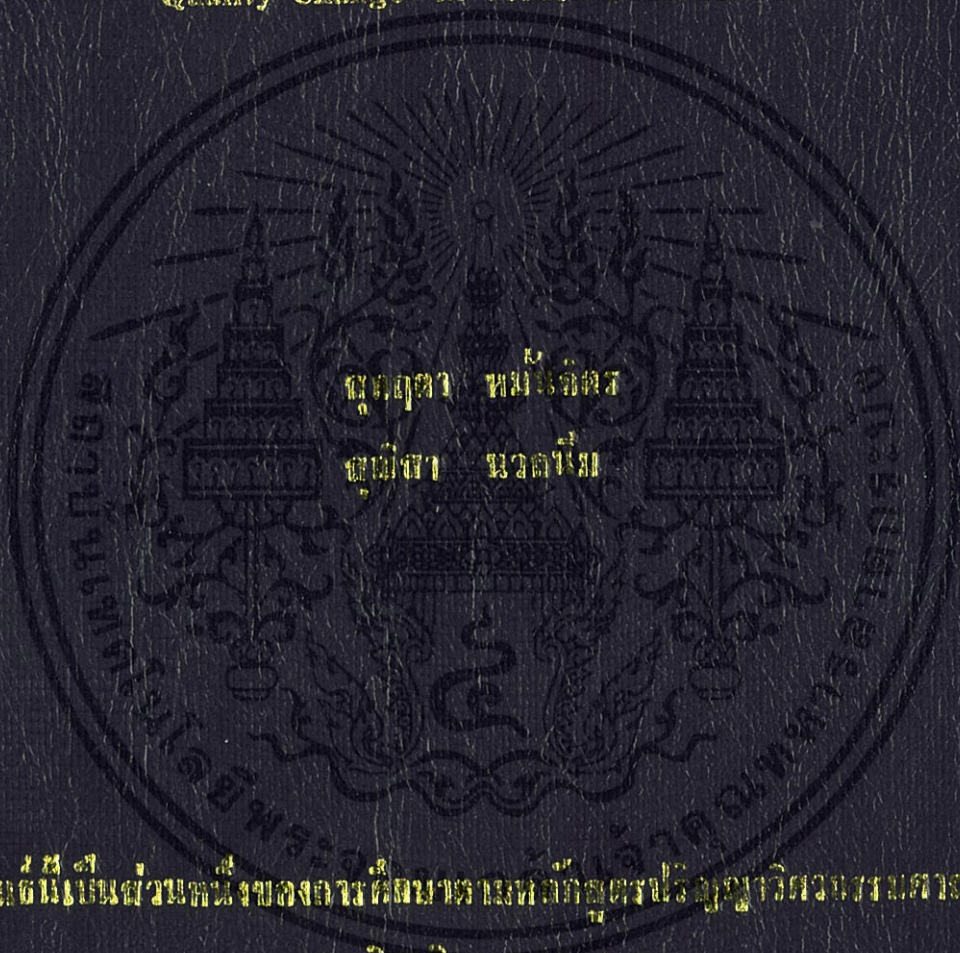


การศึกษาการเผาไหม้ของถ่านไม้สำหรับกระบวนการย่างและ
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ย่าง
Study of Charcoal Combustion for Grilling Process and
Quality Change in Grilled Pork Product



บุศกฤตา หน้ใจศรี
ศุภมาส นวลนิ่ม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาโภชนาการและการสาธารณสุข

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการเผาไหม้ของถ่านไม้สำหรับกระบวนการย่างและการ
เปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูย่าง
Study of Charcoal Combustion for Grilling Process and
Quality Changes in Grilled Pork Product



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2555
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Charcoal Combustion for Grilling Process and
Quality Changes in Grilled Pork Product

Ms. Sukritta Munjit
Ms. Sunisa Nuannim



THE THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นการพิมพ์ลงนิตยสารและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการเผาไหม้ของถ่านไม้สำหรับกระบวนการย่างและการเปลี่ยนแปลง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูย่าง

Study of Charcoal Combustion for Grilling Process and Quality

Changes in Grilled Pork Product

นักศึกษาผู้ทำโครงการงาน

นางสาวสุกฤตา หมั่นจิตร

นางสาวสุณิสา นวลน้อม



ดร.เอกพงษ์ ชีวดีโตสมณ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เอกพงษ์ ชีวดีโตสมณ)

ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การศึกษาการเผาไหม้ของถ่านไม้สำหรับกระบวนการย่างและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูย่าง	
นักศึกษา	นางสาวสุกฤตา หมั่นจิตร	รหัสนักศึกษา 52011289
	นางสาวสุณิสา นวลน้อม	รหัสนักศึกษา 52011302
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เอกพงษ์ ชีวดีโสภณ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขา	วิชาวิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2555	

บทคัดย่อ

ในประเทศไทยอาหารประเภทปิ้งย่างเป็นที่นิยมรับประทานทั่วไป ซึ่งอาหารประเภทนี้มีกลิ่นของสารระเหยจากการเผาไหม้ถ่านไม้เป็นลักษณะเด่น งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหมูระหว่างกระบวนการย่าง โดยออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาการเผาไหม้ของถ่านไม้ขนาด 2.54, 3.81 และ 5.08 cm ที่ปริมาณอากาศ Natural air, 0.5184, 0.6912 และ 0.8640 m³/min และวัดอุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 1) กึ่งกลางของถ่าน 2) ผิวถ่าน 3) ห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm และ 4) ห่างจากผิวถ่าน 7 cm ผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเผาไหม้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วง Heating up และช่วง Falling สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้คือการใช้ถ่านขนาด 2.54 cm ที่ปริมาณอากาศ 0.5184 m³/min เนื่องจากมีอุณหภูมิในช่วง Heating up สูงที่สุด และในช่วง Falling ควรใช้ปริมาณอากาศแบบ Natural air เพื่อป้องกันอุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงอย่างรวดเร็ว ในระหว่างกระบวนการย่างพบว่าปริมาณความชื้น ค่าความสว่าง (L*) และปริมาณไขมัน ลดลงตามระยะเวลาของการย่าง แต่ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ระดับการย่าง 3 ระดับ (ห่างจากผิวถ่าน 3.5, 7 และ 10.5 cm) เมื่ออุณหภูมิกึ่งกลางของเนื้อหมูประมาณ 72°C พบว่าเมื่อระยะห่างของการย่างเพิ่มขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียไขมัน และมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์มีค่า L* ลดลง จากการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ทุกอย่างที่ระยะห่าง 10.5 cm มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสืบค้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คำสำคัญ: การเผาไหม้, ถ่านไม้, อากาศ, หมูย่าง, คุณภาพ
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์ที่ไหน ก็ห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Study of charcoal combustion for grilling process and quality changes in grilled pork product		
Student	Ms. Sukritta	Munjit	Student ID 52011289
	Ms. Sunisa	Nuannim	Student ID 52011302
Project Advisor	Dr.Ekkapong	Cheevitsopon	
	Dr.Kiattisak	Roonprasang	
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Food Engineering		
Academic Year	2012		

Abstract

In Thailand, the grilled meat product is one of the popular foods which had the specific aromatic from the charcoal burning. The objective of this research was to study the effect of size of charcoal (2.54, 3.81, and 5.08 cm) and amount of air (Natural air, 0.5184, 0.6912 and 0.8640 m³/min) on the temperature of combustion. The quality changes in grilled pork product during grilling process were also investigated. The charcoal burning unit was designed and fabricated to study this charcoal combustion. The temperatures were recorded during charcoal combustion at the distance of 4 levels. The results were found that the changes in temperature exhibited two distinct periods, namely, heating up and falling period. The highest temperature in heating up period was obtained at the combustion of 2.54 cm charcoal and the amount of air of 0.5184 m³/min. In falling period, it indicated that the temperature slowly decreased when the amount of air for combustion was the natural air. During grilling process, it indicated that the moisture content, lightness, and fat content in grilled pork product significantly decreased with grilling time, while the hardness increased. When the meat was cooked as a core temperature of 72°C, the total weight loss, fat loss, and hardness of product significantly increased with increasing distance between heating source and product, while the lightness of product significantly decreased. From sensory test, the highest score in overall acceptance of product was obtained at distance between heating source and product of 10.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword: combustion, charcoal, air, grilled pork, quality

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จจุล่งได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาและความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ดร.เอกพงษ์ ชีวโตโสภณ และดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเป็นผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ คณะผู้จัดทำรู้สึกเป็นเกียรติและกราบขอบขอบคุณท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษา เพื่อนำความรู้ทุกอย่างมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบคุณ รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ ที่สนับสนุนและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองพร้อมแนะนำการทำงานเพื่อผลสำเร็จของงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ ที่จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองและสอนวิธีการใช้งานตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารที่คอยให้กำลังใจในการทำงานจนเสร็จจุล่งไปด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

นางสาวสุกฤตา หมั่นจิตร

นางสาวสุนิสา นวลนั่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

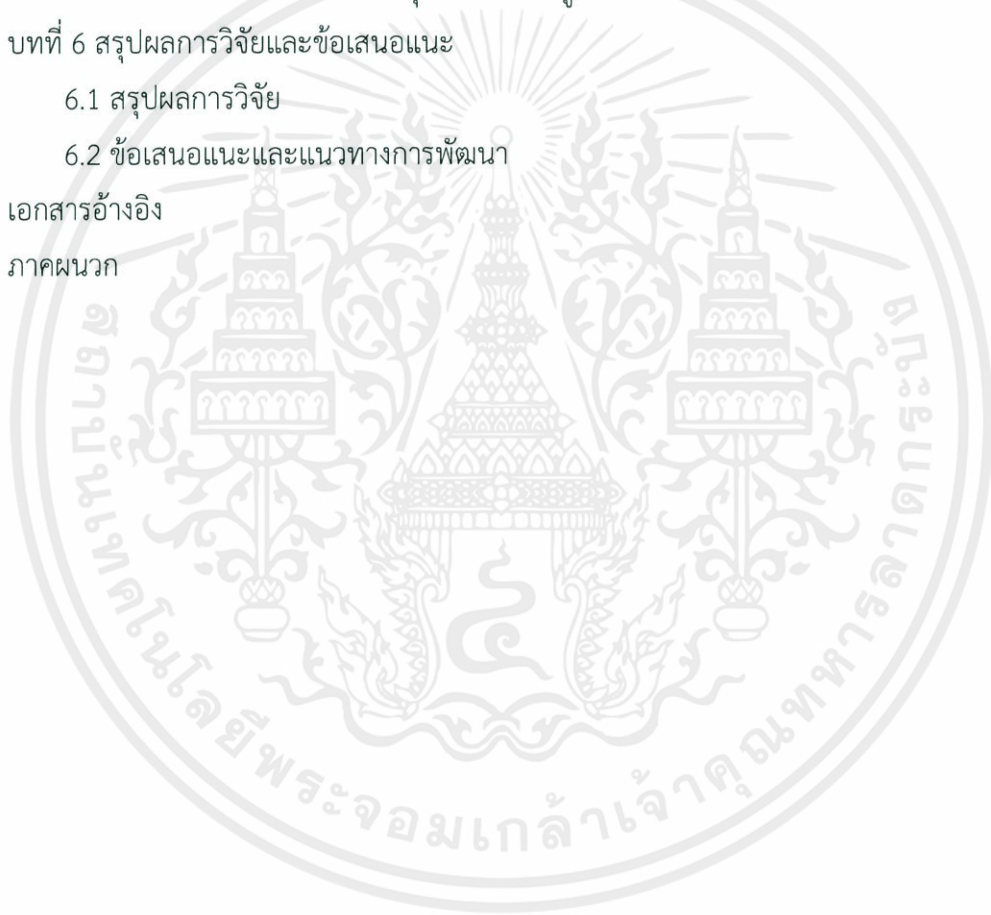
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูปภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เชื้อเพลิงถ่าน	3
2.2 เนื้อสุกร	4
2.3 กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง	4
2.4 การถ่ายเทความร้อน	7
2.5 กระบวนการย่าง	8
2.6 หมูย่าง	10
2.7 อิทธิพลของกระบวนการย่างต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	11
บทที่ 3 ตรวจสอบเอกสาร	
3.1 กระบวนการเผาไหม้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3.2 กระบวนการย่างและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 4 วิธีการทดลอง	
4.1 การออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้	21
4.2 การศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้	22
4.3 การศึกษาอิทธิพลของช่วงเวลาในการเปิด-ปิดพัดลมต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้	23
4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังพัฒนาของชุดอุปกรณ์	29
5.2 อิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้	29
5.3 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านไม้	32
5.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง Heating up	34
5.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง Falling	35
5.6 อิทธิพลของช่วงเวลาการเปิด – ปิดพัดลมต่ออุณหภูมิการเผาไหม้	38
5.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหมุย่างระหว่างกระบวนการย่าง	40
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย	47
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเนื้อหมูสันใน	5
ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังของพัดลม	29
ตารางที่ 5.2 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในช่วง Heating up	33
ตารางที่ 5.3 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในช่วง Falling	33
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความชื้นของอุณหภูมิกการเผาไหม้ถ่านขนาด 2.54 cm	36
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความชื้นของอุณหภูมิกการเผาไหม้ถ่านขนาด 3.81 cm	37
ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความชื้นของอุณหภูมิกการเผาไหม้ถ่านขนาด 5.08 cm	38
ตารางที่ 5.7 ค่าความชื้นของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของถ่านขนาด 2.54 cm ที่ความเร็วลม 0.5184 m ³ /min	39
ตารางที่ 5.8 คุณภาพเนื้อหมูเริ่มต้นสำหรับการทดลอง	40
ตารางที่ 5.9 ค่าคุณภาพของเนื้อหมูย่างที่อุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C	45
ตารางที่ 5.10 คุณภาพเนื้อสัมผัสของหมูย่างที่อุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C	45
ตารางที่ 5.11 คะแนนการทดสอบประสาทสัมผัส แบบ 9-point hedonic scaling หมูย่างอุณหภูมิตรงกลาง 72°C	46
ตารางที่ ก.1 คุณภาพของหมูย่างระดับการย่าง 3.5 cm	52
ตารางที่ ก.2 คุณภาพของหมูย่างระดับการย่าง 7.0 cm	52
ตารางที่ ก.3 คุณภาพของหมูย่างระดับการย่าง 10.5 cm	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนต่าง ๆ ของการตัดแต่งซากสุกรแบบไทย	4
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของไมโอโกลบิล	13
รูปที่ 2.3 กลไกการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ	14
รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้	21
รูปที่ 4.2 ขนาดถ่านไม้ a) ถ่านขนาด 2.54 cm b) ถ่านขนาด 3.81 cm c) ถ่านขนาด 5.08 cm	22
รูปที่ 4.3 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	22
รูปที่ 4.4 กระบวนการเตรียมเนื้อ	23
รูปที่ 4.5 เนื้อหมูชั้นขนาด เนื้อหมูชั้นขนาด กว้าง 2.5 cm ยาว 6 cm และหนา 0.5 cm	23
รูปที่ 4.6 รูปแบบกระบวนการย่างหมู	24
รูปที่ 4.7 กระบวนการทดสอบคุณภาพของหมูปิ้ง	24
รูปที่ 4.8 เครื่องวัดสี	25
รูปที่ 4.9 เครื่องสกัดน้ำมัน	26
รูปที่ 4.10 เครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส	27
รูปที่ 4.11 ลักษณะการวัดความแข็งด้วยหัวกดทรงกระบอกชนิด P/50	27
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงลักษณะของเนื้อสัมผัส	27
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของถ่านขนาด 2.54 cm	30
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศแบบ Natural air	31
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศ 0.5184 m ³ /min	31
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศ 0.6912 m ³ /min	32
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศ 0.8640 m ³ /min	32
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในช่วง heating up	35
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในช่วง Falling	35
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเปิด - ปิดพัดลมและอุณหภูมิของถ่านขนาด 2.54 cm	39
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการสูญเสียน้ำหนัก	41
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่า L*	41
รูปที่ 5.11 สีของผลิตภัณฑ์ที่ระดับการย่าง a) 3.5 cm b) 7 cm และ c) ระดับ 10.5 cm เมื่ออุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C	42

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่า a^*	42
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่า b^*	43
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณไขมันของเนื้อหมู	43
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงสูงสุดระหว่างการกด	44
รูปที่ ข.1 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	53
รูปที่ ข.2 ลักษณะการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ถ่านไม้	54
รูปที่ ข.3 ลักษณะการเสียบหมูเพื่อใช้ในการทดลอง	54
รูปที่ ข.4 ลักษณะการย่างหมูที่ระดับ 3.5 cm	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในประเทศไทยอาหารประเภทปิ้งย่าง เป็นที่นิยมรับประทานมากขึ้นเรื่อย ๆ อาหารปิ้งย่างที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป ได้แก่ หมูย่าง ไก่ย่าง หรือลูกชิ้นปิ้ง อาหารประเภทนี้คนไทยนิยมรับประทานเนื่องด้วยสะดวกในการซื้อหาและง่ายต่อการบริโภค อาหารปิ้งย่าง 1 ใน 10 ที่เป็นที่นิยมรับประทานเป็นอาหารเช้า คือ หมูย่าง (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2555)

หมูย่างเป็นการแปรรูปอาหารโดยนำเนื้อหมู มาตัดแต่งให้มีความหนาสม่ำเสมอ หมักด้วยเครื่องปรุงรสแล้วเสียบไม้ จากนั้นย่าง (grilling) หรืออบ (baking) จนสุกสม่ำเสมอ อาจตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดตามต้องการ (มผช.) การรับประทานหมูย่างพร้อมกับข้าวเหนียวโดยหมูย่าง 2 ไม้กับข้าวเหนียว 80 กรัม ให้พลังงาน 260 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 42.1 กรัม ไขมัน 4.7 กรัมและโปรตีน 11.8 กรัม (สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553) แหล่งความร้อนสำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารโดยการย่าง ได้แก่ ถ่านไม้ แก๊ส ไมโครเวฟ และอินฟราเรด ซึ่งการย่างโดยใช้ถ่านไม้ได้รับการยอมรับว่าทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและรสชาติดี (Fu, 2010) ในกระบวนการย่างนั้น มีอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ระยะเวลาในการย่าง และอุณหภูมิ การย่างผลิตภัณฑ์เป็นเวลานานจนเกิดรอยไหม้เกรียมบริเวณผิว ส่วนที่ไหม้เกรียมนั้นเมื่อรับประทานเข้าไปจะเป็นสารกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระแก่ร่างกาย และรับประทานอย่างสม่ำเสมอจะก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (วิมล ศรีสุข, 2555)

การย่างโดยใช้ถ่าน ซึ่งถ่านส่วนใหญ่เป็นไม้ที่ถูกนำไปเผาด้วยความร้อนเพียงเล็กน้อยเพื่อให้กลายเป็นคาร์บอน คุณสมบัติของถ่านไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนประกอบของแร่ธาตุ และสารต่าง ๆ เมื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงอาหารหรือทำเป็นเชื้อเพลิงอื่น ๆ ในรูปของฟืนและถ่าน ขณะเผาไหม้ส่วนประกอบของแร่ธาตุและสารต่าง ๆ จะระเหยออกมาในรูปของไอร้อน กลิ่น และควัน ผลเสียจากการใช้ถ่านไม้ในกระบวนการเผาไหม้คือ เมื่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านไม้สมบูรณ์จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และเมื่อผลิตภัณฑ์จากการย่างสัมผัสควันจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของถ่านไม้จะก่อสารพีเอเอชแก่ผลิตภัณฑ์ (Polycyclic aromatic hydrocarbon) (Viegas et al., 2012) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระ และถ่านที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงอาหารหรือใช้ในการปิ้งย่างอาหารจึงควรใช้ถ่านที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่านที่สมบูรณ์ที่สุด ปริมาณถ่านไม้ต่ำกว่า 85% มีสารระเหยปะปนออกมาในขณะติดไฟน้อยที่สุด (ชลพรรณ และคณะ., 2011)

