6697 \times 10^{-8}$ วัตต์ต่อตารางเมตรองศาเคลวินยกกำลังสี่)

T คือ อุณหภูมิของวัตถุใดๆ (องศาเคลวิน)

ε คือ สภาพการเปล่งรังสีมีค่าระหว่าง 0 - 1 และวัตถุในสมการนี้คือวัตถุสีเทาที่มีสภาพการดูดกลืนรังสี (Absorptivity, β) ภายใต้การสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์สภาพการเปล่งรังสี และสภาพการ ดูดกลืนรังสีคลื่นเดี่ยว (Monochromatic) ของวัตถุเป็นไปตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) ส่วนพลังงานที่ไม่ถูกดูดกลืนจะถูกสะท้อนออกไปตามสภาพการสะท้อนรังสี (Reflectivity, γ) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\varepsilon = \beta = 1 - \gamma \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ (กองส่งเสริมและพัฒนาปศุสัตว์, 2555)

ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ที่สำคัญจะจำแนกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้ คือ

2.2.1 โปรตีน มีอยู่ประมาณ 15-23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแบ่งตามที่มาและคุณสมบัติการละลายของโปรตีนแบ่งได้เป็น

1) ซาร์โคพลาสมิก โปรตีน (Sarcoplasmic protein) พบอยู่ในส่วนของซาร์โคพลาสซึม มีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด มีคุณสมบัติที่ละลายได้ในน้ำและสารละลายเกลืออ่อน ๆ โปรตีนประเภทนี้ได้แก่เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ เช่น Photosphorylase, Phospho glyceraldehydes dehydrogenase, เม็ดสีในเนื้อ เป็นต้น

2) ไมโอไฟบริลลาร์ โปรตีน (Myofibrillar protein) คือ โปรตีนในไมโอไฟบริลซึ่งเป็นโครงสร้างของกล้ามเนื้อ และทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อมีอยู่ประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดมีคุณสมบัติคือละลายได้ในสารละลายของเกลือ

3) สโตรแมล โปรตีน (Stromal protein) มีประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมดพบอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีคุณสมบัติคือไม่ละลายในสารละลายใด ๆ แต่อาจละลายบ้างในสารละลายเข้มข้นของกรดและเบส โปรตีนประเภทนี้ได้แก่ คอลลาเจน อีลาสตินและเรติคิวลิน

2.2.2 ไขมัน มีอยู่ประมาณ 12-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อสัตว์ที่มีชีวิตโดยกระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย สัตว์ต่างชนิดกันมีจำนวนไขมันที่ไม่เท่ากัน มีความแตกต่างในชนิดของกรดไขมัน ส่วนประกอบของไขมันได้แก่

1) ไตรกลีเซอรีน (Triglyceride) คือ เอสเทอร์ของกรดไขมันกลีเซอรอล กรดไขมันที่พบมีหลายอย่างเช่น กรดปาลมิติก (Plamitic acid) กรดสเทียริก (Steric acid) กรดโอเลอิก (Oleic acid) เป็นต้น

2) ฟอสฟอลิพิด มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย แต่มีความสำคัญในการเปลี่ยน สี กลิ่น รสในเนื้อ จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนของ สี กลิ่น รส จะปรากฏชัดในฟอสฟอลิพิดที่ตั้งผึ่งลมและจะเปลี่ยนเร็วขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อน มักพบฟอสฟอลิพิดอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อผนังเซลล์โดยจะจับตัวอยู่กับโปรตีน เช่น สฟินโกลิพิด (Sphingolipid) ฟอสฟอกลีเซอร์ไรด์และพลาสมาโลเจนส์ เป็นต้น

3) Nonsaponifiable Constituents เป็นไขมันซึ่งมีคุณสมบัติต่างจากไขมันสองชนิดที่กล่าวมาแล้ว กล่าวคือ ไขมันประเภทนี้จะไม่ให้เกลือของกรดไขมันเมื่อเข้าทำปฏิกริยากับเบส ซึ่งแบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ เทอร์ปีนส์ (Terpenes) และสเทอร์รอยด์ (Steroid) ซึ่งตัวที่สำคัญและได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญได้รับความสนในมากที่สุดในเนื้อคือ คอเลสเทอรอล ซึ่งพบโดยเฉลี่ย 70 - 75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเนื้อวัว หมู และแกะเมื่อเป็นเนื้อล้วน (lean meat)

2.2.3 คาร์โบไฮเดรต มีเพียงเล็กน้อยในเนื้อ ได้แก่ เม็ดไกลโคเจน และไกลโคโปรตีน ปริมาณของไกลโคเจนในสัตว์ก่อนฆ่ามีความสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์ก่อนฆ่ามีความสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อ และอายุการเก็บรักษาเนื้อ

2.2.4 น้ำ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อสัตว์จะมีน้ำอยู่ประมาณ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ อายุและชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณน้ำในเนื้อมีความสัมพันธ์กับความฉ่ำน้ำ ความนุ่มและรสของเนื้อนั้นๆ นอกจากนั้นยังมีผลต่อคุณภาพเนื้อในระหว่างการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นลักษณะการแช่เย็น แช่แข็ง หรือการทำแห้งก็ตาม ปริมาณของน้ำในเนื้อจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไขมันเสมอ โดยในเนื้อสด มีปริมาณน้ำในเนื้อ 70 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในไมโอไฟบริล 20 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในไซโคพลาซึม และ 10 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

ลักษณะของน้ำในเนื้อมี 3 แบบด้วยกันคือ

1) น้ำเกาะติด คือน้ำซึ่งเกาะแน่นอยู่กับโปรตีน โดยเกาะอยู่กับส่วนที่มีประจุและกลุ่มที่จับกับกลุ่มไฮโดรลิก (hydrophilic group) เรียงต่อกันออกมาเป็นชั้นเดียว (Monolayer) และมีบางส่วนจับกลุ่มไฮโดฟิลิก (hydrophilic group) เรียงต่อกันออกมาเป็นชั้นๆ

2) น้ำที่อยู่ห่างจากโปรตีน คือน้ำที่ถูกกักอยู่ระหว่างชั้นของโปรตีนเช่นอยู่ในไมโอไฟบริล

3) น้ำอิสระ คือน้ำที่อยู่ในลักษณะของของเหลว กล่าวคือไหลได้อย่างมีอิสรภาพภายในเนื้อเยื่อสัตว์

2.2.5 วิตามิน ที่สำคัญคือ บีรวม โดยเฉพาะ ไทอามิน ไนอาซิน และไรโบฟลาวิน

2.2.6 แร่ธาตุในเนื้อที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โพแทสเซียม โซเดียม และแร่ธาตุอื่นๆอีก ในปริมาณเล็กน้อย

องค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่างๆคือสายพันธ์ อายุ ปริมาณและชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ ชนิดและตำแหน่งของกล้ามเนื้อ ระยะเวลาภายหลังจาการฆ่าสัตว์ วิธีการเก็บรักษาเนื้อสัตว์วิธีการปรุงอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ลูกชิ้นหมู (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2547)

ลูกชิ้นหมู หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อหมู เครื่องเทศ หรือสมุนไพร เช่น กระเทียม รากผักชี พริกไทยดำ เครื่องปรุงรส เช่น เกลือและวัตถุเจือปนอาหารอื่น โดยการนำมาบดจนละเอียด ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ลวกให้สุก ผึ่งลมจนเย็น

เนื้อหมูหมายถึง กล้ามเนื้อโครงร่างของสุกร ซึ่งผ่านการตรวจก่อนและหลังฆ่าว่าสะอาด ปราศจากกลิ่น (flavoring agent) สิ่งแปลกปลอมและเหมาะสำหรับเป็นอาหารบริโภคได้

2.3.1 คุณลักษณะที่ต้องการ

1) ลักษณะทั่วไป ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน และมีขนาดใกล้เคียงกัน

2) สี ต้องมีสีสม่ำเสมอตามลักษณะเนื้อหมูที่ใช้ทำ

3) กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน รสดี ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์

4) ลักษณะเนื้อสัมผัส ต้องละเอียด เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ยุ่ย มีฟองอากาศได้บ้าง

5) สิ่งแปลกปลอม ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

6) โปรตีน ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก

7) ไขมัน ต้องไม่เกินร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก

8) แป้ง ต้องไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

9) วัตถุเจือปนอาหาร ห้ามใช้บอแรกซ์, ห้ามใช้กรดเบนโซอิกหรือเกลือของกรดเบนโซอิก, ห้ามใช้สีทุกชนิด, หากมีการใช้ฟอสเฟตในรูปของมอโน-, ได- และพอลิของเกลือโซเดียมหรือโพแทสเซียมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันต้องไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หากมีการใช้มอโนโซเดียมแอล-กลูตาเมต ต้องไม่เกินร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก

10) จุลินทรีย์ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซาลโมเนลลา (Salmonella spp.) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (Clostridium perfringens) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม เอสเชอริเชีย โคไล (Escherichia coli) โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

11) สุขลักษณะ สุขลักษณะในการทำลูกชิ้นหมู ให้เป็นไปตามคำแนะนำตาม GMP

12) การบรรจุ ให้บรรจุลูกชิ้นหมูในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้แลน้ำหนักสุทธิของลูกชิ้นหมูในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการย่าง

กระบวนการย่าง คือการแปรรูปอาหารโดยอาศัยกระบวนการถ่ายเทความร้อนเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุกโดยการวางผลิตภัณฑ์เหนือแหล่งการให้ความร้อน ซึ่งอาจเป็นเตาถ่าน เตาไฟฟ้า หรือเตาอินฟราเรด แหล่งพลังงานการให้ความร้อนของการแปรรูปอาหารโดยการย่างสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

2.4.1 การย่างโดยใช้ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) ใช้อัตราส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทน ประมาณ 70 : 30 ซึ่งจะให้ค่าความร้อนที่สูงทำให้ผู้ใช้ประหยัดเวลาและค่าเชื้อเพลิง ข้อเสียของการย่างโดยใช้ก๊าซคือมักจะมีกลิ่นก๊าซติดมากับอาหารที่ใช้ย่าง ซึ่งอาจจะแก้ไขได้ด้วยการใช้กระดาษฟอล์ยห่ออาหารก่อนนำมาย่างบนเตาก๊าซ

2.4.2 การย่างโดยใช้อินฟราเรด เป็นลักษณะการทำงานโดยการส่งผ่านความร้อนแบบการแผ่รังสี จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อภายใน จึงทำให้ประหยัดเวลาในการย่างได้ 1 - 10 เท่า อินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งจากวัตถุที่ร้อน เมื่อมีวัตถุดูดคลื่นนี้เข้าไป อินฟราเรดจะถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุนั้น ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นกับ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุที่ให้และรับอินฟราเรด สมบัติของพื้นผิวของวัตถุทั้งสอง รูปร่างของวัตถุทั้งสอง

คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด ได้แก่ ให้ความร้อนสม่ำเสมอเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนสูง อย่างไรก็ตามเครื่องแผ่รังสีความร้อนไม่ใช่วัตถุแผ่รังสี แบบสมบูรณ์ และอาหารก็ไม่ใช่วัตถุดูดซับรังสีสัมบูรณ์ แม้วัตถุเหล่านี้จะแผ่หรือดูดซับรังสีจากค่าสงสุดตามทฤษฎีในอัตราส่วนที่คงที่ จากแนวคิดนี้จึงมีการใช้คำว่า วัตถุเทา (วิไล , 2546) และมีค่าความสามารถในการแผ่รังสีโดยประมาณในกระบวนการแปรรูปอาหาร

2.4.3 การย่างโดยใช้ถ่าน ถ่านไม้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจาก ปีกไม้ หรือ เศษไม้ นำมาให้ความร้อน จากนั้นกลายสภาพเป็นถ่านในที่สุด ในขณะเผาไหม้ส่วนประกอบของแร่ธาตุและสารต่าง ๆ จะระเหย ออกมาในรูปของไอร้อนและกลิ่น ที่สำคัญที่สุดคือควัน การเผาไหม้ของถ่านไม้เกิดสารทาร์ (Tar) ซึ่งในวงการแพทย์ยอมรับว่าสารทาร์เป็นการสารกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระส่งผลต่อการก่อมะเร็ง ถ่านที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงอาหาร หรือใช้ปิ้งย่างจึงควรใช้ถ่านที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่านสมบูรณ์ที่สุด โดยปริมาณถ่าน (Fixed carbon) ไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และมีสารระเหย ปะปนออกมาในขณะติดไฟน้อยที่สุด การย่างโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ได้รับการยอมรับว่าทำให้ ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและมีรสชาติที่ดี (Fu et al., 2010)

