

การออกแบบกระบวนการอย่างต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

DESIGN OF THE CONTINUOUS GRILLING PROCESS  
FOR PORK-SKEWER PRODUCT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-270-132

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

DESIGN OF THE CONTINUOUS GRILLING PROCESS  
FOR PORK-SKEWER PRODUCT



T148817



ศุภเกียรติ ทองทับ  
SUPAKIAT THONGTHUB

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **148817**  
พิมพ์เดือนปี **23 ๗๘, 2560**

**00266934**  
.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-270-132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF THE CONTINUOUS GRILLING PROCESS  
FOR PORK-SKEWER PRODUCT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **KMITL-2017-EN-M-270-132** มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบกระบวนการอย่างต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้  
Thesis Title Design of the Continuous Grilling Process for Pork-Skewer Product  
นักศึกษา นายศุภเกียรติ ทองทับ  
รหัสประจำตัว 56601466  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-270-132

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ยุทธพงศ์	ทัฬหสูง	
รศ.ดร.นวกัทราร	หนูนาค	
ดร.เจษฎา	ชัยเฒม	
ดร.เอกพงษ์	ชีวิตโสภณ	
ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์	รุ่งพระแสง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา วันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2560  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียปิ้ง
นักศึกษา	นายศุภเกียรติ ทองทับ
รหัสประจำตัว	56601466
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียปิ้งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่อออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่อง โดยใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด เพื่อให้ได้คุณภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ได้แก่ ค่าผลผลิต ค่าการสูญเสียของเหลวรวม การหดตัว ค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ซึ่งมีค่าร้อยละ 84.47, 6.60 กรัม, ร้อยละ 23.03, 43.99, 6.09 และ 18.82 ตามลำดับ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 0.11 – 0.20 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิอยู่ที่ 95 – 115 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอย่าง 465 – 990 วินาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ผลการศึกษาที่ได้นำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียปิ้ง มีส่วนประกอบหลักคือ 1) โครงสร้างเครื่องอย่าง 2) ชุดส่งกำลังและลำเลียง 3) ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียปิ้ง 4) ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด 5) ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และ 6) ชุดควบคุมกระบวนการอย่าง จากการทดสอบการทำงานเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียปิ้ง พบว่าสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขการออกแบบ และมีกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียปิ้งเป็น 1,000 ไม้ต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Design of the Continuous Grilling Process for Pork-Skewer Product
Student	Mr. Supakiat Thongthub
Student ID.	56601466
Degree	Master of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Kiattisak Roonprasang

## ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate the effect of the increasing rate temperature of pork-skewer product on the product quality and plan the continuous grilling process, using ceramic heater as heat source. The product qualities of controlled sample i.e., yield, loss, shrinkage and color in CIE L\* a\* b\* are 84.47%, 6.60 grams, 23.03%, 43.99, 6.09 and 18.82 respectively, were desired. The results shown that an increasing rate temperature of 0.11 – 0.20 °C/s, the grilling temperature interval of 95 to 115 °C and the grilling time of 465 – 990 s reach the product quality. Furthermore, the processing parameters were used to operate the continuous grilling process. In addition, the continuous grilling machine consists of I) structural frame, II) power transmission and conveying units, III) gripper unit, IV) infrared heater, V) seasoning sauce containers, and VI) controller box. The 1,000 samples per hour of capacity is achieved. Finally, this machine is performed with the design requirements as expected.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษา  
รองศาสตราจารย์ ดร.นวกัทราน หนูนาค และ ดร.เอกพงษ์ ซีวีตโสภณ อาจารย์ประจำภาควิชา  
วิศวกรรมอาหาร สำหรับการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จ  
ลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษา

ขอขอบคุณผู้ประกอบการสนับสนุนทุนวิจัยโครงการ บริษัท แผลดคู่ อิมอร้อย จำกัด สำหรับ  
การสนับสนุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเนื้อหมูเสียปิ้ง และเงินทุนในการสร้างเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับ  
ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียปิ้ง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง รวมทั้งเพื่อน พี่ และน้อง ทุกคนที่คอยให้  
กำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา มารดา  
ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดี  
ให้แก่ข้าพเจ้า และขอให้ทุกท่านจงมีแต่ความสุขตลอดไป

ศุภเกียรติ ทองทับ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การให้ความร้อนของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด.....	4
2.2 กระบวนการอย่าง.....	5
2.3 การผลิตแบบต่อเนื่อง.....	6
2.4 หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.....	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	19
3.1 ชุดทดลองกระบวนการอย่างและการเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	19
3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	20
3.3 การทดลองเบื้องต้น.....	28
3.4 การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	35
3.5 การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	41
4.1 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการ.....	41
4.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง..	38
4.3 การออกแบบกระบวนการย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	44
4.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	51
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก ก.....	55
ภาคผนวก ข.....	71
ภาคผนวก ค.....	86
ภาคผนวก ง.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา v ะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะสำคัญของกระบวนการผลิต.....	7
2.2 ค่าตัวประกอบความถี่ของเพลลา.....	10
2.3 ขนาดโซ่ตามมาตรฐาน ANSI.....	12
3.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียไม่.....	22
3.2 ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อหมูที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.3 อุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ได้รับตามระดับกำลังไฟฟ้าและระยะห่างต่าง ๆ.....	30
3.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์.....	34
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชุดใช้งานและค่าคงที่ของสปริง.....	39
3.6 ความสัมพันธ์มุมการยกตัวของชุดกลไกจับด้ามไม้เสีย.....	40
4.1 คุณภาพผลิตภัณฑ์ของตัวอย่างควบคุม.....	41
4.2 คุณภาพผลิตภัณฑ์ของการย่างที่ระดับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (ผลผลิต, การสูญเสียของเหลว, การหดตัว).....	44
4.3 คุณภาพผลิตภัณฑ์ของการย่างที่ระดับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (สีในระบบ $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ และค่าความแตกต่าง $\Delta E$ ).....	45

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	4
2.2 แหล่งกำเนิดความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนย่านรังสีอินฟราเรด.....	5
2.3 โซ่มาตรฐาน Standard roller chain.....	11
2.4 โซ่แบบติดปีก Standard roller chain attachment.....	11
2.5 เฟืองลดความเร็วแบบเฟืองหนอน.....	12
2.6 สปริงชนิดแบบบิด.....	13
2.7 กราฟการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID.....	14
2.8 ชุดทดลองเพื่อหาการสูญเสียน้ำหนักทั้งหมด.....	15
2.9 ชุดทดลองเพื่อหาการสูญเสียน้ำหนักจากการหยดของน้ำมัน.....	16
2.10 เครื่องปิ้งอาหาร อนุสิทธิบัตรเลขที่ 1110.....	17
2.11 เครื่องย่างอาหารอัตโนมัติ อนุสิทธิบัตรเลขที่ 3367.....	17
2.12 เครื่องปิ้งหมู อนุสิทธิบัตรเลขที่ 6514.....	18
2.13 เครื่องย่าง Rotisserie Oven, EP1306042A1.....	18
3.1 ผังกระบวนการย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด.....	20
3.2 ชุดทดลองกระบวนการย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด.....	20
3.3 ขนาดทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	21
3.4 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน.....	23
3.5 ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อหมูที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.6 การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	25
3.7 การหาค่าการสูญเสียจากการหยดของน้ำมัน.....	26
3.8 ตำแหน่งการวัดขนาดของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อน และหลังการย่าง.....	27
3.9 การวัดอุณหภูมิของระดับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนสู่แผ่นเซรามิกแบบขดลวด.....	29
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 350 วัตต์.....	29
3.11 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 350 วัตต์.....	30
3.12 การทดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง.....	32
3.13 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร.....	33
3.14 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 การทดลองอย่างด้วยวิธีของผู้ประกอบการ.....	36
3.16 ระยะห่างระหว่างผิวแผ่นเซรามิกกับผิวของผลิตภัณฑ์.....	37
3.17 สมดุลแรงบนชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ.....	39
3.18 การจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส.....	40
4.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการก่อนและหลังย่าง.....	42
4.2 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง ระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15 (A) และ 0.20 (B) องศาเซลเซียสต่อวินาที.....	44
4.3 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11 (A), 0.14 (B) และ 0.19 (C) องศาเซลเซียสต่อวินาที.....	44
4.4 เครื่องแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้.....	45
4.5 โครงสร้างของเครื่องแบบต่อเนื่อง.....	46
4.6 มอเตอร์กระแสสลับ.....	46
4.7 ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ.....	47
4.8 การทำงานของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ.....	47
4.9 ชุดความร้อนไฟฟ้าแบบอินฟราเรดชนิดเซรามิกแบบขดลวด.....	48
4.10 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องแบบต่อเนื่อง.....	48
4.11 ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส.....	48
4.12 ชุดควบคุมกระบวนการย่าง.....	49

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

P	=	กำลังของมอเตอร์ (วัตต์, Watt)
T	=	โมเมนต์บิดที่กระทำกับเพลลา (นิวตันเมตร, N.m)
N	=	ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบต่อนาที, rpm)
F	=	แรงที่กระทำ (นิวตัน, N)
r	=	รัศมีเพลลา (เมตร, m)
l	=	อัตราทด (ไม่มีหน่วย)
D, d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร, m) (มิลลิเมตร, mm)
$\tau_p$	=	ความเค้นเฉือน (นิวตันต่อตารางเมตร, N/m <sup>2</sup> )
C <sub>t</sub>	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (ไม่มีหน่วย)
C <sub>m</sub>	=	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด (ไม่มีหน่วย)
M	=	โมเมนต์ตัดที่เกิดขึ้นกับเพลลา (นิวตันมิลลิเมตร, N.mm)
$\theta$	=	มุมกดของสปริง (องศา)
l	=	ระยะกุดห่างจากจุดหมุนของสปริง (เมตร, m)
n	=	จำนวนขดใช้งานของสปริง (รอบ, turn)
N <sub>b</sub>	=	จำนวนขดใช้งานของสปริง (รอบ, turn)
E	=	ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น (นิวตันต่อตารางเมตร, N/m <sup>2</sup> )
k	=	ค่าความแข็งของสปริง (นิวตันเมตรต่อรอบ, N.m/turn)
$\mu$	=	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (ไม่มีหน่วย)
$\alpha$	=	มุมการยกตัว (องศา)
H	=	ความสูงการยกตัว (เซนติเมตร, cm)
L	=	ความยาว (เซนติเมตร, cm)
V	=	ปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร, m <sup>3</sup> )
$\rho$	=	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, kg/m <sup>3</sup> )
m	=	มวล (กรัม, g)
C <sub>p</sub>	=	ค่าความร้อนจำเพาะ (กิโลจูลต่อกิโลกรัมเซลเซียส, kJ/kg.°C)
$\Delta E^*$	=	ความแตกต่างจากสี่จากผลิตภัณฑ์ (ไม่มีหน่วย)
L*	=	ความสว่าง (ไม่มีหน่วย)
a*	=	สีแดงหรือเขียว (ไม่มีหน่วย)
b*	=	สีเหลืองหรือน้ำเงิน (ไม่มีหน่วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมและพบเห็นได้ทั่วไปในรูปแบบของเนื้อไก่ เนื้อหมู หรือลูกชิ้นเสียบไม้ มีกระบวนการปรุงสุกและให้ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์และความต้องการของผู้บริโภค สำหรับการย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ในปัจจุบัน เป็นการย่างด้วยคนในลักษณะการทำงานเป็นแบบกะ (Batch process) มีขั้นตอนการย่างโดยการวางผลิตภัณฑ์บนตะแกรงของเตาย่าง และพลิกสลับด้านเพื่อให้ความร้อนทั่วถึงอย่างสม่ำเสมอ ประเมินความสุขของผลิตภัณฑ์ด้วยสายตา ซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอและมีกำลังการผลิตต่ำ อีกทั้งยังมีความเสี่ยงที่เกิดจากความบกพร่องของพนักงานและการปนเปื้อนข้ามจากพนักงานสู่ผลิตภัณฑ์ด้วย และด้วยความต้องการกำลังผลิตที่สูงขึ้น การลดแรงงานคนในกระบวนการผลิต การพัฒนากระบวนการไปสู่การผลิตแบบอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ผลผลิตจำนวนมาก (Mass production) จึงมีความต้องการออกแบบกระบวนการผลิตให้เป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ให้มีประสิทธิภาพทั้งด้านคุณภาพและปริมาณ สำหรับการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องมีการออกแบบและพัฒนา รูปแบบของกระบวนการหลายลักษณะ ฐานรัตน์ แสงเจริญตระกูล [1] ได้ออกแบบเครื่องปิ้งอาหาร และสุวิทย์ ศานติพิบูล [2] ได้ออกแบบเครื่องย่างอาหารอัตโนมัติ โดยมีการทำงานเป็นแบบต่อเนื่องโดยใช้โซ่ลำเลียงและมีแขนหนีบผลิตภัณฑ์ผ่านชุดลวดให้ความร้อนซึ่งมีการติดตั้งอยู่บริเวณโดยรอบของเครื่อง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอย่างสามารถปลดให้อาหารที่ถูกหนีบให้เคลื่อนที่หล่นลงมา Cheung et al. [3] ได้ออกแบบเครื่องย่าง Rotisserie Oven ที่มีกลไกจับด้ามไม้ติดกับโซ่ลำเลียง สามารถย่างผลิตภัณฑ์ในแนวนอนและหมุนรอบตัวเองระหว่างการเคลื่อนที่ได้ ถึงแม้ว่าการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องจะมีการออกแบบและพัฒนา รูปแบบต่าง ๆ อยู่เสมอ แต่การออกแบบกระบวนการที่ใช้แผ่นเซรามิกแบบชุดลวดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องที่ใช้แผ่นเซรามิกแบบชุดลวดขึ้น

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้แผ่นเซรามิกแบบชุดลวดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ด้วยการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการย่างด้วยวิธีของผู้ประกอบการกับการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง แล้วนำเงื่อนไขของอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไปออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่อง (Continuous process) สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.2.2 เพื่อออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

## 1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.3.1 การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่อง ใช้แผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

1.3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเนื้อหมูเสียบไม้ทรงกระบอก

1.3.3 คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา ประกอบด้วย ผลผลิต (Yield) การสูญเสียของเหลว สี และการหดตัว

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่เหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค

1.4.2 แนวทางการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

1.4.3 เครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 การศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ได้แก่ การให้ความร้อนของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด กระบวนการอย่าง กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อการอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ประกอบด้วย ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด การเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การทดลองเบื้องต้น การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

1.5.3 สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

1.5.4 การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

1.5.5 การทดสอบการทำงานของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาเป็น 5 บท มีเนื้อหาและรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการทำวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การให้ความร้อนของแผ่นเซรามิก แบบขดลวด กระบวนการย่าง การผลิตแบบต่อเนื่อง หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง ประกอบด้วย ชุดทดลองกระบวนการย่าง โดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด การเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การทดลองเบื้องต้น การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ และการออกแบบกระบวนการย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง ประกอบด้วย คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการ คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง การออกแบบกระบวนการย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ และการทดสอบการทำงานของเครื่องย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

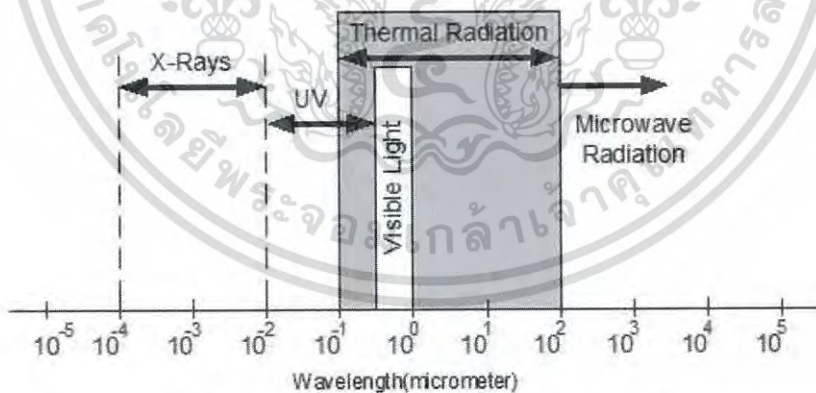
## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา มีหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการให้ความร้อนของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด กระบวนการอย่าง การผลิตแบบต่อเนื่อง หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

### 2.1 การให้ความร้อนของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด

การให้ความร้อนแบบอินฟราเรดเป็นการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ของวัตถุที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากการสั่นและการเคลื่อนที่ของการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่อาศัยตัวกลาง โดยวัตถุที่อุณหภูมิสูงมีค่าพลังงานสูงและแผ่รังสีความร้อนได้มากกว่า สำหรับการแผ่รังสีความร้อนแบบอินฟราเรดมีความยาวคลื่นตั้งแต่  $10^{-1}$  -  $10^2$  ไมโครเมตร ซึ่งครอบคลุมช่วงย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ย่านแสงที่ตามองเห็น (Visible light) และย่านรังสีอินฟราเรด (IR) ดังรูปที่ 2.1 มีขนาดของการแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น การกระจายตัวตามความยาวคลื่น (Spectral distribution) และทิศทางของการแผ่รังสีความร้อนด้วย

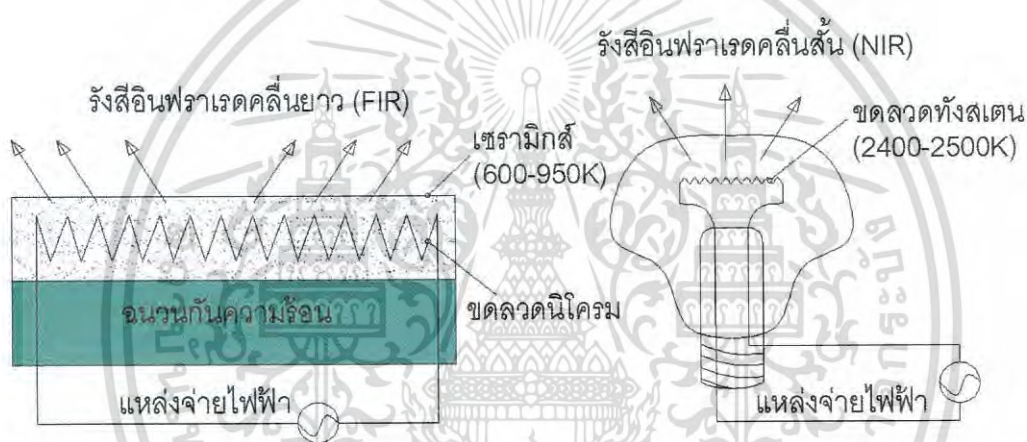


รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [4]

แผ่นเซรามิกแบบขดลวด ประกอบด้วย ขดลวดนิโครม (Nikrothal 80) ภายในแผ่นเซรามิกมีฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำแต่สามารถนำความร้อนได้ดี และหุ้มด้วยเซรามิก (Ceramic) ที่ทนความร้อนและแผ่รังสีความร้อนได้สูง แผ่นเซรามิกแบบขดลวดแผ่รังสีความร้อนย่านรังสีอินฟราเรด (IR) ในช่วงคลื่นยาว (Far infrared radiation, FIR) มีอุณหภูมิระหว่าง 600 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

950 องศาเซลเซียส และความยาวคลื่นตั้งแต่ 2.5 – 30 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่อาหารสามารถดูดกลืนพลังงานได้ดีเป็นที่นิยมในการนำไปให้ความร้อนแก่อาหาร และสำหรับแหล่งกำเนิดความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนย่านรังสีอินฟราเรด (IR) ในช่วงคลื่นสั้น (Near infrared radiation, NIR) ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 1.1 - 1.3 ไมโครเมตร [5] ผลิตจากขดลวดทังสเตน มีอุณหภูมิระหว่าง 2,400 – 2,500 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.2 ข้อดีของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดคือสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายและมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิมีค่าคงที่สม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงเพราะมีการสูญเสียความร้อนไปกับอากาศเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ โดยทั่วไปประหยัดกว่าเตาแก๊สแบบธรรมดาร้อยละ 30 - 40 อีกทั้งยังไม่มีควันและกลิ่นแก๊ส สามารถนำมาออกแบบให้ความร้อนแก่ด้านข้างของผลิตภัณฑ์ ทำให้การย่างมีความสะดวกและมีความต่อเนื่องได้



รูปที่ 2.2 แหล่งกำเนิดความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนย่านรังสีอินฟราเรด [6]

## 2.2 กระบวนการย่าง

การย่างเป็นกระบวนการให้ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างบรรยากาศที่ร้อนโดยรอบกับผิวผลิตภัณฑ์แล้วนำความร้อนจากผิวถ่ายเทเข้าสู่ภายในทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงสภาพเกิดการสูญเสียของเหลวจากการระเหยของน้ำและการหดตัวของน้ำมัน [7] โดยเนื้อสัตว์ที่ได้รับความร้อนจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเพปไทด์ถูกทำลาย โครงสร้างของโปรตีนจึงถูกทำลาย โดยเฉพาะพันธะระหว่างสายของโปรตีนกับโปรตีน หรือโปรตีนกับน้ำ ซึ่งหากมีอุณหภูมิไม่สูงมาก การเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติของโปรตีนอาจผันกลับคืนได้ (Reversible) แต่หากอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพตามธรรมชาติของโปรตีนแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible) เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่างมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สุกปราศจากจุลินทรีย์จำพวกที่ทำให้เกิดโรค เช่น *Escherichia coli* และ *Salmonella* ตามมาตรฐานคำแนะนำของ United States Department of Agriculture (USDA) [8] ได้แนะนำอุณหภูมิในการปรุงสุกเนื้อสัตว์ให้ปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคต้องให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์จนอุณหภูมิภายในตรงกลางผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่า 72 องศาเซลเซียส และยังต้องคำนึงถึงคุณภาพที่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค เช่น การสูญเสียของเหลว สี รสชาติ การหดตัว และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น [9, 10] กระบวนการย่างอาหารมีทั้งการย่างแบบใช้แก๊ส แบบอินฟราเรด และการย่างด้วยถ่านไม้ มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

1) การย่างด้วยแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) มีข้อดีคือสามารถควบคุมอุณหภูมิขณะย่างได้ง่ายและมีการให้ความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มีรูปแบบและขนาดของเครื่องย่างให้เลือกหลากหลายรุ่นขึ้นอยู่กับอาหารที่นำมาย่างและอัตราการผลิต การทำงานเริ่มด้วยการต่อท่อแก๊สเข้าเครื่องและจุดไฟตลอดทั้งแนวเครื่อง จากนั้นจึงทำการย่างผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นำรับประทานยิ่งขึ้นบางกรณีอาจมีการเติมสีให้กับตัวอาหารด้วยการกดด้วยแผ่นความร้อนทำให้เกิดเป็นรอยไหม้ หรือการจุ่มน้ำปรุงรสระหว่างกระบวนการด้วย

2) การย่างด้วยถ่านไม้ เป็นวิธีที่ใช้กันมายาวนานและยังเป็นที่นิยมถึงปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่างด้วยถ่านไม้มีลักษณะเด่นคือมีสีที่นำรับประทานและมีกลิ่นหอมของควันถ่านที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวอีกด้วย มีหลักการทำงานคล้ายกับการย่างด้วยแก๊ส คือ ต้องวางผลิตภัณฑ์ไว้เหนือถ่านไม้ที่แผ่รังสีความร้อนที่อยู่ด้านล่าง ถ่านไม้ที่นิยมใช้มีหลายชนิดเช่น ถ่านไม้ยูคา ถ่านไม้ยางพารา ถ่านไม้โกงกาง เป็นต้น

3) การย่างแบบอินฟราเรด เป็นวิธีแบบที่ให้ความร้อนแก่วัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้ เช่น แผ่นเซรามิก เป็นต้น เกิดเป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเปลี่ยนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่อินฟราเรดส่งไปยังอาหาร มีข้อดีคือทำให้อุณหภูมิได้สูงในเวลาที่รวดเร็ว ทำให้เมื่อผลิตภัณฑ์สุกแล้วน้ำในอาหารไม่ระเหยออกไปมาก ได้กลิ่นรสที่ดี ไม่มีควัน และไม่มีกลิ่นของแก๊ส ทำให้การย่างสะดวกและต่อเนื่องมากขึ้น อีกทั้งสามารถติดตั้งและให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่วางตัวในแนวตั้งได้ ช่วยลดการเกิดควันและสารระเหยที่เป็นอันตรายจำพวก Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) และ Heterocyclic aromatic amines (HCAs) [11, 12, 13] ที่เกิดจากการหยดของน้ำมันในผลิตภัณฑ์ลงบนแหล่งกำเนิดความร้อนด้วย