กระบวนการเผาไหม้ถ่านไม้ ตัวแปรสำคัญสำหรับการเผาไหม้คืออากาศ ปริมาณอากาศที่มากหรือน้อยไปในการเผาไหม้ สามารถระบุได้ว่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์เกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเติมให้เพียงพอ และก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดความร้อนในปริมาณมาก การกำหนดอัตราส่วนปริมาณอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงจึงมีความสำคัญ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขนาดของถ่านและอัตราการป้อนปริมาณอากาศที่ส่งผลต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้ เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้แก่กระบวนการย่าง และศึกษาการเปลี่ยนแปลง

สมบัติทางกายภาพของหมุย่างในระหว่างกระบวนการอย่าง ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก สี ความชื้น ไขมันและเนื้อสัมผัสของหมุย่าง

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศ ต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้
- 2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหมูระหว่างกระบวนการอย่าง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 การทดสอบการเผาไหม้ของชุดทดลองโดยใช้ปริมาณถ่าน 100 g กำหนดถ่าน 3 ขนาด คือ 2.54 cm 3.81 cm และ 5.08 cm ที่สภาวะเปิด

1.3.2 อัตราการป้อนปริมาณอากาศเข้าสู่ชุดทดลองเผาไหม้ 4 ระดับ คือ 1) Natural air 2) 0.5184 3) 0.6912 และ 4) 0.8640 m³/min

1.3.3 วัดอุณหภูมิจากการเผาไหม้ของถ่านที่ระดับความสูง 4 ระดับ คือ 1) กึ่งกลางของถ่าน 2) ผิวถ่าน 3) ห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm และ 4) ห่างจากผิวถ่าน 7.0 cm

1.3.4 ทดลองอย่างหมุย่างที่ระดับความสูงห่างจากผิวถ่าน 3 ระดับ คือ 1) 3.5 2) 7.0 3) 10.5 cm

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการเผาไหม้ เนื่องจากขนาดถ่านและปริมาณอากาศ

1.4.2 ขนาดถ่านและปริมาณอากาศที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอย่าง

1.4.3 องค์ความรู้ที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของหมุย่าง เช่น การสูญเสียน้ำหนัก สี ไขมันและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของหมุย่าง เนื่องจากอิทธิพลของเวลาและระยะห่างในกระบวนการอย่าง เพื่อใช้ในการออกแบบ ควบคุม และการปฏิบัติที่เหมาะสมของกระบวนการอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ถ่ายเทความร้อนในการแปรรูปอาหาร คือการให้ความร้อนหรือการให้ความเย็นแก่อาหารเป็นกระบวนการที่พบมากที่สุดในโรงงานแปรรูปอาหาร เช่น การอบ การย่าง การแช่แข็ง เป็นต้น การถ่ายเทความร้อน เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน โดยความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ในกระบวนการอบและการย่างเป็นหน่วยปฏิบัติการที่เหมือนกันในแง่การใช้ลมร้อนหรืออากาศร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหาร เชื้อเพลิงที่เป็นแหล่งพลังงานสามารถให้พลังงานออกมาเมื่อเกิดกระบวนการเผาไหม้ ในกระบวนการย่างนั้น ถ่านไม้เป็นที่ยอมรับว่าสามารถให้กลิ่น รสชาติและคุณภาพของอาหารชวนน่ารับประทาน

2.1 เชื้อเพลิงถ่าน

เชื้อเพลิง หมายถึงสารที่สามารถเผาไหม้ได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจน และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานได้

ถ่านไม้สำหรับปิ้งย่าง คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไม้มาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน เพื่อนำมาใช้ในการปิ้งและย่างอาหาร ลักษณะทั่วไปของถ่านต้องมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีเศษดินและไม้ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ปนอยู่ โดยความชื้นจะต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อน (Calorific value) ต้องไม่น้อยกว่า 7000 แคลอรีต่อกรัม เถ้า (Ash) ต้องไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และสารระเหย (Volatile matter) ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (มผช.658/2547)

ถ่านมีหลายชนิด เช่น ถ่านอัดแท่งไม้เบญจพรรณ ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว ถ่านอัดแท่งจากแกลบ ถ่านอัดแท่งไม้ไผ่ เป็นต้น

2.2.1 ถ่านอัดแท่งไม้เบญจพรรณ ได้จากการนำเศษถ่านไม้มาอัดขึ้นรูป คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไม้เบญจพรรณคือ ขนาดเล็ก ราคาถูก สามารถใส่ในเตาขนาดเล็กได้ ไม่มีควันหลังจากที่ถ่านติดไฟ มีลักษณะเป็นสีแดง การใช้งานประมาณ 1.5 ชั่วโมง

2.2.2 ถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว ได้จากการนำถ่านกะลามะพร้าว 100% มาอัดขึ้นรูป คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าว จุดไฟง่าย เชื้อเพลิงให้ความร้อนสูง ชี้อ่อนกว่าถ่านไม้ ไม่มีควันหลังจากที่ถ่านติดไฟมีลักษณะเป็นสีแดง การใช้งานประมาณ 2.5 ชั่วโมง

2.2.3 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ ได้จากการนำแกลบมาอัดขึ้นรูป ไม่สามารถรักษาสภาพให้เป็นแท่งอยู่ได้ เมื่อถูกน้ำหรือน้ำฝนจะแปรสภาพเป็นแกลบบดเช่นเดิม ไม่มีควัน ไม่มีกลิ่น การใช้งานประมาณ 2 ชั่วโมง

2.2.4 ถ่านอัดแท่งไม้ไผ่ ได้จากการนำผงถ่านไม้ไผ่มาอัดขึ้นรูป คุณสมบัติใกล้เคียงกับถ่านกะลามะพร้าว ให้ความร้อนได้ดี มีคุณสมบัติพิเศษคือถ่านอัดแท่งไม้ไผ่เมื่อนำมาให้ความร้อนจะให้

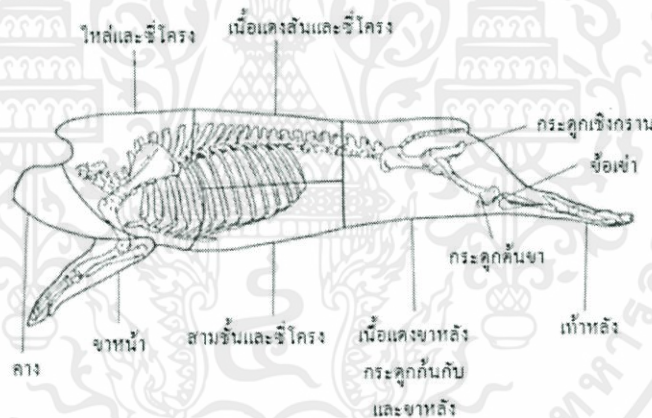
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เนื้อสุกร

การบริโภคเนื้อสุกรในประเทศไทยมักจะไม่ได้นำถึงถึงการแยกชิ้นส่วนมาจากส่วนใดของซาก แต่จะเน้นเป็นเนื้อแดงแตกต่างกับในต่างประเทศอเมริกาที่มีการแยกชิ้นส่วนของซากสุกรไว้อย่างชัดเจนตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้

สามารถแบ่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่จะได้หลังจากตัดแต่งซากสุกรแบบไทย ดังนี้ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช, 2544)

- 2.1.1 เนื้อแดง หมายถึง เนื้อสันและเนื้อแดงรวมจากทุกส่วนของซากที่เลาะออกมาแล้ว องค์ประกอบของเนื้อหมูสันใน แสดงดังตารางที่ 2.1
- 2.1.2 สามชั้น ประกอบด้วยสามชั้นจากคาง
- 2.1.3 มันหมู ประกอบด้วยไขมันจากทุกส่วนของซากที่ตัดแยกออกมาได้ บางแห่งจะแยกไขมัน หุ้มไต หุ้มหัวใจ และในช่องท้อง รวมเรียกว่า มันเปลว
- 2.1.4 หนังหมู หมายถึง หนังที่เลาะได้จากทุกส่วนของซาก
- 2.1.5 ซีโครงหมู หมายถึง กระดูกซี่โครงติดกับกระดูกสันหลังช่วงอกที่ติดกันอยู่เป็นแผง โดยใช้มีดสับแบ่งแต่ละซี่โครงออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดยาวประมาณ 3 นิ้วก่อนจำหน่ายต่อไป
- 2.1.6 กระดูกหลังหาง หมายถึง กระดูกบั้นเอวและกระดูกสะโพก
- 2.1.7 กระดูกหมู หมายถึง กระดูกจากขาหลัง ไหล่ และคอที่เหลือ



รูปที่ 2.1 ส่วนต่าง ๆ ของการตัดแต่งซากสุกรแบบไทย (ที่มา: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช, 2544)

เนื้อสันใน (Tenderloin) เนื้อส่วนนี้เป็นส่วนที่นิ่มที่สุดและไม่เหนียว เนื่องจากมีเส้นใยกล้ามเนื้อที่ละเอียดมากที่สุด จะเป็นเนื้อที่ติดกับกระดูกซี่โครงทั้งสองข้างตามแนวกระดูกสันหลัง (Foodwikipedia, 2555) และที่สำคัญเป็นแหล่งโปรตีนที่มีแคลอรีต่ำ เนื้อสันในจะมีลักษณะเป็นเส้นยาว ตัดมันน้อย เนื่องจากเป็นเนื้อที่มีความอ่อนนุ่ม (Aberle et al., 2001) เหมาะกับการปิ้งย่าง

2.3 กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งๆ สารเผาไหม้ได้ในที่ที่มีธาตุหลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ

กำมะถัน สำหรับกำมะถันสำหรับเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนจะให้ความร้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนและไฮโดรเจน

สำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของคาร์บอน และไฮโดรเจนกับออกซิเจนนั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเนื้อหมูสันใน

Component	Loin, Fresh Separable lean		Loin, Roasted Separable lean	
	100 g portion	1 chop (91 g)	100 g portion	1 chop (91 g)
Water, g	70.6	64.2	55.5	36.6
Energy, kcal	156	142	257	169
Protein, g	20.7	18.8	27.8	18.4
Fat, g	7.5	6.9	15.3	10.1
Fatty acids Saturated, g	2.6	2.4	5.3	3.5
Monounsaturated, g	3.4	3.1	6.9	4.5
Polyunsaturated, g	0.8	0.7	1.9	1.2
Cholesterol, mg	60	55	95	63

ที่มา: USDA Handbook. (1983)

ในอากาศประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนและสารเจือปนอื่น ๆ โดยส่วนใหญ่เป็นออกซิเจน 23.2% โดยน้ำหนัก และ 21% โดยปริมาตร เป็นก๊าซไนโตรเจน 76.8% โดยน้ำหนัก 79 % โดยปริมาตร ปฏิกิริยาสันดาประหว่างคาร์บอนกับอากาศจะได้สมการ ดังนี้



ในการสันดาประหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง จะได้ก๊าซไอเสียและน้ำออกมา สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการปฏิกิริยาเคมีคือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สมการการเผาไหม้ของถ่านต่อมวลโมเลกุล
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศให้สารผลิตภัณฑ์พร้อมพลังงาน ความร้อนออกมาส่วนหนึ่ง ในการเผาไหม้สมบูรณ์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจจะอยู่ในสถานะเชื้อเพลิงเหลือหรืออากาศเหลือ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นก็จะประกอบด้วยสารต่าง ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน เป็นต้น

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ได้แก่ (สมเกียรติ บุญสระ, 2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ที่สำคัญมี 4 ประการ คือ การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณอากาศที่ต้องการ และเวลาที่เพียงพอในการเผาไหม้

1) การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ต้องอยู่ในลักษณะของการไหลผสมแบบปั่นป่วน แต่ละโมเลกุลของออกซิเจนจะสัมผัสกับผิวของเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จากนั้นออกซิเจนจะเข้าผสมกัน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ดังนั้นจุดประสงค์ของการทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นก็เพื่อจะทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดบริเวณของพื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นใหม่

2) อุณหภูมิ อุณหภูมิในการสันดาปต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องได้ กระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรืออัตราการรวมตัวกันทางเคมีของเชื้อเพลิงกับอากาศนั้นขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิ การเผาไหม้จะเกิดซ้ำในตอนแรก ๆ และเกิดต่อไปเรื่อย ๆ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ก็จะเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอากาศให้มากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้นด้วย ฉะนั้นสิ่งที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบเกิดขึ้นเองจะประกอบไปด้วย

- อุณหภูมิสูงพอสำหรับการเผาไหม้
- สารเชื้อเพลิง และ
- ปริมาณอากาศที่เพียงพอ

กระบวนการเผาไหม้นั้นไม่ได้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง โดยส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณความร้อนจากภายนอกช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และให้ปริมาณความร้อนออกมาเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้แบบต่อเนื่องก็คือ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปก็ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้แบบต่อเนื่องได้ แต่ถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงเพียงพอ การลุกไหม้ก็จะเกิดต่อไปได้เรื่อย ๆ โดยปกติแล้วการเผาไหม้ต้องการให้มีอุณหภูมิสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว แต่การที่จะให้อุณหภูมิสูงได้มากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งจะสามารถให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในกรณีอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสารที่ไม่ต้องการได้

3) อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเชื้อเพลิงกับปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ เพื่อให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์นั้น จะต้องมีสัดส่วนที่พอดีกันระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับปริมาณออกซิเจน ตามสมการการเผาไหม้ ปริมาณอากาศตามทฤษฎี คือปริมาณอากาศน้อยที่สุดของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ จนคาร์บอนไฮโดรเจน และกำมะถัน เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ ตามลำดับ ในทางปฏิบัติจริงของอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีไม่พอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนในก๊าซไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

4) เวลา เวลาในการเผาไหม้ต้องนานเพียงพอเพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้สมบูรณ์ คือเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในเตาเผาควรมานพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้มากที่สุด แต่การเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์เป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลานาน และเสียค่าใช้จ่ายสูง

2.4 การถ่ายเทความร้อน

สสารทั้งหลายประกอบด้วย อะตอมรวมตัวกันเป็นโมเลกุล การเคลื่อนที่ของอะตอม หรือการสั่นของโมเลกุล ทำให้เกิดรูปแบบของพลังงานจลน์ ซึ่งเรียกว่า ความร้อน (Heat) พิจารณาพลังงานความร้อน (Heat energy) จากพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอะตอมหรือโมเลกุลทั้งหมดของสสาร

อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ซึ่งเกิดขึ้นจากอะตอมแต่ละตัว หรือแต่ละโมเลกุลของสสาร เมื่อให้พลังงานความร้อนกับสสาร อะตอมจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อลดพลังงานความร้อน อะตอมของสสารจะเคลื่อนที่ช้าลงทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการพา การพาความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของพลังงานจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของลมที่ผ่านหน้าขดลวดความร้อน ลมดังกล่าวก็จะมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย นอกจากนี้การถ่ายโอนความร้อนแบบพายังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารหลายชนิด ไม่ว่าจะโดยตรง หรือในด้านการใช้ลมหรือน้ำเป็นสารตัวกลางในกระบวนการ การพาความร้อนสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 แบบดังนี้

1) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่พร้อม ๆ กับทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน มักจะอาศัยอุปกรณ์ช่วย ตัวอย่างเช่น บัมพัดลม การพาความร้อนแบบบังคับนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ

2) การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) กลไกการเกิดการถ่ายโอนความร้อนมักเกิดเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นในระบบ ตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อ ภายในกระป๋องจะมีการเคลื่อนที่ความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้าไม่ว่าจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบพาในลักษณะใดก็ตามแต่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนเหมือนกัน โดยสมการที่ 6 เรียกว่า กฎการเย็นตัวของนิวตัน Newton's cooling law

$$Q = hA\Delta T \quad (6)$$

เมื่อ

Q	คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนเนื่องจากการพา	(W)
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	(W/m ² K)
A	คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	(m ²)
ΔT	คือ ผลต่างของอุณหภูมิ	(K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผลเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาความต้านทานของการไหล (R) ของความร้อนแสดงได้ดังสมการที่ 7

$$R = \frac{1}{hA} \quad (7)$$

การพาความร้อนจะสร้างความต้านทานให้กับการถ่ายโอนความร้อนเมื่อเกิดการไหลของความร้อนในลักษณะลามินาร์ โดยที่เกดชั้นของของไหลร้อนเสมือนว่าเป็นชั้นที่ผิวหน้า ทำหน้าที่เป็นฉนวนในการถ่ายโอนความร้อน ความต้านทานสามารถลดได้ยากจนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลเป็นแบบเทอร์บิวเลนต์ โดยทั่วไปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ในสมการที่ (6) ของการพาความร้อนแบบบังคับ จะมีค่าสูงกว่าการพาแบบธรรมชาติ

2. กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อน การนำความร้อน คือปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ โมเลกุลของตัวกลางมีการสัมผัสกันโดยตรง ปริมาณของความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนนั้นมีค่าแปรผันกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิตามระยะทาง โดยสมการที่ 8 เรียกว่ากฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ Fourier's law of conduction

$$\frac{dq}{dA} = -k \frac{dT}{dx} \quad (8)$$

3. กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการแผ่รังสีความร้อน การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานความร้อนซึ่งแผ่ออกโดยสาร ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การแผ่รังสีจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ อิเล็กตรอนในอะตอมของสาร พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) และแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่ต้องการตัวกลาง ซึ่งการแผ่รังสีจะมีประสิทธิภาพที่สุดใน สมการการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวทางอุดมคติซึ่งเรียกว่า วัตถุดำ (Black body) และค่า Heat flux ที่ส่งออกมาจากพื้นผิวที่แท้จริงจะมีค่าน้อยกว่านี้และเป็นไปตามสมการที่ 9

$$Q = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (9)$$

2.5 กระบวนการย่าง

กระบวนการย่าง คือการแปรรูปอาหารโดยอาศัยกระบวนการถ่ายเทความร้อนเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุก โดยการวางผลิตภัณฑ์เหนือแหล่งการให้ความร้อน ซึ่งอาจเป็นเตาถ่าน เตาไฟฟ้า หรือเตาอินฟราเรด และผลิตภัณฑ์อาจห่อด้วยใบไม้หรือ ฟลอยส์อลูมิเนียม สำหรับใบไม้ที่นิยมใช้นั้นก็มี ใบตอง และใบเตย ซึ่งอาหารที่ห่อและนำไปย่างนั้นจะมีกลิ่นหอม การย่างที่ถูกต่อนั้น จะต้องมีการกระจายความร้อนให้ทั่วผิวอาหารเพื่อไม่ให้อาหารไหม้ จึงมีการพลิกกลับหน้าของอาหาร ซึ่งอุณหภูมิตรงกลางของเนื้อหมูกำหนดที่อุณหภูมิ 72°C (Braeckman et al., 2009) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เนื้อที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนส่วนของกล้ามเนื้อที่ประกอบไปด้วย

เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายใน (Sandro et al., 2011) หรือการทำลายเส้นใยกล้ามเนื้อนั่นเอง

แหล่งพลังงานการให้ความร้อนของการแปรรูปอาหารโดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

1. การย่างโดยใช้ก๊าซ ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, Liquefied gas, LPG) ใช้อัตราส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทน ประมาณ 70:30 ซึ่งจะให้ค่าความร้อนที่สูง ทำให้ผู้ใช้ประหยัดเวลาและค่าเชื้อเพลิง ข้อเสียของการย่างโดยใช้ก๊าซคือมักจะมีกลิ่นก๊าซติดมากับอาหารที่ใช้ย่าง ซึ่งอาจจะแก้ไขได้ด้วยการใช้กระดาษฟอยด์ห่ออาหารก่อนนำมาย่างบนเตา

2. การย่างใช้อินฟราเรด เป็นลักษณะการทำงานโดยการส่งผ่านความร้อนแบบการแผ่รังสี จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30 ถึง 50 % สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อภายใน จึงทำให้ประหยัดเวลาในการย่างได้ 1 ถึง 10 เท่า อินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งจากวัตถุที่ร้อน เมื่อมีวัตถุเคลื่อนนี้เข้าไปอินฟราเรดจะถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุนั้น ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นกับ

- 1) อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุที่ให้และรับอินฟราเรด
- 2) สมบัติของพื้นผิวของวัตถุทั้งสอง
- 3) รูปร่างของวัตถุทั้งสอง

คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด ได้แก่ ให้ความร้อนสม่ำเสมอเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากเป็นฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนสูง อย่างไรก็ตามเครื่องแผ่รังสีความร้อนไม่ใช่วัตถุแผ่รังสีแบบสมบูรณ์ และอาหารก็ไม่ใช่วัตถุดูดซับรังสีสมบูรณ์แม้วัตถุเหล่านี้จะแผ่หรือดูดซับรังสีจากค่าสูงสุดตามทฤษฎีในอัตราส่วนที่คงที่ จากแนวคิดนี้จึงมีการใช้คำว่า วัตถุเทา (วิลโล รังสาดทอง, 2546) และมีความสามารถในการแผ่รังสีโดยประมาณในกระบวนการแปรรูปอาหาร

3. การย่างโดยใช้ถ่าน ถ่านไม้ คือผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจาก ปีกไม้ หรือ เศษไม้ นำมาให้ความร้อนจากนั้นกลายสภาพเป็นถ่านในที่สุด ในขณะที่เผาไหม้ส่วนประกอบของแร่ธาตุและสารต่าง ๆ จะระเหยออกมาในรูปของไอร้อนและกลิ่น ที่สำคัญที่สุดคือควัน การเผาไหม้ของถ่านไม้เกิดสารทาร์ (Tar) ซึ่งในวงการแพทย์ยอมรับว่าสารทาร์เป็นการสารกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระส่งผลต่อการก่อมะเร็ง ถ่านที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงอาหาร หรือใช้ปิ้งย่างจึงควรใช้ถ่านที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่านสมบูรณ์ที่สุด โดยปริมาณถ่าน (Fixed carbon) ไม่ต่ำกว่า 80 % และมีสารระเหยปะปนออกมาในขณะที่ไฟน้อยที่สุด การย่างโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ได้รับการยอมรับว่าทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอมและมีรสชาติที่ดี (Fu et al., 2010)

4. ไมโครเวฟ (Microwave Heating) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 300-30,000 MHz และมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1 mm ถึง 1 m สำหรับความถี่ที่นำมาใช้กับอาหารคือ 2,540 MHz (พิมพ์เพ็ญและจิราภา, 2549) ความร้อนที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟนั้นเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเองภายในชิ้นวัสดุ เป็นพลังงานรูปแบบใหม่ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในราวปี พ.ศ. 2483 และเป็นที่แพร่หลายจนกลายเป็นของใช้ในครัวเรือนที่ใช้หุงต้มอาหารได้โดยเน้นประโยชน์ของพลังงานนี้ในรูปของการประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและสามารถปรับใช้ในการแปรรูปอาหารหลายแบบได้อย่างเหมาะสม (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2543) การให้ความร้อนกับอาหารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

อาศัยสมบัติของวัสดุในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเปลี่ยนคลื่นเป็นความร้อน ดังสมบัติทางไดอิเล็กทริกของอาหารจึงมีความสำคัญในการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ

2.6 หมูย่าง

หมูย่างเป็นอาหาร 1 ใน 10 ที่นิยมรับประทานเป็นอาหารเช้า โดยได้รับความนิยมเป็นลำดับที่ 7 รองจาก ข้าวมันไก่ ขนมปัง ปาท่องโก๋ ข้าวต้มหมู ข้าวต้มกุ้ง และแซนวิชแฮม (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2555) ลักษณะของหมูย่างจะเป็นเนื้อหมูหันที่หั่นเป็นชิ้นยาวประมาณ 50 mmหนา 3 mm หมักด้วยกรรมวิธีการปรุงรสสูตรต่างๆ แล้วนำมาเสียบไม้ วางไว้บนตะแกรงโดยใช้ขนาดความร้อนอ่อน ๆ หรือปานกลาง โดยอาจเป็นเตาถ่าน เตาไฟฟ้าหรือไมโครเวฟ หมั่นพลิกกลับหน้า ใช้เวลานานพอสมควร จนอาหารสุกทั้งข้างในและข้างนอก เนื้อสัมผัสจะนุ่มและมีกลิ่นหอมชวนให้น่ารับประทาน การย่างหมูให้น่ารับประทานต้องคำนึงถึง การกระจายความร้อนและความหนาหรือขนาดของชิ้นอาหารที่นำมาย่างที่พอเหมาะที่จะทำให้อาหารสุกทั่วถึงภายในโดยที่ภายนอกไม่ไหม้เกรียมเสียก่อน โดยคุณค่าทางโภชนาการในการรับประทานหมูย่าง 2 ไม้กับข้าวเหนียว 80 กรัม จะให้พลังงาน 260 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรต 42.1 กรัม ไขมัน 4.7 กรัมและโปรตีน 11.8 กรัม (สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553) และควรรับประทานควบคู่กับผัก ผลไม้เพื่อให้ได้พลังงานเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย

วัตถุดิบที่ใช้ทำหมูย่างมีส่วนผสมที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับสูตรการหมักของแต่ละบุคคล เช่น หมูกระเทียม พริกไทยป่น รากผักชี น้ำตาลทราย เกลือ เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมส่วนใหญ่จะเป็นสมุนไพรไทยโดยมีสรรพคุณดังนี้

2.6.1 กระเทียม มีสรรพคุณช่วยในการขับลมในกระเพาะอาหาร แก้อาการท้องอืดท้องเฟ้อ ขับเหงื่อ ขับปัสสาวะ ขับเสมหะ ลดความดันโลหิตสูง ลดไขมันและคอเลสเตอรอล ลดน้ำตาลในเลือด รักษาโรคไทรอยด์ ต้อตื้นเนื้องอก แก้อาการปวดข้อและปวดเมื่อย และมีรายงานการทดสอบจากประเทศอินเดียว่ากระเทียมมีสารไดอัลลิลไดซัลไฟด์ มีฤทธิ์ใช้ฆ่าพยาธิไส้เดือนได้ดีและประเทศญี่ปุ่นได้ค้นพบสารในกระเทียมชื่อสคอร์ดีนิน ไม่มีกลิ่น แต่มีประโยชน์ต่อร่างกายหลายอย่างรวมทั้งช่วยให้เนื้อเยื่อเจริญเติบโตและช่วยลดไขมันใน รวมถึงกระเทียมเป็นมีสารชกนำวิตามินบี 1 เข้าสู่ร่างกายได้ดี โดยรวมเป็นสารอัลลิลโทอะมิน ทำให้วิตามินบี 1 ออกฤทธิ์ได้ดีขึ้นถึง 20 เท่า (หนังสือพิมพ์ข่าวสด, 2552)

2.6.2 พริกไทย พืชมีผลเป็นพวงเม็ดขนาดเล็ก และเป็นเครื่องเทศที่ให้รสเผ็ดร้อน สามารถนำมาทำพริกไทยแห้งเป็นเครื่องปรุงสำหรับอาหาร ซึ่งถ้าทำแห้งทิ้งเปลือกจะได้พริกไทยดำเนื่องจากผงของเปลือกเป็นสีดำปนอยู่ ส่วนพริกไทยขาวได้จากการลอกเปลือกออกก่อนทำเป็นผง สรรพคุณช่วยในการรักษาอาการปวดกระเพาะอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ช่วยขับลมในกระเพาะอาหาร แก้อาการท้องเสีย แก้อาการท้องอืด และพริกไทยยังมีแคลเซียมในปริมาณสูงมาก ฟอสฟอรัส วิตามินซี และเบต้า-แคโรทีน ที่ช่วยป้องกันมะเร็ง (หนังสือไม้เลื้อยกินได้, 2548)

2.6.3 รากผักชี ผักชีเป็นพืชผักสวนครัว ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ตั้งแต่ส่วนของใบ ก้าน ราก โดยรากเป็นส่วนผสมในการทำหมูย่าง รากผักชีมีสรรพคุณช่วยในการย่อยอาหาร บำรุงกระเพาะทำให้เจริญอาหาร ขับลมขับพิษ แก้อาการปวดหัว ขับเหงื่อ ลดน้ำตาลในเลือด แก้อาการคัด การทำงานของเลือดพลาสมา และกล้ามเนื้อ มีสารต้านมะเร็ง ด้านแบคทีเรีย เชื้อรา (ดวงจันทร์, 2547)

2.7 อิทธิพลของกระบวนการอย่างต่อเนื่องต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เนื้อหมูเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการอย่างต่อเนื่องและจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ถ้าเนื้อหมูมีคุณภาพที่ดีผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะมีคุณภาพดี แต่หากเนื้อหมูมีคุณภาพไม่ดีอาจส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ดีด้วย คุณภาพเนื้อหมูที่ได้ในกระบวนการอย่างต่อเนื่องจึงมีความสำคัญมาก อิทธิพลที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพของหมูบึ่ง มีดังต่อไปนี้

2.7.1 ความชื้น (Moisture loss)

เป็นค่าที่บอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื้อสัตว์ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibrills) มีหน้าที่หลักในการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ และทำหน้าที่อุ้มน้ำส่วนใหญ่ไว้ เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนอาจส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลง (มนัส, 2554) เนื่องจากการสูญเสียความชื้นโดยการไหลหยดและการระเหยของน้ำ (Sheridan and Shilton, 1999) ส่วนของไขมันเส้นใยกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดความรู้สึกว่าเนื้อชุ่มน้ำกว่าเนื้อที่มีไขมัน ในการย่างเนื้อด้วยวิธีการต่าง ๆ นั้น การสูญเสียปริมาณความชื้นจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการย่าง เมื่อย่างเนื้อด้วยลมร้อนสามารถกำหนดอุณหภูมิลมร้อนหรือความเร็วลมได้เพื่อใช้ชดเชยในการลดลงหรือเพิ่มปริมาณการสูญเสียของความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Braeckman et al., 2009)

ความชื้นมีผลต่อคุณภาพอาหาร เนื่องจาก

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

2) ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (Food safety) อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) และการสร้างสารพิษ (toxin) ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา (Mycotoxin) เช่น Aflatoxin, Patulin ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

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

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

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

6) ความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าว เมล็ดธัญพืช กำหนดราคารับซื้อตาม

เอกสารนี้เป็นปริมาณความชื้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงความเข้มข้นของอาหาร ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ มี 2 รูปแบบคือ

1. ความชื้นฐานเปียก (Wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า ค่าที่ใช้บอกความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

2. ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (Dehydration) เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของวัสดุคงที่ อาจจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง ($\text{g H}_2\text{O} / \text{g solid}$)

2.7.2 สี (Color)

สีเป็นลักษณะปรากฏทางแสงที่ตารับรู้ได้ทันทีก่อนการบริโภคหรือก่อนตัดสินใจซื้ออาหารนั้น ๆ สีที่ดีตามธรรมชาติของหมูย่างอาจไหม้เกรียมได้บ้างเล็กน้อย ซึ่งในเนื้อหมูจะมีไมโอโกลบิน (Myoglobin) เป็นรงควัตถุ (Pigment) ทำให้เนื้อสัตว์มีสี ปริมาณเม็ดสีจะขึ้นอยู่กับชนิด เช่น เนื้อหมูมีปริมาณไมโอโกลบินน้อยกว่าเนื้อวัว และสัตว์ที่มีอายุมากจะมีไมโอโกลบินมากกว่าสัตว์ที่มีอายุน้อย

การเปลี่ยนแปลงสีของไมโอโกลบิน เม็ดสีไมโอโกลบินเป็นรงควัตถุที่มีสีม่วงแดง (Purplish red) ในภาวะที่มีออกซิเจน จะรวมตัวกับออกซิเจนเป็นออกซิไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ซึ่งมีสีแดงสดและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเมตไมโอโกลบิน (Metmyoglobin) ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับอากาศ

ผลิตภัณฑ์เนื้อ (Meat product) เช่น แฮม (Ham) เบคอนและไส้กรอก (Sausage) มีการเติมเกลือไนเตรท (Nitrate) และไนไตรท์ (Nitrite) ซึ่งแตกตัวให้ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) แล้วรวมตัวกับ ไมโอโกลบิน หรือ เมตไมโอโกลบิน (Metmyoglobin) กลายเป็นไนตริกออกไซด์ ไมโอโกลบิน (Nitric Oxide Myoglobin) ที่มีสีชมพูแดง และเมื่อโดนความร้อน โปรตีนจะเกิดสูญเสียสภาพธรรมชาติ (Protein Denaturation) สารประกอบนี้จะเปลี่ยนเป็นไนโตรโซฮีโมโครม (Nitrosyl Hemochrome) มีสีชมพู ซึ่งเป็นสีที่คงทน

การวัดค่าของสี 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)

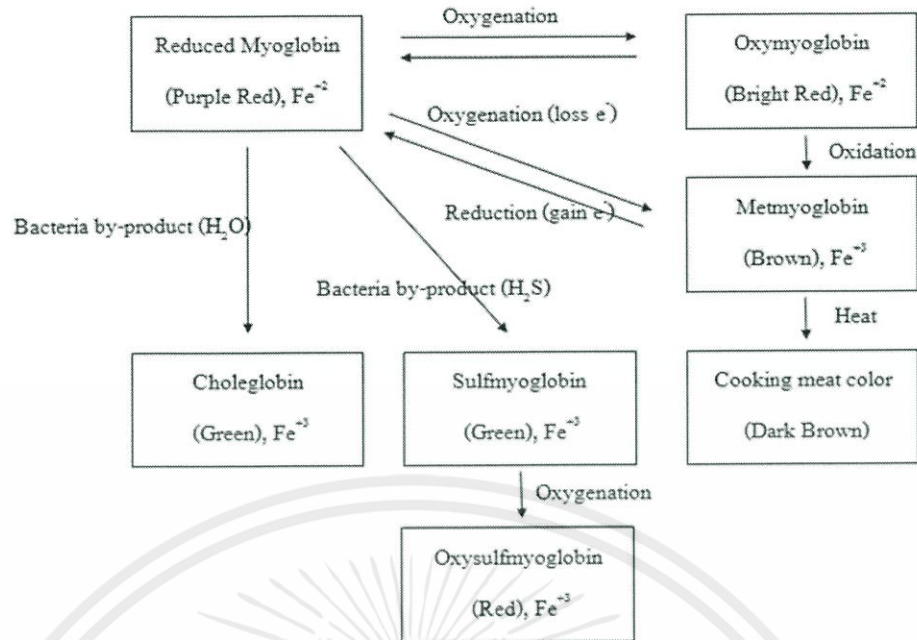
วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมาจะมีความยาวคลื่นต่างกันโดยที่

สีน้ำเงิน 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) ได้พัฒนาระบบของการวัดสีในรูปแบบของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ หรือความคิดของมนุษย์ ในการวัดสีดังเช่นระบบ Munsell การวัดสีระบบนี้มีข้อดีคือ เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล เป็นระบบที่วัดสีออกมาเป็นตัวเลข เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณ และทำนายสูตรสีผสมได้ด้วย ดังนั้นการมองเห็นสีของวัตถุ ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และสายตามนุษย์ (ภักดิ์ ทองทิพย์พร, 2550)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของไมโอโกลบิน
(ที่มา: Foodwikipedia, 2555)

ในการวัดสีของวัตถุจากเครื่องวัดสีต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ที่เมื่อให้แสงออกมาแล้วสามารถที่จะวัดการกระจายพลังงานที่แต่ละความยาวคลื่นได้ด้วยเครื่อง Spectrophotometer มีอยู่หลายระบบด้วยกัน คือ ระบบมันเชลล์ ระบบ CIE Tristimulus Value ระบบ CIE Chromaticity coordinate และระบบ CIE L*a*b* โดยกำหนดให้

L หมายถึง ค่าความสว่างเป็นค่าแสดงสัดส่วนระหว่างค่าการสะท้อนแสงและการดูดกลืนแสง มีค่า 0-100

0 หมายถึง สีมืดที่สุด

100 หมายถึง สว่างที่สุด

a* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว

+a หมายถึง แสดงความเป็นสีแดง

-a หมายถึง แสดงความเป็นสีเขียว

b* หมายถึง ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน

+b หมายถึง แสดงความเป็นสีเหลือง

-b หมายถึง แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

2.7.3 ไขมัน (Fat)

ไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ คือ ไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เป็นเส้นเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ภายในกล้ามเนื้อ ไขมันที่แทรกอยู่ในมัดกล้ามเนื้อนี้ทำให้เนื้อมีความนุ่มขึ้น ช่วยให้อ่อนนุ่ม ในขณะที่เคี้ยวและกลืนเนื้อ และช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำลายจึงทำให้เกิด

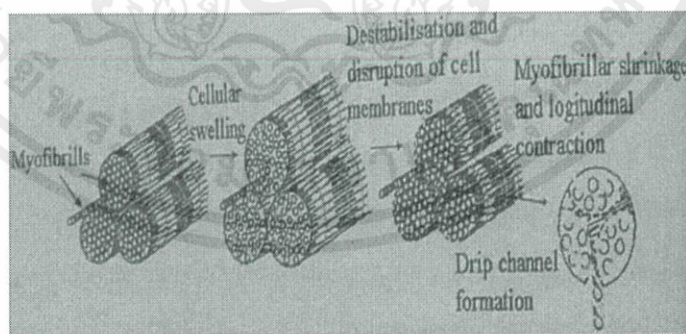
ความรู้สึกชุ่มน้ำอยู่ในปาก เนื้อที่มีไขมัน แทรกอยู่ภายในมัดกล้ามเนื้อ ทำให้รู้สึกชุ่มน้ำได้ดี โดยในเนื้อหมูจะมีไขมันประมาณ 2-3 %

1) อายุของซาก (Carcass maturity) อายุของซากสัตว์เกี่ยวข้องกับความนุ่มและความเหนียว และสี ของเนื้อสัตว์ เส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibril) สัตว์ที่มีอายุน้อยเมื่อตัดตามขวางกล้ามเนื้อจะมีลักษณะเรียบละเอียดและมองเห็นเส้นใยกล้ามเนื้อไม่ชัด เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นมัดกล้ามเนื้อจะมีขนาดใหญ่ขึ้นลักษณะเนื้อหยาบ เห็นเป็นเส้นใยชัดเจน และสัตว์อายุมากจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากขึ้น ทำให้เหนียวกว่าเนื้อสัตว์ที่อายุอยู่ในวัยหนุ่มสาว กระดูกของสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีส่วนของกระดูกอ่อนมาก แต่หากสัตว์อายุมากขึ้นกระดูกอ่อนจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นกระดูกแข็งแทน ส่วนสีของเนื้อสัตว์เมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีสีแดงเข้มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณเมคซีโมโกลบิน ในกล้ามเนื้อมากขึ้น

2) การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในอาหาร การถ่ายเทความร้อนในเนื้อที่มีปริมาณไขมันสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ได้ขึ้นกับค่าการนำความร้อนเพียงอย่างเดียวแต่ยังมีการเคลื่อนที่ของไขมัน และความชื้นทำให้เกิดการนำความร้อนภายใน โดยปริมาณไขมันในเนื้อยิ่งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นในการทำให้อเนก (Sheridan et al., 2002)

2.7.4 เนื้อสัมผัส (Texture)

เนื้อสัมผัส มีความสำคัญต่อการยอมรับในคุณภาพอาหารของผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่ได้รับความรู้สึกทางปากหรือจากการกิน เริ่มจากกัดอาหาร (Bite) ครั้งแรกความรู้สึกเมื่อเคี้ยว อาหาร (Chewing) และความรู้สึกเมื่อบดอาหารในปาก (Mastication) การรับความรู้สึกในเนื้อสัมผัสอาหารนี้เป็นการรับรู้ความรู้สึกทางกายภาพ โดยปกติกล้ามเนื้อจะมีกลไกการอุ้มน้ำดังรูปที่ 2.3 เมื่อแปรรูปเนื้อสัตว์โดยการย่างจะส่งผลให้คอลลาเจนเกิดการหดตัวหรือเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของกล้ามเนื้อ โดยอุณหภูมิในการหดตัวหรืออุณหภูมิในการสูญเสียสภาพธรรมชาติของคอลลาเจนจะมีความแตกต่างกันเมื่อคอลลาเจนได้รับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการสูญเสียธรรมชาติ คอลลาเจนจะโดนทำลายและกลายเป็นเจลาตินเมื่อเจลาตินเย็นตัวลงจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำและให้ความยืดหยุ่น (มนัส, 2554)