2.4.4 ไมโครเวฟ (Microware Heating) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 300 - 30,000 เมกกะเฮิรตซ์ และมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร - 1 เมตร สำหรับความถี่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาใช้กับอาหารคือ 2,540 เมกกะเฮิรตซ์ (พิมพ์เพ็ญ, 2549) ความร้อนที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟนั้นเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเองภายในชิ้นวัสดุ เป็นที่แพร่หลายจนกลายเป็นของใช้ในครัวเรือนที่ใช้หุงต้มอาหารได้โดยเน้นประโยชน์ของพลังงานนี้ในรูปของการประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและสามารถปรับใช้ในการแปรรูปอาหารหลายแบบได้อย่างเหมาะสม (สายสนม, 2543) การให้ความร้อนกับอาหารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ อาศัยสมบัติของวัสดุในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเปลี่ยนคลื่นเป็นความร้อนดังสมบัติทางไดอิเล็กทริกของอาหารจึงมีความสำคัญในการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ

การย่างที่ถูกต้องนั้น จะต้องมีการกระจายความร้อนให้ทั่วผิวอาหารเพื่อไม่ให้อาหารไหม้ จึงมีการพลิกกลับหน้าของอาหาร ซึ่งอุณหภูมิตรงกลางของเนื้อกำหนดที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส (Braeckman et al., 2009) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนของกล้ามเนื้อที่ประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายใน (Sandro et al., 2011) และโปรตีนจะแปรสภาพ (Denatured) และจับตัวแข็งเป็นก้อน (ณภัทร, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อิทธิพลของกระบวนการย่างต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (มนัส, 2554)

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการย่างเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษาอิทธิพลของการย่าง หากวัตถุดิบมีคุณภาพดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะมีคุณภาพดี แต่หากวัตถุดิบด้อยคุณภาพ อาจส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ดี คุณภาพของวัตถุดิบจึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการย่าง อิทธิพลที่มีผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบมีดังนี้

2.5.1 สี (Color) สีเป็นลักษณะปรากฏทางแสงที่ตารับรู้ได้ทันทีก่อนการบริโภคหรือก่อนตัดสินใจเลือกอาหาร สีที่ดีตามธรรมชาติของการย่างอาจไหม้เกรียมได้บ้างเล็กน้อย

การวัดค่าของสีจะระบุค่าสีของวัตถุเป็น 3 ค่า เพื่อความชัดเจนและสมบูรณ์ที่สุด ค่าของสีทั้ง 3 ค่าดังกล่าวจะมีหน่วยต่างกันตามระบบการวัดที่แตกต่างกัน

ระบบการวัดสีที่นิยมแบ่งได้ 3 ระบบคือ

1) ระบบมันเซลล์ (Munsell system)

2) ระบบ CIE (CIE chromaticity system)

3) ระบบ ฮันเตอร์ แล็บ (Hunter Lab system)

วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมาก็จะมีความยาวคลื่นต่างกันโดยที่สีน้ำเงิน มีความยาวคลื่นที่ 430 - 460 นาโนเมตร สีเขียว มีความยาวคลื่นที่ 500-580 นาโนเมตร สีแดง มีความยาวคลื่นที่ 620-780 นาโนเมตร

ระบบ CIE L* a* b* เป็นระบบที่ Commission International de l Eclairage (CIE) ได้พัฒนาระบบของการวัดสีในรูปของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสี การวัดสีระบบนี้มีข้อดี คือ เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล เป็นระบบที่วัดสีออกมาเป็นตัวเลข เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณ และทำนายสูตรสีผสมได้ด้วย โดยกำหนดให้ L* หมายถึง ค่าความสว่าง เป็นค่าแสดงสัดส่วนระหว่างค่าการสะท้อนแสงและการดูดกลืนแสงมีค่า 0–100 โดย 0 หมายถึง สีมืดที่สุด 100 หมายถึง สว่างที่สุด a* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว +a หมายถึง แสดงความเป็นสีแดง -a หมายถึง แสดงความเป็นสีเขียว b* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน +b หมายถึง แสดงความเป็นสีเหลือง -b หมายถึง แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

2.5.2 เนื้อสัมผัส เนื้อสัมผัส มีความสำคัญต่อการยอมรับคุณภาพอาหารของผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่ได้รับความรู้สึกทางปากจากการกิน การรับความรู้สึกในเนื้อสัมผัสอาหารนี้เป็นการรับรู้ความรู้สึกทางกายภาพ เมื่อแปรรูปเนื้อสัตว์โดยการย่างจะส่งผลให้คอลลาเจนเกิดการหดตัวหรือเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของกล้ามเนื้อ โดยอุณหภูมิในการหดตัวหรืออุณหภูมิในการสูญเสียสภาพธรรมชาติของคอลลาเจนจะมีความแตกต่างกัน เมื่อคอลลาเจนได้รับอุณหภูมิสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในการสูญเสียธรรมชาติ คอลลาเจนจะโดนทำลายและกลายเป็นเจลาตินเมื่อเจลาตินเย็นตัวลงจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำและให้ความยืดหยุ่น

วิธีการทดสอบเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น

1) การทดสอบเนื้อสัมผัสแบบกด (Compression test) เป็นวิธีที่ใช้การที่ใช้วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารด้วยแรงกด (Compression force) การอัดหรือการบีบ ทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) มีความสูงหรือความยาวหดสั้น ตามทิศทางของแรงกระทำ โดยใช้หัววัดทรงกระบอกหรือหัววัดที่มีลักษณะเป็นจานแบนกดลงบนตัวอย่างผลิตภัณฑ์ หัววัดที่ใช้ในการทดสอบควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ วางชิ้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางของหัววัด จะใช้หลักการเพิ่มแรง (Force, N) หรือ ความเค้นกดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ

2) การทดสอบแบบกดทะลุ (Penetration test) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ทดสอบเนื้อสัมผัส โดยการใช้หัววัดขนาดเล็กกว่าชิ้นตัวอย่างกดลงไปบนเนื้อตัวอย่างจนทะลุหรือแตก ใช้สำหรับวัดค่าความแข็ง (Hardness) และความแน่นเนื้อ (Firmness)

3) การทดสอบแบบการตัด (Cutting test หรือ Shearing test) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้หัววัดแบบใบมีดเดี่ยวหรือใบมีดชุดตัดผ่านตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่กำหนด

4) การทดสอบแบบพิเศษ (Texture Profile Analysis, TPA) เป็นการทดสอบโดยการใช้หัวทดสอบแบบแผ่นแบนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เป็นการให้แรงลงบนตัวอย่างขนาดมาตรฐาน 2 ครั้ง ซึ่งเป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร การทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis ประยุกต์ใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารได้หลายชนิด อาหารอยู่ในสภาวะที่พร้อมรับประทาน ได้แก่ เนื้อสัตว์ (Meat) และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เช่น แฮม ไส้กรอก เนยแข็ง ผัก ผลไม้ เต้าหู้ และเยลลี่ เพราะคุณภาพที่ได้สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมนุษย์

2.5.3 ความชื้น (Moisture loss) เป็นค่าที่บอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื้อสัตว์ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibrills) มีหน้าที่หลักในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ และทำหน้าที่อุ้มน้ำส่วนใหญ่ไว้ เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนอาจส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ลดลง เนื่องจากการสูญเสียความชื้นโดยการไหลหยดและการระเหยของน้ำ ในการย่างเนื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ นั้น การสูญเสียปริมาณความชื้นจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการย่าง

ความชื้นมีผลต่อคุณภาพอาหาร เนื่องจาก

1) ความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (Food spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (Microbial spoilage) ซึ่งกระทบต่ออายุการเก็บ (shelf life) อาหารที่มีค่าความชื้นสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (Perishable food) เนื่องจากเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

2) ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (Food safety) อาหารที่มีความชื้นสูงเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) และการสร้างสารพิษ (toxin) ที่ก่อให้เกิดโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา (Mycotoxin) เช่น Aflatoxin, Patulin ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

3) ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหาร เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)

4) ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (Texture) เช่น ความกรอบ ความหนืด (Viscosity)

5) ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation)

6) ความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าว เมล็ดธัญพืช

การแสดงค่าความชื้นของอาหาร ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ 2 รูปแบบ คือ ความชื้นฐานเปียก (Wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า ค่าที่ใช้บอกความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์และความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (Dehydration) เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวก อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง

2.5.4 ไขมัน (Fat) ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ คือ ไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เป็นเส้นเล็กๆ กระจายตัวอยู่ภายในกล้ามเนื้อ ไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อนี้ทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น ช่วยหล่อลื่นในขณะที่เคี้ยวและกลืนเนื้อ การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในอาหาร การถ่ายเทความร้อนในเนื้อที่มีปริมาณไขมันสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ได้ขึ้นกับค่าแผ่รังสีความร้อนเพียงอย่างเดียวแต่ยังมีการเคลื่อนที่ของไขมัน และความชื้นทำให้เกิดการนำความร้อนภายใน โดยปริมาณไขมันในเนื้อยิ่งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในการทำให้เนื้อสุก (Sheridan et al., 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 อิทธิพลของการย่างแบบอินฟราเรดต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร

ยุทธนา (2556) ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและความเข้มของรังสีอินฟราเรดต่อการลดลงของความชื้นเนื้อไก่ โดยใช้แหล่งพลังงาน 2 แบบ คือ การอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ใช้ความเร็วเฉลี่ยของลมร้อนที่ 1.0±0.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส 80 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด คือ 80 องศาเซลเซียส กำลังของรังสีอินฟราเรดคือ 500 วัตต์, 1,000 วัตต์ และ 1,500 วัตต์ พบว่าค่าความชื้นเริ่มต้นของเนื้อไก่อยู่ในช่วง 274±5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง หลังผ่านการอบแห้งความชื้นสุดท้ายของเนื้อไก่ลดลงอยู่ในช่วง 40 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

เสกสรรค์ และคณะ (2551) ศึกษาการไล่ความชื้นในยอดใบชาโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นตัวให้ความร้อนเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนด้วยขดลวดโดยออกแบบชุดการทดลองให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเตาอบของโรงงานแต่เปลี่ยนแหล่งความร้อนเป็นหลอดอินฟราเรดจำนวน 2 หลอด หลอดละ 1,500 วัตต์ อุณหภูมิภายในตู้อบอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที วิเคราะห์เปรียบเทียบการลดลงของความชื้น พบว่า ค่าความชื้นที่ลดลงกรณีของขดลวดจะอยู่ที่ประมาณ 1.77 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง ส่วนของรังสีอินฟราเรดจะอยู่ที่ประมาณ 2.01 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง ซึ่งผลสุดท้ายแล้วความชื้นของใบชาที่อบโดยการใช้รังสีอินฟราเรดเป็นที่ยอมรับได้จากโรงงานเมื่อเปรียบเทียบกับเตาอบของโรงงาน

2.6.2 อิทธิพลของการย่างแบบอินฟราเรดต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร

Braeckman et al. (2009) ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร โดยการย่างชิ้นเนื้อแฮมเบอร์เกอร์ด้วยรังสีอินฟราเรดเป็นเวลา 30 - 150 วินาทีและอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิช่วง 100-175 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของชิ้นเนื้อเท่ากับ 72 องศาเซลเซียส นำชิ้นเนื้อมาวัดค่าความแข็งโดยวิธี TA500 Texture Analyzer โดยใช้แรงกด 500 นิวตัน พบว่าหลังจากการย่างเนื้อแฮมเบอร์เกอร์มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 19.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าความแข็งก่อนการย่าง

Sandro et al. (2010) ได้ทำการอบชิ้นเนื้อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ด้วยเตาไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 10, 20, 30 นาที นำชิ้นเนื้อมาวัดค่าความแข็งโดยวิธี Texture profile Analyzer โดยใช้หัวสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร ทดสอบชิ้นเนื้อกำหนดความเร็วในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจาะ 10 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะกด 10 มิลลิเมตร และแรงกด 0.2 นิวตัน พบว่าชิ้นเนื้อมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น

2.6.3 อิทธิพลของการย่างแบบอินฟราเรดต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหาร

Hsu et al., (2014) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นเนื้อปลาโดยการให้ความร้อนแบบอินฟราเรด ให้ระดับความร้อนแตกต่างกันที่ 8, 10, 13, 17 และ 20 องศาเซลเซียส และทำการวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* b* พบว่าขณะที่ชิ้นเนื้อปลาเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นในช่วง 2 นาทีแรกที่ทำการทดลอง หลักจากนั้นความสว่างลดลง ลักษณะสีผิวเนื้อปลาเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งปรากฏจุดสีดำบนผิวของชิ้นเนื้อปลา

Braeckman et al. (2009) ศึกษาสีของชิ้นเนื้อแฮมเบอร์เกอร์จากการย่างโดยใช้อินฟราเรดช่วงเวลา 30-150 วินาที จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72 องศาเซลเซียส และทำการวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* b* พบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไปค่าความสว่างมีค่าลดลงจาก 50.3 เป็น 34.1