## 2.3 การผลิตแบบต่อเนื่อง

กระบวนการผลิตเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละอย่างในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ สามารถแบ่งได้เป็น การผลิตแบบโครงการ (Project) มีหน่วยผลิตที่มีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค การผลิตเป็นรุ่นหรือเป็นกะ (Batch) จะพิจารณาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งที่ทำการผลิต มีความเป็นมาตรฐานมากขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตแบบโครงการ ปริมาณการผลิตแต่ละครั้งมีจำนวนมากขึ้น แต่จำนวนการผลิตอาจไม่มากพอที่จะเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดกระบวนการผลิตให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะเดียวกันโดยเฉพาะได้ ซึ่งยังคงใช้อุปกรณ์การผลิตในการผลิตสินค้าที่มีคุณลักษณะคล้ายกัน และการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous) เป็นการผลิตที่มีการไหลของผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเป็นการต่อเนื่องมากที่สุด ลักษณะและรูปแบบการผลิตไม่มีการเปลี่ยนแปลง อาจมีชนิดของผลิตภัณฑ์ในการผลิตช่วงหนึ่ง ๆ เพียงประเภทเดียว และดำเนินการผลิตครั้งละจำนวนมาก มีการไหลเวียนของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีลักษณะไม่ขาดตอน การใช้เครื่องจักรอุปกรณ์และกระบวนการผลิตที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยปกติแล้วการผลิตประเภทนี้จะทำงานต่อเนื่องตลอดเป็นเวลานาน

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสำคัญของกระบวนการผลิต

ลักษณะ	การผลิตแบบโครงการ	การผลิตเป็นรุ่น	การผลิตต่อเนื่อง
ขนาดของโรงงาน	ไม่แน่นอน	ปานกลาง	ใหญ่
กระบวนการผลิต	ไม่มีรูปแบบแน่นอน	1 - 2 รูปแบบ	ไม่เปลี่ยนแปลง
ความเร็วในการผลิต	ไม่แน่นอน	ปานกลาง	เร็วมาก
ช่วงเวลาทำงาน	สั้นมาก	ปานกลาง	นานมาก
ปริมาณแรงงานที่ใช้	สูง	ไม่แน่นอน	ต่ำมาก
ความชำนาญของแรงงาน	สูง	ปนกันทั้งสูงและต่ำ	ไม่แน่นอน
ข้อมูลในการผลิต	สูงมาก	ไม่แน่นอน	ต่ำ
การวางแผนการผลิต	ไม่แน่นอน เปลี่ยนบ่อย	ไม่แน่นอน ต้องคอยติดตาม	เปลี่ยนได้ยาก

การผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) คือการผลิตสินค้ามาตรฐานในปริมาณมาก ๆ (High volume - standardized production) หรือที่เรียกว่า Mass production ตัวอย่างเช่น การผลิตรถยนต์ การผลิตน้ำมัน การผลิตแป้งและน้ำตาลข้าวโพด การประกอบเครื่องไฟฟ้า การทอผ้าด้วยเครื่องจักร และการผลิตอาหารในระดับอุตสาหกรรม เป็นต้น การผลิตแบบต่อเนื่องมีข้อดีคือสามารถวางแผนและควบคุมกระบวนการได้ง่าย การผลิตแบบต่อเนื่องมีลักษณะพิเศษของการผลิตแบบต่อเนื่อง คือ การมีลำดับการผลิตที่แน่นอน ผลผลิตจะไหลผ่านหน่วยผลิตตามลำดับเดียวกันหมด มีอุปกรณ์และกระบวนการผลิตมาตรฐานพร้อมที่จะผลิตสินค้าที่มีมาตรฐานแน่นอนได้ในปริมาณผลผลิตที่สูง แต่ไม่สามารถยืดหยุ่นไปผลิตสินค้าหลาย ๆ ชนิดได้ การทำงานหรือการเคลื่อนย้ายของผลิตภัณฑ์มักจะใช้สายพาน (Conveyor belts) จากหน่วยผลิตหนึ่งไปอีกหน่วยหนึ่ง และการป้อนงานเข้าหน่วยผลิตแต่ละหน่วยจะใช้กฎเกณฑ์มาก่อนไปก่อน (First in first out) คือผลิตภัณฑ์ชิ้นไหนมาถึงก่อนก็ทำการผลิตก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ต้องมีการออกแบบรูปแบบการส่งผ่านผลิตภัณฑ์ให้มีความต่อเนื่อง จำเป็นต้องอาศัยหลักการออกแบบทางวิศวกรรมและทฤษฎีพื้นฐานเข้ามาช่วยในการออกแบบโครงสร้าง รูปแบบกลไกการทำงาน และการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับวัสดุ หลักการพื้นฐานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า เพลา โซ่และเฟืองโซ่ เฟืองลดความเร็ว สปริง และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ดังนี้

### 2.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electrical motor) เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังที่ใช้เพื่อควบคุมเครื่องจักรกลต่าง ๆ ให้สามารถทำงานตามเงื่อนไขการใช้งานได้ การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างขั้วแม่เหล็กที่อยู่กับที่ เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) กับขดลวดที่พันรอบแกนเพลลาที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) การทำงานเริ่มจากผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กส่งผลให้ขดลวดหมุนรอบแกน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อทำให้เกิดการดูดและผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ต้องใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการดูดและผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ การเลือกใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าควรพิจารณาจากแรงม้าที่ต้องการ สามารถดูจากรายละเอียดของมอเตอร์ที่ป้ายบอกคุณสมบัติที่ติดอยู่บนมอเตอร์ เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า เช่น 380 โวลต์ 3 เฟส หรือ 220 โวลต์ 1 เฟส โดยควรเลือกแรงม้าขนาดมากกว่าแรงต้านสถิต (Static force) ซึ่งเป็นแรงเฉพาะเครื่องจักร

การคำนวณหาขนาดมอเตอร์และคำนวณหาแรงบิด (Torque) ที่เกิดจากการทดความเร็วรอบ ดังแสดงในสมการที่ 2.1 และกำลังของมอเตอร์ในสมการที่ 2.2 โดย P คือ กำลังของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt), T คือ โมเมนต์บิดที่กระทำกับเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (N.m) และ N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

$$T = \frac{9.74 \times 10^5 P}{N} \quad (2.1)$$

$$P = \frac{2\pi N T}{60} \quad (2.2)$$

อัตราทดความเร็วรอบ คือ ความเร็วที่วัตถุเคลื่อนที่ในเส้นรอบวงรอบจุดศูนย์กลางของวงกลม เป็นการเคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วคงที่เป็นวงกลม สมการที่ใช้คำนวณหาขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองขับ เฟืองตาม และความเร็วรอบของล้อสายพาน ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราทด (i) ได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 2.3 โดย  $n_1$  คือ ความเร็วคงที่ของล้อสายพานขับ มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm),  $n_2$  คือ ความเร็วคงที่ของล้อสายพานตาม มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm),  $d_1$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองขับ มีหน่วยเป็นเมตร (m) และ  $d_2$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองตาม มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.3)$$

#### 2.4.2 เพลลา

เพลลา (Shafts) เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรมีลักษณะทั่วไป คือ มีหน้าตัดกลมทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร ขณะทำงานเพลลาจะอยู่ภายใต้ภาระแรงจากการกระทำชนิดต่าง ๆ เช่น แรงกด (Compress load) แรงดึง (Tension load) โมเมนต์ดัด (Bending loads) และโมเมนต์บิด (Torsion load) ซึ่งภาระแรงเหล่านี้อาจกระทำในรูปแบบอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว หรือกระทำพร้อมกันในขณะที่เดียวกัน โดยการออกแบบเลือกใช้งานเพลลาต้องคำนึงถึงความแข็งแรงด้านการบิดของเพลลา ที่สามารถรับโมเมนต์บิด (Torsion load) ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งหมายความว่าในขณะที่ใช้งานมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนดไว้ ซึ่งการออกแบบเพลลาโดยทั่วไปได้มีการกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับมุมบิดไว้ คือ ห้ามมีมุมบิดเกิน 1 องศาต่อความยาว 300 มิลลิเมตร สำหรับเพลลาคลมนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของเพลลา ซึ่งสามารถคำนวณหาโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลลาคลมได้จากสมการที่ 2.4 โดย  $T$  คือ โมเมนต์บิดที่กระทำกับเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (N.m),  $F$  คือ แรงที่กระทำ มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) และ  $r$  คือ รัศมีเพลลา มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$$T = F \times r \quad (2.4)$$

การออกแบบเพลลาสำหรับภาระคงที่ (Static load) เมื่อเพลลาอยู่ภายใต้ภาระแบบผสม (Combined load) ส่งผลให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending loads) และโมเมนต์บิด (Torsion load) ขึ้น และเพื่อทำให้เพลลาที่มีขนาดเป็นมาตรฐานเดียวกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาในระบบ ISO/R775 - 1969 เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้งานได้อย่างสะดวก อีกทั้งยังเป็นตัวกำหนดขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลลาให้สอดคล้องซึ่งกันและกันด้วย ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพลลาส่วนใหญ่เกิดจากความล้า เพราะขณะทำงานเพลลาจะหมุนอยู่ตลอดเวลาจึงส่งผลให้เกิดความเค้นที่เป็นวัฏจักรขึ้น รวมถึงการเกิดแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการคำนวณหาขนาดของเพลลาจึงจำเป็นต้องมีความล้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งสามารถคำนวณขนาดเพลลาได้จากสมการที่ 2.5 และค่าตัวประกอบความล้าดังตารางที่ 2.2 โดย  $d$  คือ ขนาดของเพลลา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm),  $\tau_p$  คือ ความเค้นเฉือนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้  $\tau_p = 0.225 \sigma_y$  (เพลลามีร่องตบ่า),  $C_t$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด,  $C_m$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด,  $T$  คือ โมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิดที่เกิดขึ้นกับเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตันมิลลิเมตร (N.mm) และ  $M$  คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเพลลา มีหน่วยเป็นนิวตันมิลลิเมตร (N.mm)

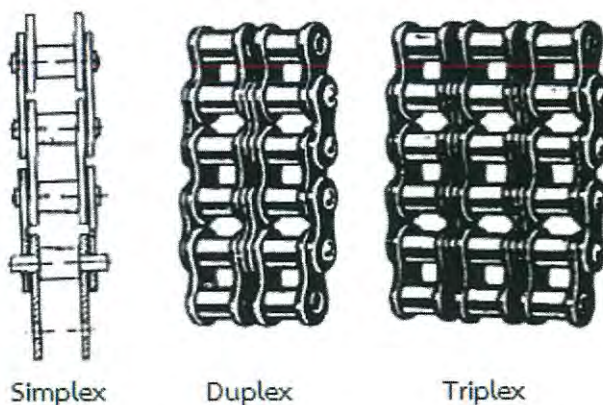
$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_p} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (2.5)$$

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวประกอบความล้าของเพลลา [14]

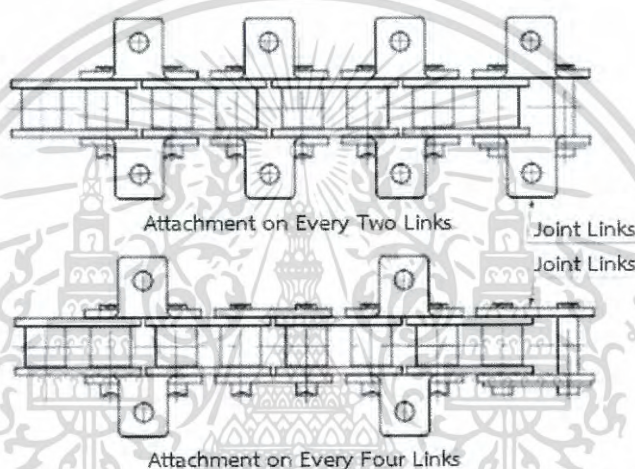
ชนิดของแรง	$C_m$	$C_t$
<b>เพลลาอยู่นิ่ง :</b>		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 - 2.0	1.5 - 2.0
<b>เพลลาหมุน :</b>		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 - 3.0	1.5 - 3.0

### 2.4.3 โซ่และเฟืองโซ่

โซ่และเฟืองโซ่ (Roller chain and sprocket) มีหน้าที่ในการส่งกำลังจากเพลลาขับไปยังเพลลาตามที่อยู่ห่างกัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการส่งกำลังของสายพาน แต่มีข้อดีด้านความแข็งแรงที่มากกว่าสายพานและสามารถส่งทอร์ก (Torque) ได้มากกว่าเพราะไม่มีการลื่นไถล (Slip) ซึ่งในขั้นตอนของการติดตั้งโซ่ต้องคำนึงถึงความตึงของโซ่ โซ่ส่งกำลังที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับประเภทของความต้องการในการใช้งานในแต่ละด้าน สำหรับโซ่ส่งกำลังที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือ โซ่มาตรฐาน (Standard roller chain) ซึ่งมีลักษณะข้อโซ่เป็นปลอกลูกกลิ้งทรงกระบอก (Roller) ซึ่งมีทั้งแบบแถวเดี่ยว (Simplex) สองแถว (Duplex) และสามแถว (Triplex) หรือมากกว่าดังรูปที่ 2.3 และแบบติดปีก (Standard roller chain attachment) ซึ่งมีทั้งแบบติดปีกสองด้านข้อเว้นสองข้อ (Attachment on every two links) แบบติดปีกสองด้านข้อเว้นสี่ข้อ (Attachment on every four links) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 โซ่มาตรฐาน Standard roller chain [15]



รูปที่ 2.4 โซ่แบบติดปีก Standard roller chain attachment (Misumi Thailand, 2010)

การคำนวณหาขนาดโซ่มักใช้วิธีเลือกขนาดจากแค็ตตาล็อกของบริษัทผู้ผลิตโซ่ โดยทำการคำนวณตามคำแนะนำในแค็ตตาล็อกนั้น ๆ หลังจากที่ได้เลือกขนาดโซ่ได้แล้ว อ้างอิงตามมาตรฐานสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (American National Standards Institute - ANSI) ซึ่งได้กำหนดขนาดโซ่มาตรฐานไว้ดังตารางที่ 2.3 และควรเลือกใช้งานเฟืองโซ่ให้มีลักษณะเป็นล้อที่มีฟันเฟืองที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถรองรับกับร่องของโซ่ได้พอดีตามขนาดของโซ่ ซึ่งในขั้นตอนการทำงานนั้นโซ่จะขบกับฟันของเฟืองโซ่พอดีซึ่งทำให้ไม่มีการลื่นไถลเกิดขึ้น อีกทั้งยังช่วยทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ด้วย

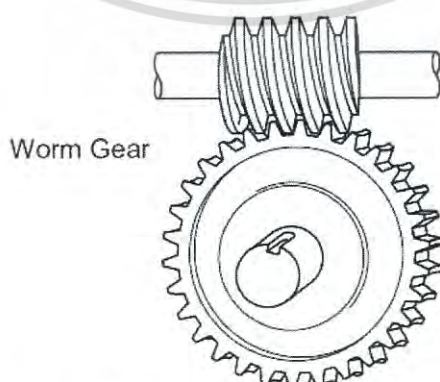
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขนาดโซ่ตามมาตรฐาน ANSI [15]

Chain Number	Pitch (mm)	Width (mm)	Minimum Tensile Strength (N)	Average Weight (N/m)	Roller Diameter (mm)	Multiple Strand Spacing
25	6.35	3.18	3470	1.31	3.30	6.40
35	9.52	4.76	7830	3.06	5.08	10.13
41	12.70	6.35	6670	3.65	7.77	14.38
40	12.70	7.94	13920	6.13	7.92	14.38
50	15.88	9.52	21700	10.10	10.16	18.11
60	19.05	12.70	31300	14.60	11.91	22.78
80	25.40	15.88	55600	25.00	15.87	29.29
100	31.75	19.5	86700	37.70	19.05	35.76

#### 2.4.4 เฟืองลดความเร็ว

การหมุนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มักมีความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วรอบที่ใช้งานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงลดความเร็วมอเตอร์ลงเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยอุปกรณ์ลดความเร็วที่นิยมใช้เป็นชุดเฟืองลดความเร็ว (Gear reducers) ที่อัตราลดความเร็วคงที่ สามารถเลือกใช้ได้โดยพิจารณาจาก แรงบิดในการส่งต่อ ความเร็วรอบ ประสิทธิภาพ สภาวะของเพลลา เป็นต้น เฟืองลดความเร็วอาศัยหลักการขบของฟันเฟืองขับไปยังฟันเฟืองตาม สำหรับการหาประสิทธิภาพของเฟืองลดความเร็ว หาได้จาก การวัดความเร็วรอบหรือการเปรียบเทียบกำลังได้ แบ่งได้หลายประเภท เช่น เฟืองตรง (Spur gears), เฟืองเฉียง (Helical gears), เฟืองดอกจอก (Bevel gear) และเฟืองหนอน (Worm gears) ดังรูปที่ 2.5 เป็นต้น



รูปที่ 2.5 เฟืองลดความเร็วแบบเฟืองหนอน [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

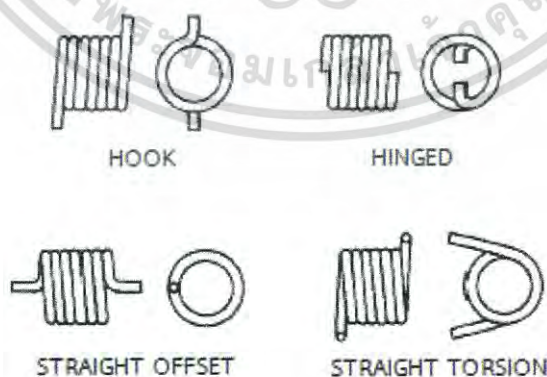
### 2.4.5 สปริง

สปริง (Spring) เป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป ส่วนใหญ่ผลิตจากโลหะและโลหะผสม และพวกโลหะบางชนิด มีจุดประสงค์การใช้งานแตกต่างกัน เช่น ควบคุมแรงกระทำอันเกิดจากภาระกระทำของแรงกระทำ ควบคุมระดับของการสั่นสะเทือน ควบคุมแรงและการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ สามารถแบ่งสปริงตามภาระแรงที่กระทำ ได้แก่ สปริงขดรับแรงกด (Helical compression spring), สปริงขดรับแรงดึง (Helical tension spring) และสปริงขดรับแรงบิด (Helical torsion spring) เป็นต้น ซึ่งแรงที่กระทำในสปริงส่วนใหญ่เป็นแรงดัดที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัด ซึ่งเป็นการคำนวณค่าความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในสปริงขดแบบบิด สามารถคำนวณได้จากมุมที่สปริงบิดไปด้วยสมการที่ 2.6 โดย  $\theta$  คือ มุมกดของสปริง,  $F$  คือ แรงที่กระทำต่อสปริง มีหน่วยเป็นนิวตัน (N),  $l$  คือ ระยะกดห่างจากจุดหมุนของสปริง มีหน่วยเป็นเมตร (m),  $n$  คือ จำนวนขดใช้งานของสปริง,  $D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดสปริง มีหน่วยเป็นเมตร (m),  $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง มีหน่วยเป็นเมตร (m) และ  $E$  คือ ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ( $N/m^2$ )

$$\theta = \frac{64FlDn}{d^4E} = \frac{64MDn}{d^4E} \quad (2.6)$$

ค่าความแข็งดึงของสปริงขดแบบบิด คือ โมเมนต์ที่ต้องใช้ในการทำสปริงขดเป็นมุมบิดที่สปริงบิดไป ดังนั้นค่าความแข็งของสปริง ( $k$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7 มีหน่วยความแข็งดึงของสปริงเป็นนิวตันเมตรต่อรอบ ( $N.m/turn$ )

$$k = \frac{M}{\theta} = \frac{d^4E}{64Dn} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.6 สปริงขดแบบบิด [15]

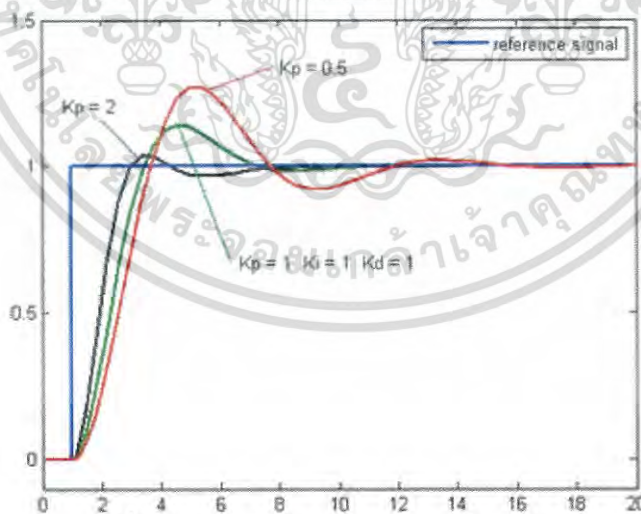
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.6 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณอินพุต (Input) จากเซนเซอร์หรือเทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิ และส่งงานเป็นสัญญาณเอาต์พุต (Output) เพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ การทำงานแบ่งเป็นส่วนวัดอุณหภูมิและหน้าจอบ่งชี้ผล (Display) เพื่อตั้งค่าและอ่านค่าพร้อมกับควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนดไว้ โดยหากอุณหภูมิไม่ได้ตามที่กำหนดจะส่งงานให้อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ควบคุมมีการเพิ่มและลดอุณหภูมิให้ได้ตามที่ตั้งค่าไว้ วิธีการควบคุมอุณหภูมิที่นิยมใช้งานกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ วิธีการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง หรือ ON/OFF และการควบคุมแบบ Proportional integral derivative controller (PID) ซึ่งวิธีการทั้งสองจัดอยู่ในระบบควบคุมแบบ Sequence control system และ Feedback control system ตามลำดับ ดังนี้

1) Sequence control system เป็นระบบการควบคุมการทำงานตามลำดับ โดยระบบควบคุมจะทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้ตามลำดับก่อน - หลัง ได้แก่ ON/OFF control หรือการควบคุมแบบ 2 ตำแหน่ง การทำงานของวิธีการควบคุมลักษณะนี้เป็นเพียงแค่การตัดหรือต่อการจ่ายสัญญาณควบคุม

2) Feedback control system หรือการควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นการควบคุมที่นำเอาสัญญาณย้อนกลับและค่าตัวแปรต่าง ๆ กลับมาเปรียบเทียบกับค่าหรือสัญญาณควบคุม เพื่อทำการประมวลผล และนำค่าที่ได้จ่ายเป็นสัญญาณควบคุมการทำงาน มีลักษณะการทำงานให้สิ้นสุดการควบคุม หรือมีลักษณะการทำงานเป็นรอบ ได้แก่ การควบคุมแบบ PID ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การให้ความร้อนแบบอินฟราเรดมีงานวิจัยจำนวนมากที่รายงานถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาของผลิตภัณฑ์อาหารกับการให้ความร้อนด้วยอินฟราเรด เช่น การผลิตเนื้อมัดแผ่น [10] การผลิตไส้กรอกรมควันที่ใช้อินฟราเรดให้ความร้อน [16] การอบแห้งกล้วยแผ่นด้วยอินฟราเรดที่สภาวะสุญญากาศ [17] และการอบแห้งข้าว [18] เป็นต้น แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไปออกแบบเครื่องมือและวิธีการให้ความร้อนที่เหมาะสมได้

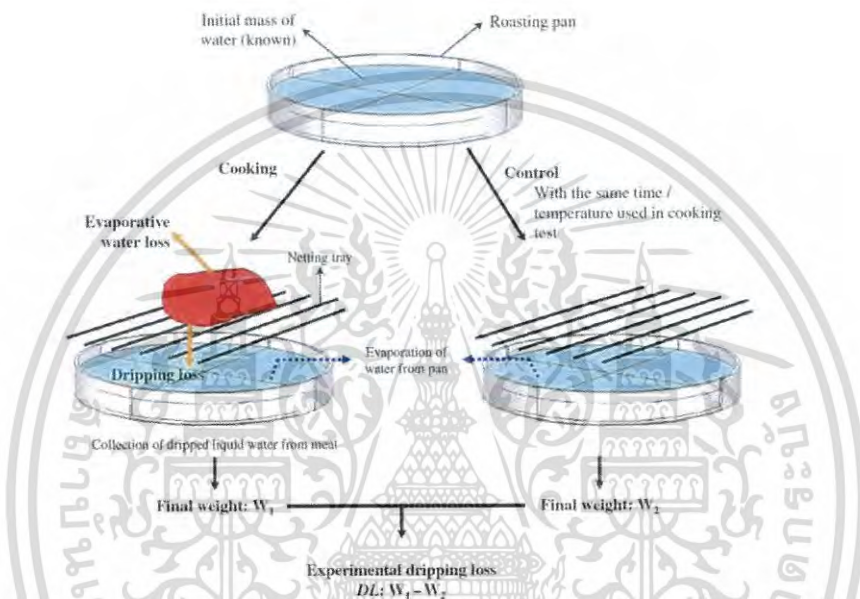
Sheridan and Shilton [7] ได้ศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อแผ่นของเบอเกอร์ โดยการแบ่งพิจารณาเป็นการสูญเสียน้ำหนักจากการระเหยของน้ำ (Vaporised loss) และจากการหยดของน้ำ (Drip loss) ด้วยการวางแผ่นเนื้อตัวอย่างไว้หน้าแผ่นรังสีอินฟราเรด ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นกราฟความสัมพันธ์ของเวลาในการย่างและปริมาณน้ำมันต่อการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตแผ่นเนื้อของเบอเกอร์ได้