รูปที่ 2.3 กลไกการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ
(ที่มา: Bertram et al., 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เนื้อสัมผัส สามารถวัดได้ในรูป แรง ระยะทาง หรือเวลา โดยทั่วไปใช้คำว่าลักษณะเนื้อสัมผัส
กับของแข็ง หรือของกึ่งแข็ง (Semi-solid) และใช้คำว่าความหนืด (Viscosity) กับของเหลว ได้แก่

- แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก (Hardness)
- พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness)
- งานที่จำเป็นในการดึงหัววัดออกจากตัวอย่าง (Adhesiveness)
- ความฉ่ำ (Juiciness)
- ความเนียน (Mealiness)
- ความหยาบ (Grittiness)
- ความเหนียว (Toughness)
- ความเป็นเส้นใย (Fibrousness)

วิธีการทดสอบเนื้อสัมผัสของอาหาร เช่น

1) การทดสอบเนื้อสัมผัสแบบกด (Compression test) เป็นวิธีที่ใช้การที่ใช้หัววัดที่ใส่แรงกดของอาหารด้วยแรงกด (Compression force) การอัดหรือการบีบทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) มีความสูงหรือความยาวหดสั้น เข้าตามทิศทางของแรงกระทำ การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยการกด นิยมใช้ทดสอบกับอาหารได้หลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เนยแข็ง เนื้อสัตว์ ไส้กรอก โดยใช้หัววัดทรงกระบอก หรือหัววัดที่มีลักษณะเป็นจานแบนกดลงบนตัวอย่างผลิตภัณฑ์ หัววัดที่ใช้ในการทดสอบควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ วางขึ้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางของหัววัด จะใช้หลักการเพิ่มแรง (Force, N) หรือ ความเค้นกดอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation, mm) ผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดสอบ หากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวจะเกิดรอยร้าวและโป่งพองออกทางด้านข้าง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีความอ่อนนุ่มจะถูกอัดแบนโดยไม่แตกหัก แต่หากผลิตภัณฑ์มีความเปราะจะเกิดการแตกหัก

2) การทดสอบแบบกดทะลุ (Penetration test) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ทดสอบเนื้อสัมผัส โดยการใช้หัววัดขนาดเล็กกว่าชิ้นตัวอย่างกดลงบนเนื้อตัวอย่างจนทะลุหรือแตก ใช้สำหรับวัดค่าความแข็ง (Hardness) ความแน่นเนื้อ (Firmness)

3) การทดสอบแบบการตัด (Cutting test หรือ Shearing test) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้หัววัดแบบใบมีดเดี่ยวหรือใบมีดชุดตัดผ่านตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่กำหนด แรงสูงสุดและพื้นที่ใต้กราฟของแรงและระยะทางจะแสดงค่าความแข็ง (Hardness) ความนุ่ม (Tenderness) และความเหนียว (Toughness) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

4) การทดสอบแบบพิเศษ (Texture Profile Analysis : TPA) เป็นการทดสอบโดยการใช้หัวทดสอบแบบแผ่นแบนซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เป็นการให้แรงลงบนตัวอย่างอาหาร ขนาดมาตรฐาน 2 ครั้งซึ่งเป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร การทดสอบด้วยวิธี Texture profile analysis ประยุกต์ใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารได้หลายชนิด อาหารอยู่ในสภาวะที่พร้อมรับประทาน ได้แก่ เนื้อสัตว์ (Meat) และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เช่น แฮม ไส้กรอก เนยแข็ง ผัก ผลไม้ เต้าหู้ และเยลลี่ เพราะคุณภาพที่ได้สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมนุษย์

2.7.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

ลักษณะทางกายภาพของอาหารที่ปรากฏให้เห็นด้วยตาและอาจรับรู้โดยประสาทสัมผัสอื่นรวมได้ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ การตรวจวิเคราะห์ คุณภาพของอาหาร โดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ของผู้ชิมได้แก่ การมอง การฟัง การดม การชิม และการสัมผัส ใช้จำนวนผู้ชิมที่

มากพอ ประมวลผลด้วยวิธีทางสถิติ และแปลผลอย่างมีหลักเกณฑ์ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2549) การทดสอบคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการดำเนินการทดสอบออกได้เป็น 2 ประเภทคือ 1) การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัส (Analytical method) และ 2) การทดสอบความชอบ (Affective method) สำหรับการทดสอบทางประสาทสามารถแยกการทดสอบในการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวัตถุประสงค์ของการนำมาใช้เป็น 3 วิธี คือ

1) การทดสอบเพื่อความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ (Discrimination หรือ Difference test)

การทดสอบความแตกต่างเป็นการทดสอบที่ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยรูปแบบของการทดสอบหาความแตกต่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างโดยรวมทั้งหมด (Overall difference tests) และ การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างลักษณะเฉพาะทางประสาทสัมผัส (Attribute difference tests)

2) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive analysis)

การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาหรือการทดสอบเชิงพรรณนา เป็นการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่นักวิจัยทางด้านนี้จะสนใจในเรื่องการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มากกว่าแค่มีอะไรแตกต่างกัน ดังนั้น วิธีการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาจะสามารถช่วยในการแยกแยะลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ และยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสว่ามีอยู่มากน้อยเพียงไรในตัวอย่างที่นำมาประเมิน การทดสอบแบบเชิงพรรณนาคือเป็นการทดสอบเชิงวิเคราะห์จึงนำมาใช้ในงานที่ต้องการศึกษาหาส่วนผสม หรือตัวแปรของกรรมวิธีการผลิต เช่น อุณหภูมิ เวลาว่ามีผลอย่างไรกับคุณลักษณะเฉพาะเจาะจงสำหรับผลิตภัณฑ์ ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมและกรรมวิธีการผลิตในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกรรมวิธีการผลิต การตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางประสาทสัมผัสต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับการวัดค่าทางกายภาพหรือเคมี

3) การทดสอบเพื่อหาความชอบหรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Preference/Acceptance test)

เป็นวิธีที่ใช้เพื่อทดสอบความรู้สึกของผู้ทดสอบในแง่ความชอบ คือ กลุ่มคนทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Untrained panel) หรือผู้บริโภคทั่วไป การทดสอบแบบนี้เหมาะสำหรับศึกษาหาความชอบ หรือการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ (Consumer test) การสำรวจความต้องการของผู้บริโภค (Consumer Survey) ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้จะช่วยทำให้บริษัทนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค การศึกษาความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์จะประสบความสำเร็จในการวางจำหน่ายสำหรับวิธีการทดสอบหาความชอบหรือการยอมรับสามารถใช้วิธีการเชิงคุณภาพ (Qualitative test) เช่นการอภิปรายกลุ่ม (Focusgroup discussion) และ/หรือใช้วิธีการทดสอบหาความชอบและการยอมรับในเชิงปริมาณ (Quantitative tests) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ 1) การทดสอบความชอบ (Paired preference test) ได้แก่การเปรียบเทียบตัวอย่างคู่ เพื่อหาความชอบ (Paired preference test) การเรียงลำดับความชอบ (Ranking for preference) เป็นต้น และ 2) การทดสอบการยอมรับ (Acceptance tests) อย่างไรก็ตามถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ตรวจเอกสาร

ในกระบวนการแปรรูปอาหารโดยความร้อนนั้น จำเป็นต้องมีเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถให้พลังงานออกมาเมื่อเกิดกระบวนการเผาไหม้และให้ความร้อนแก่อาหารโดยกรรมวิธีการต่างๆ เช่น การย่าง การปิ้ง การทอด การลวก เป็นต้น โดยการให้ความร้อนมีทั้งผ่านตัวกลางและไม่ผ่านตัวกลาง การย่าง คือกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารรูปแบบหนึ่งโดยอาศัยกระบวนการของการถ่ายเทความร้อนเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุก ผู้บริโภคความสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย ซึ่งแหล่งการให้ความร้อนที่ให้กับผลิตภัณฑ์นั้นแตกต่างกันไป

3.1 กระบวนการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมี ที่ซึ่งวัตถุที่เผาไหม้ได้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนพร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะที่เดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ooi et al. (2011) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับถ่านไม้พบว่า ถ่านไม้ให้ความร้อนได้สูงสุดที่อุณหภูมิ $1,100^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการย่างจะใช้เตาอย่างซึ่งจะใช้แรงงานเป็นจำนวนมากและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ งานวิจัยนี้จะช่วยในการวิเคราะห์ปริมาณลมที่ใส่เข้าไปเพื่อให้อุณหภูมิถ่านมีความเหมาะสมต่อการย่าง

Sundararajan et al. (1999) ได้ทำการทดลองย่างเนื้อแฮมเบอร์เกอร์ด้วยถ่านไม้โดยหั่นเนื้อให้มีขนาด $15 \times 100 \text{ mm}^2$ น้ำหนักประมาณ 80 g โดยควบคุมอุณหภูมิใจกลางเนื้ออยู่ที่ 72°C และ 82°C โดยใช้ปริมาณถ่านในการย่าง 2.27 kg 3.41 kg และ 4.54 kg ในระหว่างกระบวนการย่างมีการพลิกชิ้นเนื้อโดยประมาณเวลาที่ใช้ในกระบวนการย่างเท่ากับครึ่งหนึ่งของเวลาการย่างทั้งหมดจากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณถ่านมากขึ้นจะส่งผลต่อกระบวนการย่างมากขึ้นแต่เวลาที่ทำให้อุณหภูมิของใจกลางชิ้นเนื้อถึงจุดที่กำหนดใช้เวลา น้อยลงและปริมาณน้ำหนักระหว่างการสูญเสียมีการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านที่ใช้ในการย่าง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมอุณหภูมิใจกลางที่ 72°C และ 82°C พบว่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักระหว่างการสูญเสียที่อุณหภูมิใจกลางที่ 72°C มีค่าน้อยกว่า 82°C

Feyissa et al. (2010) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการอบซึ่งเป็นการแปรรูปอาหารอีกวิธีหนึ่งโดยมีกลไกในการถ่ายเทความร้อนคล้ายคลึงกับกระบวนการย่าง ในกระบวนการอบผลิตภัณฑ์จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในช่วง 140°C ถึง 300°C โดยในระหว่างกระบวนการอบมีการถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี เช่น การระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เป็นต้น เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในกระบวนการย่างให้มีความเหมาะสมในการบริโภค

3.2 กระบวนการย่าง

กระบวนการย่าง คือการแปรรูปอาหารโดยอาศัยกระบวนการถ่ายเทความร้อนเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุก โดยการวางผลิตภัณฑ์เหนือแหล่งให้ความร้อน ซึ่งอาจเป็นเตาถ่าน เตาไฟฟ้า หรือเตาอินฟราเรด และผลิตภัณฑ์อาจห่อด้วยใบไม้หรือ ฟลอยส์อลูมิเนียม สำหรับใบไม้ที่นิยมใช้นั้นก็มี ใบตอง และใบเตย ซึ่งอาหารที่ห่อและนำไปย่างนั้นจะมีกลิ่นหอม ชวนน่ารับประทาน การย่างที่ถูกต่อนั้น จะต้องมีการกระจายความร้อนให้ทั่วผิวอาหารเพื่อไม่ให้อาหารไหม้ จึงมีการพลิกกลับหน้าของอาหาร ซึ่งอุณหภูมิใจกลางของเนื้อหมูกำหนดที่อุณหภูมิ 72°C (Braeckman et al., 2009) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เนื้อที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนส่วนของกล้ามเนื้อที่ประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายใน (Sandro et al., 2011) หรือการทำลายเส้นใยกล้ามเนื้อนั่นเอง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร ความแข็งหรือความนุ่มของเนื้อขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการให้ความร้อน Braeckman et al. (2009) ได้ทำการทดลองย่างเนื้อแฮมเบอร์เกอร์ด้วยรังสีอินฟราเรด ช่วงเวลา 30-150 วินาทีและการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 100-175°C จนอุณหภูมิตรงกลางเนื้อเท่ากับ 72°C วัดพื้นผิวของชิ้นเนื้อ หลังจากชิ้นเนื้อเย็นลงเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงจนอยู่ที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นมาทำการทดสอบแต่ละตัวอย่างโดยวิธีการ a TA500 Texture Analyzer (Lloyd Instruments, Hants – UK): a puncture and compression test โดยใช้แรงกด 500 N

Chiavaro et al. (2006) ได้ทดสอบการเจาะ โดยนำมาใช้ในการวัด The crust hardness โดยการทดสอบนี้ใช้หัวสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 cm ทดสอบชิ้นเนื้อและค่าพารามิเตอร์ การทดสอบได้กำหนด มีความเร็วในการเจาะ 10 mm/min ระยะกด 10 mm และแรงกด 0.2 N นำค่าที่ได้เขียนความสัมพันธ์ระหว่าง แรง (Force, N) กับเวลา หรือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation)

สำหรับการทดสอบการบีบอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนกลางทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 2 cm นำมาตัดชิ้นเนื้อสัตว์ เพื่อนำไปวิเคราะห์รายละเอียดพื้นผิว (TPA) คือประยุกต์ซึ่งรวมถึง the double bite test method โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm พารามิเตอร์การทดสอบได้กำหนดให้: Speed 40 mm/min, Trigger 0.2 N และ Compression 70%

Vittadini et al. (2005) ทดลองย่างเนื้อด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ การพาความร้อนแบบบังคับ และการใช้ลมร้อนร่วมกับไอน้ำในการให้ความร้อนแก่เนื้อ การวัดพื้นผิวของตัวอย่างดิบและสุก (หลังจากระบายความร้อน 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง) วิเคราะห์แรงเคี้ยวด้วย Warner-Bratzler โดยใช้ TA.XT2 Texture Analyzer (Stable micro Systems, Goldalming, UK) ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างถูกวางไว้ด้านล่างของใบมีด Warner-Bratzler (หนา 3 mm) ตัดตั้งฉากเส้นใยกล้ามเนื้อ (กว้าง 4 mm) ที่ความเร็วคงที่จาก 5 mm/sec แรงสูงสุด (N) ต้องเขียนตัวอย่างที่ถูกนำมาเป็นตัวชี้วัดความแข็ง (tenderness) Vittadini et al. 2005 พบว่า การย่างโดยใช้ลมร้อนนั้นเนื้อจะแข็งกว่าการย่างโดยใช้ลมร้อนร่วมกับไอน้ำและการย่างโดยใช้ลมพาความร้อนแบบธรรมชาติ ซึ่งการใช้ลมร้อนร่วมกับไอน้ำนั้นจะได้เนื้อที่มีความแข็งน้อยที่สุด

Ayadi et al. (2009) ทำการทดลองต้มซาลามี ซึ่งซาลามีเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสัตว์ที่หมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำเนื้อไก่วงหมักด้วยจุลินทรีย์ต่าง ๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 1) ซาลา

มีมาตรฐาน 2) ซาลามีผสมน้ำมันมะกอก 3) ซาลามีผสมซอสพริกไทย และ 4) แฮมตุรกี โดยแต่ละตัวอย่างนำมาบดและอัดเป็นไส้กรอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 mm และยาว 200 mm ทั้งหมดถูกเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำมาทดลอง ในการทดสอบเนื้อสัมผัส นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้มโดยควบคุมอุณหภูมิน้ำให้คงที่ที่ 90°C และหยุดเมื่ออุณหภูมิใจกลางของตัวอย่างถึง 74°C ทำการทดสอบเนื้อสัมผัสแบบ TPA โดยนำตัวอย่างมาตัดให้มีขนาด กว้าง 2 cm ยาว 2 cm และหนา 2 cm ใช้ cylindrical probe ขนาด 1 cm² ด้วยเครื่อง Texturometer (LLOYD instruments, England) การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดในซาลามีที่ตัวอย่างต่างๆ พบว่าเวลาในการปรุงอาหารเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซาลามีชนิดต่างๆ เนื่องจาก ปริมาณโปรตีนในเนื้อไก่ ส่วนผสมที่ใช้ในการหมัก ความแตกต่างในอัตราส่วนไขมัน

การวิเคราะห์สีของอาหาร Braeckman and Ronsse. (2009) หลังจากทำการย่าง หาค่าสีโดยใช้ CIE L* a* b* ในการวัดค่าสี (L*-lightness, a*-red/green, b*-yellow/blue) ซึ่งผลที่ได้จากการย่างที่ช่วงเวลาเพิ่มขึ้นของอินฟราเรดช่วงเพียงอย่างเดียว ค่าความสว่างมีค่าลดลงจาก 50.3±1.0% เป็น 34.1±5.1% และอีกด้านของตัวอย่าง ที่ช่วงเวลา 20 - 90 วินาที ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ 37.2±4.7% - 41.7±3.8% และสีของเนื้อที่ย่างโดยอุณหภูมิอากาศร้อนเพิ่มขึ้นจาก 100°C จนกระทั่งถึง 175°C ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 35.0±1.3% เป็น 37.8±0.3%

Goni et al. (1900) ได้ทำการทดลองย่างเนื้อส่วนขาหลัง โดยใช้ Thermostation water bath ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 - 100°C ช่วงเวลา 2.5-30 นาที หลังจากนั้นทำการวัดสีขึ้นเนื้อขนาด 4 x 4 cm² และหนา 4 mm ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา, อุณหภูมิ และค่าสีแดง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างเวลาและอุณหภูมิ คือเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย และที่อุณหภูมิเดียวกันนั้นผิวด้านนอกจะใช้เวลาน้อยกว่าผิวด้านใน เพื่อให้ค่าสีแดง (a*) ของชิ้นเนื้อมีค่าเท่ากันตลอดทั้งชิ้น

Jeong et al. (2007) ได้ศึกษาทำการทดลองย่างหมูบดโดยกำหนดปริมาณไขมัน 10%, 20%, ปริมาณไขมัน 10% ผสมเกลือ 1.5% ของน้ำหนักตัวอย่าง และปริมาณไขมัน 20% ผสมเกลือ 1.5% ของน้ำหนักตัวอย่าง พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อมีผลมาจากปริมาณไขมัน 20% และเกลือ 1.5% และปริมาณไขมัน 10% ค่าความสว่างของเนื้อไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และ Dreeling et al. (2002) กล่าวไว้ว่าการที่เนื้อที่มีปริมาณไขมันมากส่งผลให้เนื้อมีค่าความสว่างและค่าสีเหลืองของเนื้อเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ความชื้นของอาหาร ในกระบวนการย่างเนื้อ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความชื้นเพิ่มขึ้น (Braeckman et al., 2009) จะเกิดการสูญเสียน้ำโดยการระเหย ซึ่งการระเหยของน้ำจะไม่ส่งผลให้เนื้อเกิดการแห้งและไขมันในเนื้อจะระเหยในปริมาณที่น้อยมาก (Sheridan, 2002) และเมื่อความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาในการไล่ความชื้นลดลง

Shilton et al. (2002) ได้ศึกษาสมการของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียมวลที่เกิดในกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดพบว่าเนื้อที่มีปริมาณของไขมันในเนื้อมากทำให้น้ำเกิดการสูญเสียความชื้นน้อยกว่าเนื้อที่มีไขมันน้อย และวิเคราะห์ปริมาณไขมันในเนื้อ ไขมันในเนื้อมากส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำให้เนื้อสุก และการย่างเกิดการสูญเสียน้ำโดยการระเหย ซึ่งการระเหยของน้ำจะไม่ส่งผลให้เนื้อเกิดการแห้งและไขมันในเนื้อจะระเหยในปริมาณที่น้อยมาค่าการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นเนื้อในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนโดย IR การหาค่าน้ำหนักที่สูญเสียจะใช้วิธีการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 20 วินาที หาปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันเริ่มต้นด้วยวิธี AOAC หาค่าความชื้นเริ่มต้นด้วยการอบที่อุณหภูมิ 100°C ตลอดทั้งคืน โดยเนื้อแต่ละชิ้นจะมีปริมาณ