Matsuda et al. (2012) ได้ทำการทดลองย่างปลากะพงแดงด้วยเตาย่างอินฟราเรดช่วงคลื่นยาว ทำการวัดอุณหภูมิและวัดสีเป็นระยะๆ และประเมินการสูญเสียสภาพของโปรตีนโดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคัลเลอริมิเตอร์ พบว่าเมื่อเวลาเปลี่ยนไป สีของเนื้อปลาปลากะพงแดงเข้มขึ้น เนื้อปลาปลากะพงแดงมีการเสียสภาพโปรตีนเพิ่มขึ้นและมีลักษณะแข็งขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนสีของเนื้อปลาจึงมีความสัมพันธ์กับการเสียสภาพโปรตีน นอกจากนั้นการให้ความร้อนมากเกินไปจะทำลายสีและคุณลักษณะอื่นๆของเนื้อปลาอีกด้วย

2.6.4 อิทธิพลของการย่างแบบอินฟราเรดต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ยุทธนา (2556) ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและความเข้มของรังสีอินฟราเรดต่อการลดลงของความชื้นเนื้อไก่ โดยใช้แหล่งพลังงาน 2 แบบ คือ การอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อน และการอบแห้งเนื้อไก่แบบอินฟราเรด ที่กำลัง 500 วัตต์, 1,000วัตต์ และ 1,500 วัตต์ ที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันคือ 80 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยรังสีอินฟราเรด จะมีค่าต่ำกว่าการอบด้วยลมร้อน โดยเฉพาะที่กำลังของรังสีอินฟราเรดสูงๆ เนื่องจากเมื่อกำลังของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ส่งผลต่ออัตราการถ่ายมวลน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งลดน้อยลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

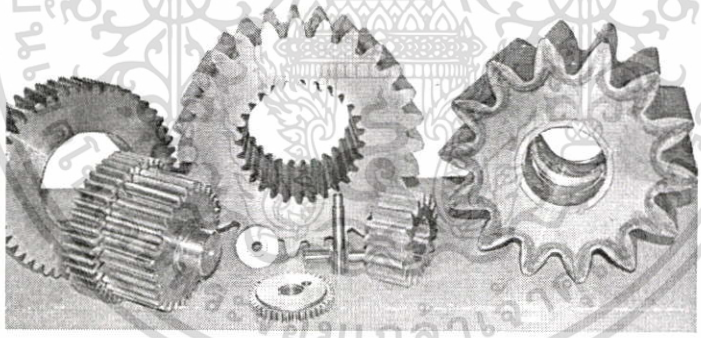
2.7 หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องกล

เป็นการอธิบายถึงหลักการทำงาน รูปทรง การประกอบ การติดตั้ง ของชิ้นส่วนเครื่องกลเพื่อใช้การออกแบบและนำชิ้นส่วนเครื่องกลไปใช้สร้างเครื่องจักรได้อย่าถูกวิธีและเหมาะสม

2.7.1 เฟือง (Gear) (พิพัฒน์, 2554)

เฟือง เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว คาดว่าตั้งแต่ยุคที่มนุษย์เริ่มมีอารย-ธรรมและคิดประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมา เฟืองก็เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ถูกมนุษย์ทำขึ้นมาโดยเริ่มต้นที่เฟืองไม้ในยุคโบราณ แต่สำหรับเฟืองสมัยใหม่นั้นเพิ่งมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงลักษณะดังที่เราเห็นเมื่อไม่กี่ร้อยกว่าปีที่ผ่านมา เฟืองทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการ ใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

เฟืองตรง (Spur Gears) เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่าง ๆ จะมีลักษณะเฉพาะคือฟันของเฟืองจะเป็นแนวขนานไปกับรูเพลา โดยเฟืองตรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเฟืองขนานกับเพลา (Parallel-shaft Gear)



รูปที่ 2.8 เฟืองตรง (ไทยแลนด์อินดัสตรี้, 2554)

เฟืองตรงเป็นเฟืองที่มีโครงสร้างง่ายและไม่สลับซับซ้อน โดยถ้าเฟืองตรงสองตัวขบกันเราเรียกว่าเฟืองพีเนียน (Pinion Gears) โดยทั่วไปแล้วเฟืองตรงที่ใช้ส่งกำลังแต่ละคู่นั้นจะมีขนาดของฟันเฟืองหรือโมดูล (Module) เท่า ๆ กัน หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากันแต่การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากจำนวน ฟันที่ต่างกัน (อัตราทด) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเฉพาะของเฟืองตรง คือมีความง่ายในการผลิตเนื่องจากรูปแบบของฟันเฟืองไม่สลับซับซ้อน ส่งผลให้ราคาต่ำกว่าเฟืองชนิดอื่น มีความง่ายต่อการผลิตให้มีคุณภาพสูง และเป็นเฟืองแบบธรรมดาจึงหาซื้อง่าย

2.7.2 ตลับลูกปืน (พิพัฒน์, 2554)

ตลับลูกปืน (Bearing) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับการหมุนของเพลา ลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะของเครื่องจักรกลต่างๆ ลดการสึกหรอ แต่ตลับลูกปืนมักจะเสื่อมสภาพเร็วเนื่องจากตลับลูกปืนถือว่าเป็นจุดวิกฤตของ เครื่องมือกล

ตลับลูกปืนทำหน้าที่ลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้สามารถลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในกระขับเคลื่อนเครื่องจักร

ส่วนประกอบหลักของตลับลูกปืนประกอบไปด้วย

1) เม็ดลูกกลิ้ง (Balls)

2) แหวนใน (Inner ring)

3) แหวนนอก (Outer ring)

4) รัง (Retainer)

รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบตลับลูกปืน (พิพัฒน์, 2554)

มีวิธีการแบ่งประเภทของตลับลูกปืนโดยอาศัยปัจจัยในด้านโครงสร้างออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) ตลับลูกปืนประเภทที่ไม่มีเม็ดลูกกลิ้ง (Plain bearing) และ ตลับลูกปืนประเภทที่มีเม็ดลูกกลิ้ง (Rolling bearing) สำหรับเครื่องจักรที่ได้การผลิตในปัจจุบันเกือบทั้งหมดจะตลับลูกปืนที่มีเม็ดลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตลับลูกปืนที่มีเม็ดกลมและตลับลูกปืนที่มีเม็ดยาว ด้วยการออกแบบของเม็ดลูกกลิ้งที่แตกต่างกันทำให้ ตลับลูกปืนที่มีมิติขนาดเท่ากันกับเม็ดยาวจะสามารถรับแรงได้มากกว่าเม็ดกลม แต่ในทางตรงกันข้ามสามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบต่ำกว่าเม็ดกลม เนื่องจากความเสียดทานที่สูงกว่าของผิวสัมผัสนั้นเอง

3) ความสามารถในการรับแรง ซึ่ง Bearing อาจแบ่งประเภทตามการรับแรงได้เป็น 3 ประเภท คือตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมี, ตลับลูกปืนรับแรงรุนในแนวแกน, ตลับลูกปืนรับแรงแนวรัศมีและแรงรุนได้ขณะเดียวกัน

2.7.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (สภาวิศวกร, 2553)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ หมายถึง มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบ ๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่จองสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ มอเตอร์อะซิงโครนัสและมอเตอร์ซิงโครนัส ซึ่งที่กล่าวในบทนี้จะเป็นมอเตอร์อะซิงโครนัส ที่เรียกว่ามอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ จะมีขนาดตั้งแต่เล็ก ๆ ไปจนถึงขนาดหลายร้อยแรงม้า มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ชนิด 1 เฟส และชนิดที่เป็นมอเตอร์ 3 เฟส มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำนั้นส่วนมากแล้วจะหมุนด้วยความเร็วคงที่แต่ก็มีบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ เช่น มอเตอร์สลิปริงหรือมอเตอร์ชนิดขดลวดพัน ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ใน
การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ โรเตอร์ไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าโดยตรงแต่จะได้จากการเหนี่ยวนำ ดังนั้นจึงเรียกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) มอเตอร์ชนิดกรงกระรอก ซึ่งมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ 1 เฟสและชนิดที่เป็น 3 เฟส

2) มอเตอร์ชนิดขดลวดพันหรือชนิดวาวนด์หรือมอเตอร์สลิปริง ซึ่งจะเป็นมอเตอร์ชนิด 3 เฟส โดยทั่วไป มอเตอร์ทุกประเภทจะมีส่วนประกอบหลัก หรือส่วนประกอบเบื้องต้นคล้ายกันคือสเตเตอร์ หรือตัวที่อยู่กับที่และโรเตอร์หรือตัวหมุน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของรายละเอียดของส่วนประกอบปลีกย่อยอื่นๆ

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1) สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ (Stator) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ซึ่งจะประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด

2) โรเตอร์หรือตัวหมุน (Rotor) มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์ 2 ชนิด คือ โรเตอร์แบบกรงกระรอกและโรเตอร์แบบขดลวดพันหรือแบบวาวนด์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้คือ แกนเหล็ก โรเตอร์ขดลวด ใบพัด
และเพลา ดังจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

ข้อดีของมอเตอร์กระแสสลับ

1) ราคาถูกกว่ามอเตอร์กระแสตรงที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน

2) มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และเล็กกว่ามอเตอร์กระแสตรงที่พิกัดเท่ากัน

3) การบำรุงรักษาน้อยมาก แข็งแรงทนทาน

4) ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟ หรือสารเคมีได้

5) มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง

6) หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยม

ข้อเสียของมอเตอร์กระแสสลับ

การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก จะต้องใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ มาควบคุมคือ inverter

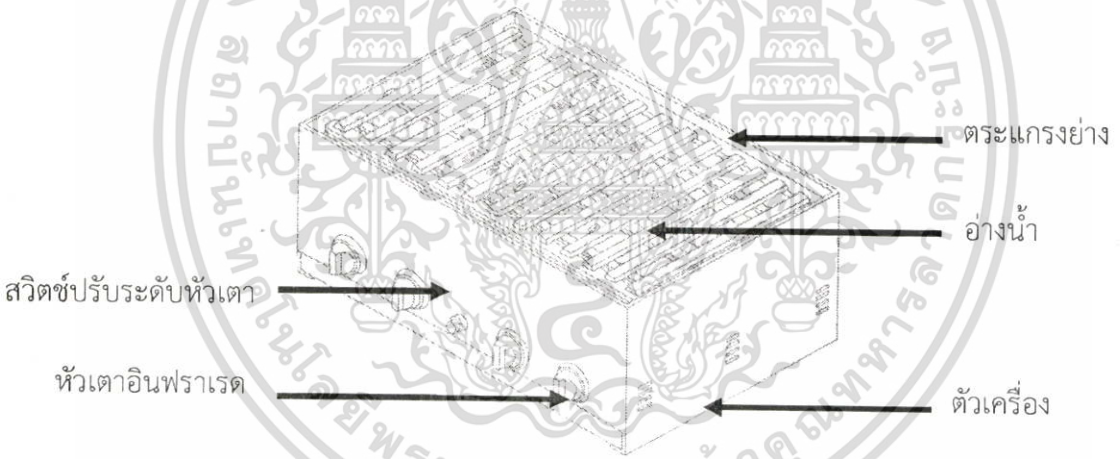
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนโดยอินฟราเรด

เครื่องย่างมีลักษณะของแหล่งพลังงานการให้ร้อนที่อาศัยการส่งผ่านความร้อนแบบการแผ่รังสี เมื่อรังสีแผ่มาถึงอาหารซึ่งประกอบด้วยน้ำและสารประกอบอื่นๆ จะเกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของน้ำในอาหารเมื่อในการสั่นของโมเลกุลของน้ำความถี่ที่ตรงกับความถี่ของรังสีอินฟราเรดก็จะเกิดการดูดกลืนรังสีความร้อนขึ้น คุณลักษณะเด่นของความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้แก่ถ่ายความร้อนสู่อาหารอย่างมีประสิทธิภาพจึงสามารถช่วยลดเวลาของกระบวนการและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน อากาศภายในอุปกรณ์ไม่ได้ถูกทำให้ร้อนตาม และสามารถควบคุมความร้อนได้โดยตรงตามที่ต้องการ เป็นต้น (วัชรินทร์, 2556)

1) เครื่องย่างบาบีคิวไร้ควัน (Home, 2009) เป็นเครื่องย่างที่มีแหล่งพลังงานการให้ความร้อนในการย่างโดยอินฟราเรดถูกออกแบบมาเพื่อลดควันที่เกิดขึ้นระหว่างการย่างโดยมีการติดตั้งอ่างน้ำภายในเครื่อง



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของเครื่องย่างบาบีคิวไร้ควัน