Braeckman et al. [9] ได้ศึกษาคุณภาพและการสูญเสียน้ำหนัก เนื้อสัมผัส และสีเนื้อแผ่นของเบอเกอร์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการย่างแบบอินฟราเรดและการอบแบบลมร้อน มีเงื่อนไขของการศึกษาที่เวลาของการย่าง 0 – 150 วินาที ที่อุณหภูมิ 100 – 175 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วลม 3.8 - 7.5 เมตรต่อวินาที โดยที่ให้สิ้นสุดกระบวนการเมื่ออุณหภูมิใจกลางของเนื้อถึง 72 องศาเซลเซียส พบว่าการสูญเสียน้ำหนัก เนื้อสัมผัส และสีของการย่างด้วย 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Goñi and Salvadori [19] ได้ศึกษารูปแบบการพัฒนาการย่างเนื้อในเตาอบ และหาความสามารถในการทำนายค่าตัวแปรหลักของกระบวนการ 3 ตัวแปร ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

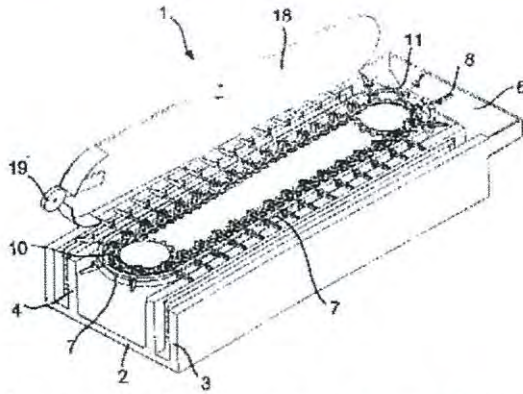
การระเหย การสูญเสียน้ำหนักจากการหดของน้ำ ดังรูป 2.9 และเวลาที่ใช้ในการย่าง โดยใช้กฎของฟูรีเยในการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อน และมีค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเป็นฟังก์ชันกับปริมาณน้ำ ที่มีค่าขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของชิ้นเนื้อ ตัวอย่างการทดลองเป็นชิ้นเนื้อส่วนต้นขาด้านใน semitendinosus muscle วางในเตาอบแบบพาความร้อน และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสามมิติ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวัดอุณหภูมิพบว่ามีความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute average relative deviations; AARD) ของการทำนายเวลาในการย่างร้อยละ 3.91 และของการสูญเสียน้ำหนักรวม ร้อยละ 7.96



รูปที่ 2.9 ชุดทดลองเพื่อหาการสูญเสียน้ำหนักจากการหดของน้ำมัน [19]

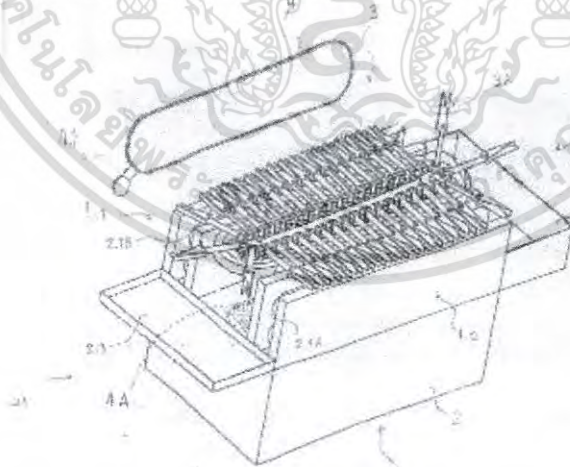
ฐานรัตน์ แสงเจริญตระกูล [1] ได้จดทะเบียนเลขที่อนุสิทธิบัตร 1110 กับกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ชื่อเครื่องปิ้งอาหาร ดังรูปที่ 2.10 โดยที่ผนังชั้นในทั้งสองข้างติดตั้งแผ่นให้ความร้อนและที่ปลายทางด้านหลังของตัวโครงจะเป็นที่สำหรับใส่น้ำจิ้มที่ด้านบนในระหว่างผนังชั้นในจะเป็นราง ซึ่งรางจะใช้เป็นที่วางของแซนวิช และด้านในที่ปลายด้านหน้าและด้านหลังของรางจะเป็นแป้นเพื่อที่รับกำลังมาจากแหล่งต้นกำลังจากภายนอกด้วยโซ่เพื่อขับเคลื่อนให้แซนวิชติดตั้งอยู่ตามข้อต่อของโซ่เคลื่อนที่ไปตามรางเพื่อปิ้งอาหารที่ถูกหนีบอยู่กับแซนวิช และที่ด้านบนสุดของเครื่องปิ้งอาหารจะเป็นฝาเปิดได้ และด้านหน้าสุดของฝากรอบจะเป็นตัวกั้นเพื่อใช้สำหรับปลดให้อาหารที่ถูกหนีบอยู่ที่แซนวิชเคลื่อนที่หล่นลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



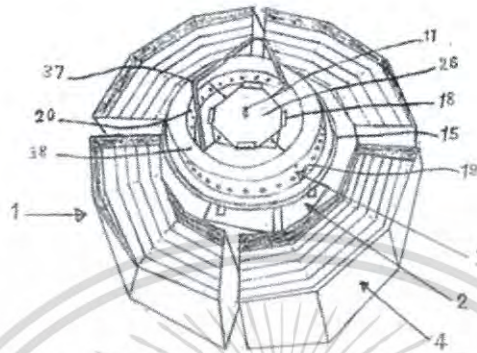
รูปที่ 2.10 เครื่องปิ้งอาหาร อนุสิทธิบัตรเลขที่ 1110 [1]

สุวิทย์ ศานติพิบูล [2] ได้จดทะเบียนเลขที่อนุสิทธิบัตร 3367 กับกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ชื่อเครื่องอย่างอาหารอัตโนมัติ ดังรูปที่ 2.11 มีลักษณะเป็นโครงตู้และชุดกลไกการย่างอัตโนมัติ ซึ่งมีกลไกจับด้ามไม้ติดตั้งบนโซ่เคลื่อนที่ด้วยชุดมอเตอร์ ผ่านลูกระนาดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับน้ำปรุงรส และผ่านชุดลดความร้อนจนสุกและใช้ลูกเบี้ยวปลดไม้คอก มีลักษณะเฉพาะคือ ชุดกลไกคียบอาหารซึ่งติดตั้งอยู่บนข้อโซ่ของจานโซ่แต่ละข้อ สามารถเคลื่อนที่ไปด้วยชุดมอเตอร์ส่งกำลังไปบนรางโครง ซึ่งทำหน้าที่บังคับทิศทางและแนวทางการเคลื่อนที่ของชุดกลไกไม้คียบ มีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวระนาบและเคลื่อนที่ในแนวขึ้น-ลง ตามโครงลูกระนาด โดยการย่างอาหารหนึ่งรอบ อาหารจะสัมผัสกับน้ำปรุงรสแล้วเคลื่อนที่ผ่านชุดลดให้ความร้อนจากทั้งสองด้านจนอาหารสุกแล้วจะถูกปลดลงสู่ภาชนะรองรับโดยลูกเบี้ยวคายแรงหนีบ



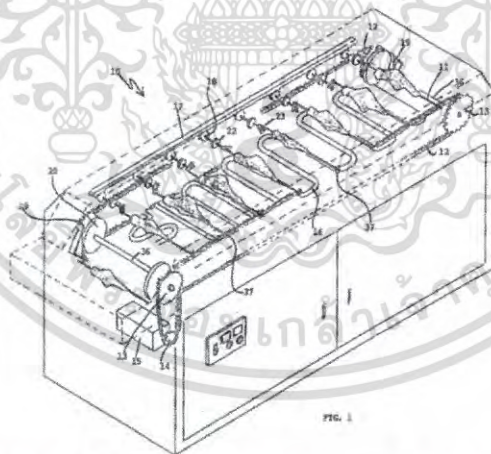
รูปที่ 2.11 เครื่องย่างอาหารอัตโนมัติ อนุสิทธิบัตรเลขที่ 3367 [2]

เกรียงชัย เชาวน์ชาญชัยกุล [20] ได้จดทะเบียนเลขที่อนุสิทธิบัตร 6514 กับกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ชื่อเครื่องปิ้งหมู ดังรูปที่ 2.12 เป็นเตาที่มีลักษณะเป็นทรงกลมแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตรงกลางเตาเป็นที่ว่างไว้สำหรับติดตั้งมอเตอร์ และมีชุดเสียบหมูเป็นท่อให้เสียบติดตั้งอยู่รอบ ๆ วงกลมด้านใน



รูปที่ 2.12 เครื่องปิ้งหมู อนุสิทธิบัตรเลขที่ 6514 [20]

Cheung et al. [3] European Patent Office, EP1306042A1 ได้ออกแบบเครื่องอย่างชื่อ Rotisserie Oven ที่มีกลไกจับตามไม้ติดกับโซ่ สามารถย่างผลิตภัณฑ์ในแนวนอนและหมุนรอบตัวเอง ระหว่างการเคลื่อนที่ได้ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องย่าง Rotisserie Oven, EP1306042A1 [3]

Rosidah and Samia [21] ได้กล่าวถึงแนวทางการออกแบบกลไกจับไม้ (Gripper) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะที่แตกต่างกันไป เช่น รูปร่าง เนื้อสัมผัส สี และขนาด ซึ่งกลไกจับไม้ต้องออกแบบให้สามารถทำงานได้และสามารถปรับแต่งได้หลากหลาย อีกทั้งต้องไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ ทำความสะอาดได้ง่ายตามหลักสุขอนามัย มีความแข็งแรงทนทาน ไม่สร้างรอยขีดข่วน รอยชำหรือตำหนิแก่ผลิตภัณฑ์ มีราคาต้นทุนการสร้างที่ต่ำเพราะต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับเปลี่ยนบ่อย มีโครงสร้างและวิธีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการสร้างและการบำรุงรักษา และสามารถป้องกันการปนเปื้อนข้ามได้ ซึ่งมีเกณฑ์ที่ต้องพิจารณาในการออกแบบกลไกจับ ดังนี้

- 1) พื้นผิวสัมผัส (Contact surface) มีผลต่อการคำนวณแรงกดและแรงเสียดทานที่ใช้จับผลิตภัณฑ์
- 2) แรงที่ใช้ในการจับ (Gripping force) พิจารณาแรงจากน้ำหนักและแนวแรงที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ คำนวณแรงจับได้จากหลักการสมดุลแรง
- 3) เวลาที่ใช้ (Gripping time) เป็นระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการ ซึ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ โดยเฉพาะการควบคุมระยะเวลาเปิดและปิดกลไกจับไม้ ควรจับผลิตภัณฑ์ไม่ตกหล่น
- 4) พื้นที่ในการจับ (Gripping area) พื้นที่ในการจับต้องเหมาะสมกับขนาดของผลิตภัณฑ์ ควรออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามรูปแบบผลิตภัณฑ์ มีการเผื่อขนาดความกว้างเมื่อกลไกจับไม้เปิดออก มีข้อแนะนำเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดจากการปะทะกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่เกินไป ควรออกแบบให้การป้อนผลิตภัณฑ์เข้ากลไกจับไม้ในแนวแกนหรือในแนวรัศมี เพื่อให้การป้อนมีความปลอดภัย และควรพิจารณาเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมในกระบวนการด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้มีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ประกอบด้วย ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด การเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การทดลองเบื้องต้น การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ และการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

### 3.1 ชุดทดลองกระบวนการอย่างและการเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

#### 3.1.1 ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด

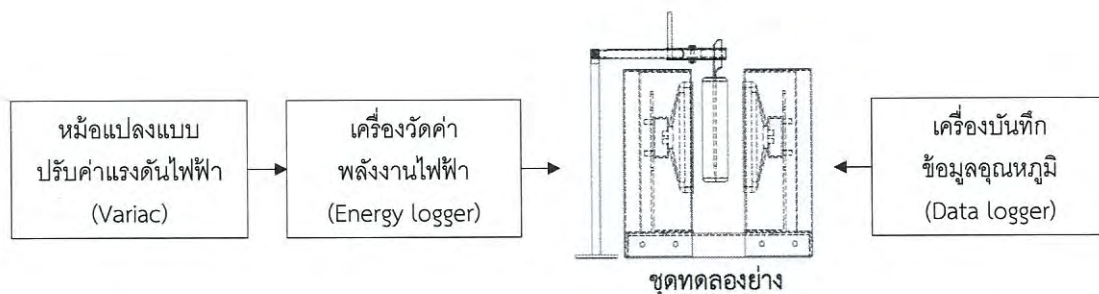
ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ 1) แผ่นเซรามิกแบบขดลวดขนาด 800 วัตต์ ใช้แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ และมีพื้นที่หน้าตัดขนาดกว้างและยาวเป็น  $12 \times 12$  เซนติเมตร หนาเป็น 3.75 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการให้ความร้อนด้านข้างของผลิตภัณฑ์ โดยออกแบบลักษณะการอย่างให้ผลิตภัณฑ์วางตัวในแนวตั้งอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นเซรามิกแบบขดลวด 2) หม้อแปลงปรับค่าแรงดันไฟฟ้า (Variable voltage transformer หรือ Variac) (10 Ampere, Yamabishi Electric, Japan) สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0 - 230 โวลต์ 3) เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (1730, Fluke, USA) เพื่อตรวจสอบระดับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเซรามิกแบบขดลวด และ 4) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) (34972A, Keysight Technologies, USA) โดยรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค

ชุดทดลองกระบวนการอย่างมีรูปแบบการทำงาน เริ่มด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงปรับค่าแรงดันไฟฟ้า แล้วอ่านค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีระดับกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

#### 3.1.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เป็นเนื้อหมูหมักรวมกับกระเทียม พริกไทย และเครื่องปรุงรสต่าง ๆ หมักเป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วนำมาปั้นเสียบไม้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก แข็งแข็งผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เพื่อรักษาอุณหภูมิไว้ที่  $-20$  องศาเซลเซียส ก่อนนำตัวอย่างมาทดลองให้วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งมีอุณหภูมิตรงกลางเป็น  $-4$  องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ผังกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด

### 3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จำเป็นต้องมีการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ให้ได้คุณภาพเป็นไปตามความต้องการของผู้ประกอบการ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ การสูญเสียของเหลว และการหดตัว มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

สมบัติทางกายภาพเป็นสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวกับขนาด รูปร่าง รูปทรงของอาหาร นำมาใช้ประโยชน์เพื่อการออกแบบ ขนาดของเครื่องมือในกระบวนการแปรรูปอาหาร สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง มวลก่อนการอย่าง และความหนาแน่น โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จำนวน 10 ตัวอย่าง
- 2) เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (530-104, Mitutoyo, Japan)
- 3) เครื่องชั่งมวลทศนิยมสองตำแหน่ง (DX3200G, Shimadzu, Japan)
- 4) แก้วพลาสติก
- 5) ฐานเสาขาตั้ง และที่จับ

## วิธีการทดลอง

- 1) นำผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จำนวน 10 ตัวอย่าง วัดขนาดทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ได้แก่ ความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังรูปที่ 3.3 ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์



รูปที่ 3.3 ขนาดทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

- 2) นำผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จำนวน 10 ตัวอย่าง ชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งมวลทศนิยมสองตำแหน่ง

3) หาค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ โดยการนำแก้วพลาสติกสะอาดใส่น้ำ และผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จำนวน 10 ตัวอย่าง ชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งมวลทศนิยมสองตำแหน่ง และหาความหนาแน่นเนื้อวัดด้วยวิธีการชั่งมวลในน้ำด้วยการจับผลิตภัณฑ์ด้วยที่จับของฐานเสาขาตั้ง แล้วชั่งมวล หาค่าความหนาแน่นเนื้อได้จากสมการที่ 3.1 โดย  $\rho$  คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ  $m$  คือ มวล มีหน่วยเป็นกรัม

$$\rho = \frac{m_{\text{เนื้อหมูในอากาศ}}}{m_{\text{เนื้อหมูในน้ำ}} - m_{\text{น้ำ}}} \quad (3.1)$$

การวัดขนาดของสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่ามีความยาวเฉลี่ยเป็น  $93.83 \pm 2.95$  มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเป็น  $27.89 \pm 1.15$  มิลลิเมตร มวลเฉลี่ยก่อนการย่างเป็น  $47.36 \pm 1.65$  กรัม และความหนาแน่นเนื้อเฉลี่ยเป็น  $1,086.67 \pm 8.64$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียไม้

ลำดับ	ความยาว (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	มวลก่อนการย่าง (กรัม)	ความหนาแน่นเนื้อ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
1	99.00	29.15	49.08	1,080.58
2	92.70	28.00	45.93	1,077.66
3	91.60	28.00	45.50	1,091.39
4	88.40	28.60	44.99	1,079.67
5	91.45	30.00	49.08	1,077.97
6	93.10	27.40	48.13	1,103.14
7	94.30	27.60	45.75	1,082.84
8	94.10	28.00	49.03	1,093.44
9	96.40	26.10	49.31	1,097.97
10	97.20	26.10	46.83	1,082.02
เฉลี่ย	93.83±2.95	27.89±1.15	47.36±1.65	1,086.67±8.64

### 3.2.2 สมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียไม้

สมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียไม้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกระบวนการย่างแบบต่อเนื่องคือ ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat, Cp) มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส (kJ/kg.°C) ทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (Differential scanning calorimeter, DSC) ดังรูปที่ 3.4 มีหลักทำงานโดยอาศัยการวิเคราะห์ความแตกต่างของการให้ความร้อน (Heat flux) กับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเปรียบเทียบกับสารอ้างอิง โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปดละเอียด
- 2) เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (DSC204 F1, NETZSCH, Germany)
- 3) ถ้วยอลูมิเนียม

วิธีการทดลอง

1) เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปดละเอียด มวลเป็น 32.2 มิลลิกรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมบรรจุตัวอย่างอัดแน่นเพื่อไม่ให้อากาศเข้า

2) นำถ้วยอลูมิเนียมที่ใส่ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปดละเอียดและถ้วยถ้วยอลูมิเนียมเปล่า ใส่ในเตา (Furnace) ของเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน ซึ่งมีจำนวน 2 เตา โดยเตาที่ 1 ใส่ถ้วยอลูมิเนียมเปล่าเป็นตัวอ้างอิง และเตาที่ 2 ใส่ถ้วยอลูมิเนียมบรรจุตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปดละเอียด

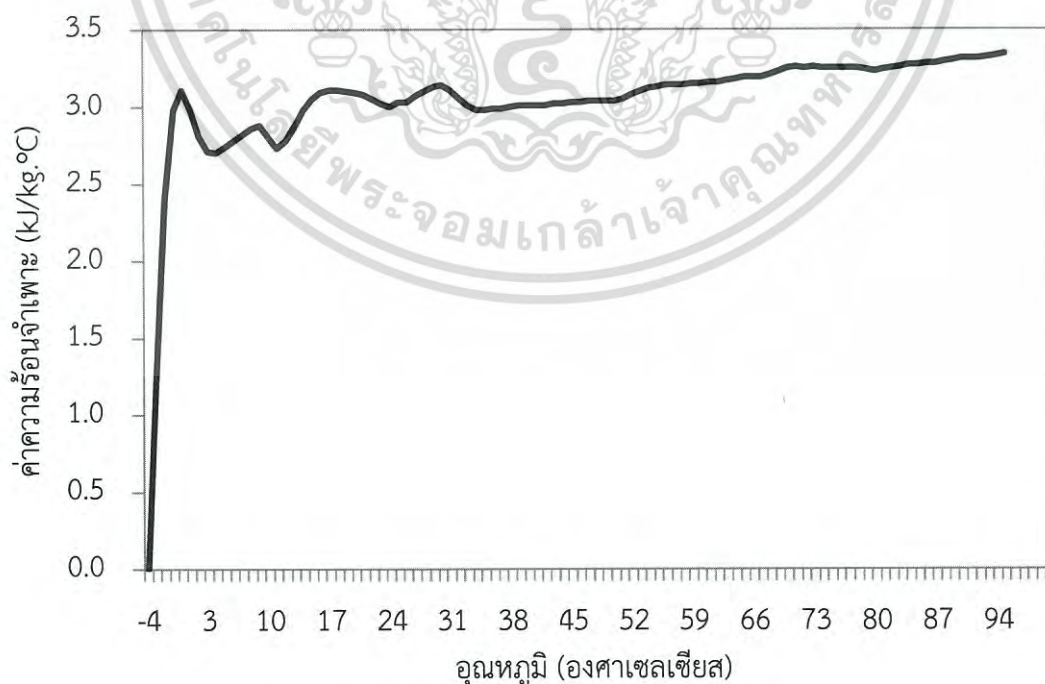
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กำหนดเงื่อนไขการทดสอบจาก -4 องศาเซลเซียส ถึง 95 องศาเซลเซียส ให้อัตราการเพิ่มความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที แก๊สที่ใช้วิเคราะห์เป็นแก๊สไนโตรเจน



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน

การหาค่าความร้อนจำเพาะที่เงื่อนไขการทดสอบจาก -4 องศาเซลเซียส ถึง 95 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ได้ค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูจากเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน มีค่าเฉลี่ยเป็น  $3.09 \pm 0.17$  กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ) โดยมีช่วงการเปลี่ยนแปลงความร้อนจำเพาะตามอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.5 ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อหมูที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อหมูที่ใช้ในการทดลอง

อุณหภูมิ (°C)	Cp (kJ/kg.°C)	อุณหภูมิ (°C)	Cp (kJ/kg.°C)	อุณหภูมิ (°C)	Cp (kJ/kg.°C)	อุณหภูมิ (°C)	Cp (kJ/kg.°C)	อุณหภูมิ (°C)	Cp (kJ/kg.°C)
-4	0.01	16	3.09	36	2.99	56	3.14	76	3.25
-3	1.23	17	3.11	37	2.99	57	3.14	77	3.25
-2	2.40	18	3.11	38	3.00	58	3.14	78	3.25
-1	2.98	19	3.10	39	3.01	59	3.15	79	3.24
0	3.11	20	3.09	40	3.01	60	3.15	80	3.23
1	2.98	21	3.08	41	3.01	61	3.16	81	3.24
2	2.81	22	3.05	42	3.01	62	3.16	82	3.25
3	2.71	23	3.02	43	3.02	63	3.17	83	3.26
4	2.70	24	3.00	44	3.02	64	3.18	84	3.27
5	2.74	25	3.03	45	3.03	65	3.19	85	3.27
6	2.78	26	3.03	46	3.03	66	3.19	86	3.28
7	2.82	27	3.07	47	3.04	67	3.19	87	3.28
8	2.86	28	3.10	48	3.04	68	3.21	88	3.29
9	2.88	29	3.13	49	3.04	69	3.23	89	3.30
10	2.80	30	3.14	50	3.04	70	3.25	90	3.31
11	2.73	31	3.11	51	3.05	71	3.26	91	3.31
12	2.78	32	3.06	52	3.08	72	3.25	92	3.31
13	2.88	33	3.01	53	3.10	73	3.26	93	3.32
14	2.98	34	2.98	54	3.12	74	3.25	94	3.33
15	3.05	35	2.98	55	3.13	75	3.25	95	3.34

### 3.2.3 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

สมบัติเชิงทัศนศาสตร์เป็นลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค และสมบัติที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งกระบวนการย่าง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพได้ วิธีการวัดสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ถูกอธิบายเป็นเชิง 3 มิติ ได้แก่ ค่าความสว่าง (Lightness) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงและการดูดซับแสง ความยาวคลื่นเด่น (Dominant wavelength) สะท้อนออกจากวัตถุหรือค่าสีหลัก (Hue) และความบริสุทธิ์ของสี (Purity) คือค่าปริมาณการปนของสีเทา การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ด้วยเครื่องวัดสี Color Flex EZ ในระบบ CIE แสดงค่า  $L^*$  (ความสว่าง)  $a^*$  (สีแดงหรือเขียว) และ  $b^*$  (สีเหลืองหรือน้ำเงิน) วิเคราะห์ความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างด้วยค่า  $\Delta E^*$  [22] ดังสมการที่ 3.2 โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\Delta L^*$  คือผลต่างของ  $L^*$  ตัวอย่าง -  $L^*$  ตัวอย่างควบคุม  
 $\Delta a^*$  คือผลต่างของ  $a^*$  ตัวอย่าง -  $a^*$  ตัวอย่างควบคุม  
 $\Delta b^*$  คือผลต่างของ  $b^*$  ตัวอย่าง -  $b^*$  ตัวอย่างควบคุม

### วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ได้หลังจากกระบวนการย่าง
- 2) เครื่องวัดสี Color Flex EZ (Flex EZ, Hunter Associates Laboratory, USA)
- 3) ถ้วยสำหรับใส่ตัวอย่าง พร้อมฝาปิด

### วิธีการทดลอง

- 1) ตัดผิวผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ได้หลังจากการย่าง มวลประมาณ 5-10 กรัม ใส่ในถ้วยพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างให้เต็มพื้นที่ ดังรูปที่ 3.6
- 2) สอบเทียบเครื่องวัดสีก่อนการทดลองด้วยแผ่นสอบเทียบค่าสีขาว และสีดำ ตั้งค่าให้เครื่องอ่านค่าสีในระบบ CIE แสดงค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$
- 3) นำถ้วยที่ใส่ตัวอย่างวางบนแท่นวัดสีของเครื่องวัดสี ดังรูปที่ 3.5 ครอบด้วยฝาครอบเพื่อป้องกันแสงจากแหล่งภายนอก อ่านค่าสีในระบบ CIE แสดงค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$



รูปที่ 3.6 การวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

### 3.2.4 การสูญเสียของเหลว

การสูญเสียของเหลวรวม (Total loss) ประกอบด้วยการสูญเสียจากการหยดของน้ำมัน (Dripping loss) และการระเหยของน้ำ (Evaporative loss) โดยการสูญเสียของเหลวรวมวัดจากการชั่งมวลก่อนและหลังการย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ การสูญเสียจากการหยดของน้ำมันวัดจากการนำถ้วยที่บรรจุน้ำในปริมาณเท่ากันจำนวน 2 ใบ โดยวางถ้วยชั้นที่ 1 ไว้ใต้ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เพื่อรองรับการหยดของน้ำมัน และวางถ้วยชั้นที่ 2 ไว้ใกล้เคียงกันโดยไม่ต้องอยู่ใต้ผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 เมื่อทำการทดลอง น้ำในถ้วยทั้งสองจะระเหยในปริมาณเท่ากัน แต่สำหรับถ้วยขึ้นที่ 1 จะมีมวลที่แตกต่างจากการหยดของน้ำมันรวมอยู่ด้วย สำหรับการสูญเสียมวลจากการระเหยหาได้จากผลต่างของการสูญเสียของเหลวรวมกับการสูญเสียจากการหยดของน้ำมัน [19] โดยวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.7 การหาค่าการสูญเสียจากการหยดของน้ำมัน

วัสดุและอุปกรณ์

1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหุ้บเสียบไม้ก่อน และหลังการย่าง

2) เครื่องชั่งมวลทศนิยมสองตำแหน่ง

3) ถ้วยบรรจุน้ำจำนวน 2 ใบ

วิธีการทดลอง

1) ชั่งมวลผลิตภัณฑ์เนื้อหุ้บเสียบไม้ก่อนการย่าง

2) บรรจุน้ำลงในถ้วย จำนวน 2 ใบ ชั่งมวลก่อนการย่างเป็น 15 กรัม

3) เมื่อเริ่มการทดลองนำถ้วยบรรจุน้ำ จำนวน 2 ใบ เข้าไปบริเวณย่างโดยให้ถ้วยบรรจุน้ำใบที่ 1 วางอยู่ใต้ผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดลองอย่าง และขึ้นที่ 2 ไว้ใกล้เคียงกันโดยไม่ต้องอยู่ใต้ผลิตภัณฑ์

4) ทำการทดลองอย่างผลิตภัณฑ์ตามเงื่อนไขที่กำหนด

5) หลังการย่างชั่งมวลผลิตภัณฑ์เนื้อหุ้บเสียบไม้ และคำนวณหาการสูญเสียของเหลวรวมด้วยสมการที่ 3.3 การสูญเสียมวลจากการหยดของน้ำมัน ด้วยสมการที่ 3.4 และการสูญเสียมวลจากการระเหยของน้ำ ด้วยสมการที่ 3.5 โดย  $m$  คือ มวล มีหน่วยเป็นกรัม

$$\text{Total loss} = m_{\text{ก่อนย่าง}} - m_{\text{หลังย่าง}} \quad (3.3)$$

$$\text{Dripping loss} = m_{\text{ถ้วยหลังย่าง}} - m_{\text{ถ้วยก่อนย่าง}} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Evaporative loss} = \text{Total loss} - \text{Dripping loss} \quad (3.5)$$

### 3.2.5 การหดตัว

การหดตัวของผลิตภัณฑ์พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรที่ลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนที่เป็นผลมาจากการให้ความร้อน และเกิดการสูญเสียของเหลวจากการระเหยของน้ำและการหดของน้ำมัน มีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนอย่างและหลังการย่าง
- 2) เวอร์เนียคาลิปเปอร์

วิธีการทดลอง

- 1) วัดขนาดความยาวผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ทั้งก่อน และหลังการย่าง ตามตำแหน่งดังรูปที่ 3.8
- 2) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ทั้งก่อน และหลังการย่าง ที่ตำแหน่ง  $D_a$  และ  $D_b$
- 3) คำนวณหาปริมาตรของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ทั้งก่อนอย่าง และหลังอย่าง ดังสมการที่ 3.6



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการวัดขนาดของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อน และหลังการย่าง

- 4) คำนวณหาร้อยละการหดตัวหลังย่าง ดังสมการที่ 3.7 โดย  $V$  คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์มิลลิเมตร และ  $D_{avg}$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$$V = \frac{\pi D_{avg}^2}{4} \quad (3.6)$$

$$\% \text{Shrinkage} = \frac{V_{ก่อนย่าง} - V_{หลังย่าง}}{V_{ก่อนย่าง}} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลองเบื้องต้น

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหุเสียบไม้ มีการทดลองเบื้องต้นได้แก่ การวัดอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด และอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่อง ดังนี้

#### 3.3.1 การวัดอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด

การวัดอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดที่ระยะห่างจากผิวแผ่นเซรามิกแบบขดลวด 1, 2 และ 3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.9 บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้อง (35 องศาเซลเซียส) จนถึงอุณหภูมิคงที่ของแต่ละระดับกำลังไฟฟ้า มีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

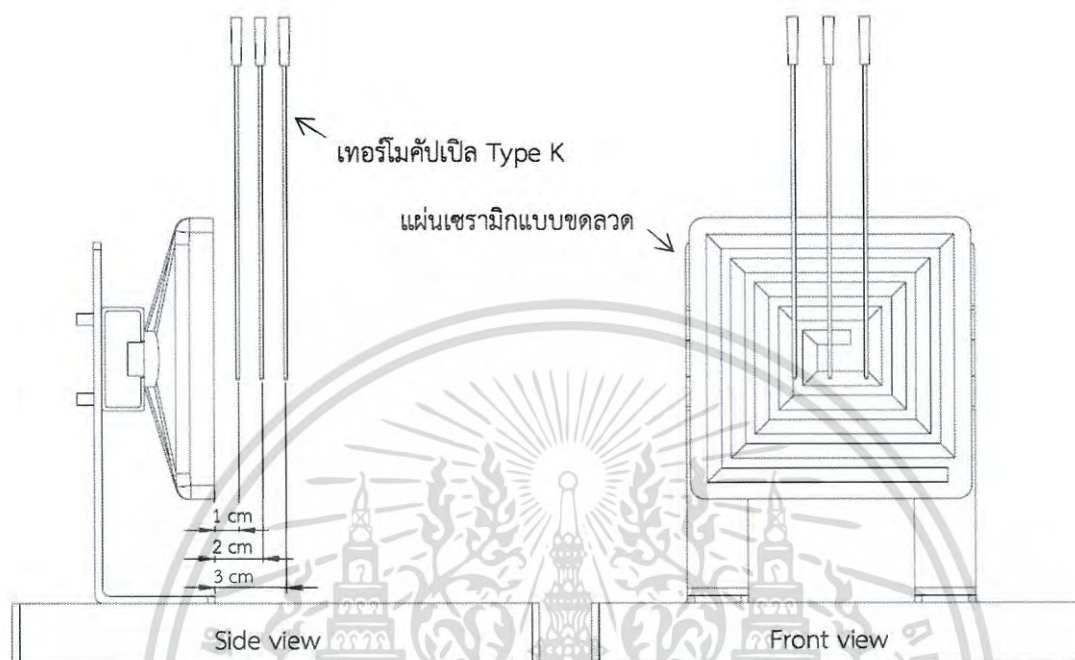
- 1) ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด
- 2) หม้อแปลงแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้า
- 3) เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
- 4) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ
- 5) เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเค
- 6) ฐานเสาขาตั้ง และที่จับ

วิธีการทดลอง

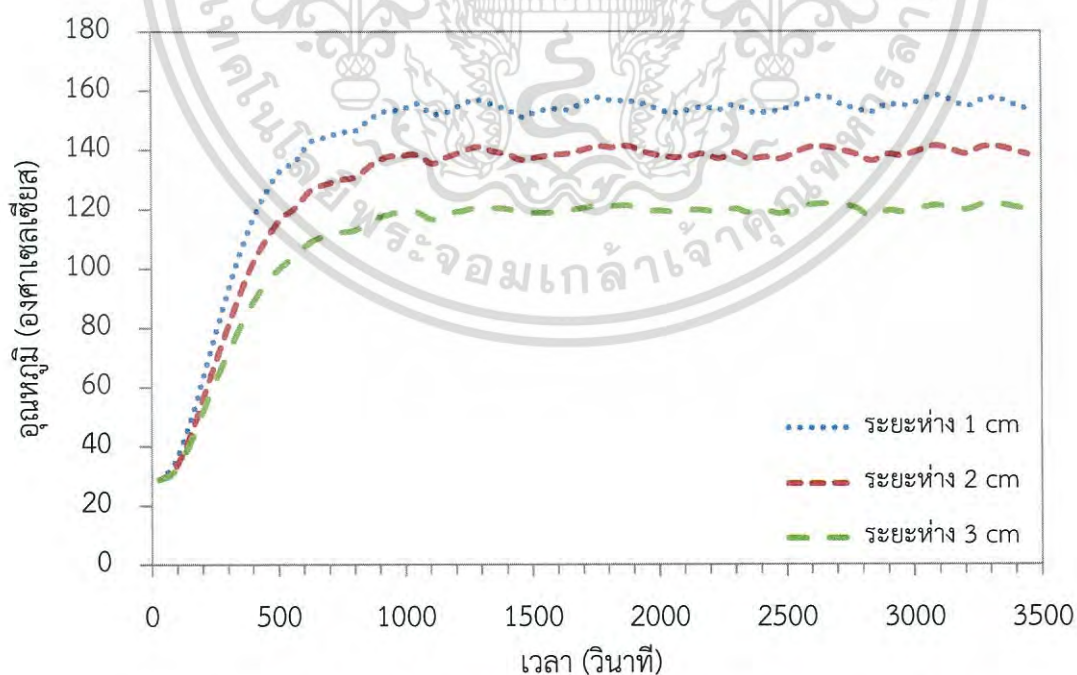
- 1) ปรับแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลง และอ่านค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีระดับกำลังไฟฟ้าเป็น 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 และ 800 วัตต์
- 2) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค จำนวน 3 เส้น ด้วยฐานเสาขาตั้ง และที่จับให้มีระยะห่างจากผิวของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็น 1, 2 และ 3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8
- 3) เครื่องบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 1 วินาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ของแต่ละระดับกำลังไฟฟ้า

ผลการวัดอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด ตามระดับกำลังไฟฟ้าเป็น 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750 และ 800 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดที่ระยะห่างจากผิวของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็น 1, 2 และ 3 เซนติเมตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องแบบต่อเนื่องจนกระทั่งมีอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง จากรูปที่ 3.9 เป็นตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้าเป็น 350 วัตต์ และพบว่าที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร มีอุณหภูมิมากกว่าที่ระยะ 2 และ 3 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าที่ระยะห่างต่างกันมีอุณหภูมิต่างกันโดยระยะห่างที่ใกล้ที่สุดมีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาทุกระดับกำลังไฟฟ้าแสดงดังภาคผนวก ก สามารถอุณหภูมิคงที่ตามระดับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าดังตารางที่ 3.3 พบว่าเมื่อระดับกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ระยะห่างต่าง ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นและมากที่สุดที่ระดับกำลังไฟฟ้าเป็น 800 วัตต์ สำหรับเวลาที่ทำให้อุณหภูมิกงที่มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งมีระยะเวลาสั้นที่สุดที่ระดับกำลังไฟฟ้าเป็น 800 วัตต์



รูปที่ 3.9 การวัดอุณหภูมิของระดับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนสู่แผ่นเซรามิกแบบขดลวด

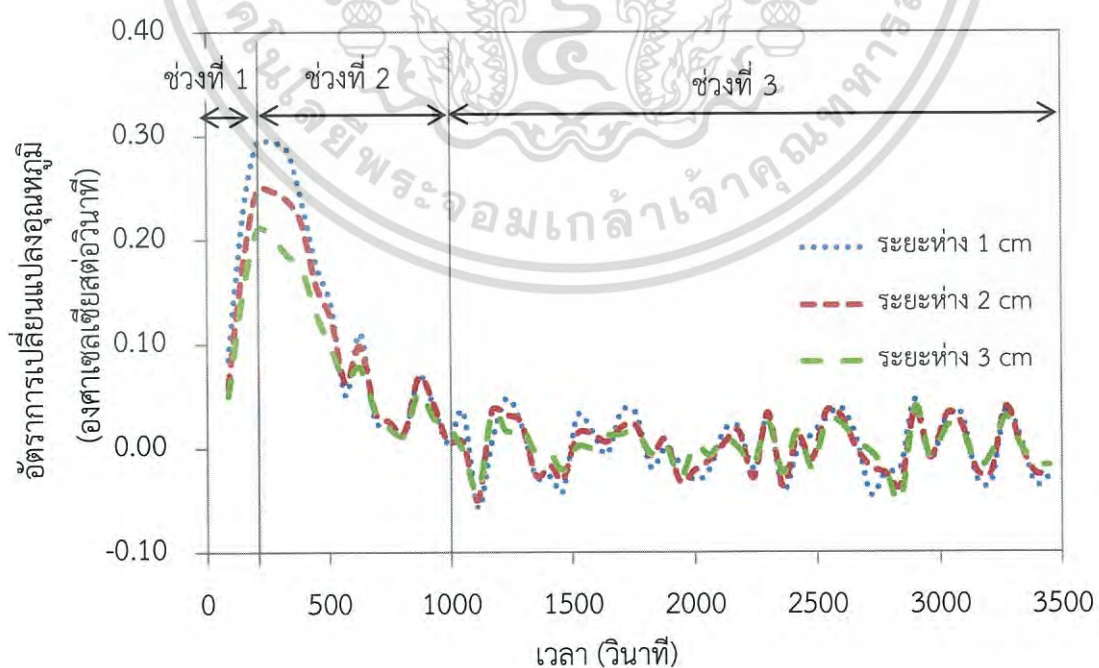


รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกงกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 350 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ได้รับตามระดับกำลังไฟฟ้าและระยะห่างต่าง ๆ

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาอุณหภูมิ คงที่ (วินาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
		ระยะ 1 เซนติเมตร	ระยะ 2 เซนติเมตร	ระยะ 3 เซนติเมตร
100	1300	68	61	55
150	1200	80	70	64
200	1150	105	95	84
250	1100	115	102	89
300	1050	130	114	100
350	1000	146	130	113
400	950	174	155	132
450	920	187	167	139
500	900	193	174	145
550	850	202	183	154
600	800	228	207	164
650	780	230	213	186
700	750	235	217	191
750	720	261	240	210
800	700	270	250	215



รูปที่ 3.11 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 350 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 3.11 พบว่าช่วงที่ 1 มีอัตราการการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 เป็นการรักษาอัตราการเปลี่ยนแปลงมีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าก่อนการย่างควรเปิดใช้งานแผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็นระยะเวลาอย่างน้อยดังตารางที่ 3.3 โดยที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมากกว่าระยะห่าง 2 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ รูปภาพของอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทุกระดับกำลังไฟฟ้าแสดงดังภาคผนวก ก

### 3.3.2 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์

การวัดอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เพื่อหาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ การทดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่างที่ระยะห่างจากผิวผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้กับแผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็น 1 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.12 มีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จำนวน 3 ตัวอย่างต่อการทดลอง
- 2) ชุดทดลองกระบวนการย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด
- 3) หม้อแปลงแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้า
- 4) เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
- 5) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ
- 6) เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค
- 7) ฐานเสาขาตั้ง และที่จับ

วิธีการทดลอง

1) ปรับแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงแล้วอ่านค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีระดับกำลังไฟฟ้าเป็น 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 วัตต์ จนกระทั่งมีอุณหภูมิคงที่ตามตารางที่ 3.3 ได้อุณหภูมิที่ระยะห่างระหว่างผิวแผ่นเซรามิกกับผิวของผลิตภัณฑ์ 1 เซนติเมตร เป็น 105, 115, 130, 146, 174, 187 และ 193 องศาเซลเซียส และที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร เป็น 95, 102, 114, 130, 155, 167 และ 174 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2) ตั้งระยะห่างระหว่างผิวแผ่นเซรามิกกับผิวของผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 1 เซนติเมตร จะได้ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นเซรามิก 5 เซนติเมตร และที่ระยะ 2 เซนติเมตร จะได้ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นเซรามิก 7 เซนติเมตร

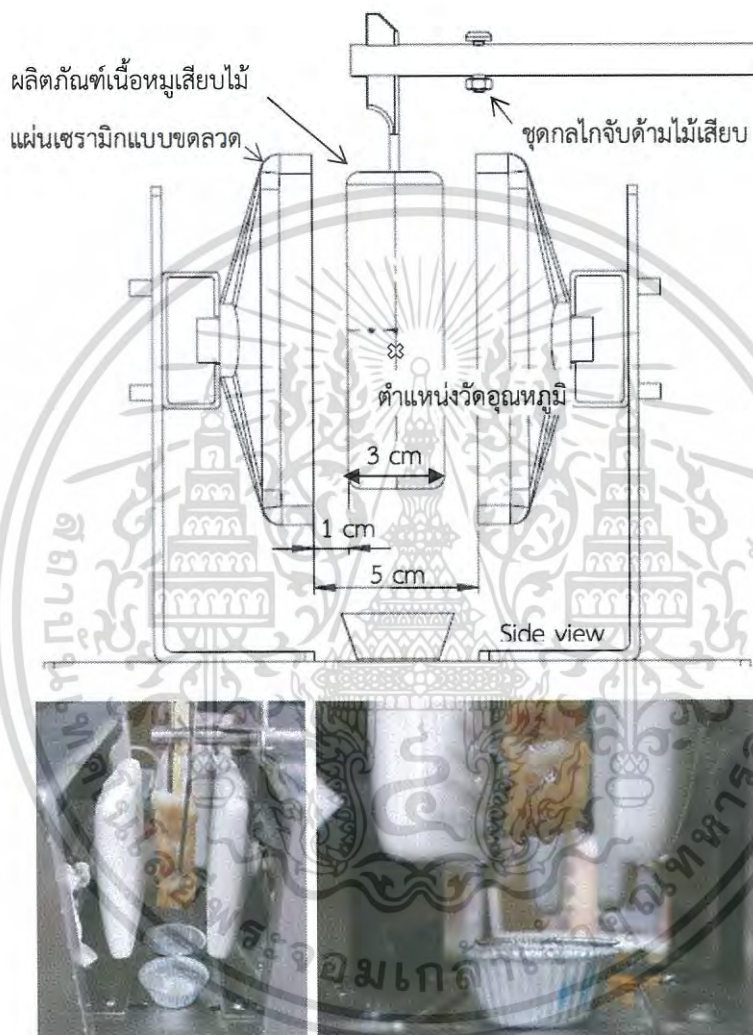
3) เสียบเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค เข้าไปตรงกลางผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ เพื่อวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

4) จับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ด้วยที่จับของฐานเสาขาตั้ง ทดลองอย่างครั้งละ 1 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ให้กำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเซรามิกแบบขดลวดจนอุณหภูมิคงที่ และทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่มีอุณหภูมิภายในตั้งแต่ -4 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส ตามคำแนะนำของ USDA บันทึกอุณหภูมิและเวลาด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.12

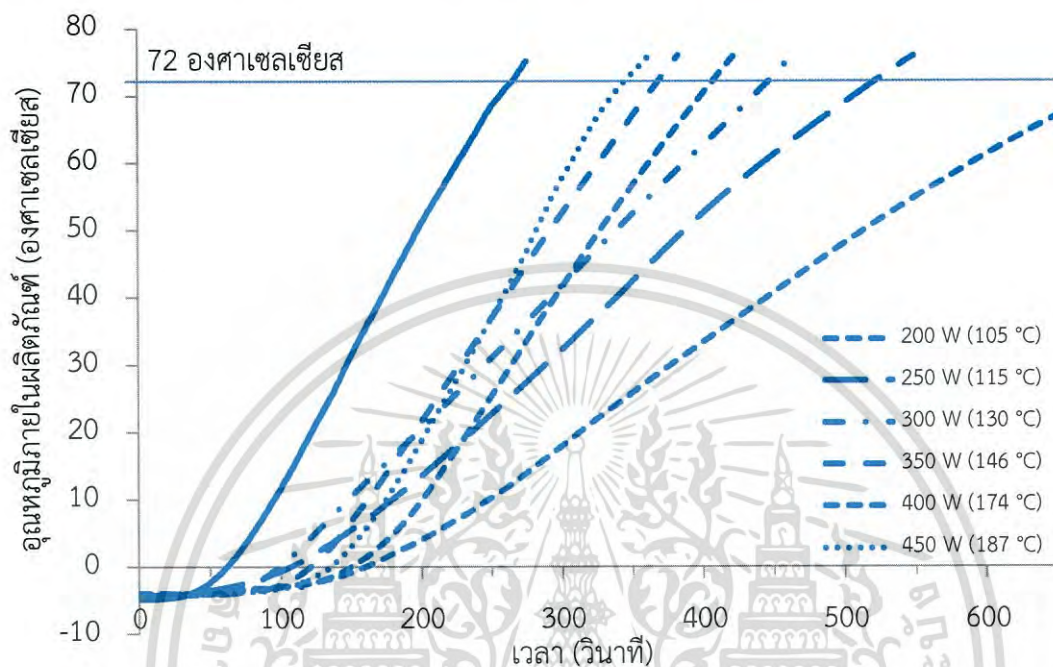
6) คำนวณหาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์



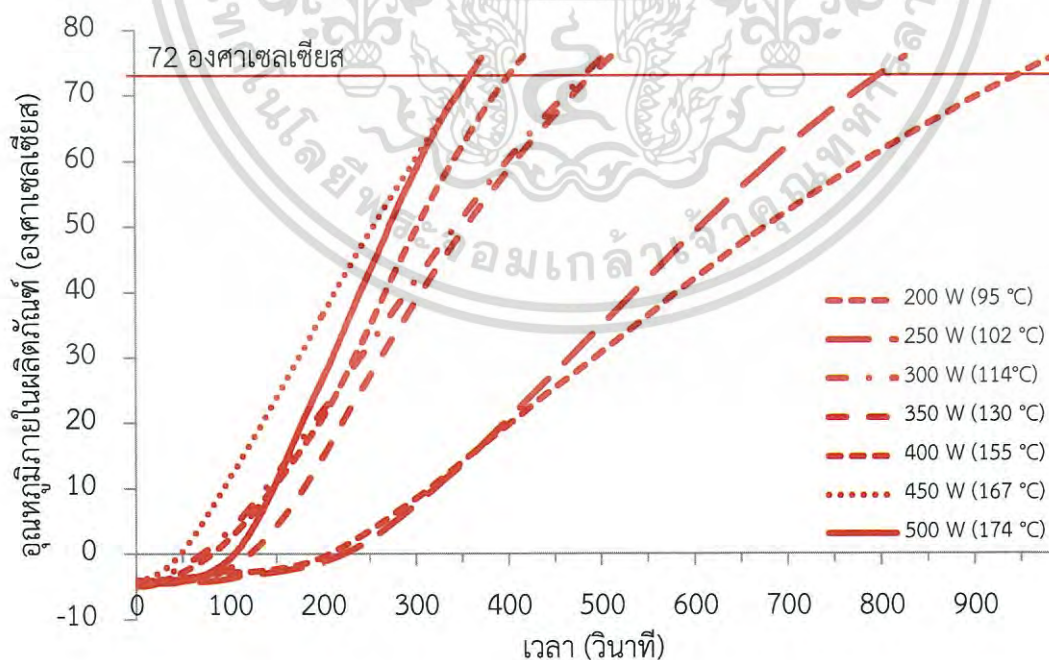
รูปที่ 3.12 การทดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง

ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ที่ระยะห่างระหว่างผิวแผ่นเซรามิกแบบขดลวดกับผิวของผลิตภัณฑ์ 1 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร ตามระดับกำลังไฟฟ้า 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 วัตต์ มีอุณหภูมิคงที่ดังตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 72 องศาเซลเซียส ซึ่งมีระยะเวลาในการบวนการย่างแตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.13 เป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร พบว่าระดับกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าจะมีระยะเวลาในการย่างนานที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.14 พบว่าที่ระดับกำลังไฟฟ้าเดียวกันระยะห่าง 1 เซนติเมตร มีเวลาในการย่างเร็วกว่าระยะห่าง 2 เซนติเมตร ดังนั้นการออกแบบกระบวนอย่างแบบต่อเนื่องควรออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์กับผิวแผ่นเซรามิกแบบขดลวดให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมภายนอก



รูปที่ 3.13 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.14 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.4 แสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเนื้อหมูเสียบไม้ ที่ได้จากการทดลองด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง ตั้งแต่อุณหภูมิภายในตั้งแต่ -4 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแตกต่างกันตามระดับกำลังไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างผิวผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้กับแผ่นเซรามิกแบบขดลวด ซึ่งระดับกำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ที่ระยะ 1 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เป็น 0.15 และ 0.11 องศาเซลเซียสต่อวินาที ตามลำดับ และระยะ 1 เซนติเมตร ที่ระดับกำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ และ 500 วัตต์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เป็น 0.15 และ 0.39 องศาเซลเซียสต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ทั้งหมด พบว่าที่ระยะ 1 เซนติเมตร มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยเป็น 1.3 เท่าของระยะ 2 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับระยะห่างและระดับกำลังไฟฟ้า โดยมีค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมากที่สุด เมื่อระยะห่างระหว่างผิวผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้กับแผ่นเซรามิกแบบขดลวดลดลง และใช้ระดับกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ที่อย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่างที่ระยะห่างจากผิวของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้กับแผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็น 1 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นระหว่าง 0.11 – 0.39 องศาเซลเซียสต่อวินาที สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์กับการทดลองด้วยวิธีของผู้ประกอบการต่อไป

ตารางที่ 3.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ระยะ 1 เซนติเมตร			ระยะ 2 เซนติเมตร		
	อุณหภูมิอย่าง (องศาเซลเซียส)	เวลา อย่าง (วินาที)	อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อวินาที)	อุณหภูมิอย่าง (องศาเซลเซียส)	เวลา อย่าง (วินาที)	อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อวินาที)
	200	105	739	0.15	95	990
250	115	550	0.20	102	828	0.14
300	130	465	0.21	114	505	0.19
350	146	384	0.30	130	513	0.22
400	174	423	0.31	155	419	0.25
450	187	363	0.37	167	375	0.29
500	193	276	0.39	174	374	0.32

### 3.4 การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองอย่างด้วยวิธีของผู้ประกอบการ โดยความชำนาญของพนักงานให้ได้อย่างผลิตภัณฑ์จนถึงระดับความสุกและสีตามที่ต้องการ และการทดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.4.1 การทดลองอย่างด้วยวิธีของผู้ประกอบการ

การทดลองอย่างผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีของผู้ประกอบการเป็นการอย่างด้วยเตาอย่างที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นแหล่งให้ความร้อนโดยพนักงานอย่าง ให้ได้ระดับความสุกและสีตามที่ต้องการ เพื่อใช้เป็นตัวอย่างควบคุม โดยมีวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลองดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จำนวน 10 ตัวอย่าง
- 2) เตาอย่าง (KF-03, Nanotech, ประเทศไทย)
- 3) เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
- 4) เครื่องชั่งมวลทศนิยมสองตำแหน่ง
- 5) เครื่องวัดสี
- 6) เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค
- 7) นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

- 1) เปิดใช้งานเตาอย่าง โดยใช้แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สปิโตรเลียมเหลว ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค ที่ระดับตะแกรงเตาอย่างเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาที
- 2) นำผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จำนวน 10 ตัวอย่าง วางบนเตาอย่างดังรูปที่ 3.15
- 3) จับเวลาอย่างตั้งแต่เริ่มการอย่างถึงเวลาที่ได้ระดับความสุกและสีตามที่ต้องการ
- 4) สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จำนวน 5 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความสูญเสียของเหลวรวม สี และการหดตัวของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งกำหนดให้เป็นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างควบคุม (Control)



รูปที่ 3.15 การทอดลองอย่างด้วยวิธีของผู้ประกอบการ

### 3.4.2 การทอดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง

การทอดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง เป็นการทอดลองเพื่อหาสภาวะของการย่างที่เหมาะสมด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง และเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังการย่างกับผลการทอดลองอย่างด้วยวิธีของผู้ประกอบการ โดยมีวัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทอดลองดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

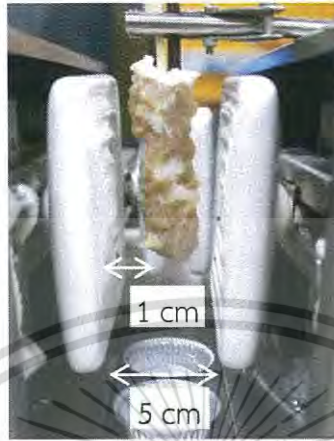
- 1) ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้
- 2) ชุดทดลองกระบวนการอย่างโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด
- 3) หม้อแปลงแบบปรับค่าแรงดันไฟฟ้า
- 4) เครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
- 5) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ
- 6) เครื่องชั่งมวลทศนิยมสี่ตำแหน่ง (AUY220, Shimadzu, Japan)
- 7) เครื่องวัดสี
- 8) เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค
- 9) ฐานเสาขาตั้ง และที่จับ
- 10) เวอร์เนียวคาลิปเปอร์
- 11) ถ้วยบรรจุน้ำจำนวน 2 ใบ

วิธีการทอดลอง

- 1) ปรับแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงแล้วอ่านค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีระดับกำลังไฟฟ้าขนาดเป็น 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 วัตต์ จนกระทั่งมีอุณหภูมิคงที่ตามตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตั้งระยะห่างระหว่างผิวแผ่นเซรามิกกับผิวของผลิตภัณฑ์ที่ระยะ 1 เซนติเมตร จะได้ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นเซรามิกเป็น 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.16 และที่ระยะ 2 เซนติเมตร จะได้ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นเซรามิกเป็น 7 เซนติเมตร



รูปที่ 3.16 ระยะห่างระหว่างผิวแผ่นเซรามิกกับผิวของผลิตภัณฑ์

3) ชั่งมวลถ้วยบรรจุน้ำ ชั่งมวล วัดขนาดความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนเริ่มการทดลอง และเสียบเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเค เข้าไปตรงกลางผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

4) จับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ด้วยที่จับของฐานเสาช่างตั้ง ทดลองย่างผลิตภัณฑ์ครั้งละ 1 ตัวอย่าง

5) ให้ระดับกำลังไฟฟ้าแก่แผ่นเซรามิกแบบขดลวดจนอุณหภูมิคงที่ และทดลองย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ที่มีอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ -4 จนถึงอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส บันทึกอุณหภูมิและเวลาด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ

6) ทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ทุกตัวอย่าง ได้แก่ ความสูญเสียของเหลวรวม การสูญเสียจากการหดของน้ำมันและการระเหยของน้ำ สี และร้อยละการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

7) เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากผู้ประกอบการ โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ด้วยวิธีของ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS

8) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้กระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องเป็นกระบวนการที่ต้องมีการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์อยู่ตลอดเวลา มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือชุดส่งกำลังและลำเลียงที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ และต้องมีอุปกรณ์หรือกลไกการจับผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่ผ่านแหล่งให้ความร้อนได้ และผู้ประกอบการที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยยังมีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีการจุ่มน้ำปรุงในระหว่างกระบวนการอย่างด้วย ส่วนประกอบของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ประกอบด้วย 1) โครงสร้างเครื่องที่ใช้ในการติดตั้งวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ 2) ชุดส่งกำลังและลำเลียงที่ปรับความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ได้ 3) ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบที่ทำหน้าที่ลำเลียงผลิตภัณฑ์ผ่านขั้นตอนกระบวนการของเครื่องอย่าง 4) ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด 5) ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และ 6) ชุดควบคุมกระบวนการอย่าง โดยมีตัวอย่างชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบและชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส ดังนี้

#### 3.5.1 ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบถูกลำเลียงด้วยโซ่แบบติดปีกด้านเดียว (Attachment on every links) จากสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 30 มิลลิเมตร ออกแบบชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบต้องมีขนาดความกว้างด้านข้างรวมไม่เกินระยะพิตช์ระหว่างปีกต่อปีกของโซ่ลำเลียง จึงเลือกขนาดเบอร์โซ่เบอร์ 60 ที่มีระยะพิตช์ระหว่างปีกต่อปีกเป็น 38.1 มิลลิเมตร ทำให้เหลือช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์ในกระบวนการเป็น 8.1 มิลลิเมตร กลไกจับด้ามไม้เสียบใช้แรงกดของสปริงทำจากวัสดุประเภท Music wire สามารถเขียนผังของแรงกระทำ (Free body diagram) บนชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ และคำนวณหาจำนวนขดใช้งานของสปริง ( $N_b$ ) และค่าคงที่ของสปริง ( $k$ ) ที่เหมาะสม ดังสมการที่ 3.8 – 3.15 [15] โดยที่ค่า  $E$  คือ ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น,  $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดสปริง,  $D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดสปริง,  $\mu$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต และ  $\theta$  คือ มุมกดของสปริง

$$\sum F_y = 0; \quad 4f = mg_{product} \quad (3.8)$$

$$f = \mu F_1 \quad (3.9)$$

$$\sum M = 0; \quad 2F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2 \quad (3.10)$$

$$\theta = \frac{64(F_2 \times l_2) \times D \times N_b}{d^4 \times E} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



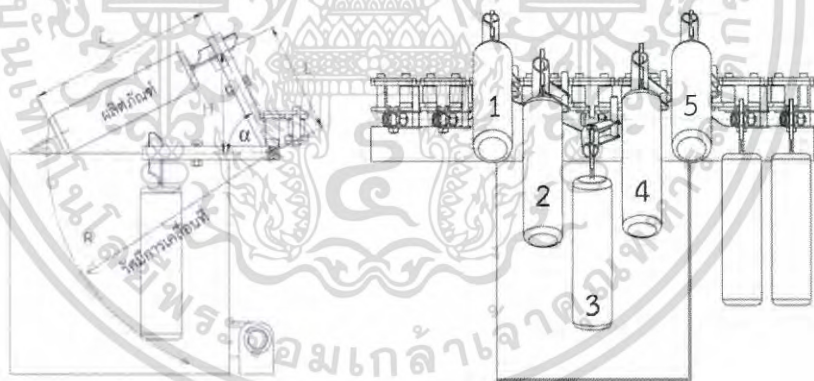
### 3.5.2 ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส

ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสมีหลักการออกแบบให้สอดคล้องกับชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบในการเคลื่อนที่ของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเพื่อจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส ดังรูปที่ 3.18 คำนวณหามุมการยกตัว ( $\alpha$ ) ของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเพื่อให้สามารถจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสได้อย่างเหมาะสมกับความสูงการยกตัว ( $H$ )

$$\tan(\alpha) = L_2 / L_1 \quad (3.14)$$

$$\sin(\alpha) = H / L_1 \quad (3.15)$$

การจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส พิจารณามุมการยกตัวของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเพื่อให้สามารถจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีความยาว ( $L_2$ ) เป็น 15.0 เซนติเมตร และออกแบบให้ด้ามของชุดกลไก ( $L_1$ ) มีความยาวเป็น 10.0 เซนติเมตร ต้องออกแบบให้มีมุมการยกตัว ( $\alpha$ ) เป็นอย่างน้อย 56.31 องศา และความสูงของการยกตัว ( $H$ ) เป็น 8.32 เซนติเมตร ผลของการคำนวณแสดงให้เห็นว่าชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบสามารถยกผลิตภัณฑ์ขึ้นข้ามขอบของภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และสามารถจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสได้ ดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.18 การจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส

ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวด้ามของชุดกลไกกับมุมการยกตัว

ตัวแปร	ค่าออกแบบ				
$L_1$ (เซนติเมตร)	8.0	9.0	<u>10.0</u>	11.0	12.0
$\alpha$ (องศา)	61.93	59.04	<u>56.31</u>	53.75	51.34
$H$ (เซนติเมตร)	7.06	7.71	<u>8.32</u>	8.87	9.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองกล่าวถึงการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ระหว่างการทดลองอย่างตามวิธีของผู้ประกอบการกับการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ และผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

#### 4.1 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการ

ทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ด้วยเตาอย่างด้วยวิธีการของผู้ประกอบการ โดยใช้แหล่งความร้อนเป็นแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีอุณหภูมิของการย่าง 248 องศาเซลเซียส และใช้เวลาการย่างเป็น 725 วินาที ได้ผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังอย่างดังรูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังการย่าง แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิต (Yield) เป็นร้อยละ 84.47±1.25 การสูญเสียของเหลวรวม (Total loss) เป็น 6.6±0.55 กรัม ค่าสีในระบบ L\*, a\* และ b\* เป็น 43.99±1.03, 6.09±0.79 และ 18.82±1.64 ตามลำดับ และค่าร้อยละการหดตัว (Shrinkage) เป็นร้อยละ 23.03±2.69 ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ผลการทดลองคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง

ตารางที่ 4.1 คุณภาพผลิตภัณฑ์ของตัวอย่างควบคุม

ตัวอย่าง	ผลผลิต (ร้อยละ)	การสูญเสียของเหลวรวม (กรัม)	สี			การหดตัว (ร้อยละ)
			L*	a*	b*	
1	84.71	6.5	45.28	6.75	21.04	20.97
2	84.34	6.5	42.94	7.02	20.10	26.87
3	84.71	6.5	43.76	6.07	17.74	24.31
4	86.05	6.0	44.82	5.32	17.66	20.14
5	82.56	7.5	43.13	5.31	17.54	22.88
เฉลี่ย	84.47±1.25	6.6±0.55	43.99±1.03	6.09±0.79	18.82±1.64	23.03±2.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการก่อนและหลังย่าง

#### 4.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง

ผลการทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ตามวิธีของผู้ประกอบการที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุมนำมาเปรียบเทียบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง ให้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ -4 องศาเซลเซียส จนมีอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เป็น 72 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ค่าผลผลิต ค่าการสูญเสียของเหลวรวม การหดตัว และค่าสี  $L^*$  และ  $b^*$  ด้วยเงื่อนไขคุณภาพจากตัวอย่างควบคุมดังนี้

1) ค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ  $84.47 \pm 1.25$  ซึ่งค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้จากค่าเฉลี่ยลบด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เป็นไม่น้อยกว่าร้อยละ 83.22

2) ค่าการสูญเสียของเหลวรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยเป็น  $6.60 \pm 0.55$  กรัม ซึ่งค่าการสูญเสียของเหลวรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้จากค่าเฉลี่ยบวกด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เป็นไม่น้อยกว่า 7.15 กรัม

3) การหดตัวของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ  $23.03 \pm 2.69$  ซึ่งการหดตัวของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้จากค่าเฉลี่ยบวกด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เป็นไม่น้อยกว่าร้อยละ 25.72

4) การค่าสี  $L^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ  $43.99 \pm 1.03$  ซึ่งค่าสี  $L^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้มีค่าระหว่าง 42.96 ถึง 45.02

5) การค่าสี  $b^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ของตัวอย่างควบคุมมีค่าเฉลี่ยเป็นร้อยละ  $18.82 \pm 1.64$  ซึ่งค่าสี  $b^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้มีค่าระหว่าง 17.18 ถึง 20.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขคุณภาพของตัวอย่างควบคุม ค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 83.22 เมื่อพิจารณาผลการทดลองของค่าผลผลิตของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง พบว่ามีค่าผลผลิตจากการทดลองอย่างระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15, 0.20 และ 0.21 องศาเซลเซียสต่อวินาที และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14 และ 0.19 องศาเซลเซียสต่อวินาที มีค่าผลผลิตไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากตัวอย่างควบคุม

ค่าการสูญเสียของเหลวรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้ไม่น้อยกว่า 7.15 กรัม เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียของเหลวรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง พบว่ามีค่าการสูญเสียของเหลวจากการทดลองอย่างระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15, 0.20 และ 0.31 องศาเซลเซียสต่อวินาที และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14, 0.19, 0.29 และ 0.32 องศาเซลเซียสต่อวินาที มีค่าการสูญเสียของเหลวรวมไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากตัวอย่างควบคุม

การหัดตัวของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25.72 เมื่อพิจารณาการหัดตัวของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง พบว่ามีค่าร้อยละการหัดตัวจากการทดลองอย่างระยะห่าง 1 เซนติเมตร ทุกอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14, 0.19, 0.22 และ 0.25 องศาเซลเซียสต่อวินาที มีค่าร้อยละการหัดไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากตัวอย่างควบคุม

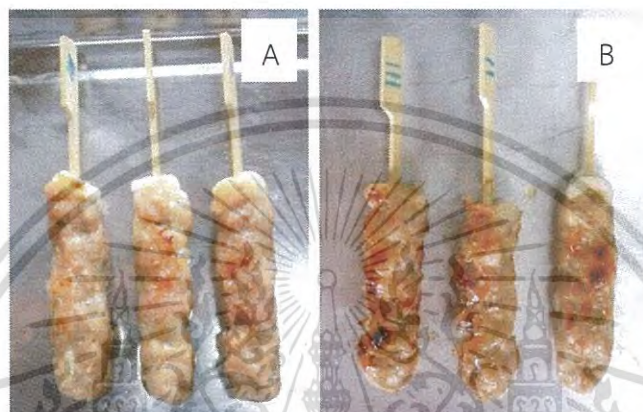
ค่าสี  $L^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้มีค่าระหว่าง 42.96 ถึง 45.02 เมื่อพิจารณาค่าสี  $L^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง พบว่ามีค่าสี  $L^*$  จากการทดลองอย่างระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15 และ 0.20 องศาเซลเซียสต่อวินาที และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14 และ 0.19 องศาเซลเซียสต่อวินาที มีค่าสี  $L^*$  ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากตัวอย่างควบคุม

ค่าสี  $b^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่ยอมรับได้มีค่าระหว่าง 17.18 ถึง 20.46 เมื่อพิจารณาค่าสี  $b^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง พบว่ามีค่าสี  $b^*$  จากการทดลองอย่างระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15, 0.20, 0.21, 0.30 และ 0.31 องศาเซลเซียสต่อวินาที และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14, 0.19, 0.22 และ 0.25 องศาเซลเซียสต่อวินาที มีค่าสี  $b^*$  ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนจากตัวอย่างควบคุม

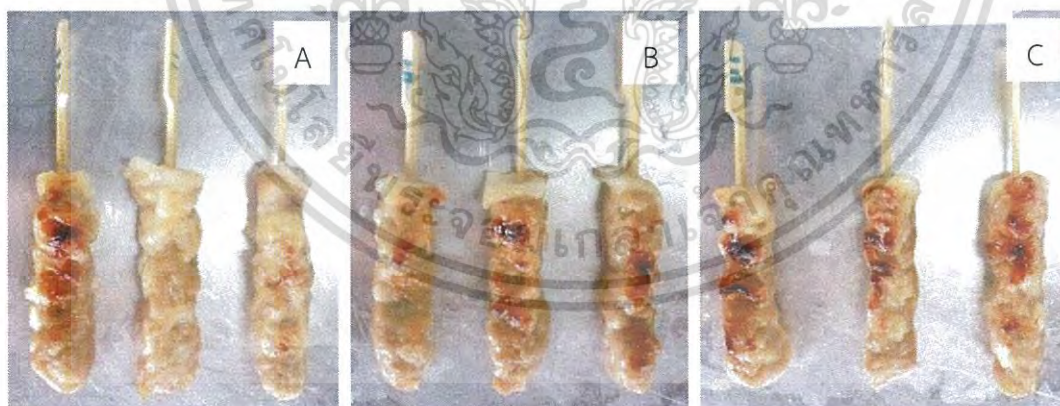
รวมทั้งค่าความแตกต่างของสี  $\Delta E^*$  ของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่างกับตัวอย่างควบคุม พบว่าระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15 และ 0.20 องศาเซลเซียสต่อวินาที และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14 และ 0.19 องศาเซลเซียสต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขคุณภาพของตัวอย่างควบคุมทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ค่าผลผลิต ค่าการสูญเสียของเหลวรวม การหดตัว ค่าสี  $L^*$  และ  $b^*$  พบว่าระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15 และ 0.20 องศาเซลเซียสต่อวินาที ดังรูปที่ 4.2 และระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11, 0.14 และ 0.19 องศาเซลเซียสต่อวินาที ดังรูปที่ 4.3 มีคุณภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้เงื่อนไขของการการทดลองเหล่านี้ไปใช้ออกแบบกระบวนการย่างแบบต่อเนื่อง โดยมีรูปภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อน และหลังการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่างของการทดลองแสดงดังภาคผนวก ข



รูปที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง ระยะห่าง 1 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.15 (A) และ 0.20 (B) องศาเซลเซียสต่อวินาที



รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ที่อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11 (A), 0.14 (B) และ 0.19 (C) องศาเซลเซียสต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คุณภาพผลิตภัณฑ์ของการย่างที่ระดับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (ผลผลิต, การสูญเสียของเหลว, การหดตัว)

ระยะห่างผิว ผลิตภัณฑ์และ ผิวแผ่นเซรามิก (เซนติเมตร)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อุณหภูมิย่าง (องศาเซลเซียส)	เวลาย่าง (วินาที)	อัตราการ เพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิ	ผลผลิต (ร้อยละ)	การสูญเสียของเหลว (กรัม)			การหดตัว (ร้อยละ)
						สูญเสียรวม	การหยดน้ำมัน	การระเหยน้ำ	
Control	Control	248	725	Control	84.47±1.25ab	6.60±0.55b	n/a	n/a	23.03±2.69ab
1 เซนติเมตร	200	105	739	0.15	80.65±15.55ab	13.25±7.34ab	0.54±0.26ef	12.71±7.07a	18.64±2.71ab
	250	115	550	0.20	82.43±2.30ab	8.62±1.91ab	0.88±0.39def	7.73±0.96ab	22.09±4.07ab
	300	130	465	0.21	81.70±3.31ab	8.50±1.32ab	2.88±1.68bcde	10.23±5.42ab	25.13±1.94ab
	350	146	384	0.30	75.43±8.44ab	11.75±4.41ab	3.33±2.09abcd	11.07±2.97ab	28.19±13.49a
	400	174	423	0.31	72.45±13.36ab	13.11±6.40ab	1.92±1.48bcdef	8.25±3.57ab	21.18±1.21ab
	450	187	363	0.37	70.94±2.13b	14.40±1.20a	4.35±1.77ab	6.22±3.85b	18.75±5.93ab
	500	193	276	0.39	81.86±2.90ab	8.85±1.99ab	2.72±1.01bcde	6.13±1.87b	29.77±10.18a
2 เซนติเมตร	200	95	990	0.11	84.38±4.67ab	7.68±2.46ab	1.13±0.82def	6.55±1.63b	17.59±7.67ab
	250	102	828	0.14	83.85±3.03ab	7.37±1.57ab	1.15±1.31def	6.22±1.01b	21.56±4.56ab
	300	114	505	0.19	86.40±4.32a	6.79±2.94b	1.54±1.05cedf	5.25±1.89bc	22.52±7.42ab
	350	130	513	0.22	75.11±4.25ab	13.53±3.32ab	5.45±1.35a	8.09±1.98ab	26.51±8.89ab
	400	155	419	0.25	77.07±4.39ab	11.62±2.78ab	4.12±2.05ab	7.50±0.97ab	25.65±8.29ab
	450	167	375	0.29	79.94±6.88ab	10.07±3.76ab	3.77±1.64abc	6.30±2.24b	15.47±2.28b
	500	174	374	0.32	71.64±13.20b	13.32±6.35ab	3.11±1.76abcde	10.21±5.30ab	19.50±0.45ab

Different letters in the same column indicated that value are significantly different ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 4.3 คุณภาพผลิตภัณฑ์ของการย่างที่ระดับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (สีในระบบ L\*, a\*,b\* และค่าความแตกต่าง ΔE)