ไขมันตั้งแต่ 0-30% fat พบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่ชิ้นเนื้อที่เวลาเท่ากันการสูญเสียความชื้นจะแปรผกผันกับปริมาณไขมัน คือ ชิ้นเนื้อที่มีปริมาณไขมันมากการสูญเสียความชื้นก็จะน้อย



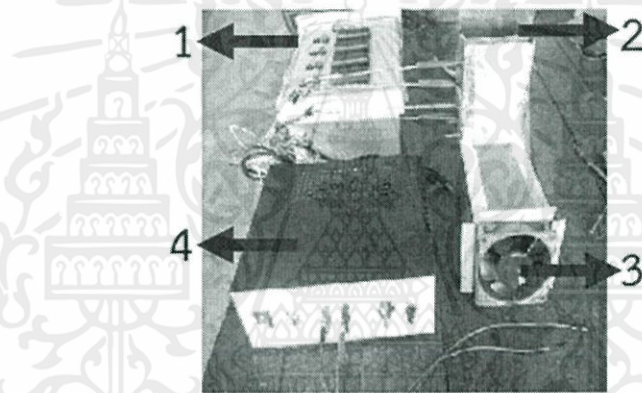
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 วิธีการทดลอง

4.1 การออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้

4.1.1 ออกแบบชุดอุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ในการจำลองสภาวะกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ของถ่านไม้และวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ชุดทดลองมีพื้นที่หน้าตัด $12 \times 12 \text{ cm}^2$ สูง 16 cm และยาว 20 cm ดังรูปที่ 4.1

ชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้ประกอบด้วย ตู้แสดงผลอุณหภูมิพร้อมสายเทอร์โมคัปเปิล (1) ห้องเผาไหม้ (2) พัดลมขนาด 24 โวลต์ D.C. (3) และอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบพัดลม (4)



รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้

4.1.2 ศึกษาและทดลองหาความเร็วรอบ กำลังของพัดลมที่ใช้ และหาอัตราการไหลของลมในเครื่องต้นแบบที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

โดยการวัดอัตราการไหลของอากาศในเครื่องต้นแบบ ใช้การวัดโดยเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหล ที่จุดกึ่งกลางของปากปล่อง
คำนวณหา กำลังของพัดลมที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จากสมการ

$$P = IV$$

(10)

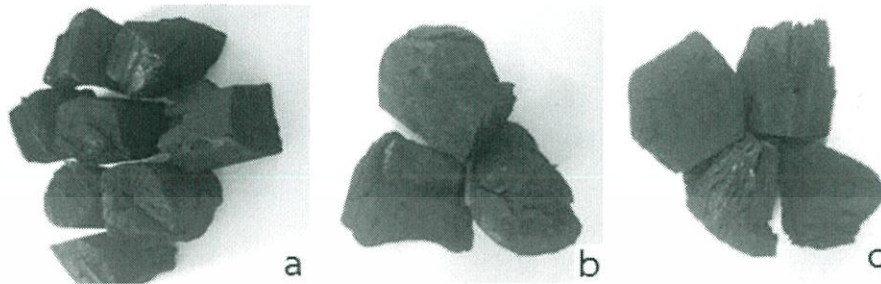
เมื่อ P คือ กำลังของพัดลม (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สือคือ กระแสไฟฟ้าของพัดลมที่ความเร็วรอบต่างๆ (A) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่ต้องการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
การศึกษาหากำลังพัดลมเพื่อใช้ในการกำหนดปริมาณลมที่ป้อนให้กับระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่าน

4.1.3 การกำหนดขนาดของถ่านไม้

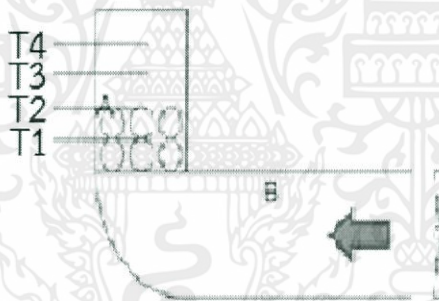
การทดสอบการเผาไหม้ โดยชุดทดลองที่ใช้ปริมาณถ่าน 100 กรัม กำหนดถ่าน 3 ขนาด คือ 2.54, 3.81 และ 5.08 cm ที่สภาวะเปิด แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขนาดถ่านไม้ a) ถ่านขนาด 2.54 cm b) ถ่านขนาด 3.81 cm c) ถ่านขนาด 5.08 cm

4.1.4 การวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่าน

วัดอุณหภูมิที่ระดับกึ่งกลางของถ่าน (T1) บริเวณผิวถ่าน (T2) บริเวณห่างจากถ่าน 3.5 cm (T3) และ บริเวณห่างจากถ่าน 7 cm (T4) จุด A แสดงระยะการวางถ่านไม้ในชุดทดสอบจำนวน 100 กรัม และจุด B แสดงทิศทางการไหลของปริมาณอากาศที่ป้อนให้กับระบบ แสดงการติดตั้ง เครื่องมือวัดอุณหภูมิตามรูปที่ 4.3 โดยมีการป้อนอัตราปริมาณอากาศ 3 ระดับ ที่ทุกๆ ขนาดของถ่าน



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ

4.2 การศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้

ศึกษาการเผาไหม้ที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลอุณหภูมิการเผาไหม้มาวิเคราะห์ที่ขนาดถ่านและปริมาณอากาศใดที่เหมาะสมและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอย่างได้จริงและสามารถเปรียบเทียบคุณภาพของหมุย่าง ณ สภาวะใดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการเผาไหม้เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการอย่างได้แก่ ขนาดเชื้อเพลิง และปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 สภาวะ คือ

4.2.1 การทดลองเผาถ่านทุกๆ ขนาดโดยไม่ป้อนปริมาณอากาศ

4.2.2 การทดลองเผาถ่านโดยกำหนดอัตราการป้อนปริมาณอากาศเข้าสู่ชุดทดลองเผาไหม้ 3 ค่า คือ 0.5184, 0.6912 และ 0.8640 m³/min ตลอดเวลา ทุก ๆ ขนาดของถ่านที่กำหนด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

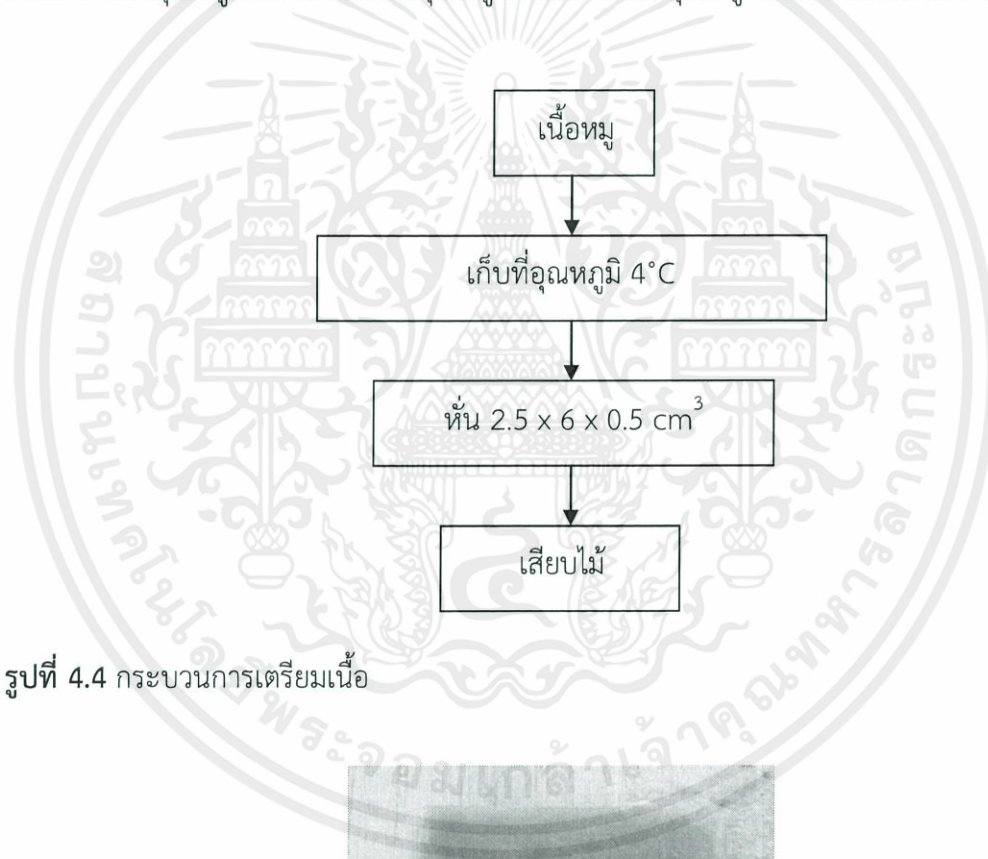
4.3 การศึกษาอิทธิพลของช่วงเวลาในการเปิด-ปิดพัดลมต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้

จากการทดลองข้อที่ 4.2 เลือกขนาดของถ่านไม้ และปริมาณอากาศที่ให้ค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุด โดยแบ่งการทดลองการเผาไหม้ออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่

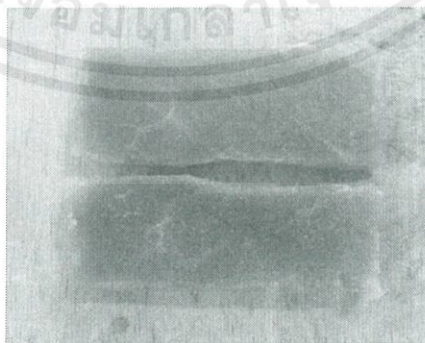
- 1) เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาทีแรกของการเผาไหม้
- 2) เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 5 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้
- 3) เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 10 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้
- 4) เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 15 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้

4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

4.4.1 เนื้อหมูสันในซี่จากตลาดสด นำใส่กล่องปิดฝาให้สนิทเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ในตู้เย็น ก่อนเริ่มการทดลองหั่นเนื้อหมูชิ้นขนาด กว้าง 2.5 cm ยาว 6 cm และหนา 0.5 cm เสียบไม้ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ชิ้นเนื้อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับอุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.4 กระบวนการเตรียมเนื้อ



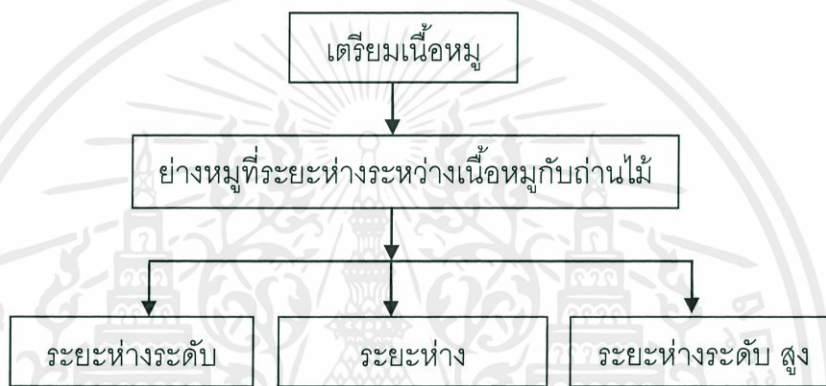
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 เนื้อหมูชิ้นขนาด กว้าง 2.5 cm ยาว 6 cm และหนา 0.5 cm

4.4.2 การย่างเนื้อหมู

จากข้อ 4.3 เลือกช่วงเวลาเปิด-ปิด พัดลมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการย่าง ตัวอย่างถูกย่างที่ระดับความสูงจากผิวถาด 3.5, 7.0 และ 10.5 cm บันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างตลอดระยะเวลาของการย่างจนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ประมาณ 72°C การทดลองนี้เป็นการย่างเนื้อหมูจากการใช้เชื้อเพลิงถาดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนโดยเครื่องที่ออกแบบวางชั้นเนื้อไว้บนปากปล่อง ในการทดลองไม่มีการกลับด้านชิ้นผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการย่าง

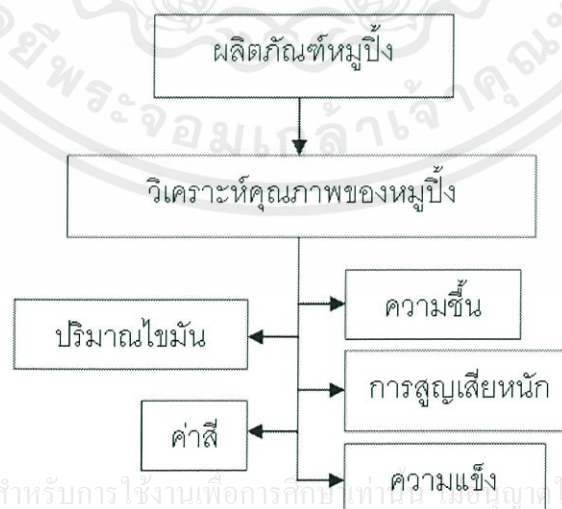
กำหนดการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์หมู 3 ระดับ โดยปรับระดับการย่าง ได้แก่ ระดับความสูง 3.5 cm ระดับความสูง 7 cm ระดับความสูง 10.5 cm จากระดับผิวถาด พร้อมทั้งศึกษาคุณภาพของชิ้นเนื้อตลอดกระบวนการย่างที่ระดับการย่างทั้งสามระดับ



รูปที่ 4.6 รูปแบบกระบวนการย่างหมู

4.4.3 การทดสอบคุณภาพของหมูย่าง

เก็บตัวอย่างหมูย่างทุกๆ ช่วงเวลา ตลอดกระบวนการย่างทั้งสามระดับ เพื่อนำไปวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กระบวนการทดสอบคุณภาพของหมูย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ปริมาณความชื้น

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเนื้อหมูด้วยเครื่องชั่ง (Satorius A102S, Germany) ความละเอียด 4 ตำแหน่ง ประมาณ 3 - 4 g ใส่ในถ้วยพอยล์ บันทึกน้ำหนักเริ่มต้น นำตัวอย่างเข้าอบด้วยตู้อบลมร้อน MEMMERT รุ่น UFB 400 ที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างออกจากตู้อบไปใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักหลังอบ คำนวณหาปริมาณความชื้นดังสมการที่ 11

$$L_m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100\% \quad (11)$$

เมื่อ L_m คือ ปริมาณความชื้น (%)

m_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ก่อนอบ (g)

m_f คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ (g)

2) การสูญเสียน้ำหนัก

โดยการนำหมูย่างที่ได้จากการย่างในระยะเวลาต่าง ๆ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนการย่าง และหลังการย่างเพื่อใช้ในการหาปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง (Satorius A102S, Germany) คำนวณปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการที่ 12

$$\% \text{การสูญเสียน้ำหนัก} = (\text{น้ำหนักก่อนย่าง} - \text{น้ำหนักหลังย่าง}) \times 100 \quad (12)$$

3) สี

หั่นชิ้นตัวอย่าง (กว้าง 2.5 cm ยาว 2.5 cmหนา 0.5 cm) โดยตัวอย่างที่ทำการวัดสีเป็นตัวอย่างชิ้นเนื้อที่ผ่านการย่างที่ระดับความสูงจากเชื้อเพลิงการให้ความร้อน 3 ระดับ (ช่วงเวลา 0-50 วินาที 0-100 วินาที และ 0-160 วินาที ตามลำดับ) การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Colormeter รุ่น JC-801 ดังรูปที่ 4.8 ทำการวัดสีบริเวณผิวของชิ้นเนื้อแบบ Single-sided วัดสีตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมูย่างที่ย่างในระยะเวลาต่างๆ โดยนำตัวอย่างวางบนแผ่นใส ครอบกล่องดำ และอ่านค่า แสดงผลการวัดในระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) (Sandro et al., 2011) ทำการวัดตัวอย่างละ 6 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาก่อนและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

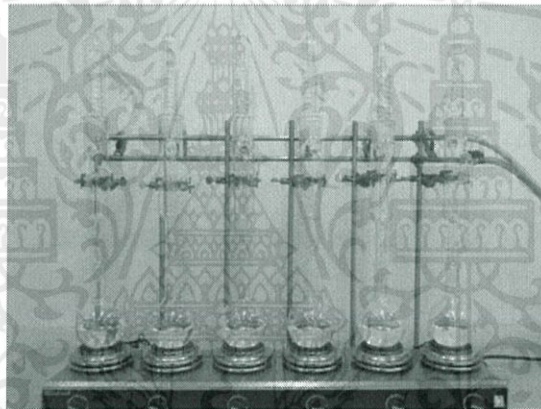
รูปที่ 4.8 เครื่องวัดสี

4) ปริมาณไขมัน

การวัดปริมาณไขมัน โดยการชั่งกรวยกระดาษทรงกระบอกด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง และชั่งหมูอย่างประมาณ 3 g ใส่ลงไปในกรวยกระดาษทรงกระบอกแล้วชั่งน้ำหนักทั้งสองพร้อมกันอีกครั้ง วางในทิมเบล (Thimble) โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ (จุดเดือด 40-60°C) (อนรรฆอร, 2555) เป็นตัวทำละลาย ใช้ในปริมาณ 250 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ให้ความร้อนที่ระดับต่ำนาน 3 ชั่วโมง ใช้ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet extraction apparatus) (Gerhardt รุ่น EV6All/16, บริษัทไซแอนติฟิก โพรโมชัน จำกัด) ดังรูปที่ 4.9 เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วนำตัวอย่างออกจากทิมเบล จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดได้ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก โดยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันจากสมการ 13

$$L_f = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}} \times 100\% \quad (13)$$

เมื่อ L_f คือ ปริมาณไขมันในชิ้นเนื้อ

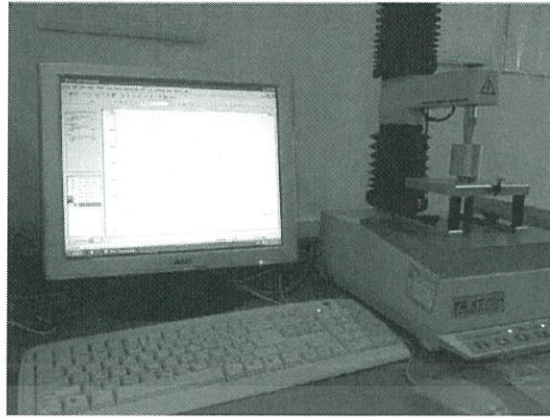


รูปที่ 4.9 เครื่องสกัดน้ำมัน

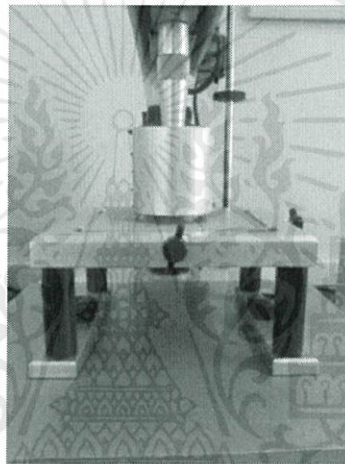
5) เนื้อสัมผัส

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูอย่างเป็นการวัดค่าแรงกดแตก (Compression force) ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ดังรูปที่ 4.10 ใช้หัววัดทรงกระบอกอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm เพื่อวัดแรงที่กดลงบนเนื้อหมูอย่าง ดังรูปที่ 4.11 ค่าแรงกดแตกจะสัมพันธ์กับค่าความแข็ง (Hardness) ของเนื้อหมูอย่าง ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดแตกกับเวลา ดังรูปที่ 4.12 และความแข็งของชิ้นเนื้อกำหนดให้ Test speed เท่ากับ 40 mm/min Strain เท่ากับ 70% เวลา เท่ากับ 5 sec Trigger Force เท่ากับ 5 g ใช้ตัวอย่างขนาด $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ ทำ 3 ซ้ำ (ดัดแปลงจาก Braeckman et al., 2009)