หลักการทำงานเครื่อง นำอาหารที่ต้องการย่างวางบนตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์อาหาร จากนั้นเปิดเครื่องย่างและปรับระดับหัวเตาอินฟราเรดที่บริเวณสวิตช์ปรับระดับ มีการติดตั้งแผ่นกั้นด้านบนด้านล่างของตัวเตาอินฟราเรดเพื่อป้องกันความร้อนกับผู้ใช้และอ่างน้ำ ระหว่างการย่างเมื่อมีหยดไขมันส่วนเกินจากการย่างจะหยดลงไปบนอ่างน้ำที่ถูกติดตั้งด้านล่างสุดของเครื่องซึ่งจะช่วยลดควันระหว่างการย่าง และนอกจากนั้นประโยชน์ของการติดตั้งอ่างน้ำยังช่วยเพิ่มความชุ่มฉ่ำให้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ย่างโดยไอน้ำที่ระเหยจากอ่างน้ำอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยศึกษาเรื่องเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ 1) การศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู 2) การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด และ3) การศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู

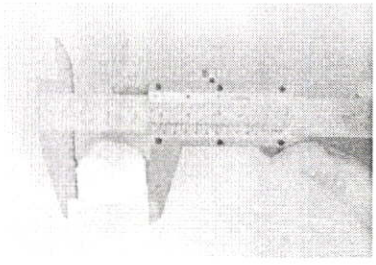
การศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมูแบ่งออกเป็น 7 ส่วน คือ 1) การเตรียมลูกชิ้นหมูสำหรับทดสอบคุณภาพเบื้องต้น 2) การวัดความยาว ความกว้าง และความหนาของลูกชิ้นหมู 3) การชั่งมวลของลูกชิ้นหมู 4) การหาปริมาตรและความหนาแน่นของลูกชิ้นหมู 5) การหาค่าความชื้นเริ่มต้นของลูกชิ้นหมู 6) การวัดค่าสีของลูกชิ้นหมู และ7) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู ผลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

3.1.1 การเตรียมลูกชิ้นหมูสำหรับทดสอบคุณภาพเบื้องต้น

ใช้ลูกชิ้นหมูซึ่งมีจำหน่ายตามซุปเปอร์มาเก็ตทั่วไป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนเริ่มทำการทดลองทุกครั้งนำมาวางไว้จนกระทั่งลูกชิ้นหมูมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3.1.2 การวัดความยาว ความกว้าง และความหนาของลูกชิ้นหมู

วัดความยาว (L) ความกว้าง (W) และความหนา (T) ของลูกชิ้นหมู โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีค่าความละเอียด 2 ตำแหน่ง (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 การวัดความยาว ความกว้าง และความหนาของลูกชิ้นหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Diameter, GMD) จากความยาว ความกว้าง และความหนา ที่ได้จากการวัดขนาดของลูกชิ้นหมู (สมการที่ 3.1)

$$GMD = (LWT)^{\frac{1}{3}} \tag{3.1}$$

3.1.3 การชั่งมวลของลูกชิ้นหมู

ชั่งมวลของลูกชิ้นหมูด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า (Sartorius A102S, Germany) ความละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.1.4 การหาปริมาตรและความหนาแน่นของลูกชิ้นหมู

การหาปริมาตรของลูกชิ้นหมูอาศัยหลักการแทนที่น้ำ (รูปที่ 3.2) แล้วคำนวณหาปริมาตร และความหนาแน่นจากสัดส่วนมวลต่อปริมาตรดังนี้ (สมการที่ 3.2)

$$V = \frac{m}{\rho} \tag{3.2}$$

เมื่อ V คือปริมาตรของลูกชิ้น (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

m คือมวลของน้ำ (กรัม)

ρ คือความหนาแน่นน้ำ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

รูปที่ 3.2 การหาปริมาตรของลูกชิ้นหมูอาศัยหลักการแทนที่น้ำ

3.1.5 การหาค่าความชื้นเริ่มต้นของลูกชิ้นหมู

การหาค่าความชื้นเริ่มต้นของลูกชิ้นหมู โดยการอบตัวอย่างลูกชิ้นหมูด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมง โดยใช้ขนาดลูกชิ้น 3x3x3 มิลลิเมตร มวล 2 กรัม ชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลเริ่มต้นของลูกชิ้นหมูและมวลหลังการอบแห้ง (AOAC, 2006) (รูปที่ 3.3) แล้วคำนวณหาค่าความชื้นเริ่มต้นจากสมการ (สมการที่ 3.3)

$$m_c = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \qquad (3.3)$$

เมื่อ m_c คือปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก)

m_i คือน้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ก่อนอบ (กรัม)

m_f คือน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ (กรัม)

รูปที่ 3.3 การอบแห้งตัวอย่างลูกชิ้นหมูด้วยตู้อบลมร้อน

3.1.6 การวัดค่าสีของลูกชิ้นหมู

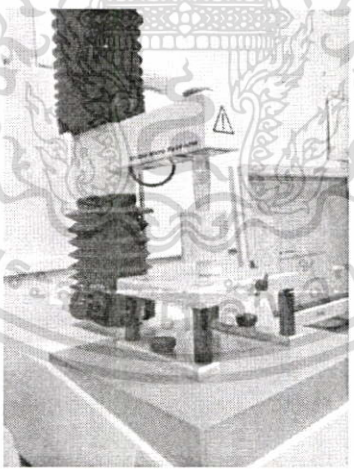
วัดค่าสีตัวอย่างลูกชิ้นหมูด้วยระบบ CIE L* a* b* อ่านค่าที่แสดงผลบนเครื่องโดย L* หมายถึงค่าความสว่าง เป็นค่าแสดงสัดส่วนระหว่างค่าการสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสงมีค่า 0 – 100 โดย 0 หมายถึงสีมืดที่สุด 100 หมายถึงสีสว่างที่สุด a* หมายถึงค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือ สีเขียว +a หมายถึงแสดงความเป็นสีแดง -a หมายถึงแสดงความเป็นสีเขียว b* หมายถึงค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือ สีน้ำเงิน +b หมายถึงแสดงความเป็นสีเหลือง -b หมายถึงแสดงความเป็นสีน้ำเงิน (Sandro et al, 2011) (รูปที่ 3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L* a* b*

3.1.7 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู (Texture Profile Analysis, TPA) ด้วยการวัดค่าแรงกดแตก (Compression force) ทดสอบโดยการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ใช้หัววัดทรงกระบอกอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กำหนดสภาวะในการทดลองวัดค่าความแข็งของชิ้นเนื้อให้มีค่าความเร็วเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที Strain เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาเท่ากับ 5 วินาที ดัดแปลงจาก Braeckman et al. (2009) (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 การทดสอบค่าความแข็งของลูกชิ้นหมูโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดอาศัยข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้นมาใช้ประกอบการออกแบบ (รูปที่ 3.6) โดยเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดมีส่วนประกอบดังนี้ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดกลไกจับด้ามไม้ 3) ต้นกำลังและส่งกำลัง 4) แหล่งกำเนิดความร้อนแบบอินฟราเรด และ5) ชุดควบคุมไฟฟ้า

3.2.1 การออกแบบเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1) โครงสร้าง

โครงสร้างใช้วัสดุคือเหล็กเพลาขนาด 0.625 นิ้ว ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสาของเครื่องย่างจำนวน 4 เสา ประกอบเข้ากับแผ่นเหล็กวงกลมหนา 8 มิลลิเมตร 2 แผ่น เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 40 เซนติเมตร (ด้านบนและด้านล่าง)

2) ชุดกลไกจับด้ามไม้

ชุดกลไกจับด้ามไม้จำนวน 8 ชุด (สำหรับจับด้ามไม้ 8 ด้ามต่อการย่าง 1 รอบ) แต่ละชุดประกอบด้วยตลับลูกปืนซึ่งอยู่ภายในเสื้อตลับลูกปืน ประกอบเข้ากับเฟือง เพลา และตัวจับด้ามไม้

3) ต้นกำลังและส่งกำลัง

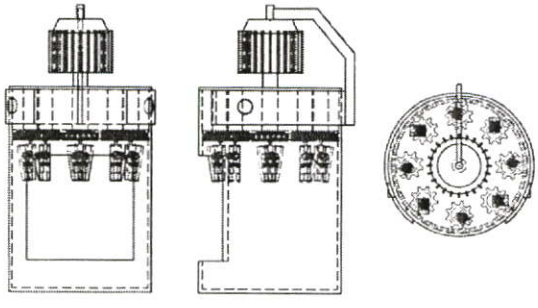
ต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนระบบ คือมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 0.2 กิโลวัตต์ติดตั้งบริเวณด้านบนสุดของเครื่องย่างและส่งกำลังต่อไปยังเพลาส่งกำลัง

4) แหล่งกำเนิดความร้อนแบบอินฟราเรด

ใช้แผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก ขนาดกำลังแผ่นละ 500 วัตต์ จำนวน 4 แผ่น ติดตั้งบริเวณการย่าง

5) ชุดควบคุมไฟฟ้า

ชุดควบคุมไฟฟ้าภายในประกอบด้วยเบรกเกอร์ (Breaker) และ แผงต่อสายไฟ (Terminal Block)



รูปที่ 3.6 แบบเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

ในการสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดมีส่วนประกอบดังนี้ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดกลไกจับด้ามไม้ 3) ต้นกำลังและส่งกำลัง 4) แหล่งกำเนิดความร้อนแบบอินฟราเรด และ 5) ชุดควบคุมไฟฟ้า โดยแต่ละส่วนมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1) โครงเครื่อง

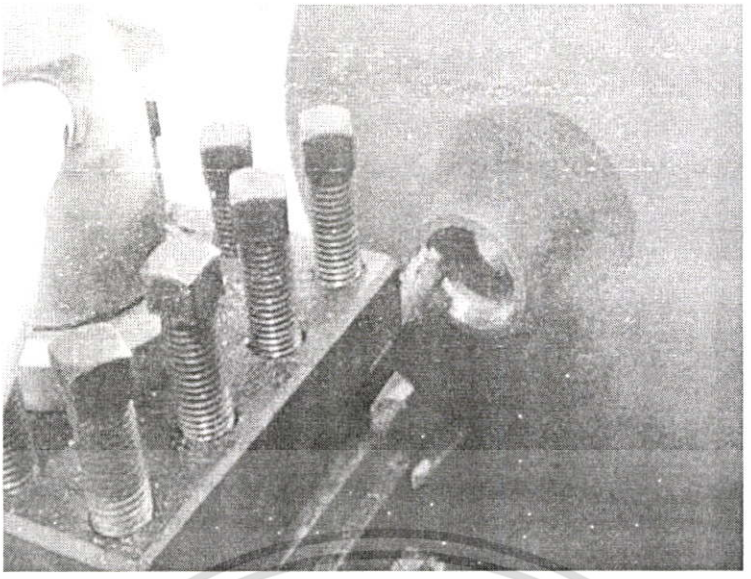
วัดและตัดเหล็กเพลาขนาด 0.625 นิ้ว ยาว 40 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อน เพื่อเป็นเสาของเครื่องย่าง ประกอบชิ้นส่วนเพลากับแผ่นเหล็กวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร หนา 8 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.7)

รูปที่ 3.7 โครงสร้างเครื่องย่าง

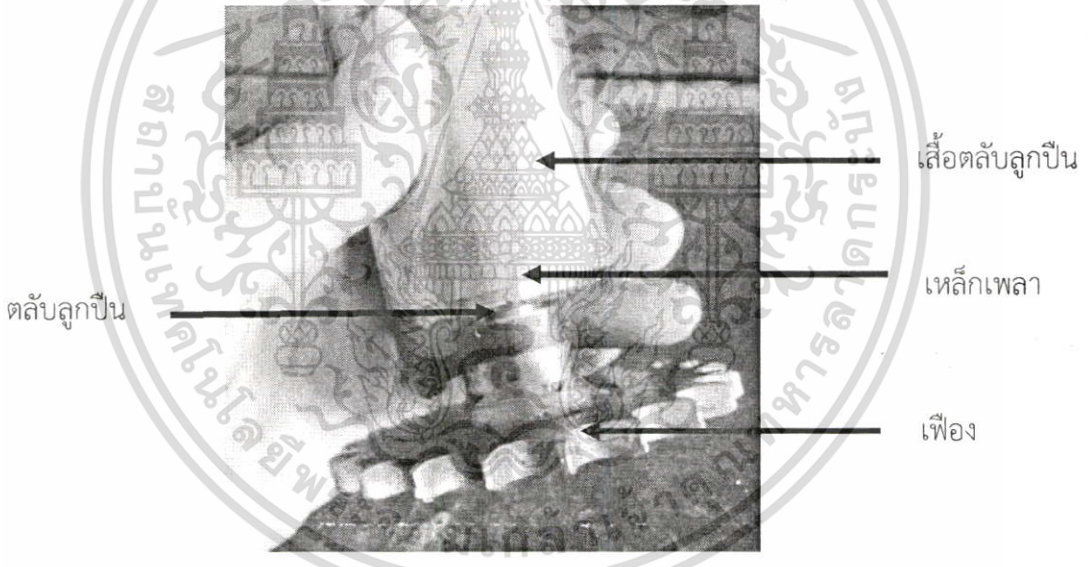
2) ชุดกลไกจับด้ามไม้

ตัดและกลึงเหล็กเพลาขนาด 1.5 นิ้ว ให้เป็นรูปทรงตามที่ออกแบบไว้ (รูปที่ 3.8) สำหรับเป็นเสื้อตลับลูกปืน แล้วประกอบลูกปืนที่เตรียมไว้เข้ากับเสื้อตลับลูกปืนและเฟือง สวมเหล็กเพลา และติดตั้งตัวจับด้ามไม้ 8 ชุด (รูปที่ 3.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