ระยะห่างผิว ผลิตภัณฑ์และ ผิวแผ่นเซรามิก (เซนติเมตร)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อุณหภูมิย่าง (องศา เซลเซียส)	เวลาย่าง (วินาที)	อัตราการ เพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิ	สี			ΔE
					L*	a*	b*	
Control	Control	248	725	Control	43.99±1.03ab	6.09±0.79bcd	18.82±1.64abc	n/a
1 เซนติเมตร	200	105	739	0.15	47.20±2.82a	4.37±0.21d	18.57±1.11abc	4.18±1.74fg
	250	115	550	0.20	42.10±1.99abc	8.52±1.63ab	20.74±2.24ab	4.01±2.70fg
	300	130	465	0.21	34.17±2.40cde	9.52±2.41a	16.88±1.52abcd	10.79±2.66cdef
	350	146	384	0.30	32.79±9.43ef	8.09±0.20ab	15.68±5.25bcde	12.13±10.23cde
	400	174	423	0.31	33.62±4.67de	8.52±2.24ab	17.45±3.98abcd	11.34±4.75cdef
	450	187	363	0.37	29.00±1.85efg	7.32±1.40abcd	13.26±1.87def	16.12±2.13bc
	500	193	276	0.39	24.90±2.23fg	6.99±1.48abcd	11.34±1.54ef	20.57±2.55ab
2 เซนติเมตร	200	95	990	0.11	46.95±4.57a	6.36±1.95abcd	21.26±0.64a	5.42±1.81efg
	250	102	828	0.14	41.39±7.26abcd	8.16±3.22ab	20.78±0.13ab	7.36±2.03defg
	300	114	505	0.19	43.31±3.51ab	7.77±2.00abc	20.24±0.21ab	3.95±0.93fg
	350	130	513	0.22	36.08±5.88bcde	7.93±0.83abc	17.79±3.17abcd	8.84±5.37cdef
	400	155	419	0.25	30.31±5.72efg	8.99±2.09ab	16.02±5.97abcde	14.98±6.42bcd
	450	167	375	0.29	30.53±5.20efg	7.03±2.10abcd	14.17±3.84cde	14.54±5.91bcd
	500	174	374	0.32	22.59±3.54g	4.67±1.07cd	9.15±1.31f	23.55±3.69a

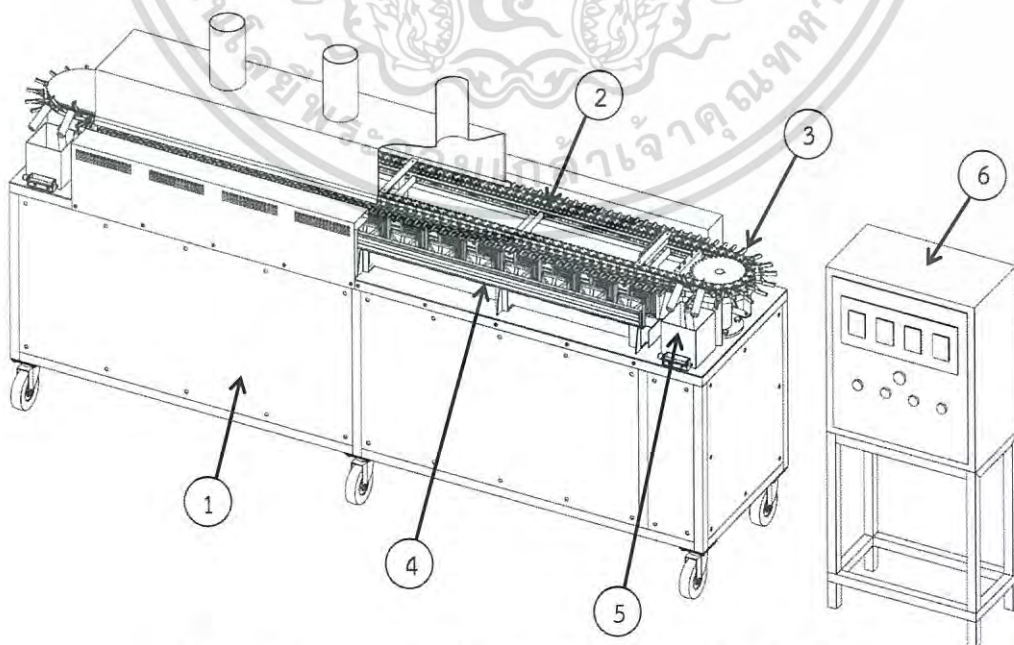
Different letters in the same column indicated that value are significantly different (P<0.05)

### 4.3 การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

การออกแบบกระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จากผลการทดลองและเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอย่างแบบปกติของผู้ประกอบการกับการอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการอย่าง พบว่าควรออกแบบกระบวนการให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็น 0.11 – 0.20 องศาเซลเซียสต่อวินาที โดยมีอุณหภูมิอย่างเป็น 95 – 115 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอย่างเป็น 465 – 990 วินาที ออกแบบให้ความเร็วของการเคลื่อนที่น้อยที่สุดเป็น 1 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถออกแบบให้กระบวนการอย่างแบบต่อเนื่องควรมีความยาวช่วงให้ความร้อนประมาณ 465 – 990 เซนติเมตร ดังนั้นจึงเลือกออกแบบโครงสร้างให้มีช่วงให้ความร้อนยาว 480 เซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขการออกแบบ ดังต่อไปนี้

- 1) กระบวนการอย่างแบบต่อเนื่อง
- 2) ง่ายการผลิตในแนวตั้ง ใช้แหล่งความร้อนแบบอินฟราเรดจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด
- 3) มีการจุ่มน้ำปรุงรสระหว่างกระบวนการอย่าง
- 4) ปลอดภัยต่ออัตโนมัติ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอย่าง

เครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ มีส่วนประกอบหลักดังนี้ 1) โครงสร้างเครื่องอย่าง 2) ชุดส่งกำลังและลำเลียง 3) ชุดกลไกจับต้ามไม้เสียบ 4) ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด 5) ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และ 6) ชุดควบคุมกระบวนการอย่าง ซึ่งได้ยื่นขอรับสิทธิบัตรกับกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ เลขที่คำขอ 1401003748 [23] ดังรูปที่ 4.4 โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมแสดงดังภาคผนวก ค



รูปที่ 4.4 เครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1 โครงสร้างเครื่องอย่าง

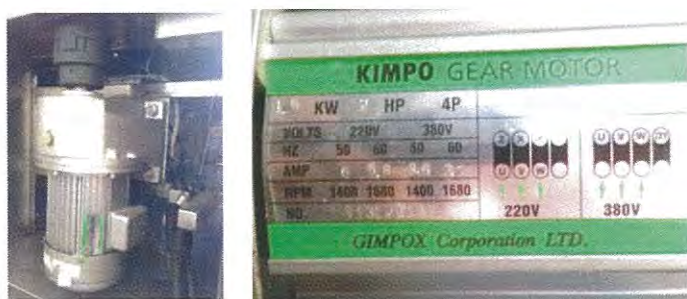
การออกแบบโครงสร้างเครื่องอย่างมีพื้นฐานมาจากขนาดของเครื่องจักรที่ทำงานได้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักได้ และต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบที่ถูกสุขลักษณะ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโครงสร้างเครื่องใช้สแตนเลสกล่องขนาดหน้าตัดเป็น  $2.54 \times 5.08$  เซนติเมตร เชื่อมเป็นโครงสร้างเครื่องขนาดความยาวเป็น 300 เซนติเมตร ความกว้างเป็น 70 เซนติเมตร และความสูงเป็น 75 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่อง

#### 4.3.2 ชุดส่งกำลังและลำเลียง

ต้นกำลังเป็นมอเตอร์กระแสสลับ 380 โวลต์ 3 เฟส ขนาด 2 แรงม้า 1.5 กิโลวัตต์ ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีกำลังเพียงพอในการเอาชนะแรงเสียดทานสถิตย์ก่อนเริ่มการทำงานได้ สามารถปรับและควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ต่อเข้ากับเฟืองทดรอบอัตราส่วน 1 ต่อ 50 ที่ต่อด้วยเพลาลับด้วยคัปปลิ่ง ซึ่งสำหรับการหาขนาดเพลาลับใช้หลักการความเค้นผสมและความล้า เพื่อให้ได้เพลานำมาใช้งานมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับรับแรงที่กระทำตามมาตรฐาน ASME โดยเลือกวัสดุเพลาลับเป็นสแตนเลสแบบเพลามีร่องลิ่ม



รูปที่ 4.6 มอเตอร์กระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

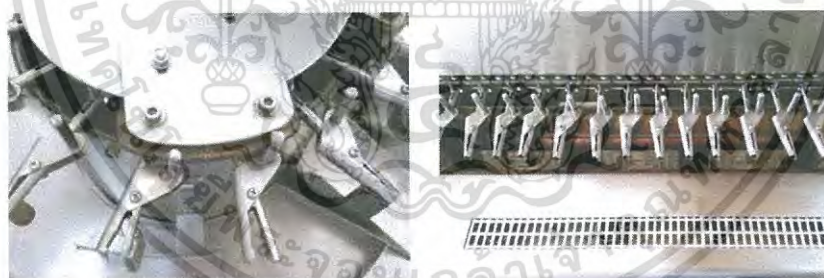
### 4.3.3 ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ ถูกกล่าวถึงโดยใช้ชื่อแบบติดปีกด้านเดียวซึ่งจากสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 30 มิลลิเมตร เลือกเบอร์โซ่ของชุดลำเลียงที่เบอร์ 60 ที่มีระยะพิตช์ระหว่างปีกต่อกันเป็น 38.1 มิลลิเมตร ซึ่งการออกแบบชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบต้องมีความกว้างด้านข้างรวมไม่เกินระยะพิตช์ระหว่างปีกต่อกันของโซ่ลำเลียงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ ที่บริเวณปลายชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเว้นร่องสี่เหลี่ยมให้พอดีกับความกว้างของไม้ทรงเสียบผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเข้ากับโซ่ชุดลำเลียงด้วยน็อตและสกรู ซึ่งทำให้สามารถถอดประกอบทำความสะอาดได้ง่าย โดยจุดเชื่อมต่อนี้ใช้เป็นจุดศูนย์กลางการหมุนของ ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบทำหน้าที่นำพาผลิตภัณฑ์ให้เคลื่อนที่และจุ่มผลิตภัณฑ์ตัวอย่างลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และปลดผลิตภัณฑ์ออกทันทีเมื่อสิ้นสุดระยะทาง ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การทำงานของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

### 4.3.4 ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด

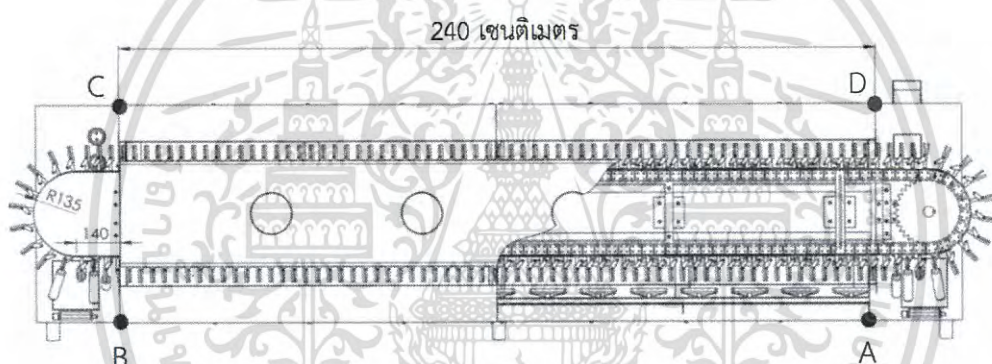
ชุดความร้อนแบบอินฟราเรดเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวดขนาด 800 วัตต์ ดังรูปที่ 4.9 จำนวน 60 ชิ้น มีกำลังไฟฟ้ารวมเป็น 48 กิโลวัตต์ ติดตั้งบริเวณของการย่างส่วนที่ 1 (A-B) และส่วนที่ 2 (C-D) ดังรูปที่ 4.10 จำนวนอย่างละ 30 ชิ้น ซึ่งแต่ละส่วนแบ่งเป็นสองแถวแถวละ 15 ชิ้น เว้นระยะห่างระหว่างกลางของแถว 5 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องลำเลียงผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ซึ่งผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 3 เซนติเมตร ดังนั้นผิวผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้และผิวแผ่นเซรามิกแบบขดลวดห่างด้านละ 1 เซนติเมตร ซึ่งจากการทดลองเป็นระยะที่ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงสุด เครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้มีช่วงให้ความร้อนของช่วงที่ 1 (A-B) ยาว 240 เซนติเมตร และช่วงที่ 2 (C-D) ยาว 240 เซนติเมตร ทำให้มีช่วงให้ความร้อนยาว 460 เซนติเมตร โดยตลอดความยาวของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดมีแผ่นโลหะป้องกันการแผ่รังสีความร้อนไปยังบริเวณด้ามจับของไม้เสียบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเพื่อป้องกันการไหม้ของด้ามไม้เสียบ



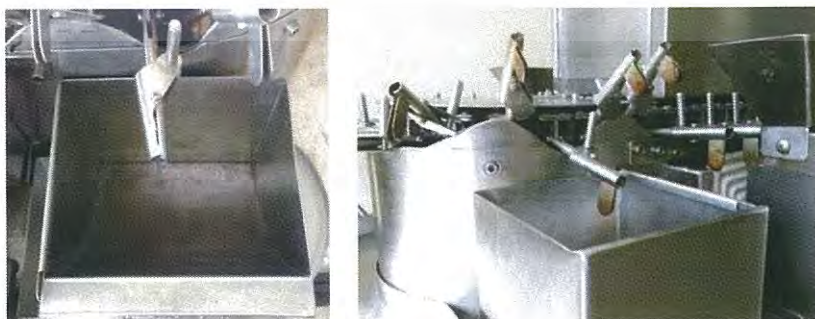
รูปที่ 4.9 ชุดความร้อนไฟฟ้าแบบอินฟราเรดชนิดเซรามิกแบบขดลวด



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่อง

#### 4.3.5 ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส

ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสมีหลักการออกแบบให้สอดคล้องกับชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบในการเคลื่อนที่เพื่อจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.6 ชุดควบคุมกระบวนการอย่าง

ชุดควบคุมกระบวนการอย่างมีอุปกรณ์ปรับและควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ให้ความร้อน โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค ที่ติดตั้งมากับแผ่นเซรามิกแบบขดลวด และควบคุมการทำงานของอุณหภูมิด้วยคอนโทรลเลอร์แบบ Proportional-Integral-Derivative (PID) และชุดปรับความถี่ของมอเตอร์กระแสสลับดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ชุดควบคุมกระบวนการอย่าง

## 4.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

การทดสอบการทำงานของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ การเคลื่อนที่ 4 ตำแหน่งดังรูปที่ 4.7 คือ 1) การจุ่มน้ำปรุงรสครั้งที่ 1 ตำแหน่ง A 2) การย่างช่วงที่ 1 ตำแหน่ง A ถึง B 3) การจุ่มน้ำปรุงรสครั้งที่ 2 ตำแหน่ง B และ 4) การย่างช่วงที่ 2 ตำแหน่ง C ถึง D รวมระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวอย่างจากจุด A ถึงจุด D เท่ากับ 550 เซนติเมตร การทดสอบการทำงานเริ่มจากปรับความเร็วของชุดลำเลียงด้วยอินเวอร์เตอร์และอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วกดปุ่มเริ่มการทำงานของตัวเครื่อง ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งป้อนมีแผ่นโลหะช่วยดันให้ปากของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเปิดออกอัตโนมัติ แล้วจึงเสียบผลิตภัณฑ์ในลักษณะการวางตัวในแนวตั้งตรงกับปากชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ จากนั้นผลิตภัณฑ์ถูกลำเลียงผ่านตำแหน่งของการจุ่มน้ำปรุงรสส่วนที่ 1 และเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณของการย่างส่วนที่ 1 ที่มีอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยชุดความร้อนไฟฟ้าแบบอินฟราเรดชนิดแผ่นเซรามิกแบบขดลวดให้ความร้อนทั้งสองด้าน และเมื่อเสร็จสิ้นบริเวณของการย่างส่วนที่ 1 ก่อนการหมุนวนกลับผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งของการจุ่มน้ำปรุงรสส่วนที่ 2 และหมุนวนตามทิศทางของการเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณของการย่างส่วนที่ 2 ซึ่งภายในเครื่องอย่างด้านล่างมีภาชนะใส่น้ำเพื่อรองรับการหยดตัวของน้ำมันตลอดแนวการให้ความร้อน และเมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งปล่อยไม้ ออกและมีแผ่นโลหะช่วยดันให้ปากของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเปิดออกอัตโนมัติ ปากชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบถูกเปิดออกทำให้ผลิตภัณฑ์หล่นลงบนภาชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับผลิตภัณฑ์ และชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งป้อนใหม่อีกครั้ง จึงถือว่าเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการทำงานของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่อง ซึ่งเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม่มีกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ จากการปรับความถี่ของมอเตอร์กระแสสลับเป็น 4, 5 และ 6 เฮิรตซ์ สามารถวัดความเร็วเชิงเส้นได้ 1, 1.27 และ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาที พบว่ามีกำลังการผลิตเป็น 1,000, 1,400 และ 1,700 ไม้ต่อชั่วโมง ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบกระบวนการแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ใช้แหล่งความร้อนเป็นแผ่นเซรามิกแบบขดลวด ได้ผลการทดลองจากการวิจัยดังนี้

1) ผลการวัดอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวด พบว่าระยะห่างและระดับกำลังไฟฟ้ามีผลต่ออุณหภูมิการย่าง โดยระยะห่างที่ใกล้ที่สุดและระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้อุณหภูมิการย่างที่สูงที่สุด

2) อัตราการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นเซรามิกแบบขดลวดแบ่งเป็น 3 ช่วง คือช่วงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ ช่วงอัตราการลดลงของอุณหภูมิ และช่วงคงที่ของอุณหภูมิ จากผลการทดลองพบว่าควรเปิดใช้งานแผ่นเซรามิกแบบขดลวดเป็นระยะเวลาหนึ่งให้อุณหภูมิคงที่ก่อนการย่าง

3) คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้จากการย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่างที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ควรมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วง 0.11 - 0.20 องศาเซลเซียสต่อวินาที อุณหภูมิย่างที่ 95 - 115 องศาเซลเซียส และใช้เวลาย่าง 465 - 990 วินาที

4) กระบวนการย่างแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วย 1) โครงสร้างเครื่องย่าง 2) ชุดส่งกำลังและลำเลียง 3) ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ 4) ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดจากแผ่นเซรามิกแบบขดลวด 5) ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และ 6) ชุดควบคุมกระบวนการย่าง

5) เครื่องย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้สามารถทำงานตามเงื่อนไขการออกแบบได้เป็นอย่างดี มีกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เป็น 1,000 ไม้ต่อชั่วโมง

### 5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

1) งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบกระบวนการย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นเครื่องย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้และการทดสอบการทำงานเท่านั้น ควรมีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องย่างในสภาวะการทำงานจริง และทดสอบการย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เพื่อปรับแต่งกระบวนการ (Fine-tune) ให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการ

2) ควรศึกษาการพัฒนาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและมวลของผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของเครื่องย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐานรัตน์ แสงเจริญตระกูล. 2003. สิทธิบัตรไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 1110. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- [2] สุวิทย์ ศานติพิบูล. 2550. สิทธิบัตรไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 3367. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- [3] Cheung, Chun Kong lan, Kowloon and Hong Kong. 2003. Rotisserie Oven. **European Patent Office**, EP1306042A1.
- [4] นวภัทรา และทวีพล. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] Shimizu, M., & Igarashi, H. 1991. Far-Infrared radiation technology. **New food Industry**, 33, 23-30.
- [6] วัชรินทร์ ดงบัง. 2556. รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร Infrared Radiation and Applications in Food Industries. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 18. หน้า 299-304. จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [7] Shilton, N.C., Mallikarjunan, P., Sheridan, P.S. 2002. Modeling of heat transfer and evaporative mass losses during the cooking of beef patties using far- infrared radiation. **Journal of Food Engineering**, 55, 217-222.
- [8] United States Department of Agriculture. 2013. Barbecue and food safety. URL: <http://www.usda.gov>, access on 11/04/2016.
- [9] Braeckman, L., Ronsse, F., Hidalgo, P.C., 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.
- [10] Erdogdu, F., Zorrilla, S.E., Singh, R.P. 2005. Effects of different objective functions on optimal decision variables: a study using modified complex method to optimize hamburger cooking. **Lebensm.-Wiss u.- Technol**, 38, 111-118.
- [11] Arkadiusz Szterk. 2015. Heterocyclic aromatic amines in grilled beef: The influence of free amino acids, nitrogenous bases, nucleosides, protein and glucose on HAAs content. **Journal of Food Composition and Analysis**, 40, 39-46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Joon-Goo Lee, Su-Yeon Kim, Jung-Sik Moon, Sheen-Hee Kim, Dong-Hyun Kang, Hae-Jung Yoon. 2016. Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. **Food Chemistry**, 199, 632–638
- [13] O. Viegas, P. Novo, E. Pinto, O. Pinho, I.M.P.L.V.O. Ferreira. 2012. Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. **Food and Chemical Toxicology**, 50, 2128–2134.
- [14] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. 2522. การออกแบบเครื่องจักรกล. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [15] Richard G.Budynas and J.Keith Nisbett., 2011. **Shigley's mechanical engineering design**. New York: McGraw-Hill.
- [16] G.Raffray, P.Sebastian, A.Collignan. 2015. Simulation model for the optimization of a radiant plate hot-smoking process. **Journal of Food Engineering** 147, pp. 56-67
- [17] J. P. Holman. 2010. **Heat and Mass Transfer**. 10<sup>th</sup> ed. Jefferson City, MO : Mcgraw-Hill series in mechanical engineering.
- [18] S.Soponronnarit et al., 2007. Modelling of far-infrared irradiation in paddy drying process. **Journal of Food Engineering** 78, pp.1248-1258.
- [19] S.M. Goñi and V.O. Salvadori 2010. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. **Journal of Food Engineering** 100, 1-11.
- [20] เกรียงชัย เชาวน์ชาญชัยกุล. 2554. สิทธิบัตรไทย เลขที่อนุสิทธิบัตร 6514. กรุงเทพฯ ประเทศไทย. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.
- [21] Rosidah S. and Samia N. 2008. Design and Development of Flexible Robotic Gripper for Handling Food Products. **Centre of Robotics and Automation University of Salford Manchester, UK**. pp.1-6.
- [22] Christiane Pakula and Rainer Stamminger. 2012. Measuring changes in internal meat colour, colour lightness and colour opacity as predictors of cooking time. **Meat Science** 90, 721-727.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [23] เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง, เอกพงษ์ ชีวติโสภณ และ ศุภเกียรติ ทองทับ. 2557. เครื่องอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ต่อเนื่องแบบหมุนวน. เลขที่คำขอสิทธิบัตร 1401003748. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย. กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์.