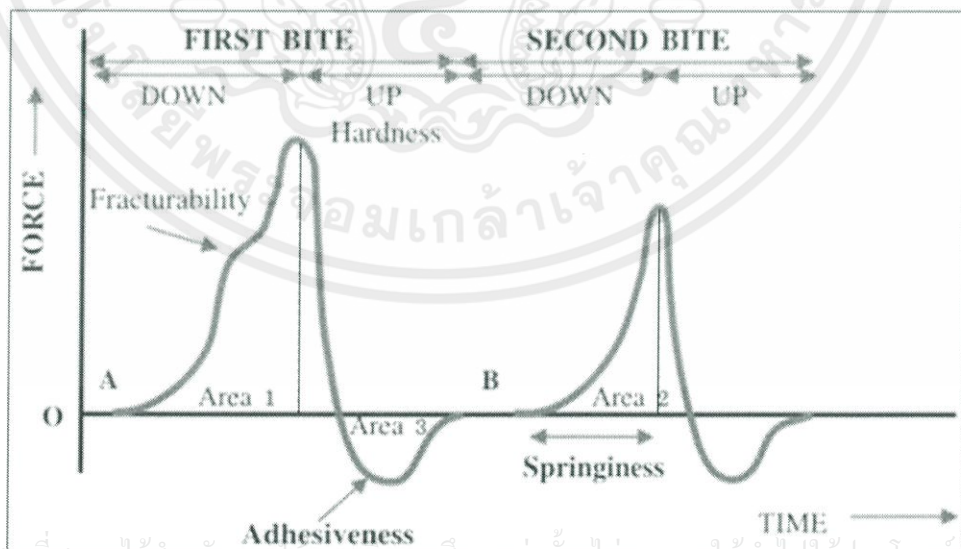
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส



รูปที่ 4.11 ลักษณะการวัดความแข็งด้วยหัวกดทรงกระบอกชนิด P/50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาติดต่อแจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงลักษณะของเนื้อสัมผัส

ที่มา: เข้าถึงได้จาก www.foodnetworksolution.com (วันที่ค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2556)

6) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการใช้สเกล 9-point Hedonic scaling ในการให้คะแนน ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 25 คน วิธีแบบ Hedonic scaling สำหรับการทดสอบประเภทการพรรณารูปร่างลักษณะในการประเมินทางประสาทสัมผัส ความแตกต่างหลักอยู่ที่ว่าผู้ประเมินที่ใช้ในการทดสอบแบบ Hedonic scaling เป็นผู้บริโภครวม ซึ่งเป็นวิธีที่จะคาดคะเนบนพื้นฐานความเชื่อที่ว่า การตอบสนองโดยตรงเป็นความรู้สึกที่มีเหตุมีผลมากกว่าสำหรับการคาดคะเนพฤติกรรมจริงในอาหารมากกว่าการตอบสนองที่ขึ้นอยู่กับเหตุผล (Gatchalian et al., 1981) ระดับการให้คะแนนแบ่งเป็น 1= ไม่ชอบมากที่สุด 2= ไม่ชอบมาก 3= ไม่ชอบปานกลาง 4= ไม่ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆ 6= ชอบเล็กน้อย 7= ชอบปานกลาง 8= ชอบมาก 9= ชอบมากที่สุด

8) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างปัจจัยด้วยวิธี Duncan (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS การทดลองทั้งหมดทำอย่างน้อย 3 ซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังพัฒนาของชุดอุปกรณ์

ทดลองควบคุมความเร็วรอบของชุดอุปกรณ์ศึกษาการเผาไหม้ด้วยการปรับกระแสไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัฒนา ความเร็วลม กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และกำลังไฟฟ้า แสดงอยู่ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังของพัฒนา

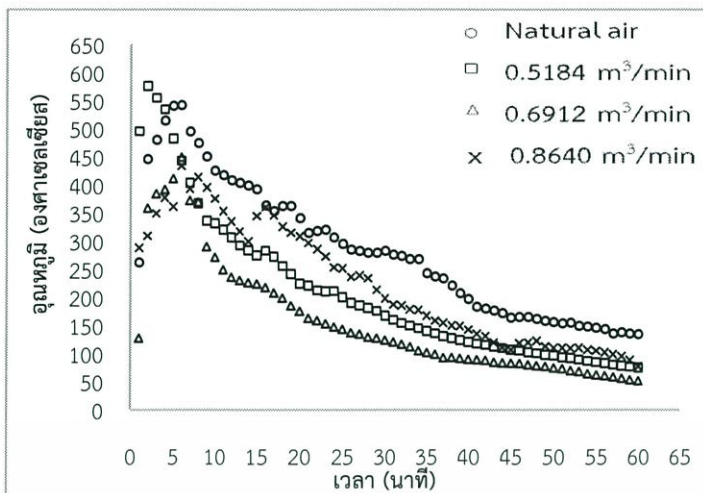
ความเร็วรอบพัฒนา (rpm)	ความเร็วลม (m/s)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (Volt)	กำลัง (W)	ปริมาณอากาศ (m^3/min)
509.5	0.522	0.075	24	1.800	0.451
565.6	0.622	0.080	24	1.920	0.537
712.6	0.784	0.104	24	2.496	0.677
815.7	0.912	0.106	24	2.544	0.788
900.1	0.980	0.125	24	3.000	0.847
1000.0	1.482	0.140	24	3.360	1.280

จากตารางที่ 5.1 พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าทำให้ความเร็วรอบพัฒนา ความเร็วลม และกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น โดยการกำหนดปริมาณอากาศเพื่อป้อนให้กับระบบการเผาไหม้ของถ่านไม้ ซึ่งปริมาณอากาศเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วลม

5.2 อิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้

ศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้โดยใช้ถ่าน 3 ขนาด คือ 2.54, 3.81 และ 5.08 cm ถ่านแต่ละขนาดมีน้ำหนักรวมประมาณ 100 g และควบคุมอัตราการป้อนปริมาณอากาศเข้าสู่ชุดทดลองเผาไหม้ดังนี้ Natural air, 0.5184, 0.6912, และ 0.8640 m^3/min วัดอุณหภูมิของการเผาไหม้ 4 ระดับ คือ 1) กึ่งกลางถ่าน 2) ห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm 3) ห่างจากผิวถ่าน 7 cm 4) ห่างจากผิวถ่าน 10.5 cm การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการเผาไหม้แสดงผลในรูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.5 ทุกกราฟมีลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ 1) Heating up และ 2) Falling ในช่วง Heating up มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (4-6 นาที) หลังจากนั้นในช่วง Falling มีอุณหภูมิลดลงตามระยะเวลาของการเผาไหม้ เนื่องจากเวลาในการเผาไหม้มีผลต่อปริมาณถ่านไม้ เมื่อเวลาการเผาไหม้ของถ่านไม้มากขึ้นปริมาณถ่านจะค่อย ๆ ลดลงทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชลพรรณและคณะ (2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

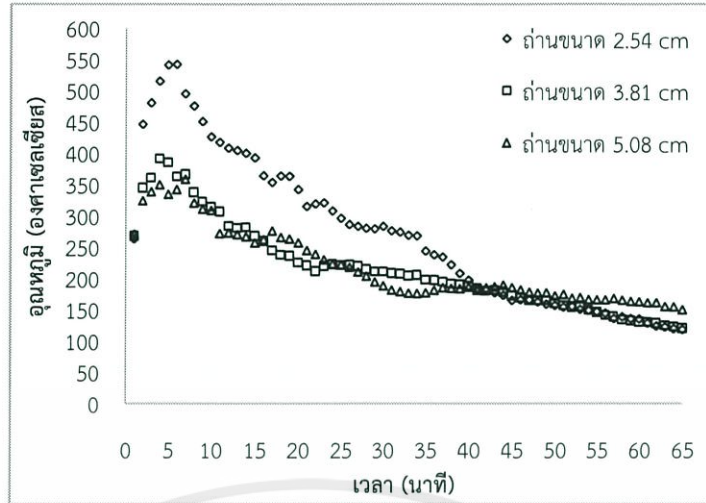


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของถ่านขนาด 2.54 cm

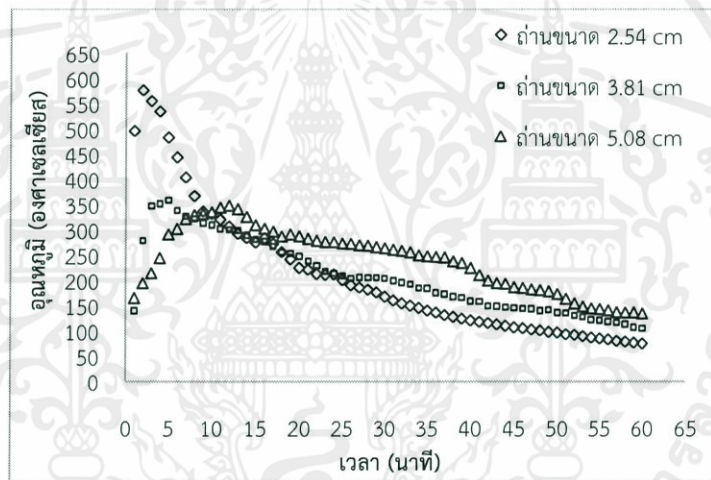
จากรูปที่ 5.1 พบว่าถ่านขนาด 2.54 cm มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง Heating up ที่ปริมาณอากาศ 0.5184 m³/min และอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง Falling แต่เมื่อปริมาณอากาศเป็นแบบ Natural air มีอุณหภูมิในช่วง Falling ลดลงอย่างช้า ๆ และมีค่าอุณหภูมิในช่วงนี้มากกว่าการป้อนปริมาณอากาศที่ 0.5184, 0.6912 และ 0.8640 m³/min เพราะการเพิ่มปริมาณอากาศทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อนจากอากาศภายนอกที่ป้อนเข้าตลอดเวลาที่ถ่านส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ต่ำ อากาศที่มากเกินไปสังเกตได้จากลักษณะเปลวไฟยาวมีรูปร่างไม่คงตัวของเปลวไฟมีสีแดงคล้ำปลายเปลวไฟมีเขม่าดำ (ทวีวัฒน์, 2556)

อิทธิพลของขนาดถ่านไม้ต่ออุณหภูมิการเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 5.2 ถึง 5.5 พบว่าในช่วง Heating up ถ่านขนาด 2.54 cm มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าถ่านขนาด 3.81 และ 5.08 cm แต่ในช่วง Falling ของถ่านขนาด 2.54 cm มีอุณหภูมิต่ำกว่าถ่านขนาดอื่น ๆ เนื่องจากการเผาไหม้ถ่านไม้เป็นการเผาไหม้แบบ Surface combustion (ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานด้านความร้อน, 2556) ในกรณีน้ำหนักถ่านเท่ากัน ถ่านขนาด 2.54 cm มีพื้นที่ผิวรวมทั้งหมดมากกว่าขนาดถ่านอื่น ๆ ทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นพร้อมกับเกิดการสูญเสียมวลของถ่านไม้อย่างรวดเร็วในช่วง Heating up เป็นผลให้ช่วง Falling มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากมวลของถ่านไม้มีปริมาณน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

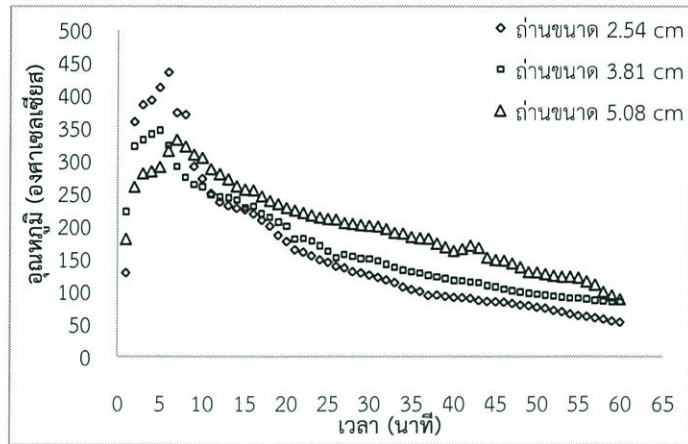


รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศแบบ Natural air

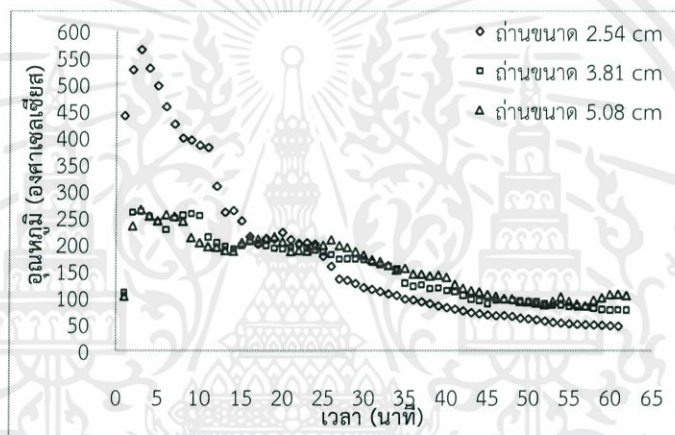


รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศ 0.5184 m³/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศ $0.6912 \text{ m}^3/\text{min}$



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิห่างจากผิวถ่าน 3.5 cm ของปริมาณอากาศ $0.8640 \text{ m}^3/\text{min}$

จากการศึกษาอิทธิพลของขนาดถ่านไม้และปริมาณอากาศต่ออุณหภูมิต่อการเผาไหม้แสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้ถ่านขนาด 2.54 cm ที่ปริมาณอากาศ $0.5184 \text{ m}^3/\text{min}$ มีอุณหภูมิช่วง Heating up สูงที่สุด แต่ช่วง Falling มีอุณหภูมิต่ำกว่าการเผาไหม้ที่ปริมาณอากาศแบบ Natural air

5.3 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านไม้

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านไม้ได้จากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนของถ่านไม้ ดังแสดงตามสมการที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด (14)

$$Q_{\text{เผาไหม้}} = Q_{\text{Convection}} + Q_{\text{Radiation}}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$Q_{\text{Convection}} = hA(T_s - T_{\text{surr}}) \quad (15)$$

และ
$$Q_{\text{Radiation}} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \quad (16)$$

เมื่อ	$Q_{\text{เผาไหม้}}$	= พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้	(W)
	$Q_{\text{Convection}}$	= พลังงานการพาความร้อนจากการเผาไหม้	(W)
	$Q_{\text{Radiation}}$	= พลังงานการแผ่รังสีความร้อนจากการเผาไหม้	(W)
	h	= สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	(W/m ² K)
	A	= พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	(m ²)
	T_s	= อุณหภูมิที่ผิวถ่าน	(°C)
	T_{surr}	= อุณหภูมิอากาศ	(°C)
	σ	= 5.67×10^{-8}	(W/m ² K ⁴)
	ϵ	= 0.95	

จากสมการที่ 16 สามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนในช่วง Heating up และช่วง Falling ได้แสดงดังตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในช่วง Heating up

ขนาดถ่าน (cm)	ปริมาณอากาศ (m ³ /min)			
	Natural air	0.5184	0.6912	0.8640
2.54	98.52±3.939cB	72.01±1.464bA	71.21±7.806bA	155.81±7.346bC
3.81	42.00±4.504aB	20.91±1.959aA	16.51±1.895aA	9.41±3.217aA
5.08	69.64±1.276bC	81.74±8.251bC	61.17±2.991bB	28.93±7.227aA

หมายเหตุ: (หน่วย : Watt)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง และตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน (P<0.05)

ตารางที่ 5.3 พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในช่วง Falling

ขนาดถ่าน (cm)	ปริมาณอากาศ (m ³ /min)			
	Natural air	0.5184	0.6912	0.8640
2.54	27.40±4.667abA	18.05±2.843bA	17.19±1.344bA	38.17±3.154cB
3.81	15.89±2.312aB	7.34±2.079aA	7.09±0.841aA	6.36±1.467aA
5.08	27.88±6.336bC	24.84±2.765bBC	23.25±4.907bAB	14.58±1.665bA

หมายเหตุ: (หน่วย : Watt)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวตั้ง

และตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่หมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวนอน (P<0.05)

กระบวนการเผาไหม้ถ่านไม้ที่น้ำหนักและขนาดถ่านเท่ากันโดยเพิ่มปริมาณอากาศพบว่า พลังงานความร้อนในช่วง Heating up และ Falling มีแนวโน้มลดลง โดยที่อากาศเป็นองค์ประกอบหลักในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ และเมื่ออัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น ทำให้อากาศเกิดการพาความร้อนของการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นอากาศส่วนเกินจึงทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ลดลงและเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนแต่ที่ขนาดถ่าน 2.54 cm ที่ปริมาณอากาศ 0.8640 m³/min มีค่าพลังงานความร้อนที่สูงมากเนื่องจากถ่านขนาด 2.54 cm มีพื้นที่ผิวรวมทั้งหมดมากประกอบกับปริมาณอากาศที่มากจึงเป็นตัวเร่งในการจุดติดไฟส่งผลให้การอัตราการเผาไหม้ของถ่านมีอุณหภูมิที่สูงมากแต่ช่วงเวลาเผาไหม้ของถ่านไม้สั้น พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามพลังงานความร้อนของถ่านขนาดต่าง ๆ ที่ปริมาณลมใด ๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

5.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง Heating up

ลักษณะการเพิ่มช่วงอุณหภูมิของการเผาไหม้ในช่วง Heating up เป็นแบบโพลิโนเมียลอันดับที่สอง (Polynomial of degree 2) ดังสมการที่ 17 และการลดลงของอุณหภูมิในช่วง Falling เป็นแบบ First order kinetic ดังสมการที่ 18 เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(T-T_0)$ กับเวลา เป็นแบบเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และ รูปที่ 5.7

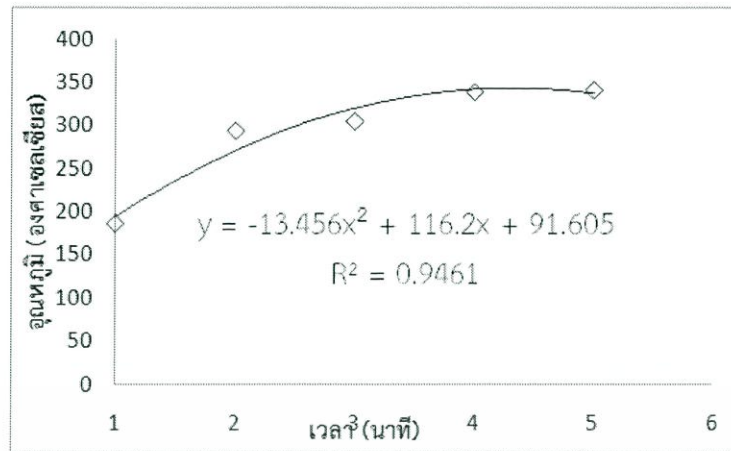
$$T = at^2+bt+c \quad (17)$$

$$\ln(T-T_0) = \exp [-k(t-t_p)] \quad (18)$$

เมื่อ	T	คือ อุณหภูมิการเผาไหม้ (°C)
	a, b	คือ สัมประสิทธิ์
	c	คือ ค่าคงที่
	T ₀	คือ อุณหภูมิห้อง (°C)
	k	คือ ค่าคงที่อัตรา
	t	คือ เวลาการเผาไหม้ (min)
	t _p	คือ เวลาที่อุณหภูมิสูงสุด (min)

จากรูปที่ 5.6 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาของถ่านขนาด 3.81 cm ที่ปริมาณอากาศ 0.5184 m³/min พบว่าช่วง Heating up มีรูปแบบของสมการคือ $y = -13.456x^2+116.2x+91.605$

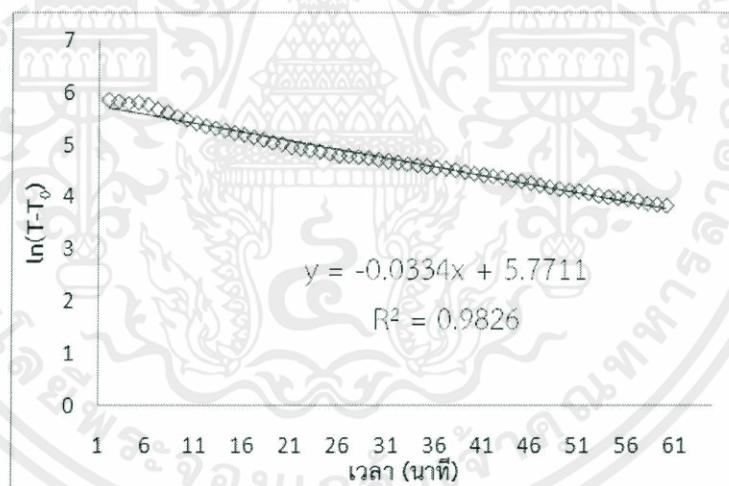
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในช่วง Heating up