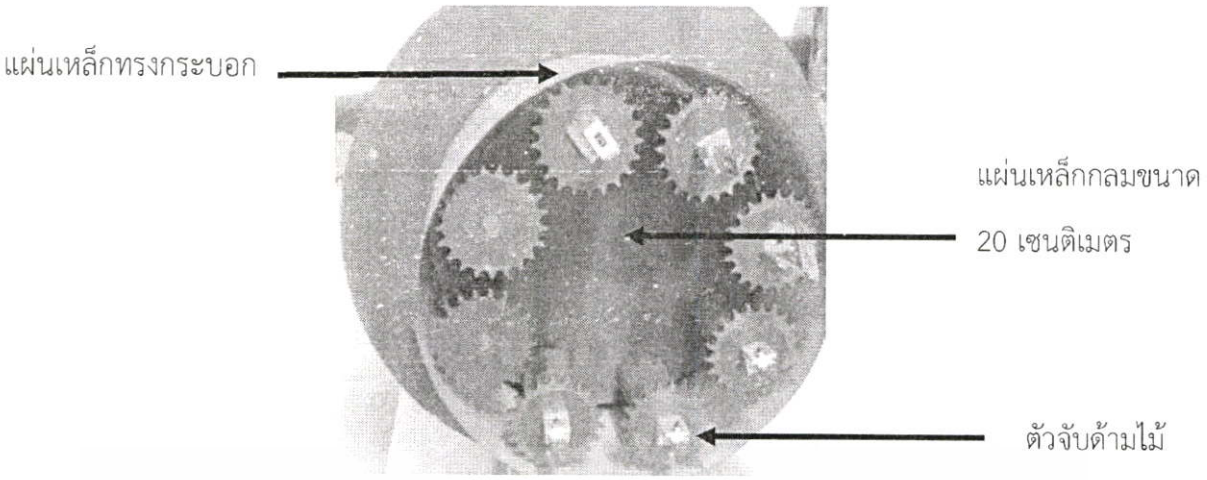
รูปที่ 3.8 การกลึงเหล็กเพลาเพื่อทำเสื้อตลับลูกปืน



รูปที่ 3.9 ชุดขับเคลื่อนการหมุนรอบตัวเองของผลิตภัณฑ์

ตัดแผ่นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร หนา 8 มิลลิเมตร ด้านหนึ่งเชื่อมติดกับชุดเฟืองจำนวน 8 ชุด ในลักษณะสมมาตรบริเวณขอบของแผ่นเหล็กกลม ติดตัวจับด้ามไม้บริเวณแผ่นเฟือง และติดตั้งแผ่นเหล็กทรงกระบอกให้สัมผัสกับชุดเฟืองเพื่อให้ชุดเฟืองสามารถเคลื่อนที่รอบแหล่งความร้อนและสามารถหมุนรอบตัวเองได้ (รูปที่ 3.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

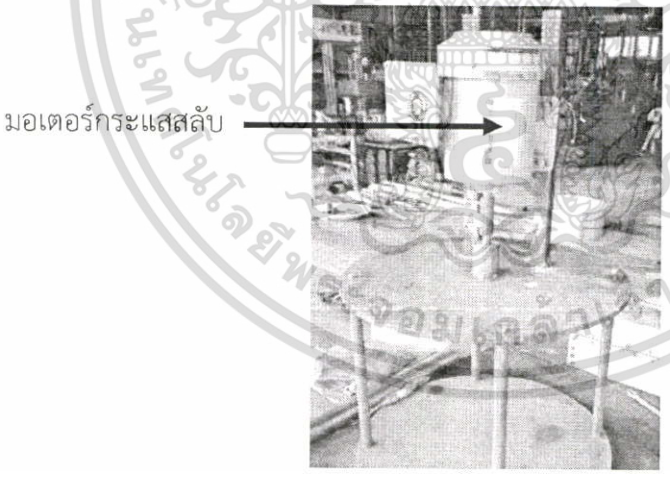


รูปที่ 3.10 ตำแหน่งการติดตั้งชุดเฟืองและการติดตัวจับผลิตภัณฑ์

3) ต้นกำลังและส่งกำลัง

3.1) ต้นกำลัง

นำมอเตอร์กระแสสลับ (สำหรับใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน) ติดตั้งกับเหล็กกล่องเพื่อเป็นฐานยึดมอเตอร์กระแสสลับกับโครงเครื่อง (รูปที่ 3.11)

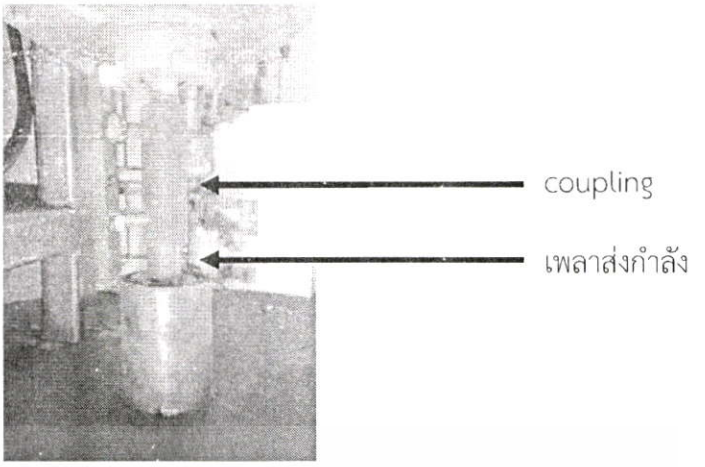


รูปที่ 3.11 ระบบต้นกำลัง

3.2) ส่งกำลัง

ตัดเหล็กเพลาขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 8 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นเพลาส่งกำลังจากมอเตอร์กระแสสลับ กลึงเหล็กเพลาขนาด 0.625 นิ้ว เพื่อใช้เป็น coupling (ชิ้นส่วนซึ่งทำหน้าที่ยึดเพลามอเตอร์เข้ากับเพลาส่งกำลัง) (รูปที่ 3.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การติดตั้งเพลามอเตอร์เข้ากับเพลาส่งกำลัง

4) แหล่งกำเนิดความร้อนแบบอินฟราเรด

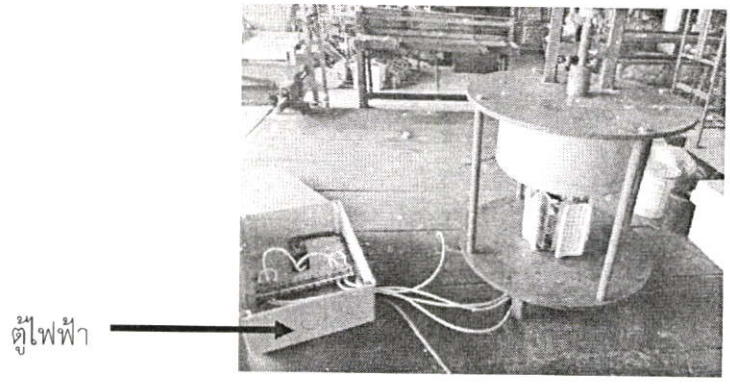
ติดตั้งแผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก จำนวน 4 แผ่น ขนาดกำลังแผ่นละ 500 วัตต์ บริเวณการย่าง โดนหันด้านที่แผ่รังสีของแผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิกทั้ง 4 แผ่นออกจากกัน (รูปที่ 3.13)

รูปที่ 3.13 การติดตั้งแผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก

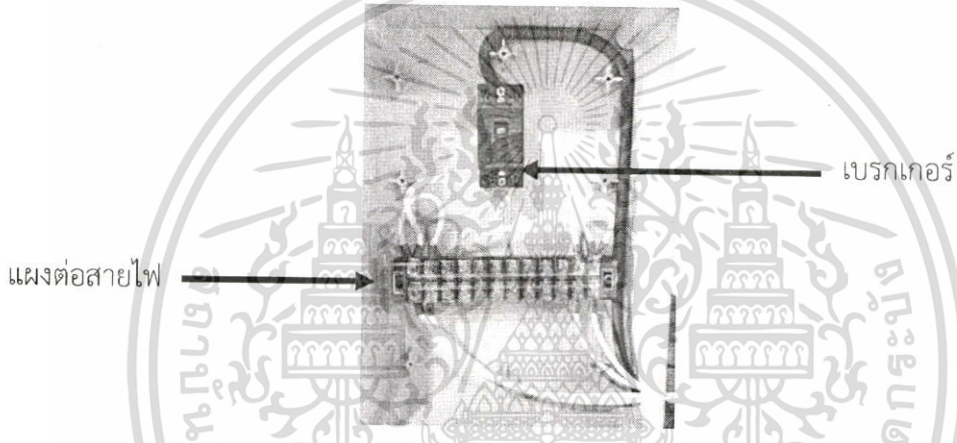
5) ชุดควบคุมไฟฟ้า

เตรียมตู้ไฟฟ้า 1 ตู้ ติดตั้งเบรกเกอร์ และแผงต่อสายไฟกับตู้ไฟฟ้า ต่อสายไฟทนความร้อนจากแผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก เข้ามายังแผงต่อสายไฟ (รูปที่ 3.14) จากนั้นต่อสายไฟทนร้อนจากแผงต่อสายไฟไปยังเบรกเกอร์ และต่อสายไฟและปลั๊กเข้ากับเบรกเกอร์ (รูปที่ 3.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

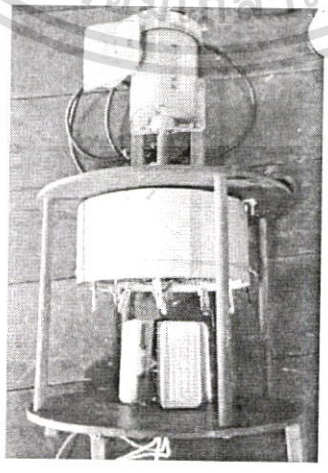


รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการต่อสายไฟเข้ากับแผงต่อสายไฟ



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการต่อสายไฟทนร้อนจากแผงต่อสายไฟไปยังเบรกเกอร์

หลังจากประกอบส่วนประกอบชิ้นส่วนทุกส่วนเข้าด้วยกันตามแบบเรียบร้อยแล้วจะได้เป็นเครื่องย่างผลิตภัณฑ์เสียบไม้แบบอินฟราเรด (รูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 เครื่องย่างผลิตภัณฑ์เสียบไม้แบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

การศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้ 1) การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการย่างต่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู 2) การศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู 3) การศึกษาอิทธิพลของการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู 4) การวิเคราะห์เรื่องการใช้พลังงานของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด และ5) การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1) การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการย่างต่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู

เป็นการทดลองวัดอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู เริ่มต้นตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งลูกชิ้นหมูมีอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเท่ากับ 72 องศาเซลเซียส เนื่องจาก USDA (United States Department of Agriculture) ได้แนะนำอุณหภูมิสำหรับแปรรูปอาหารประเภทเนื้อสัตว์ควรมีอุณหภูมิภายในอย่างน้อย 62.8 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาอย่างน้อย 3 นาที สำหรับเนื้อสด และ 71.1 องศาเซลเซียส สำหรับเนื้อบด (USDA, 2013)

วัสดุอุปกรณ์

1) เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

2) ชุดปรับความเร็วรอบ

3) ลูกชิ้นหมู

4) เทอร์โมคัปเปิล

วิธีการทดลอง

1) นำลูกชิ้นวางไว้จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิแผ่นอินฟราเรดแบบเซรามิก

3) เปิดเบรกเกอร์เพื่อเริ่มต้นการย่างลูกชิ้นหมู

4) ใช้ตัวจับจับไม้ลูกชิ้นหมูจนครบทั้ง 8 ไม้ จำนวนไม้ละ 4 ลูก

5) เริ่มจับเวลาและสุ่มตัวอย่างลูกชิ้นเพื่อวัดอุณหภูมิทุก ๆ 15 วินาทีจนกระทั่งลูกชิ้นมีอุณหภูมิเท่ากับ 72 องศาเซลเซียส

6) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 1 – 4 อีก 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู

ทดลองย่างลูกชิ้นหมูด้วยเครื่องย่างแบบอินฟราเรด โดยทดลองปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เป็น 3.0, 3.5 และ 4.0 เฮิรตซ์ ซึ่งทำให้ลูกชิ้นหมูเสียบไม้หมุนรอบแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยความเร็ว 11,16 และ 23รอบต่อนาที พร้อมกับหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วรอบ 31,46 และ 66 รอบต่อนาที ทำการย่างลูกชิ้นหมูเป็นระยะเวลา 8 นาที และในระหว่างกระบวนการย่างสุ่มตัวอย่างลูกชิ้นหมูมาทำการวัดค่าสีและเนื้อสัมผัส

วัสดุอุปกรณ์

1) เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

2) ชุดปรับความเร็วรอบ

3) ลูกชิ้นหมู

4) เทอร์โมคัปเปิล

วิธีการทดลอง

1) นำลูกชิ้นวางไว้จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิเซรามิกอินฟราเรด

3) ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยชุดปรับความเร็วรอบ เท่ากับ 31 รอบต่อนาที

4) เปิดเบรกเกอร์เพื่อเริ่มต้นการย่างลูกชิ้นหมู

5) ใช้ตัวจับจับไม้ลูกชิ้นหมูจนครบทั้ง 8 ไม้ จำนวนไม้ละ 4 ลูก

6) เริ่มจับเวลาและเก็บตัวอย่างลูกชิ้นทุก 2 นาที ครั้งละ 4 ลูก จนครบ 8 นาที

7) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 1 – 6 อีก ครั้ง แต่เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 16 รอบต่อนาที และ 23 รอบ ต่อนาที

8) นำตัวอย่างลูกชิ้นหมูทดสอบหาค่าสีของลูกชิ้นหมูด้วยระบบ CIE L* a* b* อ่านค่าที่แสดงผลบนเครื่อง

9) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 1 – 7 อีกครั้ง

10) นำตัวอย่างลูกทดสอบหาค่าความแข็งเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไปของลูกชิ้นหมูด้วยวิธี TPA ใช้หัววัดทรงกระบอกอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. กำหนดสภาวะในการทดลองวัดค่าความแข็งของชิ้นเนื้อให้มีค่าความเร็วเท่ากับ 5 mm/s Strain เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาเท่ากับ 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การศึกษาอิทธิพลของการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

ทดลองย่างลูกชิ้นหมูด้วยเครื่องย่างแบบอินฟราเรด โดยทดลองปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เป็น 3.0, 3.5 และ 4.0 เฮิรตซ์ ซึ่งทำให้ลูกชิ้นหมูเสียบไม้หมุนรอบแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยความเร็ว 11,16 และ 23รอบต่อนาที พร้อมกับหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วรอบ 31,46 และ 66 รอบต่อนาที ทำการย่างลูกชิ้นหมูเป็นระยะเวลา 8 นาที นำตัวอย่างลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่างๆ เป็นระยะเวลา 8 นาที นำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยจำนวนคน 25 คน ด้วยวิธี Hedonic scaling สำหรับการทดสอบการยอมรับรูปร่างลักษณะทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมูที่ย่างแบบอินฟราเรด โดยแบ่งระดับการให้คะแนนเป็น 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

วัสดุอุปกรณ์

1) เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

2) ชุดปรับความเร็วรอบ

3) ลูกชิ้นหมู

4) แบบสอบถาม

วิธีการทดลอง

1) นำลูกชิ้นวางไว้จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิเซรามิกอินฟราเรด

3) ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 11 รอบต่อนาที

4) เปิดเบรกเกอร์ เซรามิกอินฟราเรดเพื่อเริ่มต้นย่างลูกชิ้นหมู

5) ใช้ตัวจับจับไม้ลูกชิ้นหมูจนครบทั้ง 8 ไม้ จำนวนไม้ละ 4 ลูก

6) ย่างลูกชิ้นเป็นเวลา 8 นาที

7) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 1 – 6 อีก 2 ครั้ง แต่เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 16 รอบต่อนาที และ 23 รอบต่อนาที

6) ให้ผู้ทดสอบรับประทานลูกชิ้น จำนวน 3 ลูก (31 รอบต่อนาที, 46 รอบต่อนาที และ 66 รอบต่อนาที) และทำแบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์เรื่องการใช้พลังงานของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

การวิเคราะห์เรื่องการใช้พลังงานของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดจะทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ เพื่อวางแผนในการใช้งานให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของเครื่อง เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด

วัสดุอุปกรณ์

1) เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

2) มิเตอร์ไฟฟ้า (รูปที่ 3.17)

วิธีการทดลอง

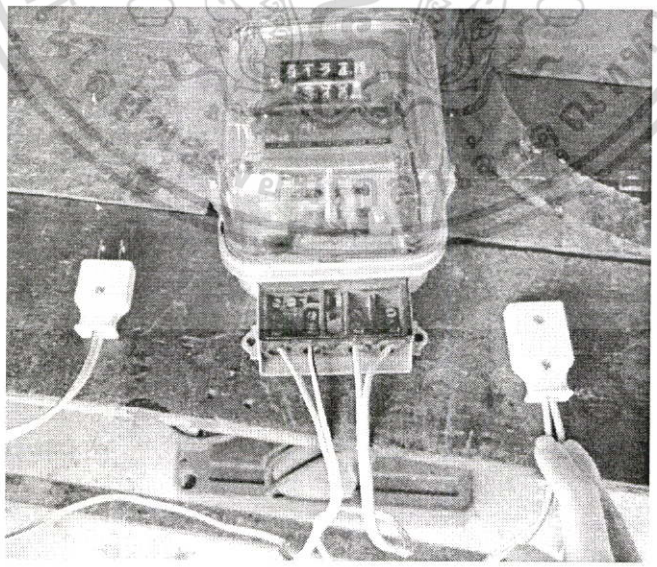
1) เสียบปลั๊กเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้กับมิเตอร์ไฟฟ้า และเสียบปลั๊กมิเตอร์กับแหล่งจ่ายไฟ

2) อ่านค่ามิเตอร์ไฟฟ้าก่อนเริ่มการใช้งาน

3) เปิดใช้งานเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดเป็นเวลา 8 นาที

4) อ่านค่ามิเตอร์ไฟฟ้าหลังการใช้งาน

5) ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 1 – 4 อีก 2 ครั้ง



รูปที่ 3.17 มิเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด มีความสำคัญในการพิจารณาความเป็นไปได้ของผลตอบแทนจากต้นทุนการผลิต โดยทำการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลค่าใช้จ่าย และข้อมูลรายได้ที่จะได้รับจากการจำหน่าย เพื่อหาระยะเวลาคุ้มทุนของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ โดยกำหนดให้ชั่วโมงการทำงานต่อวันเท่ากับ 8 ชั่วโมง โดยใช้งบประมาณในการสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 งบประมาณการสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ (วัสดุอุปกรณ์และค่าแรง)

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
เหล็กแผ่นหนา 8 มิลลิเมตร วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร	2แผ่น	300	300
เหล็กแผ่นหนา 8 มิลลิเมตร วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร	1แผ่น	150	100
มอเตอร์กระแสสลับ	1 อัน	800	800
เฟืองตรง	8 อัน	80	640
ตลับลูกปืน	20 อัน	10	200
เหล็กเพลาขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 2 เมตร	1 แท่ง	200	200
เหล็กเพลาขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 1 เมตร	1 แท่ง	400	400
ตัวจับ	8 อัน	20	160
เซรามิกอินฟราเรด	4 หน่วย	500	2,000
ค่าแรง (ร้อยละ 30 ของงบประมาณอุปกรณ์ทั้งหมด)	1 หน่วย	1,440	1,440
รวมทั้งหมด			6,240

3.5.1 เงื่อนไขในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

1) ราคางบประมาณการสร้างเครื่องย่าง รวม 6,240 บาท

2) อายุการใช้งาน 10 ปี

3) มูลค่าซากร้อยละ 10 ของราคาเครื่องย่างเท่ากับ 624

4) อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 7 ต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ค่าซ่อมบำรุงเครื่องย่างร้อยละ 5 ของราคาเครื่อง เท่ากับ 312 บาทต่อปี

6) คิดค่าเสื่อมราคาแบบทุนจม (sinking fund)

7) ค่าแรงคนงานในการขายลูกชิ้นหมูย่าง 300 บาทต่อวัน

8) เครื่องย่างทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน สามารถย่างลูกชิ้นหมูจำนวน 480 ไม้ (8นาที 8ไม้)

9) คนทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน สามารถย่างลูกชิ้นหมูจำนวน 240 ไม้ (10นาที 5ไม้)

10) ค่าเช่าที่ในการจำหน่าย 1,000 บาทต่อเดือน

11) ราคาต้นทุนของลูกชิ้นหมู

ลูกชิ้นหมูราคาถุงละ 25 บาท บรรจุลูกชิ้นหมูจำนวน 25 ลูก

ลูกชิ้นหมู 1 ไม้ มีลูกชิ้นหมูจำนวน 4 ลูก

ดังนั้นต้นทุนลูกชิ้นหมูต่อไม้เท่ากับ 4 บาท

12) จำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างราคา 10 บาทต่อไม้

13) ค่าไฟฟ้าคิดตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านที่อยู่อาศัยอัตราหน่วยละ 4 บาท

3.5.2 วิธีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

1) คำนวณหาค่าใช้จ่ายต่อปี โดยมีค่าใช้จ่ายต่อปีดังนี้

1.1) ค่าเสื่อมราคา คำนวณโดยใช้สมการ 3.4

ค่าเสื่อมราคา = ราคาเครื่องต้นแบบ × (A/P, 12%, 10) (3.4)

เมื่อ A/P คือ ค่าตัวประกอบการกระดมทุน

1.2) ค่าซ่อมบำรุงเครื่องย่าง 312 บาทต่อปี

1.3) ราคาต้นทุนของลูกชิ้นหมูย่างต่อปี คำนวณโดยใช้สมการที่ 3.5

ราคาต้นทุนของลูกชิ้นหมูย่างต่อปี = ทุนลูกชิ้นหมูย่างต่อไม้ × 480 × 365 (3.5)

1.4) ค่าไฟฟ้า

โดยเครื่องย่างใช้ไฟฟ้า 0.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อการย่าง 8 นาที

โดยเครื่องย่างใช้ไฟฟ้า 18 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อการย่าง 1 วัน

โดยเครื่องย่างใช้ไฟฟ้า 6,570 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อการย่าง 1 ปี

คิดเป็นจำนวนเงิน 26,280 บาท ต่อการย่าง 1 ปี

1.5) ค่าเช่า 1,000 บาทต่อเดือน เท่ากับ 12,000 บาทต่อปี

1.6) ค่าแรงของคนงาน 300 บาทต่อวันเท่ากับ 109,500 บาทต่อปี

2) คำนวณหารายได้ต่อปี โดยมีรายได้ดังนี้

2.1) จำหน่ายลูกชิ้นหมูย่าง 480 ไม้ต่อวัน เป็นเงิน 4,800 บาทต่อวัน

จำหน่ายลูกชิ้นหมูย่าง 172,800 ไม้ต่อปี เป็นเงิน 1,728,000 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับสำหรับลูกชิ้นหมูย่าง

3.5.3 วิธีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้คนจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่าง

1) คำนวณหาค่าใช้จ่ายต่อปี โดยมีค่าใช้จ่ายต่อปีดังนี้

1.1) ค่าแรงของคนงาน 300 บาทต่อวันเท่ากับ 109,500 บาทต่อปี

1.2) ค่าเช่า 1,000 บาทต่อเดือน เท่ากับ 12,000 บาทต่อปี

1.3) ราคาต้นทุนของลูกชิ้นหมูต่อปี คำนวณโดยสมการ (3.4)

2) คำนวณหารายได้ต่อปี โดยมีรายได้ดังนี้

2.1) จำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างหมูย่าง 240 ไม้ต่อวัน เป็นเงิน 2,400 บาทต่อวัน

จำหน่ายลูกชิ้นหมูย่าง 86,400 ไม้ต่อปี 864,000 เป็นเงิน บาทต่อปี

3) ทำการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์

3.4.4 การหาระยะเวลาคืนทุนเมื่อใช้เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการลงทุนเพื่อให้ได้กระแสเงินสดสุทธิเท่ากับเงินที่ใช้ในการลงทุน ระยะเวลาคืนทุนเป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทันของโครงการนั้นๆ เพื่อให้ทราบว่าโครงการนั้นๆ จะใช้ระยะเวลาเท่าใดในการคืนทุน โดยคำนวณได้จากสมการ (3.6)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{จำนวนเงินลงทุน}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิ} - \text{ต้นทุนแปรผัน}} \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู

ตัวอย่างลูกชิ้นหมูมีสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 4.1 ลูกชิ้นหมูมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 2.74±0.12 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ยเท่ากับ 2.48±0.13 เซนติเมตร ความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 2.38±0.16 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต เท่ากับ 2.53±0.10 เซนติเมตร มวลเฉลี่ยเท่ากับ 8.73±0.78 กรัม ปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.41±0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 21.44±2.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความชื้นเท่ากับ 62.13±0.27 (ร้อยละความชื้นฐานเปียก)