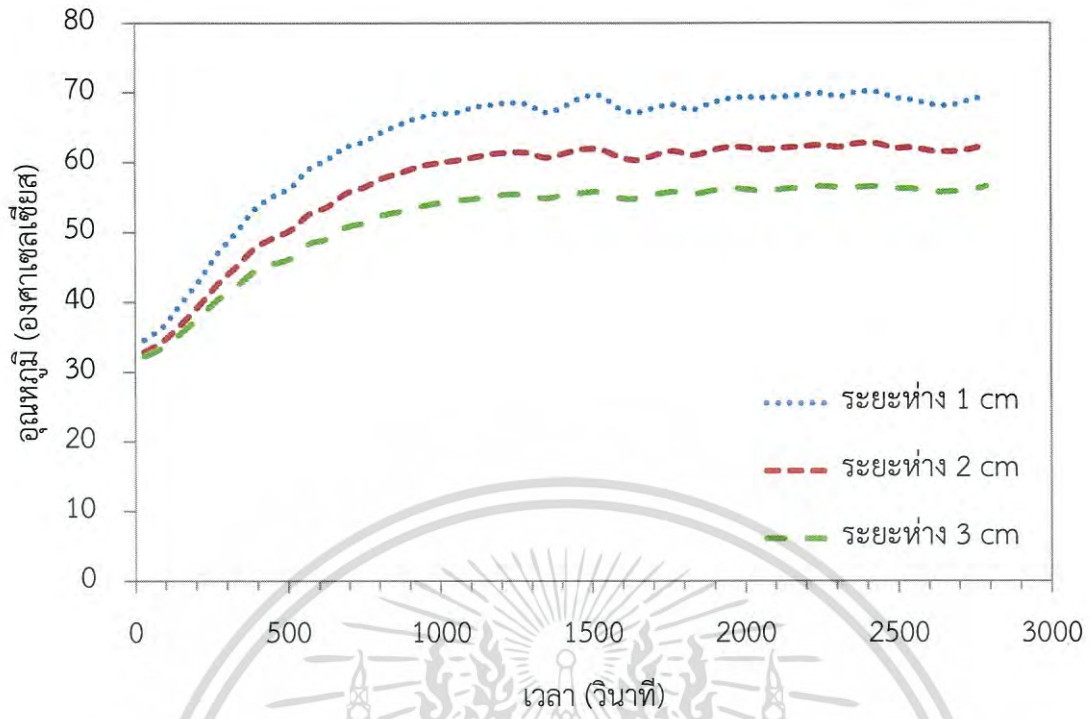


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

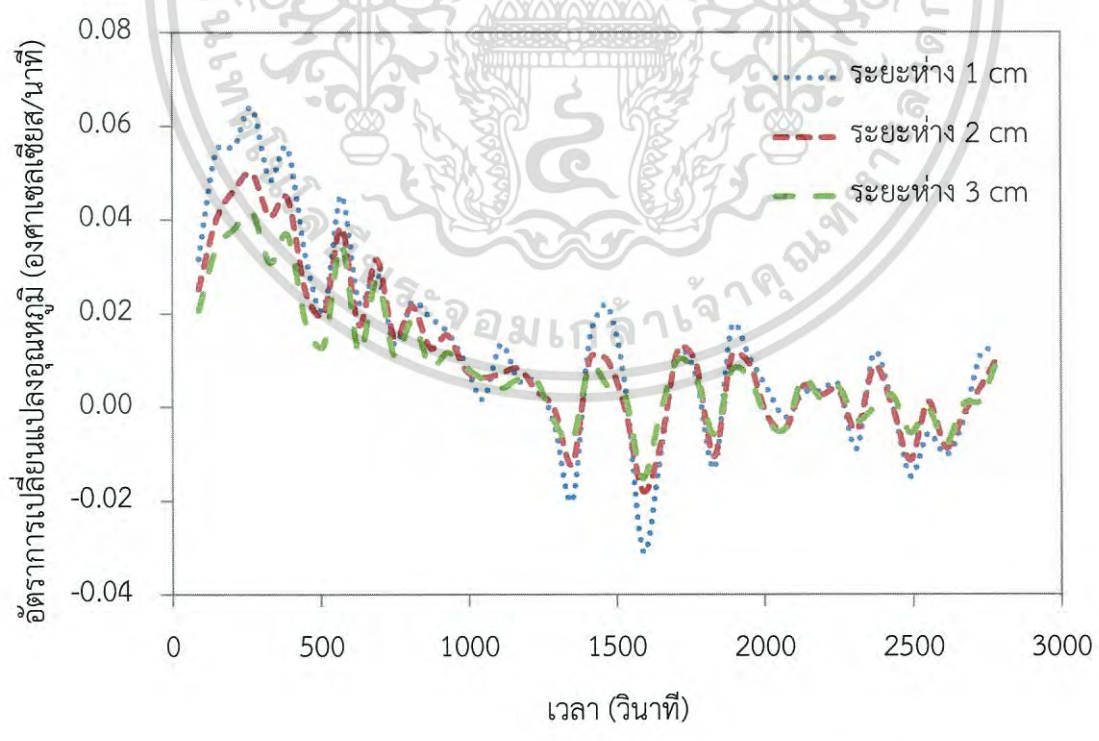


ภาคผนวก ก  
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา  
ของระดับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนสู่แผ่นเซรามิกแบบขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

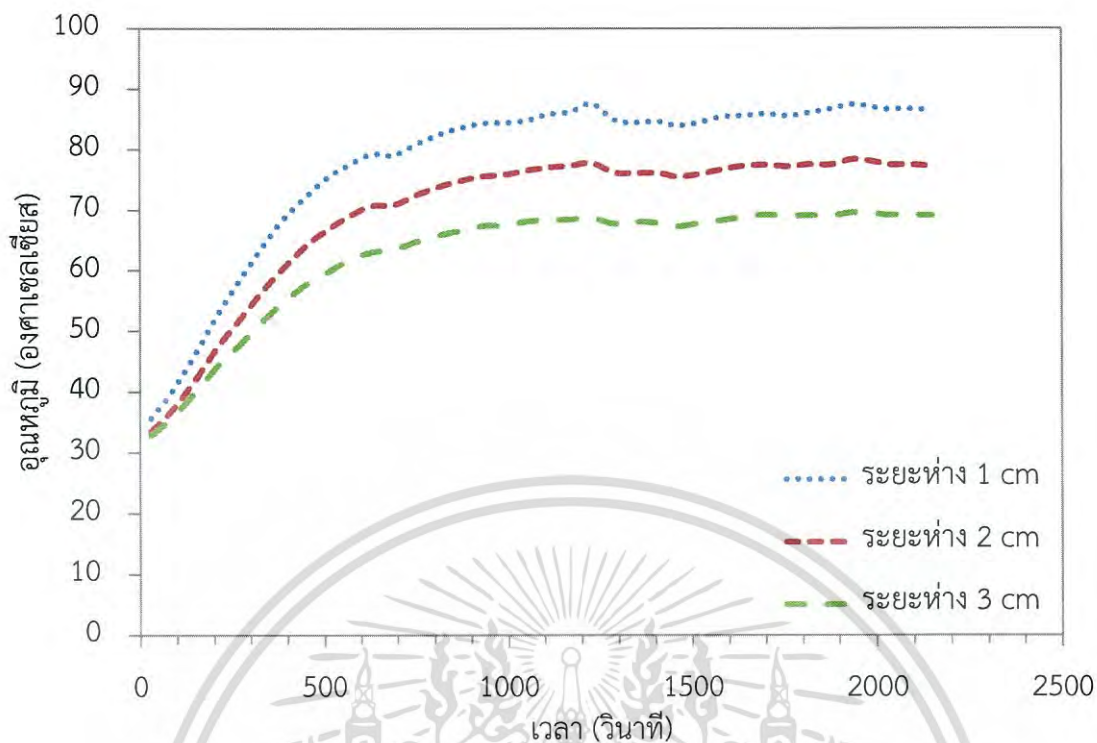


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์

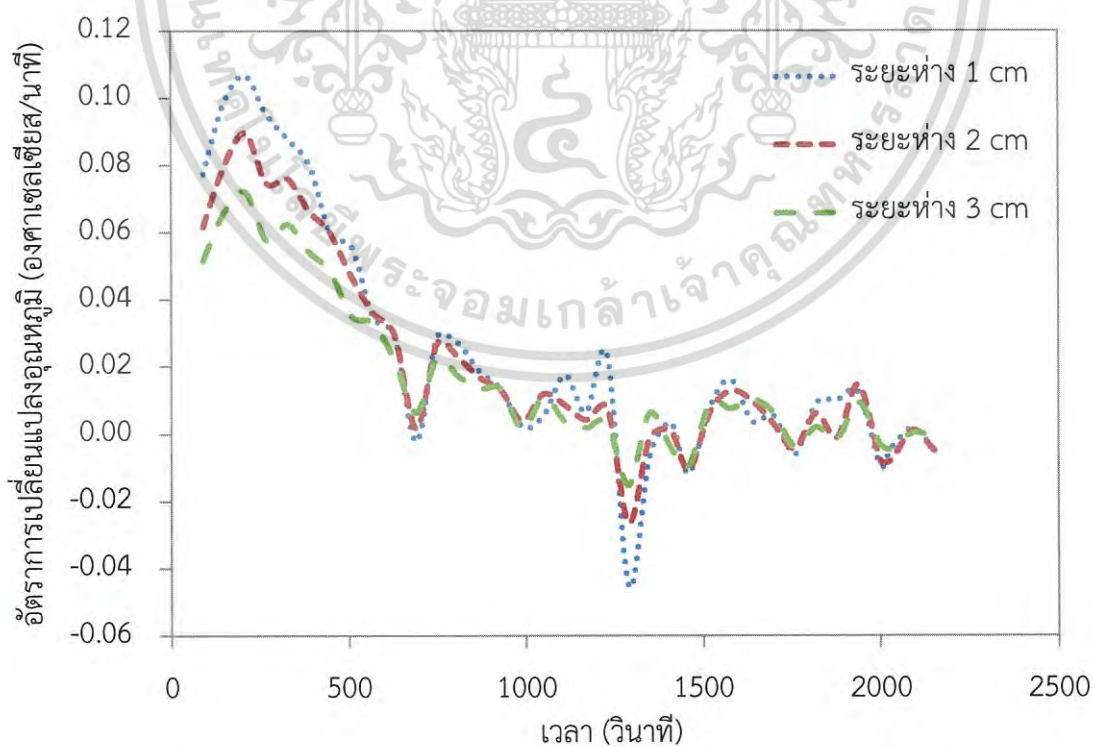


รูปที่ 2 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคที่ระดับกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

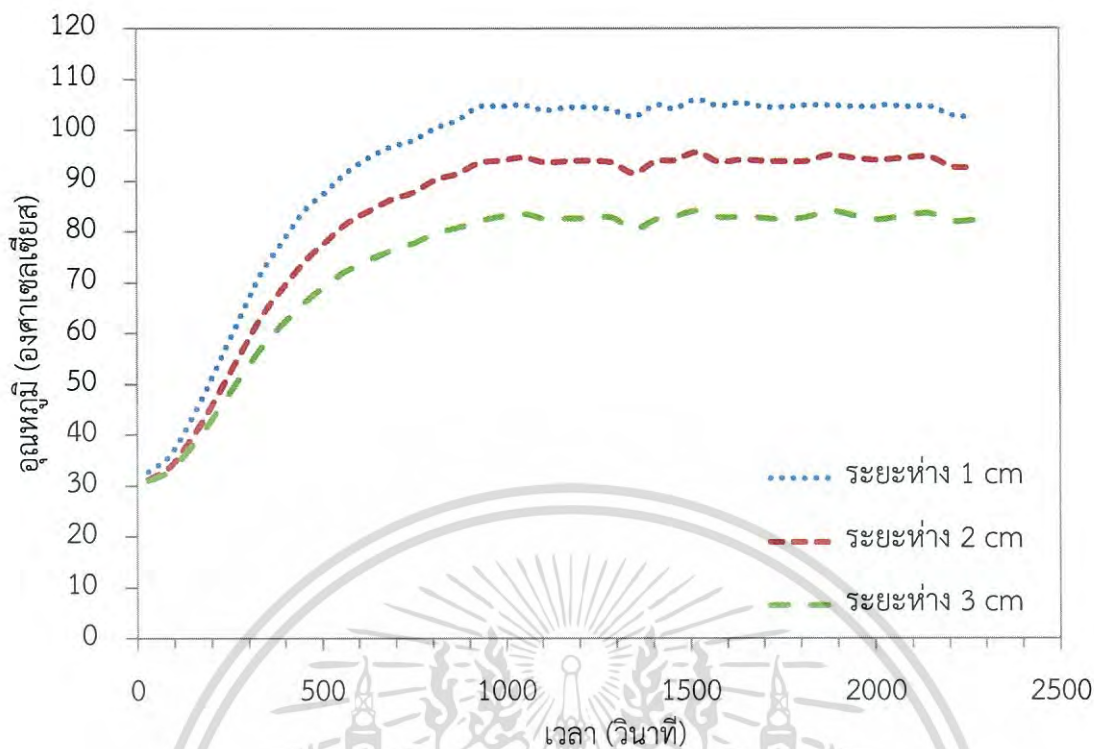


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 150 วัตต์

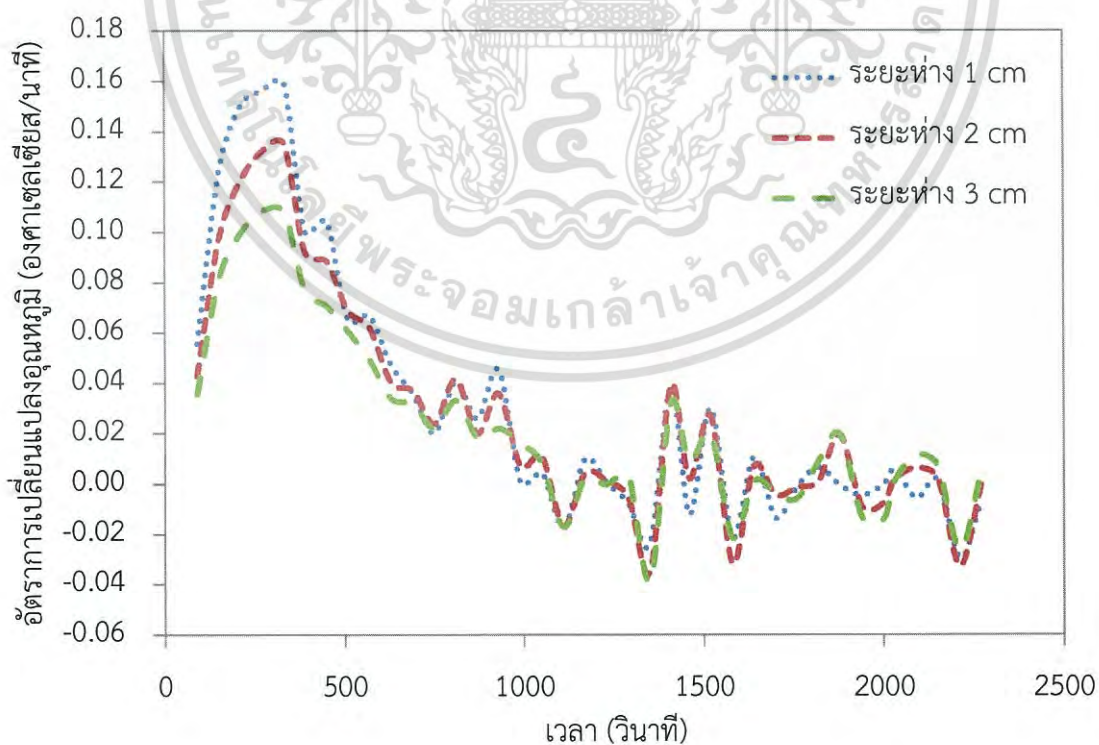


รูปที่ 4 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 150 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

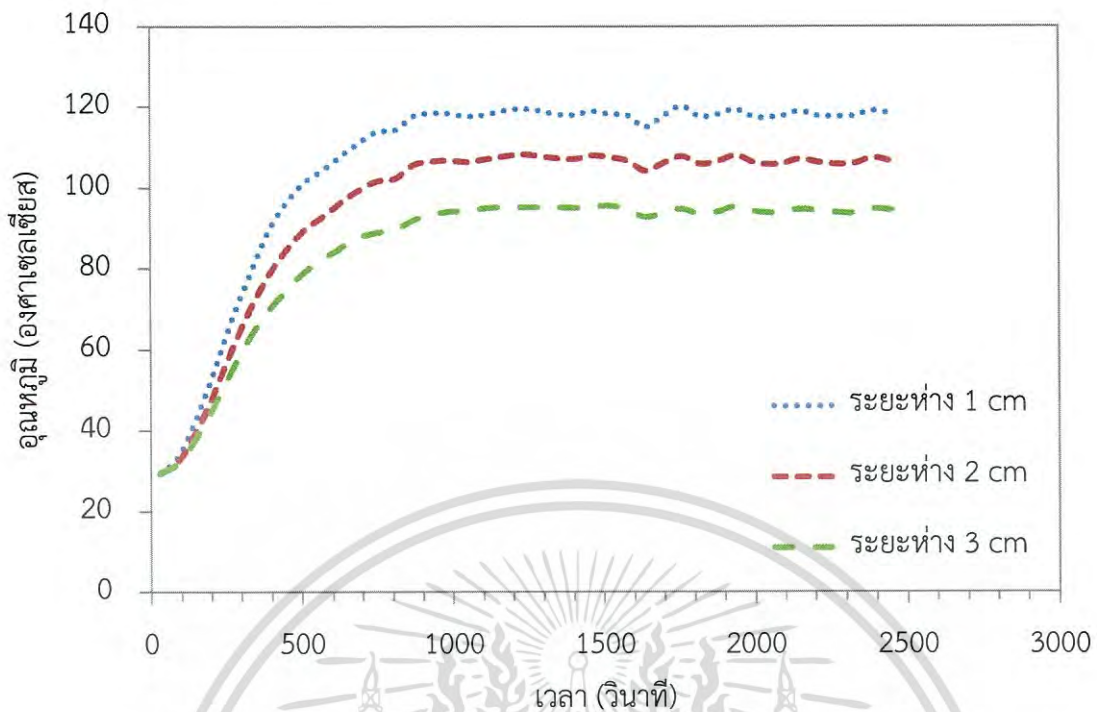


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 200 วัตต์

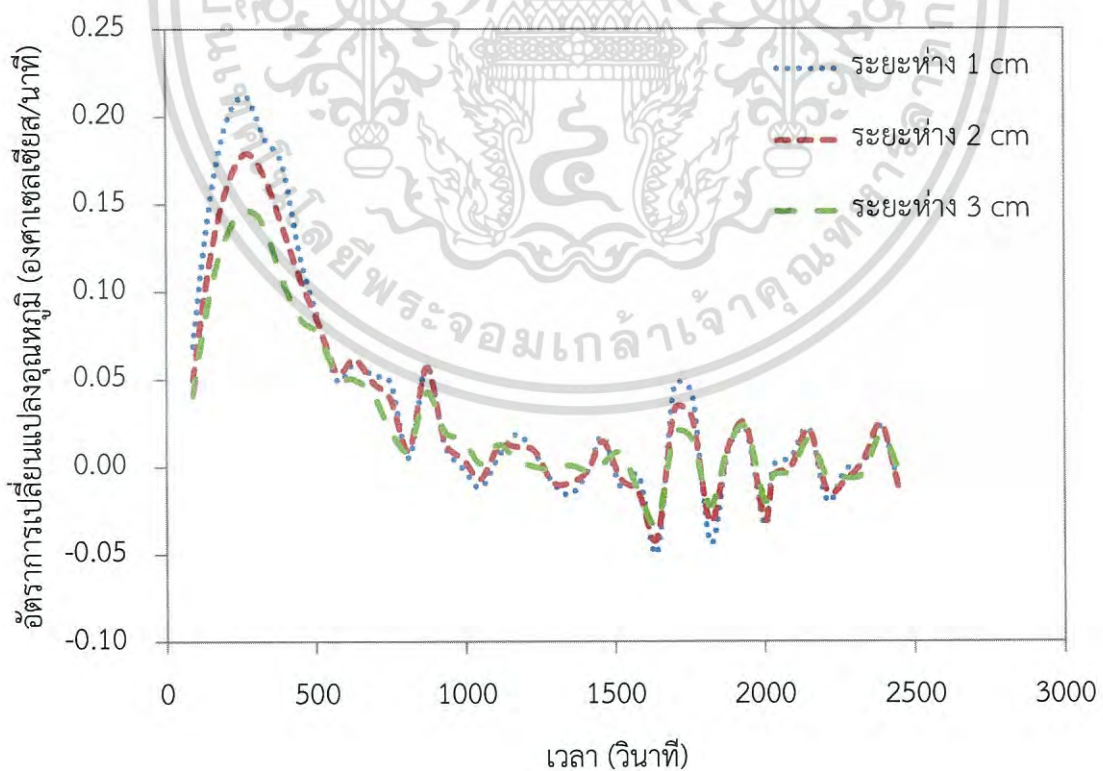


รูปที่ 6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 200 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

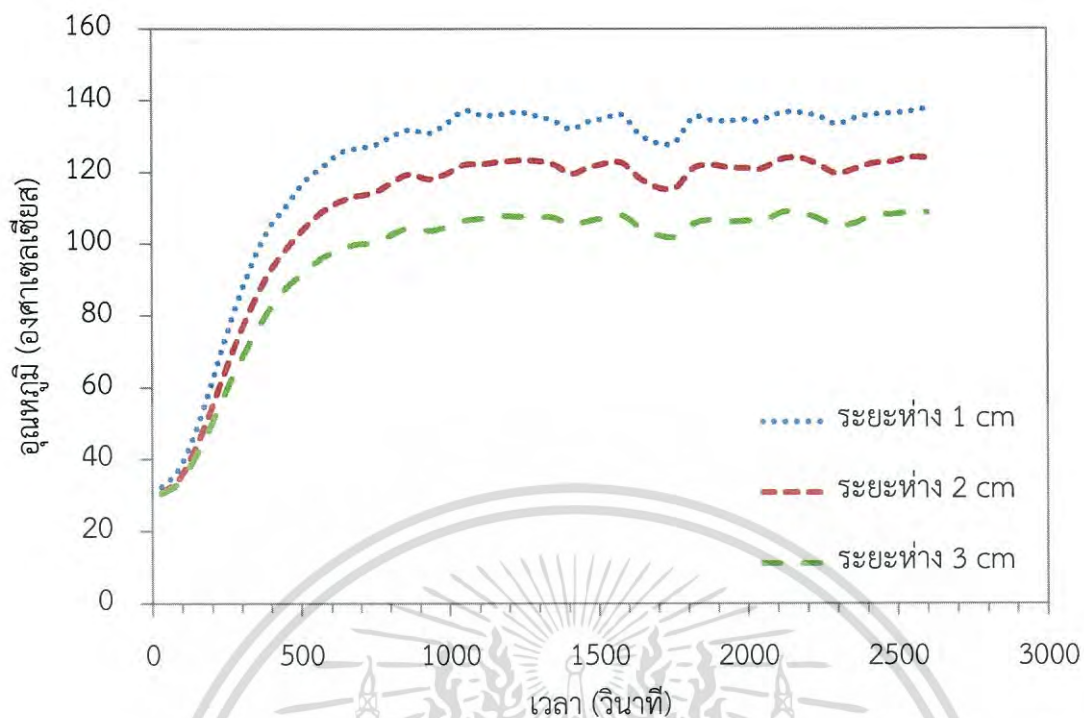


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอณุมหุมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์

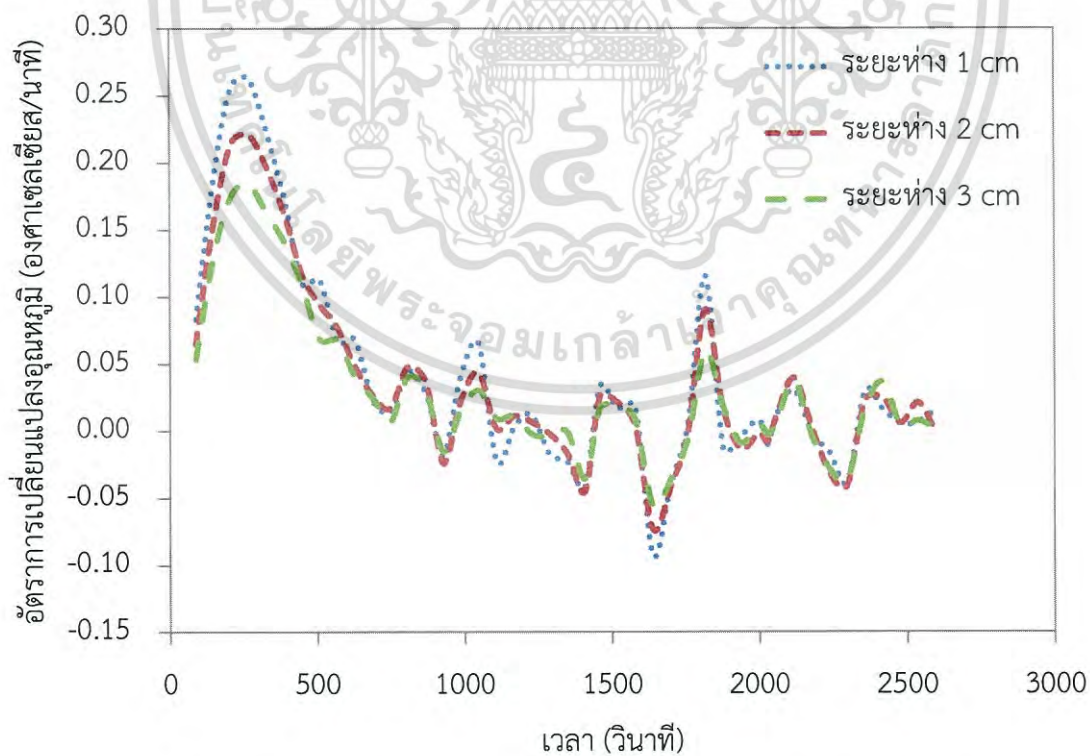


รูปที่ 8 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอณุมหุมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