5.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง Falling

จากรูปที่ 5.7 พบว่าช่วง Falling มีสมการคือ $y = -0.0334x + 5.7711$ ค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ของสมการที่ 17 และ 18 แสดงในตารางที่ 5.4 ถึง 5.6 สำหรับการเผาไหม้ของถ่านขนาด 2.54, 3.81 และ 5.08 cm ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในช่วง Falling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความชันของอุณหภูมิการเผาไหม้ถ่านขนาด 2.54 cm

ขนาดถ่าน (cm)	ปริมาณอากาศ (m ³ /min)	ตำแหน่ง	Heating up				Falling	
			a	b	c	R ²	k	R ²
2.54	Natural air	1	-21.754	149.080	94.771	0.98	0.035	1.00
		2	-4.343	80.224	160.440	0.99	0.031	0.99
		3	-66.140	355.180	180.190	1.00	0.027	0.99
		4	-51.339	324.610	266.910	0.96	0.021	0.98
	0.5184	1	-85.928	406.472	-69.385	1.00	0.046	0.99
		2	-3.937	77.753	225.160	0.82	0.044	0.98
		3	-17.507	179.770	164.740	1.00	0.046	0.99
		4	-29.594	212.500	179.290	0.87	0.055	0.99
	0.6912	1	-32.570	222.077	-36.362	1.00	0.051	0.97
		2	-14.482	139.789	74.954	0.89	0.041	0.99
		3	-176.38	897.74	-490.43	1.00	0.03	0.98
		4	-192.00	998.95	-506.62	1.00	0.034	0.98
	0.8640	1	-21.195	146.570	163.160	1.00	0.052	0.99
		2	-24.215	158.860	305.860	1.00	0.051	0.98
		3	-99.289	543.950	11.542	1.00	0.041	0.99
		4	-65.348	385.810	165.610	0.92	0.027	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความชันของอุณหภูมิการเผาไหม้ถ่านขนาด 3.81 cm

ขนาดถ่าน (cm)	ปริมาณอากาศ (m ³ /min)	ตำแหน่ง	Heating up				Falling	
			a	b	c	R ²	k	R ²
3.81	Natural air	1	-7.732	63.130	88.708	0.99	0.0213	1.00
		2	-11.923	95.839	152.650	0.98	0.021	0.99
		3	-22.031	154.310	253.340	0.99	0.081	1.00
		4	-26.245	172.220	308.020	0.98	0.0112	0.89
	0.5184	1	-29.919	174.710	4.628	1.00	0.0222	0.89
		2	-13.456	116.200	91.605	0.95	0.0201	0.92
		3	-24.757	160.430	178.780	0.97	0.0105	0.76
		4	-29.087	179.470	199.420	0.95	0.0108	0.89
	0.6912	1	-27.114	150.160	81.898	1.00	0.0332	0.98
		2	-18.578	143.940	100.760	0.93	0.0331	0.97
		3	-51.271	248.470	173.780	1.00	0.0341	1.00
		4	-29.397	165.340	239.410	0.93	0.027	1.00
	0.8640	1	-32.433	180.070	18.819	1.00	0.0387	0.99
		2	-49.795	250.740	-7.570	1.00	0.0381	0.99
		3	-30.660	190.730	79.607	1.00	0.0488	0.99
		4	-39.815	246.570	59.638	0.99	0.0434	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

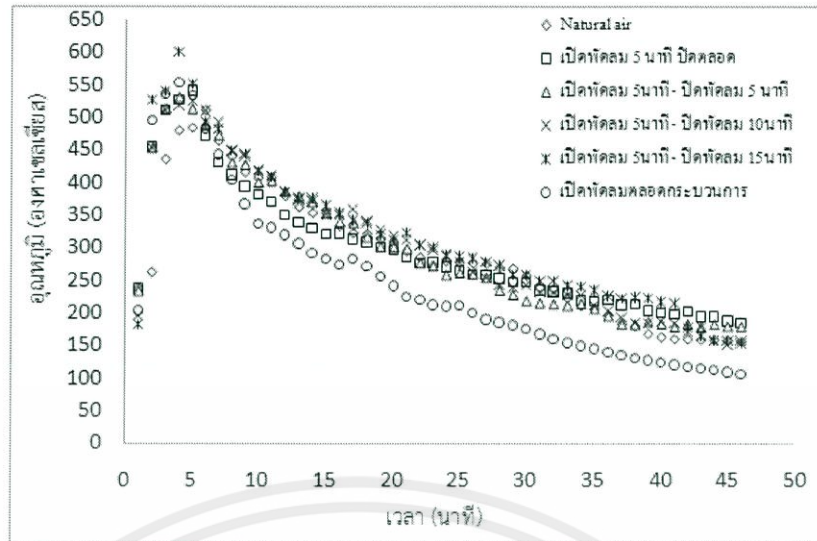
ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความชันของอุณหภูมิการเผาไหม้ผ่านขนาด 5.08 cm

ขนาดถ่าน (cm)	ปริมาณอากาศ (m ³ /min)	ตำแหน่ง	Heating up				Falling	
			a	b	c	R ²	k	R ²
5.08	Natural air	1	-8.743	71.936	74.419	1.00	0.0179	0.97
		2	-5.798	67.303	160.090	0.99	0.0175	0.98
		3	-33.260	216.020	205.530	0.97	0.0141	0.99
		4	-37.485	31.068	413.270	1.00	0.0108	0.93
	0.5184	1	-26.150	137.280	31.048	1.00	0.0261	0.87
		2	-1.838	40.579	120.890	0.99	0.0222	0.96
		3	-52.345	270.990	264.210	1.00	0.0222	0.91
		4	-58.884	297.540	197.210	1.00	0.0263	0.94
	0.6912	1	-38.853	213.790	-18.944	1.00	0.0316	0.98
		2	-3.414	47.892	153.920	0.89	0.0281	0.99
		3	-83.892	451.670	-8.665	1.00	0.0376	0.99
		4	1.959	27.977	303.380	1.00	0.0188	0.97
	0.8640	1	-18.448	113.120	20.135	0.99	0.0268	0.95
		2	-26.320	160.150	19.756	1.00	0.0235	0.99
		3	-36.838	260.820	38.102	0.99	0.0102	0.96
		4	-47.651	252.030	10.668	1.00	0.0085	0.73

5.6 อิทธิพลของช่วงเวลาการเปิด-ปิดพัสดมต่ออุณหภูมิการเผาไหม้

จากผลการทดลองข้อ 5.2 พบว่าถ่านขนาด 2.54 cm ที่ความเร็วลม 0.5184 m³/min ให้ค่าของอุณหภูมิในช่วง Heating up สูงที่สุด จึงเลือกสภาวะนี้เพื่อศึกษาช่วงเวลาการเปิด - ปิดพัสดมโดยกำหนดการทดลอง 1) เปิดพัสดมเป็นเวลา 5 นาทีแรกของการเผาไหม้ 2) เปิดพัสดมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 5 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้ 3) เปิดพัสดมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 10 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้ 4) เปิดพัสดมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 15 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการเปิด - ปิดพัดลมและอุณหภูมิของถ่านขนาด 2.54 cm

อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาในช่วง Falling แสดงอยู่ในรูปความชันของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งการวิเคราะห์ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของถ่านขนาด 2.54 cm ที่ความเร็วลม 0.5184 m³/min ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ One-Way Anova โดยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 5.7 ค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของถ่านขนาด 2.54 cm ที่ความเร็วลม 0.5184 m³/min

การป้อนปริมาณอากาศ	ค่าความชันในช่วง Falling
Natural air	8.94±4.157acd
เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาทีแรกของการเผาไหม้	6.93±7.622a
เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 5 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้	9.45±7.728cd
เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 10 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้	10.58±6.534c
เปิดพัดลมเป็นเวลา 5 นาที และปิด 15 นาที สลับกันตลอดกระบวนการเผาไหม้	8.35±6.057ad
เปิดพัดลมตลอดกระบวนการเผาไหม้	14.80±7.622b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปิดพัดลมตลอดกระบวนการเผาไหม้มีค่าความชันของการลดอุณหภูมิในช่วง Falling แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการเปิดพัดลม 5 นาที - ปิดพัดลม 5 นาที เปิดพัดลม 5 นาที - ปิดพัดลม 10 นาที เปิดพัดลม 5 นาที - ปิดพัดลม 15 นาที เปิดพัดลม 5

นาที่ – ปิดตลอด และ Natural air ไม่แตกต่างกันระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงให้เห็นว่าการบ้อนปริมาณอากาศระหว่างกระบวนการเผาไหม้ถ่านไม้ไม่ส่งผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของถ่าน

5.7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหมูอย่างระหว่างกระบวนการย่าง

ตัวอย่างเนื้อสันในเริ่มต้นมีคุณภาพดังแสดงในตารางที่ 5.8 เนื้อส่วนนี้เป็นส่วนที่นุ่มที่สุดและไม่เหนียว เนื่องจากมีเส้นใยกล้ามเนื้อที่ละเอียดมากที่สุด จะเป็นเนื้อที่ติดกับกระดูกซี่โครงทั้งสองข้างตามแนวกระดูกสันหลัง และที่สำคัญเป็นแหล่งโปรตีนที่มีแคลลอรี่ต่ำ เนื้อสันในจะมีลักษณะเป็นเส้นยาว ตัดมันน้อย เนื่องจากเป็นเนื้อที่มีความอ่อนนุ่ม (Aberle et al., 2001) เหมาะกับการปิ้งย่าง ตัวอย่างมีขนาดกว้าง 2.5 cm ยาว 6 cm และหนา 0.5 cm ทำการทดสอบอย่างตัวอย่างที่ระดับความสูง 3 ระดับ ห่างจากผิวของถ่าน ได้แก่ 1) 3.5 cm 2) 7.0 cm และ 3) 10.5 cm บันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของตัวอย่างจนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางของเนื้อหมูประมาณ 72°C ซึ่งการทดลองที่ระดับ 3.5 cm เก็บตัวอย่างหมูที่เวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 วินาที ที่ระดับ 7 cm ที่เวลา 25, 50, 75, และ 100 วินาที และที่ระดับ 10.5 cm เก็บตัวอย่างหมูที่เวลา 40, 80, 120 และ 160 วินาที ตามลำดับ

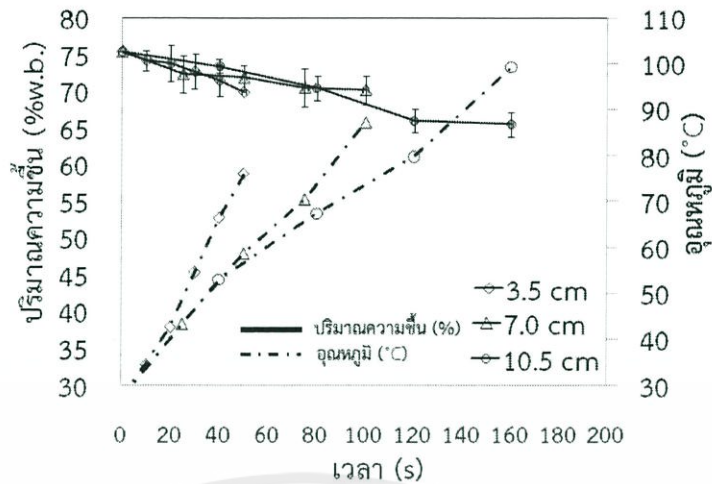
ตารางที่ 5.8 คุณภาพเนื้อหมูเริ่มต้นสำหรับการทดลอง

เนื้อหมูสันใน	
ความชื้น	75.37±1.24%(w.b.)
ไขมัน	8.57±0.81 % (d.b.)
ค่าสี	
L*	18.97± 0.450%
a*	6.03±0.638%
b*	0.56±0.536%
ค่าความแข็ง	62.9±5.108% (N)

5.7.1 ความชื้น

จากการทดลองพบว่า ในสภาวะการเผาไหม้ปริมาณถ่านขนาด 2.54 cm ปริมาณ 100 g ปริมาณอากาศ 0.5184 m³/min ที่ระดับการย่างทั้งสามระดับ การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แสดงตามรูปที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

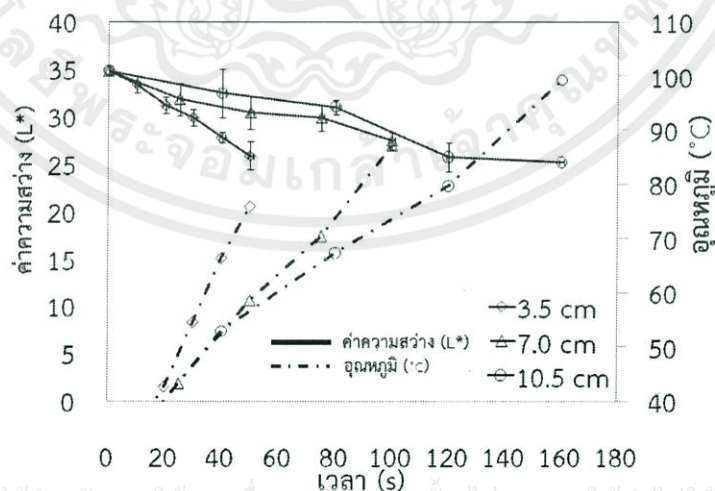


รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและการสูญเสียน้ำหนัก

เนื้อหมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น $75.37 \pm 1.24\%$ (% w.b.) ถูกย้งที่ระดับความสูงต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับระยะเวลาของการย้ง แสดงดังรูปที่ 5.9 พบว่าปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาของการย้งเนื่องจากการสูญเสียน้ำในรูปของการระเหยและการไหลหยด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shilton et al. (2002) และ Braeckman et al. (2009) และที่ระดับการย้งใกล้ถ่าน (3.5 cm) ใช้ระยะเวลาสำหรับการลดความชื้นสั้นกว่าที่ระดับการย้ง 7.0 และ 10.5 cm

5.7.2 สี

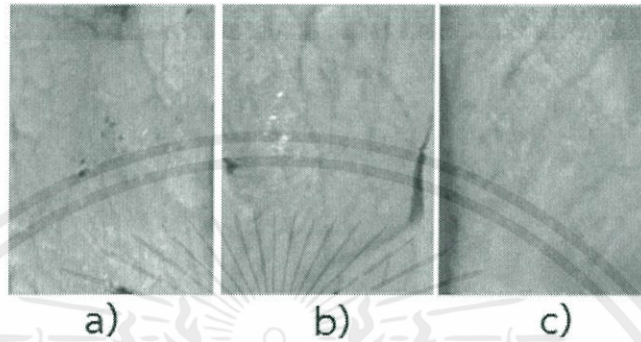
การวัดสีในระบบอัตโนมัติ โดยวัดสี L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) a^* เป็นค่าสีแดงและเขียว (Redness/Greenness) และ b^* เป็นค่าสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่า L^*

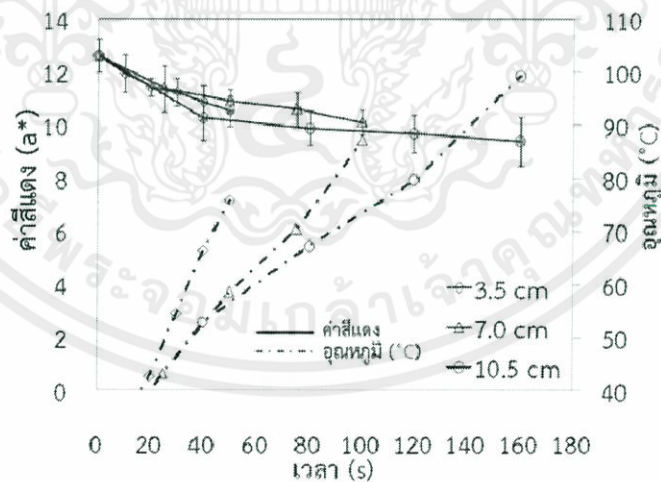
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและ L^* พบว่าเมื่อเวลาในการย่างเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่า L^* มีแนวโน้มลดลงในทุก ๆ ระดับความสูง การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการย่างแสดงในรูปที่ 5.10 ค่า L^* ของเนื้อหมูเริ่มต้น $18.97 \pm 0.45\%$ ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงตามระยะเวลาของการย่าง ซึ่งมีแนวโน้มทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Braeckman et al. (2009) โดยที่ระดับการย่าง 3.5 cm มีอัตราการลดลงของความสว่างเร็วกว่าที่ระดับการย่าง 7 และ 10.5 cm แสดงสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูอย่างทั้ง 3 ระดับดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 สีของผลิตภัณฑ์ที่ระดับการย่าง a) 3.5 cm, b) 7 cm และ c) ระดับ 10.5 cm เมื่ออุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C

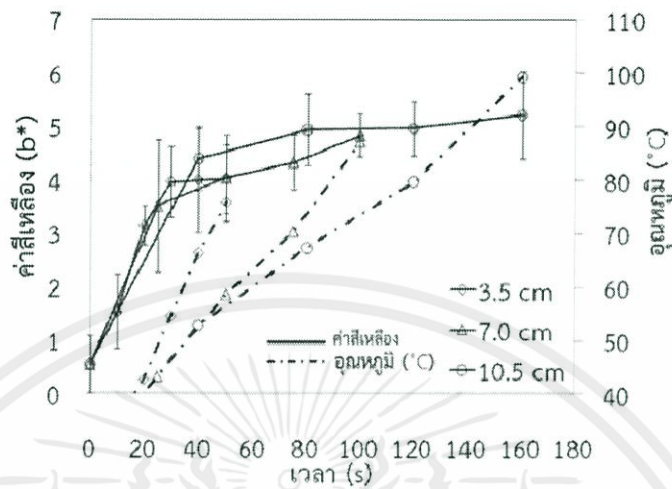
จากรูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและ a^* พบว่าเมื่อเวลาในการย่างเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่า a^* ลดลงในทุก ๆ ระดับความสูง โดยที่ระดับ 10.5 cm ค่าสีแดงจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่าที่ระดับ 3.5 และ 7 cm ซึ่งมีแนวโน้มตรงกับงานวิจัยของ Sandro et al. (2011)



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่า a^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

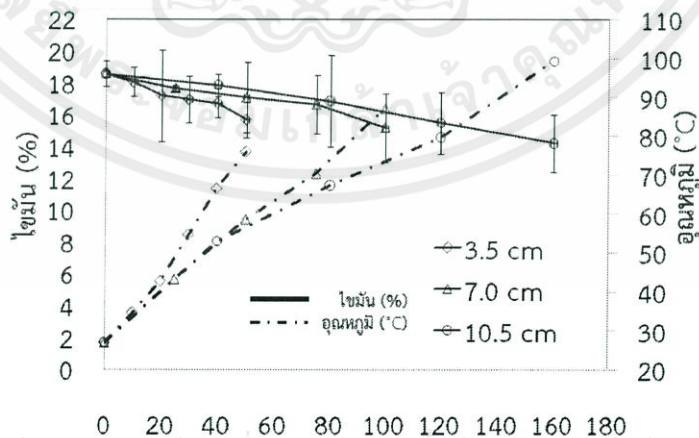
จากรูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและ b^* พบว่าเมื่อเวลาในการย่างเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า b^* สูงขึ้นในทุก ๆ ระดับความสูง จากการทดลองการวัดสีของหมูย่างกล่าวได้ว่า เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้นส่งผลให้ค่าสีเหลืองของเนื้อหมูเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่า b^*

5.7.3 ปริมาณไขมัน

การวัดปริมาณไขมัน โดยการสกัดไขมันด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ในชุดสกัดไขมัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.14 เนื้อหมูมีปริมาณไขมันเริ่มต้น 18.57 ± 0.81 (% d.b.) ที่ช่วงเวลาของระดับการย่าง มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันกับระยะเวลา พบว่าปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการย่าง ตรงกับรายงานของ Braeckman et al. (2009) การลดลงของปริมาณไขมัน เนื่องจากเกิดการหยดของไขมัน ตรงตามงานวิจัยของ Sílvia et al. (2013) ที่ระดับการย่าง 3.5 cm มีปริมาณไขมันลดลงเร็วกว่า ระดับการย่าง 7 และ 10.5 cm ตามลำดับ