เมื่อวัดค่าสีของลูกชิ้นหมูด้วยระบบ CIE L* a* b* พบว่าลูกชิ้นหมูมีค่า L* เท่ากับ 62.12±0.27 a* เท่ากับ 0.54±0.09 และ b* เท่ากับ 11.10±0.66

ทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูด้วยวิธี TPA พบว่าลูกชิ้นหมูมีค่าความแข็ง เท่ากับ 37.61±0.61 นิวตัน Adhesiveness เท่ากับ -0.0110±0.0029 นิวตันต่อวินาที Springiness เท่ากับ 0.0091±0.0001 นิวตัน Cohesiveness เท่ากับ 0.0077±0.0001 นิวตัน Gumminess เท่ากับ 38.58±3.90 นิวตัน Chewiness เท่ากับ 35.88±3.47 นิวตัน และค่า Resilience เท่ากับ 4.59±0.07 นิวตัน

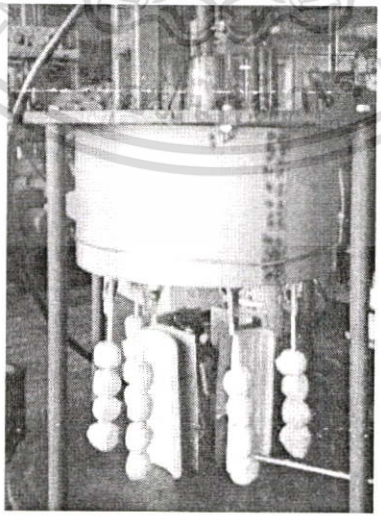
4.2 หลักการทำงานของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดมีลักษณะเด่นคือ เมื่อเครื่องทำงานผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้จะหมุนรอบแหล่งกำเนิดความร้อนชนิดอินฟราเรดพร้อมกับหมุนรอบตัวเองด้วย ส่งผลให้ลูกชิ้นหมูเสียบไม้ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกด้าน เริ่มต้นการทำงานโดยนำลูกชิ้นหมูเสียบไม้ ไม้ละ 4 ลูก จำนวน 8 ไม้ ใช้ตัวจับด้ามไม้จับไม้ลูกชิ้นหมูจนครบทั้ง 8 ไม้ (รูปที่ 4.1) จ่ายไฟให้กับอินฟราเรดและมอเตอร์ที่เป็นต้นกำลัง เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดจะเริ่มต้นการทำงาน ย่างลูกชิ้นหมูจนถึงระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู

สมบัติทางกายภาพของลูกชิ้นหมู	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
ความยาว (เซนติเมตร)	2.74	0.12	2.96	2.47
ความกว้าง (เซนติเมตร)	2.48	0.13	2.80	2.26
ความหนา (เซนติเมตร)	2.38	0.16	2.77	2.07
GMD (เซนติเมตร)	2.53	0.10	2.78	2.32
มวล (กรัม)	8.73	0.78	10.48	7.23
ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.41	0.05	0.48	0.34
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	21.44	2.65	25.35	18.20
ความชื้น (ร้อยละความชื้นฐานเปียก)	72.34	0.78	74.35	71.62
ค่า L*	62.13	0.27	62.40	61.87
ค่า a*	0.54	0.09	0.64	0.46
ค่า b*	11.01	0.66	11.64	10.33
Hardness (นิวตัน)	37.65	0.61	38.28	37.07
Adhesiveness (นิวตันต่อวินาที)	0.0110	0.0029	0.0077	-0.0134
Springiness (นิวตัน)	0.0091	0.0001	0.0093	0.0090
Cohesiveness (นิวตัน)	0.0077	0.0001	0.0079	0.0075
Gumminess (นิวตัน)	38.58	3.90	45.14	33.42
Chewiness (นิวตัน)	35.88	3.47	41.77	31.43
Resilience (นิวตัน)	4.59	0.07	4.72	4.46



รูปที่ 4.1 การใช้ตัวจับจับผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อิทธิพลของระยะเวลาการย่างต่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู

จากการทดลองย่างลูกชิ้นหมูด้วยเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด แล้วสุ่มตัวอย่างลูกชิ้นหมูทุกๆ 1 นาที เพื่อวัดอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและอุณหภูมิกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู แสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิกึ่งกลางของลูกชิ้นหมูเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของสุกฤตาและสุณิสา (2555) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกึ่งกลางลูกชิ้นหมูในงานวิจัยนี้เป็นแบบความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลอันดับ 2 ($y = -0.15x^2+8.86x+25.63$) และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9966 ระยะเวลาของการย่างที่ทำให้อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมูมีค่าเท่ากับ 72 องศาเซลเซียส คือ 6 นาที 30 วินาที

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและอุณหภูมิกึ่งกลางของลูกชิ้นหมู

4.4 อิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพของลูกชิ้นหมู

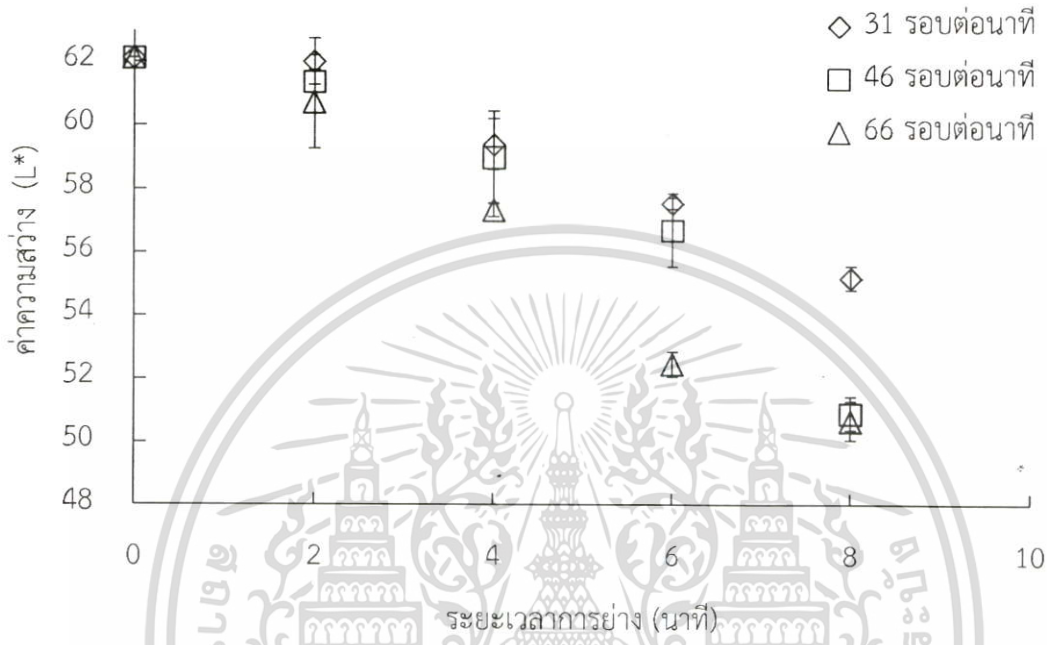
ทดลองย่างลูกชิ้นหมูด้วยเครื่องย่างแบบอินฟราเรด โดยทดลองปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เป็น 3.0, 3.5 และ 4.0 เฮิรตซ์ ซึ่งทำให้ลูกชิ้นหมูเสียบไม้หมุนรอบแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยความเร็ว 11,16 และ 23รอบต่อนาที พร้อมกับหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วรอบ 31,46 และ 66 รอบต่อนาที ทำการย่างลูกชิ้นหมูเป็นระยะเวลา 8 นาที และในระหว่างกระบวนการย่างสุ่มตัวอย่างลูกชิ้นหมูมาทำการวัดค่าสีและเนื้อสัมผัส

4.4.1 สีของลูกชิ้นหมู

ลูกชิ้นหมูมีค่า L* เริ่มต้นเท่ากับ 62.13±0.27 เมื่อทำการย่างลูกชิ้นหมูด้วยเครื่องย่างที่ความเร็วรอบต่างๆ ทำให้ค่าความสว่างของลูกชิ้นหมูเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความสว่างของลูกชิ้นหมูลดลงตามระยะเวลาของการย่าง ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับผลงานวิจัยของ Breackman et al. (2009) ความเร็วรอบของการย่างด้วยเครื่องย่างแบบอินฟราเรดไม่มีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อค่าความสว่างของลูกชิ้นหมู อาจเป็นเพราะว่าลูกชิ้นหมูได้รับพลังงานความร้อนอย่างสม่ำเสมอจากแผ่นอินฟราเรด



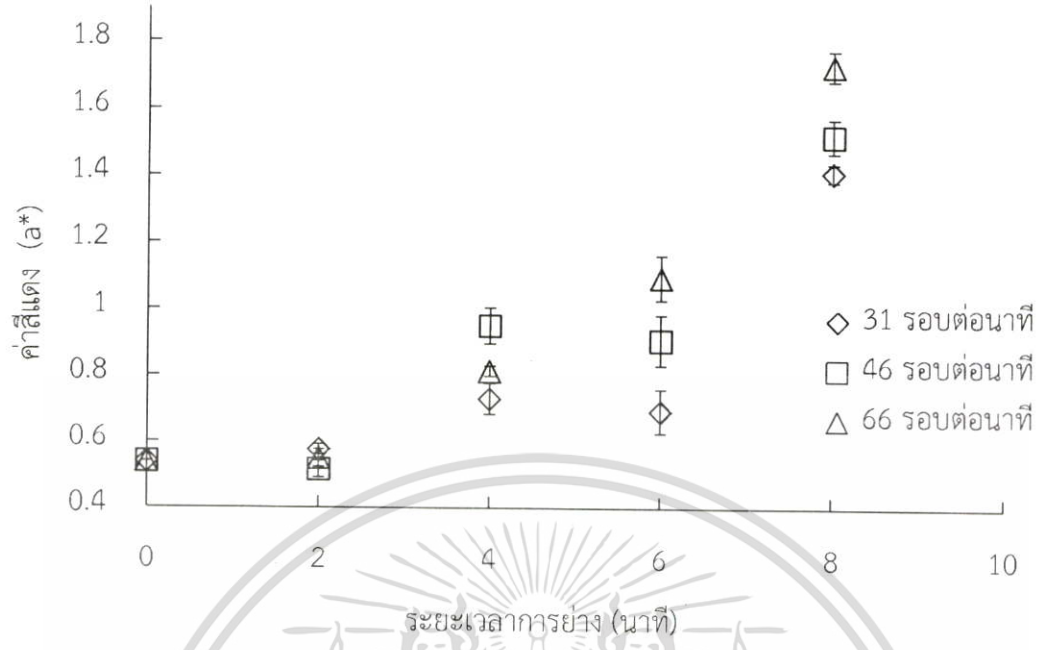
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่า L* ของลูกชิ้นหมู

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ

ระยะเวลาการย่าง (นาที)	ความเร็วรอบ		
	3.0 เฮิรตซ์	3.5 เฮิรตซ์	4.0 เฮิรตซ์
2	62.00±0.73	61.38±0.37	60.74±1.47
4	59.40±0.80	59.00±1.45	57.33±0.21
6	57.54±0.17	56.70±1.16	52.46±0.40
8	55.19±0.37	50.91±0.53	50.68±0.62

รูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า a* ในระหว่างกระบวนการย่าง เริ่มต้นลูกชิ้นหมูมีค่า a* เท่ากับ 0.54±0.09 ภายหลังการย่าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า a* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่าง ซึ่งทำให้เห็นว่าลูกชิ้นหมูมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากการย่าง และความเร็วรอบไม่มีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a* ของลูกชิ้นหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่า a* ของลูกชิ้นหมู

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า a* ของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ

ระยะเวลาการย่าง (นาที)	ความเร็วรอบ		
	3.0 เฮิรตซ์	3.5 เฮิรตซ์	4.0 เฮิรตซ์
2	0.58±0.02	0.52±0.03	0.55±0.03
4	0.73±0.05	0.95±0.05	0.81±0.02
6	0.69±0.07	0.91±0.08	1.09±0.07
8	1.41±0.03	1.52±0.05	1.73±0.05

การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของลูกชิ้นหมูในระหว่างกระบวนการย่างแสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.4 ลูกชิ้นหมูมีค่า b* เริ่มต้นเท่ากับ 11.01±0.66 ในระหว่างกระบวนการย่างค่า b* เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระยะเวลาของการย่าง การเพิ่มขึ้นของค่า b* แสดงให้เห็นว่าค่าสีเหลืองของลูกชิ้นหมูเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ (Browning Reaction) ในระหว่างกระบวนการย่างโดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและความเร็วรอบของการย่างไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของลูกชิ้นหมูอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่า b* ของลูกชิ้นหมู

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า b* ของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ

ระยะเวลาการย่าง (นาที)	ความเร็วรอบ		
	3.0 เฮิรตซ์	3.5 เฮิรตซ์	4.0 เฮิรตซ์
2	14.03±0.23	13.02±0.20	13.76±0.22
4	14.54±0.36	15.32±0.02	15.23±0.05
6	15.73±0.03	15.37±0.34	15.88±0.58
8	16.11±0.11	16.89±0.05	16.98±0.32

4.4.2 เนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู

การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูจากการย่างแบบอินฟราเรดแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความแข็งของลูกชิ้นหมู เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่าง (รูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.5) เนื่องจากลูกชิ้นหมูมีส่วนประกอบของโปรตีนจากเนื้อหมูเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะแปรสภาพ (Denatured) และจับตัวแข็งเป็นก้อน (ณภัทร, 2556) ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการย่างเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิของการย่างสูงขึ้นทำให้ลูกชิ้นหมูมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของการย่างมีอิทธิพลต่อความแข็งของลูกชิ้น โดยที่ความเร็วรอบของการย่างเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งของลูกชิ้นมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการย่างและค่าความแข็งของลูกชิ้นหมู

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ

ระยะเวลาในการย่าง (นาที)	ความเร็วรอบ		
	3.0 เฮิรตซ์	3.5 เฮิรตซ์	4.0 เฮิรตซ์
2	39.41±0.27	40.66±0.58	42.04±0.14
4	40.44±0.44	41.92±0.22	43.18±0.90
6	40.81±0.67	42.82±0.59	43.83±0.46
8	42.47±0.41	44.58±0.62	45.75±0.43

4.4.3 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

ตัวอย่างลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 8 นาที นำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยจำนวนคน 25 คน คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมูแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 ลูกชิ้นหมูที่ได้จากการย่างด้วยความเร็วรอบทั้ง 3 ระดับ มีคะแนนด้านลักษณะที่ปรากฏ คะแนนด้านกลิ่น คะแนนด้านเนื้อสัมผัส คะแนนด้านสี และคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของการย่างไม่มีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาด้านคะแนนความชอบรวมสูงสุดเท่ากับ 6.24±1.96 ซึ่งได้มาจากตัวอย่างลูกชิ้นหมูที่ย่างด้วยความถี่ของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 4.0 เฮิรตซ์ หรือหมุนรอบแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยความเร็วรอบ 23 รอบต่อนาที พร้อมหมุนรอบตัวเอง 66 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

ลูกชิ้นหมูหลังย่าง	ความเร็วรอบ		
	3.0 เฮิรตซ์	3.5 เฮิรตซ์	4.0 เฮิรตซ์
ลักษณะที่ปรากฏ	5.68±1.75	5.68±1.46	5.76±1.64
กลิ่น	5.36±1.60	5.96±1.21	5.84±1.60
เนื้อสัมผัส	5.84±1.62	6.24±1.39	6.48±2.00
สี	6.28±1.28	6.32±1.07	6.52±1.33
ความชอบรวม	6.08±1.50	6.08±1.26	6.24±1.96

4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้เปรียบเทียบกับการจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างโดยคน (ตารางที่ 4.7) และผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้จะใช้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้เปรียบเทียบกับการจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างโดยคน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด	การจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างโดยคน
ต้นทุนของลูกชิ้นหมูย่างต่อปี (บาท)	700,800	350,400
ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรต่อปี (บาท)	1,104	-
ค่าซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)	312	-
ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	26,280	-
ค่าเช่าที่ต่อปี (บาท)	12,000	12,000
ค่าจ้างคนงานต่อปี (บาท)	109,500	109,500
รวมค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)	849,996	471,900
รายได้การจำหน่ายลูกชิ้นหมูย่างต่อปี (บาท)	1,728,000	864,000
กำไรต่อปี (บาท)	878,004	392,100

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 5

สรุปลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปลการทดลอง

งานวิจัยศึกษาเรื่องเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ส่วน สำคัญ คือ 1) การศึกษาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมู 2) การออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด และ 3) การศึกษาอิทธิพลการย่างแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้

สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของลูกชิ้นหมูสำคัญที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต มวล ปริมาตร ความหนาแน่น ความชื้น ค่าสี และค่าเนื้อสัมผัส

2) เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ โดยมีส่วนประกอบหลักคือ 1) โครงเครื่อง 2) ชุดกลไกจับด้ามไม้ 3) ต้นกำลังและส่งกำลัง 4) แหล่งกำเนิดความร้อนแบบอินฟราเรด และ5) ชุดควบคุมไฟฟ้า

3) อุณหภูมิกึ่งกลางของลูกชิ้นหมูเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่าง เป็นแบบความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลอันดับ 2 ($y = -0.15x^2 + 8.86x + 25.63$) และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9966 ระยะเวลาของการย่างที่ทำให้อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้นหมูมีค่าเท่ากับ 72 องศาเซลเซียส คือ 6 นาที 30 วินาที

4) ในระหว่างการย่างพบว่า อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของลูกชิ้น ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง และค่าความแข็งของเนื้อสัมผัส เพิ่มขึ้นระยะเวลาของการย่าง แต่ ค่าความสว่างมีค่าค่าลดลง

5) จาการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ความเร็วรอบ 3 ระดับพบว่า ความเร็วรอบของการย่างเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความแข็งของลูกชิ้นมากขึ้น แต่ไม่มีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง

6) คะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของการย่างไม่มีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลูกชิ้นหมู

5) เครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรดใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1) ควรศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ระหว่างการย่างแบบอินฟราเรดเปรียบเทียบกับการย่างแบบอื่น เช่นการย่างแบบถ่าน การย่างแบบขดลวดความร้อน เป็นต้น

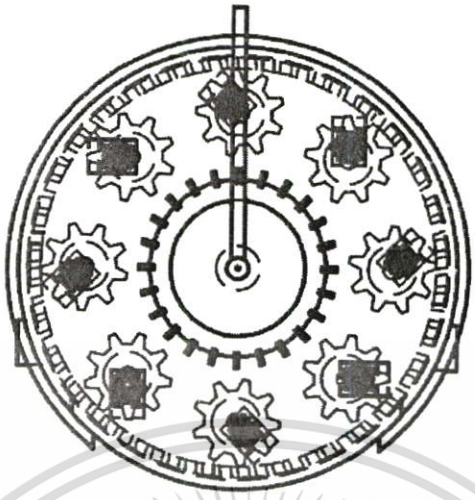
2) ควรเพิ่มชิ้นส่วนปิดกั้นระหว่างส่วนตัวจับผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้กับระบบส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

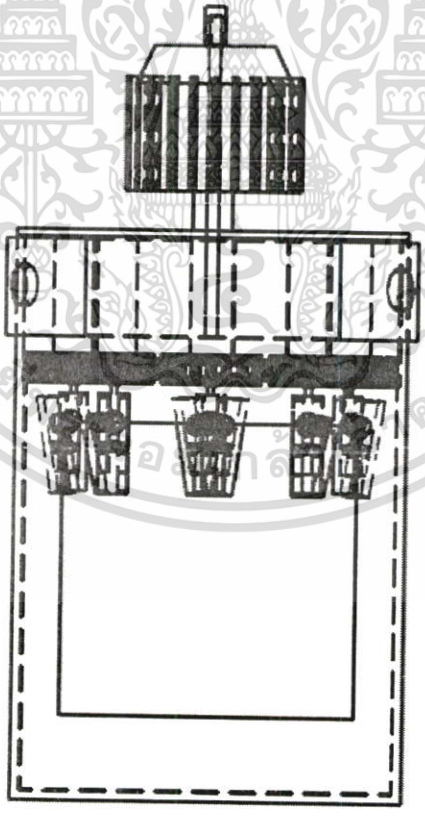
ภาคผนวก

แสดงข้อมูลจากการออกแบบ และทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

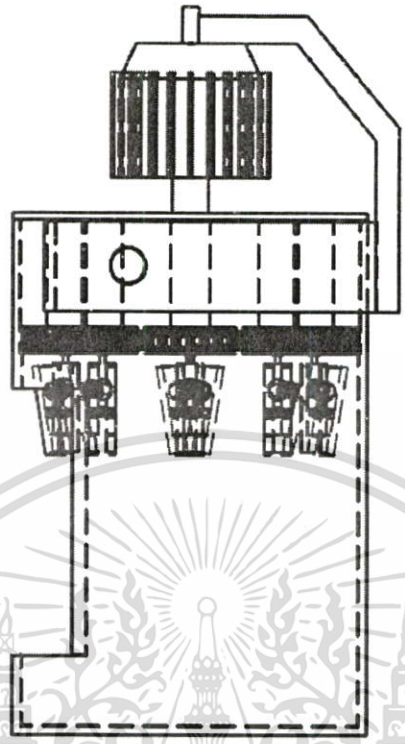


รูปที่ ก ด้านบนของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด



รูปที่ ข ด้านหน้าของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค ด้านข้างของเครื่องย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้แบบอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ชิมลำดับที่___ ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูย่าง

วันที่ 28/05/2558

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ลูกชิ้นหมูย่าง

ชื่อ_____เพศ_____อายุ___ปี

คำแนะนำ 1.กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ลักษณะของผลิตภัณฑ์

โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 =ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

2.กรุณาดื่มน้ำระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

ลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	01	02	03
ลักษณะที่ปรากฏ			
กลิ่น			
เนื้อสัมผัส			
สี			
ความชอบรวม			

ข้อเสนอแนะ

_____

_____

_____

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานตำรา. 2553. **ฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ)กฎหมายและการจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงาน.**[Online].Available: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_3.pdf. 2553

กองส่งเสริมและพัฒนาปศุสัตว์. 2555. **ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์**.[Online].Available: http://food.spokedark.tv/2013/02/27/pork. 2558

พิพัฒน์ พลเพชร. 2554. **ลูกปืน**. [Online].Available: http://replicianspection.blogs.com/2011/01/bearing-skf-bearing-iso.html. 2558

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2549. **เนื้อสัมผัส**. [Online].Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0523/texture-AA. 2558

ภาคอุตสาหกรรม. 2554. **การใช้งานรังสีอินฟราเรด**. [Online].Available: http://thailandthermography.igetweb.com/index.php=155648. 2558.

มนัส ชัยจันทร์. (2554). **เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์**. สานักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2547. **ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมู**. สานักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. [Online].Available: www.library.tisi.go.th/T/fulltext/CPS/P14.htm. 2558

ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. 2556. **การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วัชรินทร์ ดงบัง. (2556). **รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร**. ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิไล รังสาดทอง. 2543. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.กรุงเทพฯ

ศุภพงษ์ ผัดตง. 2550. **ฮีตเตอร์อินฟราเรด**. [Online].Available: http://www.heaterable.com/infrared-heater.html. 2558.

สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. 2553. **การเกิดปฏิกิริยาของรังสีกับสสาร**. [Online].Available: http://www.nst.or.th/article/article493/article49301.html. 2558.

สภาวิศวกร. 2553. **มอเตอร์**. [Online].Available: http://www.coe.or.th/e_engineer/. 2558.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายสนม ประดิษฐ์ดวงและคณะ. 2543. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 173-175.

เสกสรรค์ วินยางค์กูล. 2551. **การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไล่ความชื้นในยอดใบชาโดยรังสีอินฟราเรด.** คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

Braeckman, L., Ronsse, F., Cueva, P. and Hidalgo, P.J. 2009. **Influence of combined IR-grilling and hot air cooking conditions on moisture and fat content, texture and colour attributes of meat patties.** Journal of Food Engineering, 93, 437-443.

Cross, H.R., Durland, P.R., Seideman, S.C. (1986). **7 – Sensory Qualities of meat muscle as food.** 279-320

Fellow, P.J. (1993). **Food Processing Technology.** Department Catering Management, Oxford Polytecnic, 314-326

Hsu, S.Y. and Yu, S.H. 1999. **Effect of color water fat and protien on qualities fish,** Journal of Food Engineering 39; 123-130.

Hui., Y.H. (1983). **Handbook of meat and meat processing.** USDA. 134-146.

Matsuda, H. 2012. **Color changes in fish during grilling - Influence of heat transfer and heating medium on browning color.** Journal of food engineering116, 130-137.

Sandro, M., Goni, V., and Salvadori, O. 2010. **Kinetic modeling of color changes during beef roasting.** Food Science, 1039-1044.

Sheridan, P.S. and Shilton, N.C. 2002. **Determination of the thermal diffusivity of ground beef patties under infrared radiation oven-shelf cooking.** Food Engineering, 52, 39-45.

Shilton N., Mallikarjunan P., Sheridan P., (2002). **Modeling of heat transfer and evaporative mass losses during the cooking of beef patties using far-infrared radiation.** Food Engineering, 55, 217-222.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้