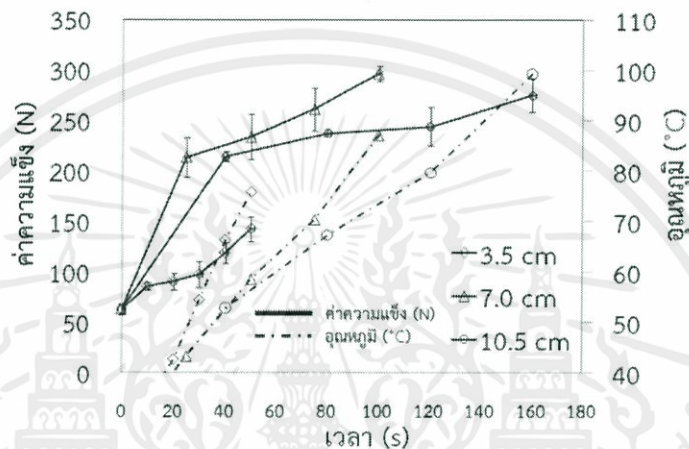


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเวลา (s) นาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณไขมันของเนื้อหมู

5.7.4 เนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการอย่างแสดงในรูปที่ 5.15 ค่า Hardness เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่าง โดยพบว่าที่ระดับการย่าง 3.5 cm มีค่า Hardness ต่ำกว่าระดับการย่างที่ 7 และ 10.5 cm ทุกช่วงเวลา เนื่องจากเนื้อหมูเป็นอาหารที่ประกอบไปด้วยโปรตีน ส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (มันส์ ซัยจันท์, 2554) เมื่อโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อได้รับความร้อนจะถูกแปลงสภาพ (Denatured) และจับตัวเป็นก้อน (Coagulate) ซึ่งจะทำให้โปรตีนแข็งตัว (Protein hardening) ที่อุณหภูมิ 40°C (ฉภัทร วิศวะกุล, 2556) ที่ระดับการย่าง 10.5 cm ใช้เวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผิวของเนื้อหามีค่า Hardness สูงขึ้น



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแรงสูงสุดระหว่างการกด

5.7.5 การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของเนื้อหมูบึ่งที่ย่างทั้งสามระดับ จนกระทั่งอุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C เนื้อหมูที่ระดับการย่าง 3.5, 7.0 และ 10.5 cm ถูกย่างจนกระทั่งมีอุณหภูมิตรงกลางประมาณ 72°C คุณภาพของตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 5.9 และตารางที่ 5.10

ผลกระทบสำหรับความแตกต่างของระดับการย่างจากตารางที่ 5.9 แสดงค่าคุณภาพของหมูอย่างพบว่า การสูญเสียน้ำหนักและ ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระดับการย่าง 10.5 cm มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่ 21.16 % ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักขึ้นกับกระบวนการถ่ายเทมวลขณะให้ความร้อน โดยที่ระดับการย่างสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการย่างที่ระดับสูงใช้เวลาในการย่างนานส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำในชิ้นผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น และปริมาณไขมันในชิ้นผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงโดยที่ระดับการย่าง 3.5 cm มีค่าปริมาณไขมันสูงสุดที่ 16.00 % ส่วนค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ย่างเพียงด้านเดียว ได้แก่ L^* a^* และ b^* โดยที่ไม่มีแนวโน้มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม L^* และ a^* มีแนวโน้มลดลงโดยที่ค่าต่ำสุดอยู่ที่ระดับ 10.5 cm มีค่า 21.3 และ 7.2 ตามลำดับ แต่ b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งค่าต่ำสุดอยู่ที่ระดับ 3.5 cm มีค่า 2.38

จากตารางที่ 5.10 Hardness และ Cohesiveness ของหมูย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยที่ระดับการย่างสูงขึ้นส่งผลให้ Hardness เพิ่มขึ้น ซึ่งระดับ 10.5 cm มีค่าสูงสุดที่ 129.21 N เนื่องจากเวลาในการย่างนานจึงเกิดการสูญเสียความชื้นที่ผิวมากเกิดการระเหยของน้ำออก

จากชั้นผลิตภัณฑ์ ทำให้ผิวมีลักษณะแข็ง และโครงสร้างเกิดการหดตัว (Jayendra, 2006) ส่วน Cohesiveness ที่ระดับการย่าง 3.5 cm มีค่าสูงสุดที่ 1.54 โดยที่พลังงานในการยึดเกาะของหมูย่าง ลดลงเมื่อระดับการย่างสูงขึ้น และ Gumminess, Springiness และ Chewiness ของหมูย่าง ไม่มีแนวโน้มแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ Gumminess และ Chewiness มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการย่างสูงขึ้น แต่ Springiness มีค่าลดลง

อาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนต่าง ๆ จะมีลักษณะ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รวมทั้งลักษณะภายนอกเฉพาะตัว โดยทั่วไปสีและลักษณะที่ปรากฏเป็นคุณภาพประสาทสัมผัสสิ่งแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินคุณภาพ (งามทิพย์, 2550) จากตารางที่ 5.11 ลักษณะที่ปรากฏที่ระดับการย่าง 3.5 cm มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (5.44) ซึ่งมีแนวโน้มคะแนนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการย่างสูงขึ้น และค่าความชอบสี มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ที่ระดับการย่าง 10.5 cm มีความแตกต่างอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคโดยทั่วไปชอบหมูย่างที่มีสีค่อนข้างน้ำตาลหรือมีรอยไหม้เล็กน้อย

อีกปัจจัยหลักคือกลิ่นและเนื้อสัมผัส ที่เป็นตัวกำหนดการยอมรับและความชอบสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อ (Chamber and Bower, 1993; Risvik, 1994) ซึ่งลักษณะความชอบกลิ่นของหมูย่าง ไม่มีความแตกต่างกัน ที่แต่ละระดับการย่าง อย่างไรก็ตามคุณภาพของกลิ่นก็มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มระดับการย่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sundararajan et al. (1999)

ตารางที่ 5.9 คุณภาพของเนื้อหมูย่างที่อุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C

ระดับการย่าง (cm)	เวลา (min)	การสูญเสียน้ำหนัก (%)	ปริมาณไขมัน (%)	สี		
				L*	a*	b*
3.5	46	14.61±1.80a	16.00±0.17a	24.4±0.92a	9.1±0.19a	2.4±2.33a
7.0	93	20.29±1.62b	15.75±0.16ab	23.8±2.26a	8.6±0.60a	2.9±1.04b
10.5	141	21.16±1.90b	15.06±0.16b	21.3±0.21a	7.2±0.14a	2.4±0.15ab

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ตารางที่ 5.10 คุณภาพเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูย่างที่อุณหภูมิตรงกลางเท่ากับ 72°C

ระดับการ ย่าง (cm)	เวลา (min)	Hardness (N)	Cohesiveness	Gumminess (N)	Springiness (mm)	Chewiness (N.mm)
3.5	46	129.2±10.21b	1.54±0.017a	198.6±12.44a	3.56±0.04a	701.78±5.68a
7.0	93	141.3±9.03ab	1.50±0.022a	211.1±10.38a	3.71±0.02a	784.19±4.23a
10.5	141	196.4±11.36a	1.43±0.016b	281.2±14.93a	3.01±0.01a	844.84±5.02a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

จากผลตารางการทดลองสรุปได้ดังนี้ การปิ้งหมูทั้ง 3 ระดับ ให้ค่า L* a* และ b* ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของเนื้อหมูทั้ง 3 ระดับมีค่าสีที่ไม่แตกต่างกัน จากตารางที่ 5.10 สรุปได้ว่า การย่างหมูที่ระดับ 3.5 cm ค่าแรงสูงสุดระหว่างการกด (Hardness) ต่างกับการย่างหมูในระดับ 10.5 cm และการย่างหมูที่ระดับ 10.5 cm มีพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness) ต่างกันกับหมูย่างที่ระดับ 3.5 cm และ

7 cm ส่วนค่าลักษณะที่อาหารกึ่งแข็งแตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้ (Gumminess) ค่าความสามารถในการคืนตัว (Springiness) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร (Chewiness) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 5.11 คะแนนการทดสอบประสาทสัมผัส แบบ 9-point hedonic scaling หมูย่างอุณหภูมิตรงกลาง 72°C

ระดับการ ย่าง	ลักษณะที่ ปรากฏ	สี	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	ความชอบรวม
3.5 cm	5.44±1.19b	5.88±1.45a	5.96±1.27a	4.96±1.51a	5.56±1.29a
7.0 cm	6.61±1.21a	5.68±0.98a	6.08±1.11a	5.20±1.44a	5.96±1.05ab
10.5 cm	6.56±1.29a	6.68±1.18b	6.32±1.10a	5.56±1.47a	6.6±1.08b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างหมายถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากการเปรียบเทียบลักษณะคุณภาพของหมูย่างทั้งสามระดับพบว่า คะแนนความชอบโดยรวมที่ระดับการย่าง 10.5 cm มีคะแนนมากกว่าที่ระดับการย่าง 3.5 และ 7 cm อย่างชัดเจน อาจเป็นเพราะคุณภาพต่าง ๆ ทั้งลักษณะ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับสารระเหยของถ่านเป็นเวลานาน กลิ่นสารระเหยเหล่านั้นจึงเกาะติดผลิตภัณฑ์มาก อาจเป็นผลให้ผู้บริโภคเกิดความชอบ ส่วนของเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันและมีแนวโน้มความชอบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Hardness ที่ได้โดยมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระดับการย่างสูงขึ้นเช่นกัน ความแตกต่างของเนื้อสัมผัสเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันและการสลายตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Berry, 1994; Berry and Abraham, 1996; Farouk et al., 1999; Troutt et al., 1992) และบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะแห้ง เห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก อาจเป็นเหตุผลที่ผู้บริโภคชอบเนื้อที่มีลักษณะแข็งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของการเผาไหม้แบ่งออกเป็นสองช่วงคือช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Heating up) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการโพลีโนเมียลอันดับที่ 2 และช่วงอุณหภูมิลดลง (Falling) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ First order kinetic
2. ขนาดถ่านมีผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ในช่วง Heating up โดยที่ถ่านขนาดเล็กมีอุณหภูมิการเผาไหม้ในช่วง Heating up เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิในช่วง Falling ลดลงอย่างรวดเร็ว
3. การเพิ่มปริมาณอากาศเป็น $0.864 \text{ m}^3/\text{min}$ ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่าที่ปริมาณอากาศ $0.5184 \text{ m}^3/\text{min}$ ตลอดระยะเวลาการเผาไหม้
4. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้คือการใช้ถ่านขนาด 2.54 cm ที่ปริมาณอากาศ $0.5184 \text{ m}^3/\text{min}$ ใช้เฉพาะช่วงเวลา Heating up เท่านั้นแต่ปริมาณอากาศแบบ Natural air เหมาะสำหรับช่วง Falling
5. ระยะเวลาของการย่างมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการย่าง โดยที่ปริมาณความชื้นค่าความสว่าง (L^*) ปริมาณไขมันลดลงตามระยะเวลาของการย่างแต่ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น
6. ระยะห่างของการย่างเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียไขมันและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง
7. การย่างผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่าง 10.5 cm จากผิวถ่าน มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของถ่านไม้ขึ้นอยู่กับขนาด ปริมาณถ่านไม้ และการอัตราการป้อนปริมาณอากาศ โดยที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของการเผาไหม้จะต่ำลง ดังนั้นจึงควรศึกษาเวลาที่ใช้ในการเติมปริมาณถ่านไม้เมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้ลดต่ำลง
2. ในระหว่างกระบวนการย่างควรมีการกำจัดปริมาณเถ้าของถ่านไม้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายความร้อนของถ่านไม้ และสามารถประยุกต์ใช้ในเครื่องย่างหมุโดยการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดปริมาณเถ้าของถ่านไม้ออกจากกระบวนการเผาไหม้
3. ควรศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการพลิกเนื้อหมูโดยควบคุมให้อุณหภูมิกึ่งกลางของเนื้อหมูเท่ากับ 72°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- แก้ว กังสดาลอำไพ, (2553). อาหารปิ้งย่างกับมะเร็ง. สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (Online) เข้าถึงได้จาก www.inmu.mahidol.ac.th (วันที่ค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2555)
- ชลพรรณ เจริญรักษ์ และคณะ, (2554). การออกแบบกรอบความคิดและการศึกษาค่าพารามิเตอร์ สำหรับการออกแบบเครื่องอย่างผลิตภัณฑ์เสียบบั๊บบแบบต่อเนื่อง. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ดวงจันทร์ เกรียงสุวรรณ, (2647). พืชผักผลไม้ไทยมีคุณค่าเป็นทั้งอาหารและยา. บทความวิทยุรายการสาระความรู้ทางการเกษตร (Online) เข้าถึงได้จาก www.natres.psu.ac.th/radio/radio_article/radio46-47/46-470027.htm. (วันที่ค้นข้อมูล 1 กุมภาพันธ์ 2556).
- ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน, (2555). ทฤษฎีการเผาไหม้. (Online) เข้าถึงได้จาก www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file/pre_heat_3.pdf (วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2555)
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, (2549). เนื้อสัมผัส. (Online) เข้าถึงได้จาก www.foodnetworksolution.com (วันที่ค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2556)
- ภคินัย ทองท้อมพร, (2550). การมองเห็นและการวัดสี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มนัส ชัยจันทร์, (2554). เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และไข่. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, (2547). ถ่านไม้หุงต้ม. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) (Online) เข้าถึงได้จาก www.library.tisi.go.th/T/fulltext/CPS/P14.htm (วันที่ค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2555)
- ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ, (2549). คุณลักษณะของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาเวอร์เทคคู่. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิไล รังสาดทอง. (2543). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ
- สายสนม ประดิษฐ์ดวงและคณะ, (2543). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 173-175.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, (2555) การปิ้งย่าง. (Online) เข้าถึงได้จาก www.thaihealth.or.th (วันที่ค้นข้อมูล 23 พฤศจิกายน 2555)
- สมเกียรติ บุญนง, (2550). วิศวกรรมโรงจักรต้นกำเนิด. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ayadi M.A., Makni I., Attia H., (2009). **Thermal diffusivities and influence of cooking time on textural, microbiological and sensory characteristics of turkey meat prepared products.** Food and bioproducts processing, 87, 327–333.
- Braeckman, L., Ronsse, F., Cueva, P. Hidalgo, Pieters, 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.**
- Elena Vittadini, Massimiliano Rinaldi, Emma Chiavero, (2005). **The effect of different convection cooking methods on the instrumental quality and yield of pork Longissimus dorsi.** University degli Studi di Parma, 69, 749-756.
- Emma Chiavero, Davide Barbanti, Elena Vittadini, Roberto Massini (2006). **The effect of different cooking methods on the instrumental quality of potatoes (cv. Agata).** Journal of Food Engineering, 77, 169–178.
- Fellows, P.J., (1993). **Food Processing Technology.** Department Catering Management, Oxford Polytechnic, 314-326.
- Feyissa, A.H., Gernaey, K.V., Ashokkumar, S., Adler-Nissen J., (2011). **Modelling of coupled heat and mass transfer during a contact baking process.** Journal of Food Engineering, 11, 1–17.
- Hui, Y.H., (1983). **Handbook of meat and meat processing.** USDA. 134-146.
- Jeong J.Y., Lee E.S., Choi J.H., Lee J.Y., Kim J.M., Min S.G., Chae. Y.C., Kim C.J., (2007). **Variability in temperature distribution and cooking properties of ground pork patties containing different fat level and with/without salt cooked by microwave energy.** Meat Science, 75, 415–422.
- Ooi T.C., Thompson D., Anderson D. R., Fisher R., Fray T., Zandi M., (2011). **The effect of charcoal combustion on iron-oresintering performance and emission of persistent oranic pollutants.** Food Science and Technology, 158, 979-987.
- Sandro, M. Goni, Viviana, O. Salvadori, (2010). **Kinetic modeling of colour changes during beef roasting.** Food Science, 1, 1039-1044.
- Sheridan, P.S., Shilton, N.C., (2002). **Determination of the thermal diffusivity of ground beef patties under infrared radiation oven-shelf cooking,** Food Engineerin, 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.

- Sundararajan, N., Ndife, M., Basel, R., Green, S., (1999). Comparison of sensory properties of hamburgers cooked by conventional and carcinogen reducing safe grill equipment, Meat Science, 51, 289-295.
- Thomas Fu. (2010). STATE-OF-THE-ART CHARCOAL GRILL. Stanford University, 7, 1-42.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 คุณภาพของหมูย่างระดับการย่าง 3.5 cm

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	สี			ไขมัน (%)	ความแข็ง (N)
			L*	a*	b*		
0	26.94	75.37	34.83	12.62	0.56	18.57	62.81
10	34.56	74.17	33.37	11.94	1.54	18.05	85.72
20	42.66	73.82	31.19	11.42	3.15	17.20	90.83
30	54.55	72.67	29.86	11.26	3.96	16.95	97.69
40	66.41	71.48	27.78	10.86	3.99	16.72	119.05
50	75.94	69.91	25.87	10.53	4.02	15.68	142.66

ตารางที่ ก.2 คุณภาพของหมูย่างระดับการย่าง 7.0 cm

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	สี			ไขมัน (%)	ความแข็ง (N)
			L*	a*	b*		
0	26.94	75.37	34.83	12.62	0.56	18.57	62.81
25	43.29	72.28	31.82	11.38	3.52	17.66	213.91
50	58.62	71.85	30.40	10.92	4.04	17.06	233.93
75	70.41	70.46	29.85	10.61	4.33	16.64	261.39
100	87.15	70.16	27.42	10.12	4.83	15.20	296.72

ตารางที่ ก.3 คุณภาพของหมูย่างระดับการย่าง 10.5 cm

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	สี			ไขมัน (%)	ความแข็ง (N)
			L*	a*	b*		
0	26.94	75.37	34.83	12.62	0.56	18.57	62.81
40	52.91	73.42	32.44	10.27	4.40	17.87	214.52
80	67.31	70.41	31.01	9.88	4.93	16.86	237.69
120	79.70	65.94	25.73	9.69	4.96	15.49	244.48
160	99.25	65.51	25.20	9.38	5.21	14.21	275.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ชิมลำดับที่ X

ผลิตภัณฑ์หมูπίง
วันที่ xx/xx/xxx

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ _____

ชื่อ _____ เพศ _____ อายุ _____ ปี

คำแนะนำ 1. กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละลักษณะ
ของผลิตภัณฑ์
โดยกำหนดให้

- 1= ไม่ชอบมากที่สุด 2= ไม่ชอบมาก 3= ไม่ชอบปานกลาง
4= ไม่ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆ 6= ชอบเล็กน้อย
7= ชอบปานกลาง 8= ชอบมาก 9= ชอบมากที่สุด

2. กรุณาตีมน้ำระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

ลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		
	XX	YY	ZZ
ลักษณะที่ปรากฏ			
กลิ่น			
เนื้อสัมผัส			
รส			
ความชอบรวม			

ข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
รูปที่ ข.1 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

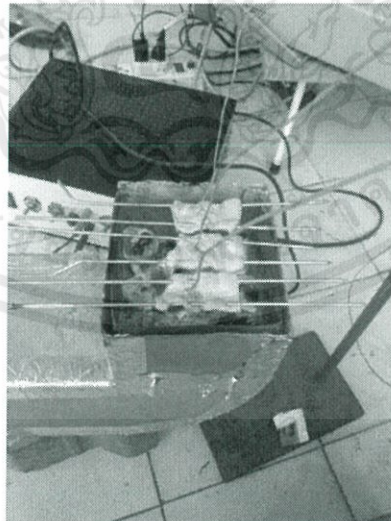
ขอบคุณคะ



รูปที่ ข.2 ลักษณะการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ถ่านไม้



รูปที่ ข.3 ลักษณะการเสียบหมูเพื่อใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับดูใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ ข.4 ลักษณะการย่างหมูที่ระดับ 3.5 cm
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้