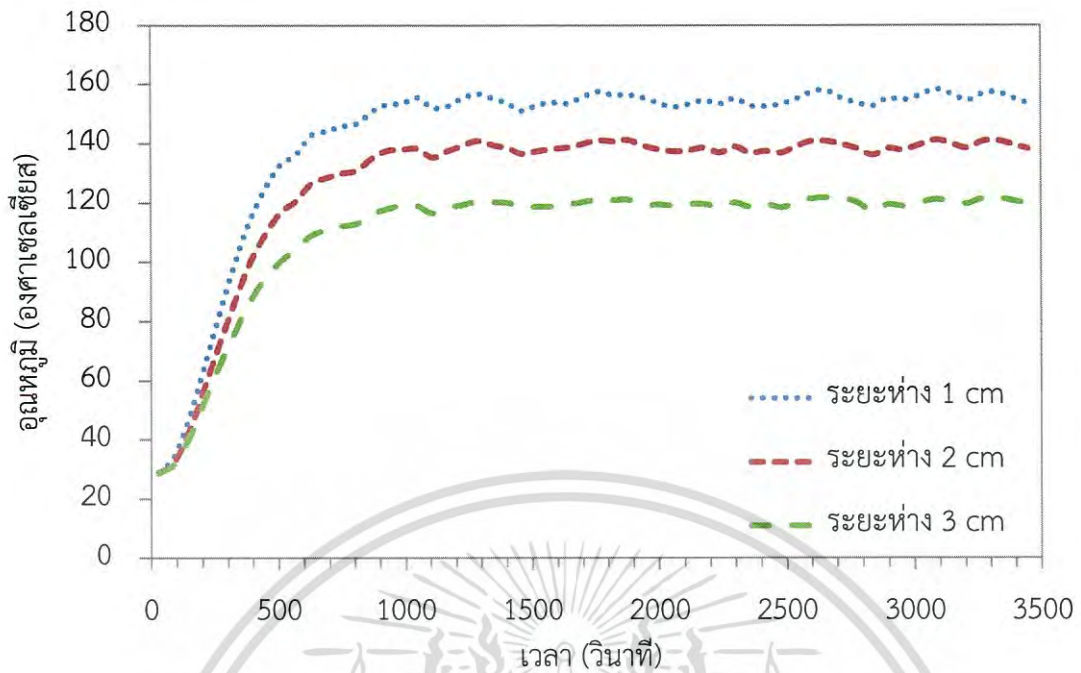


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุนทหุมมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 300 วัตต์

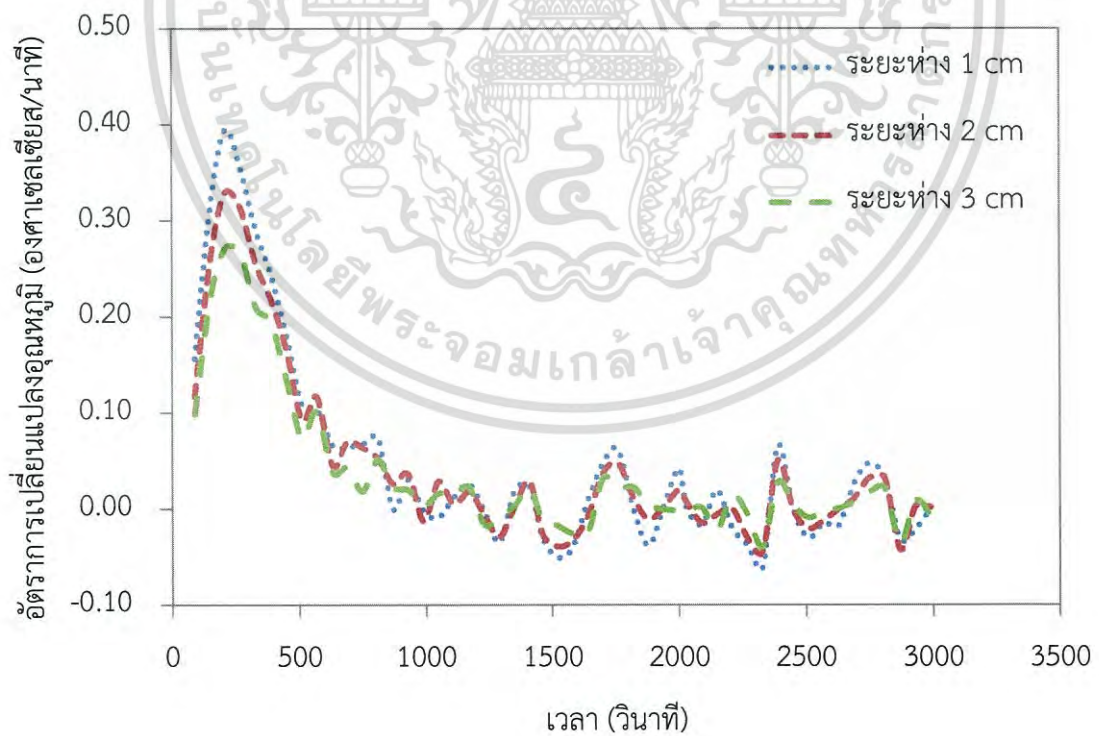


รูปที่ 10 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุนทหุมมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 300 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

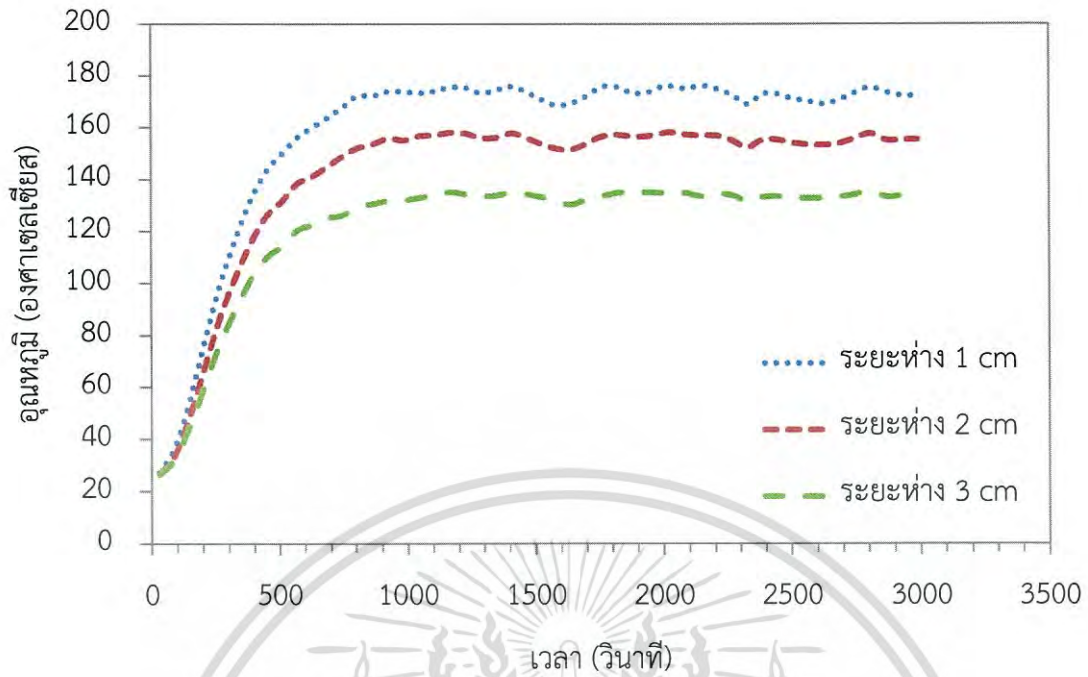


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 350 วัตต์

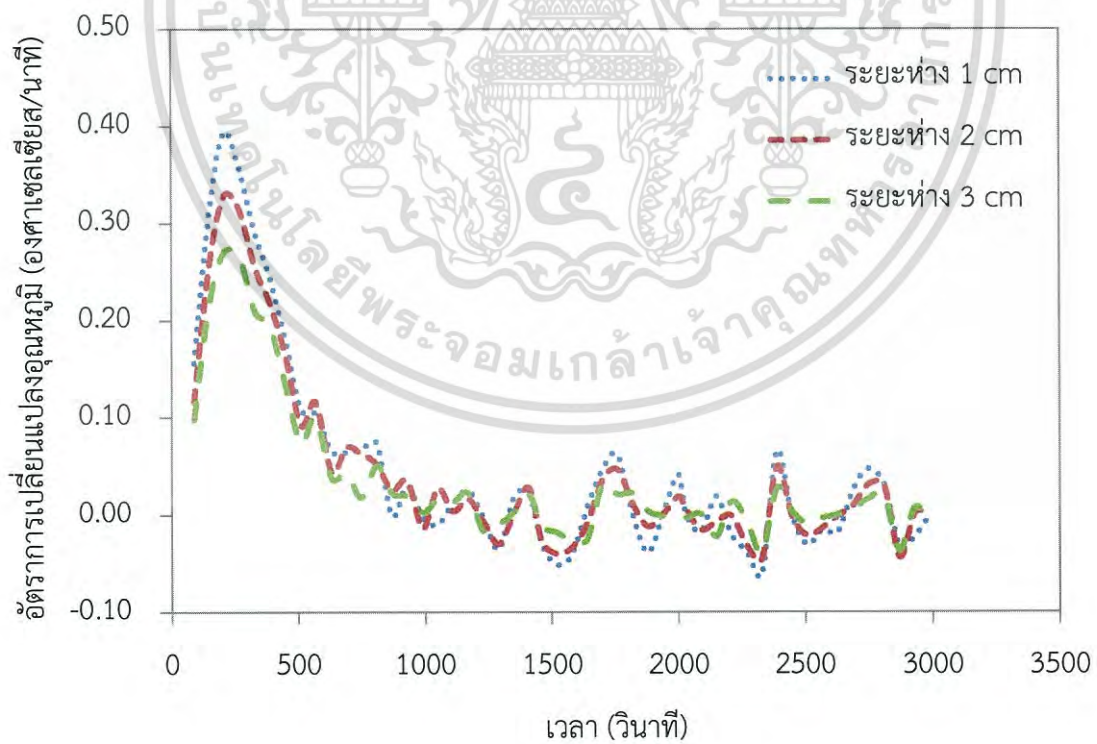


รูปที่ 12 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 350 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

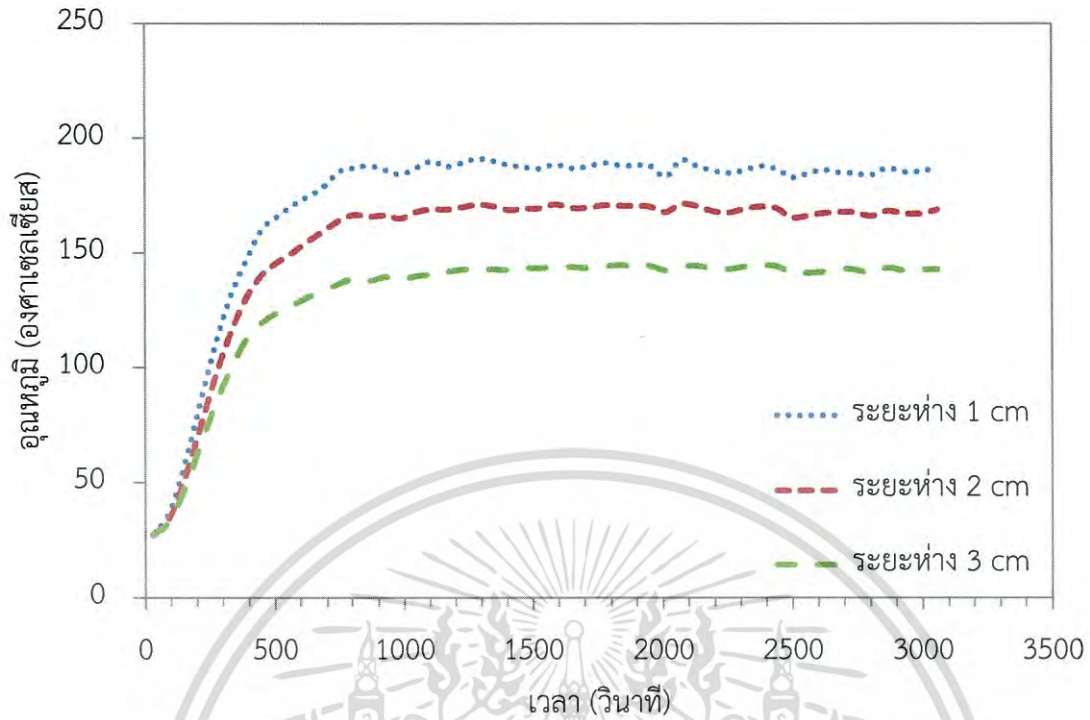


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุนท์ภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์

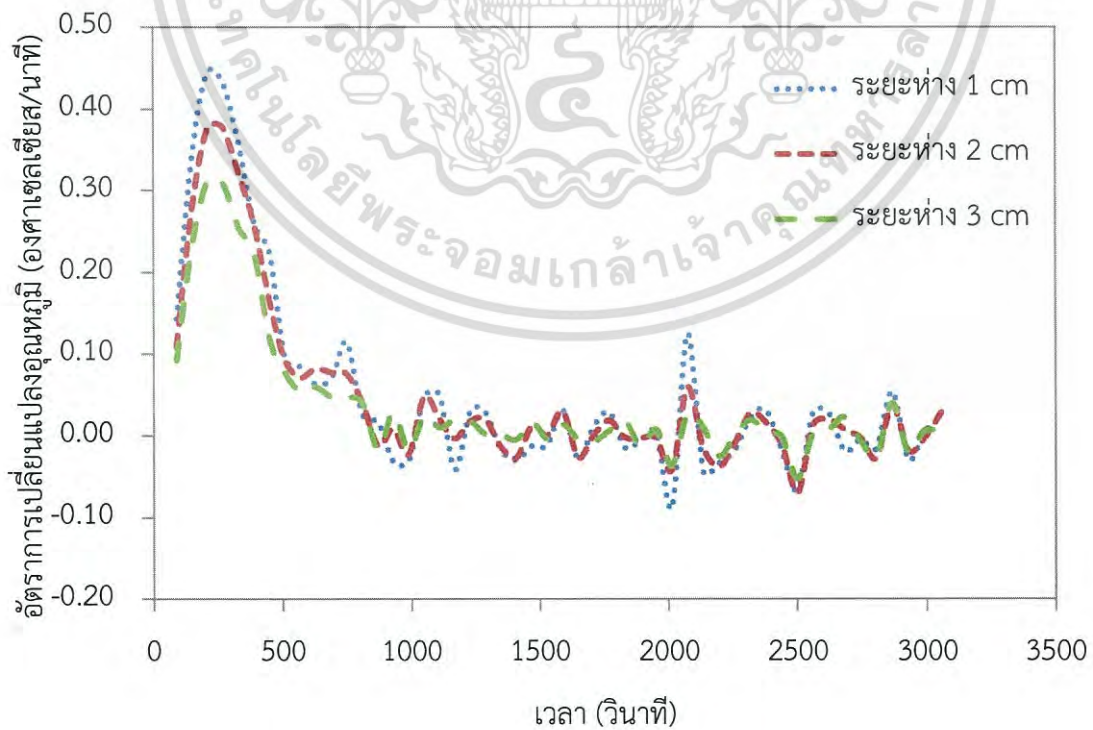


รูปที่ 14 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุนท์ภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 400 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

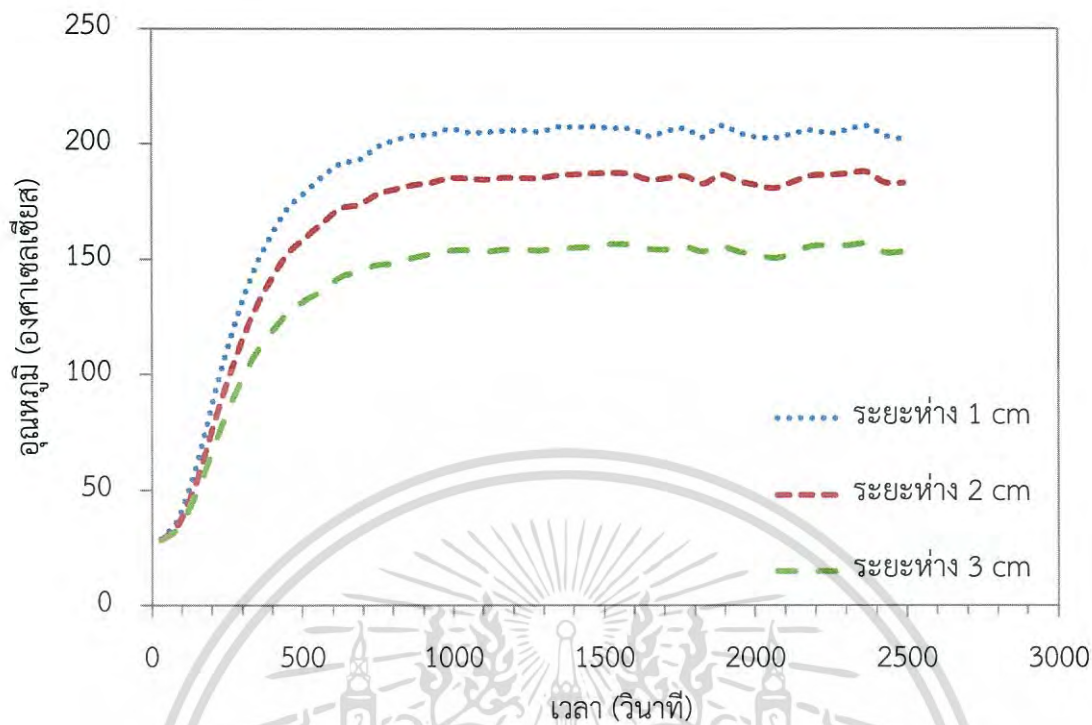


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจึงกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 450 วัตต์

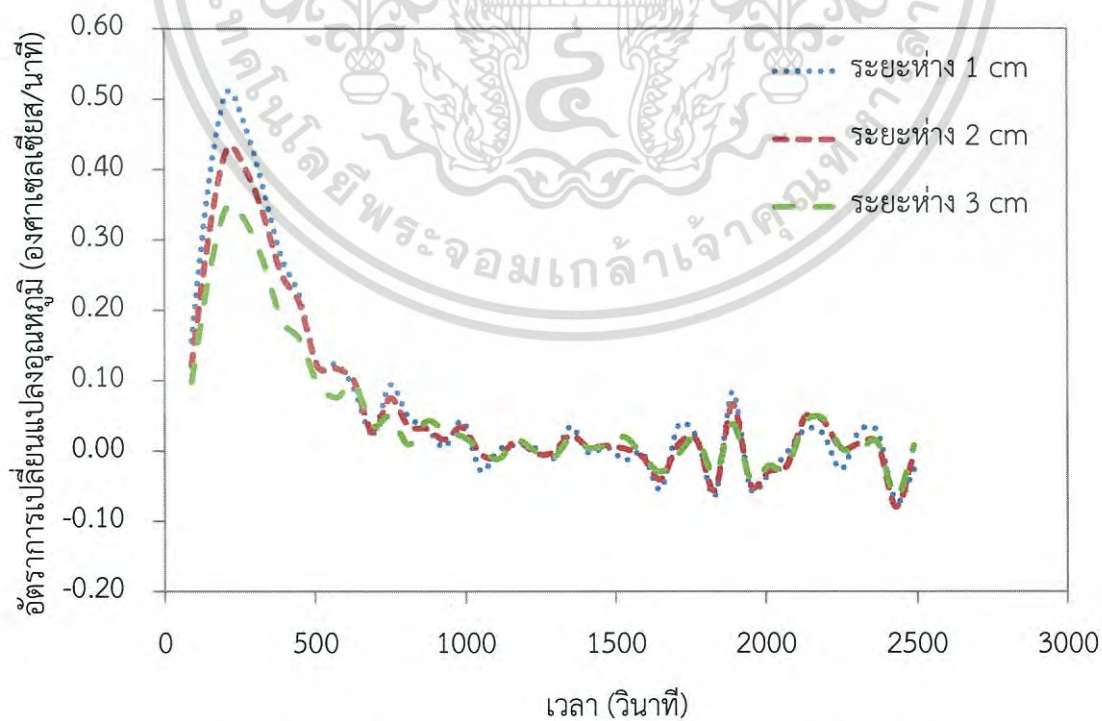


รูปที่ 16 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจึงที่ระดับกำลังไฟฟ้า 450 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

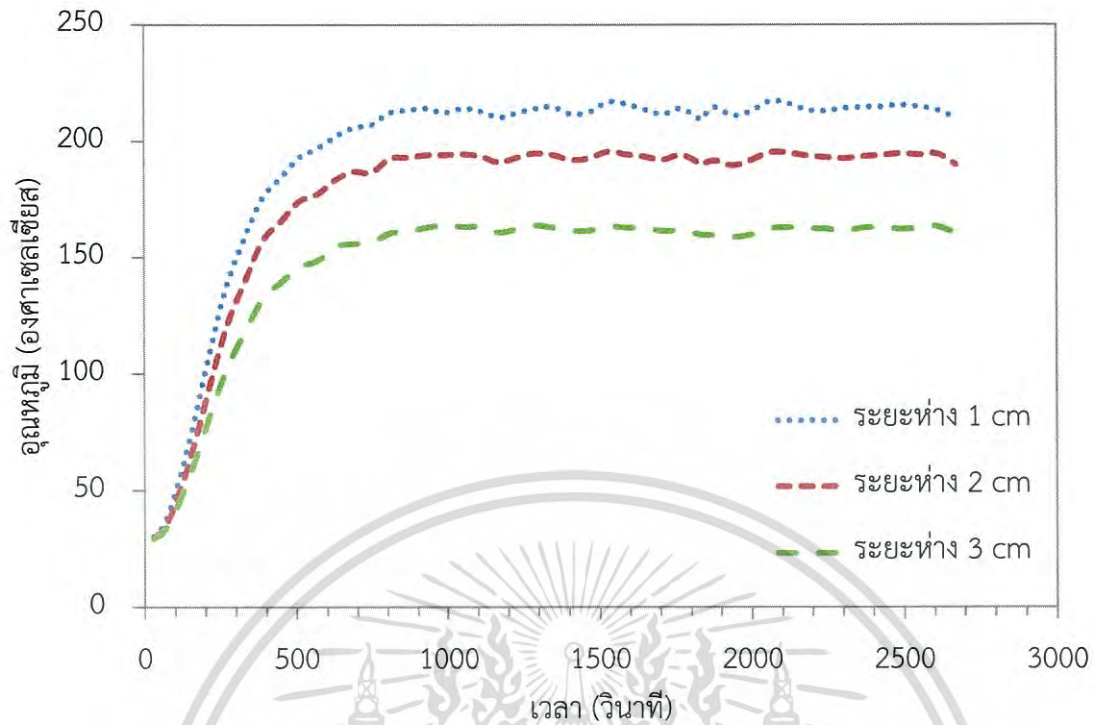


รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุมหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์

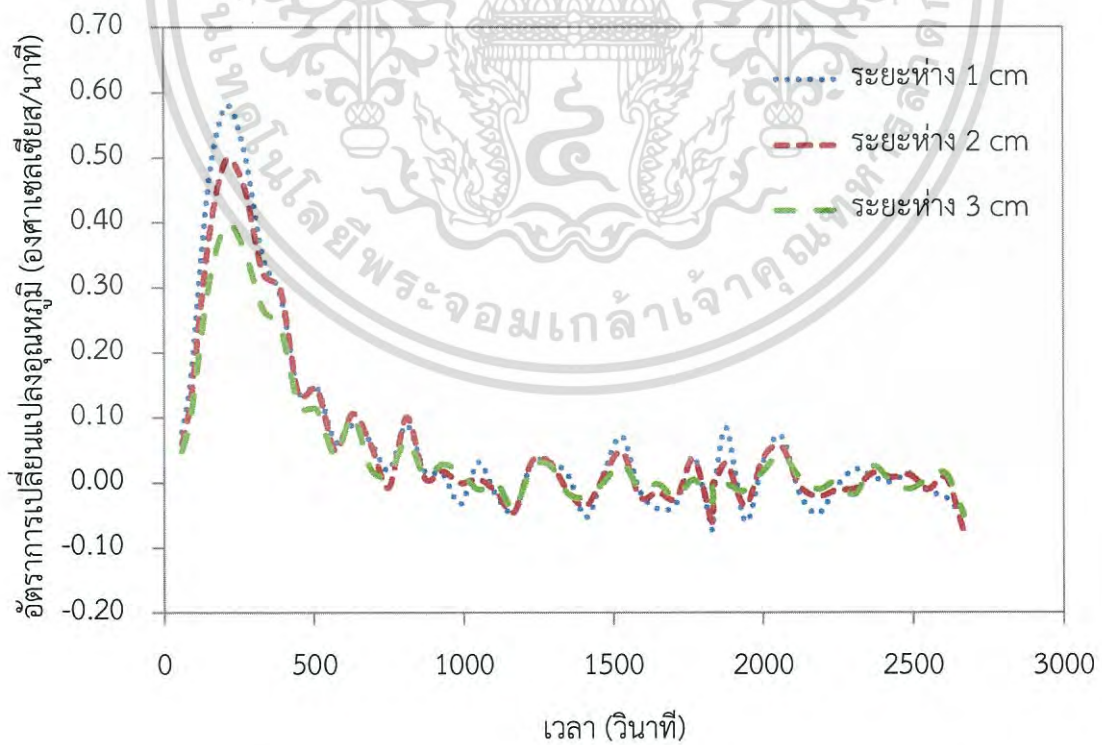


รูปที่ 18 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุมหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

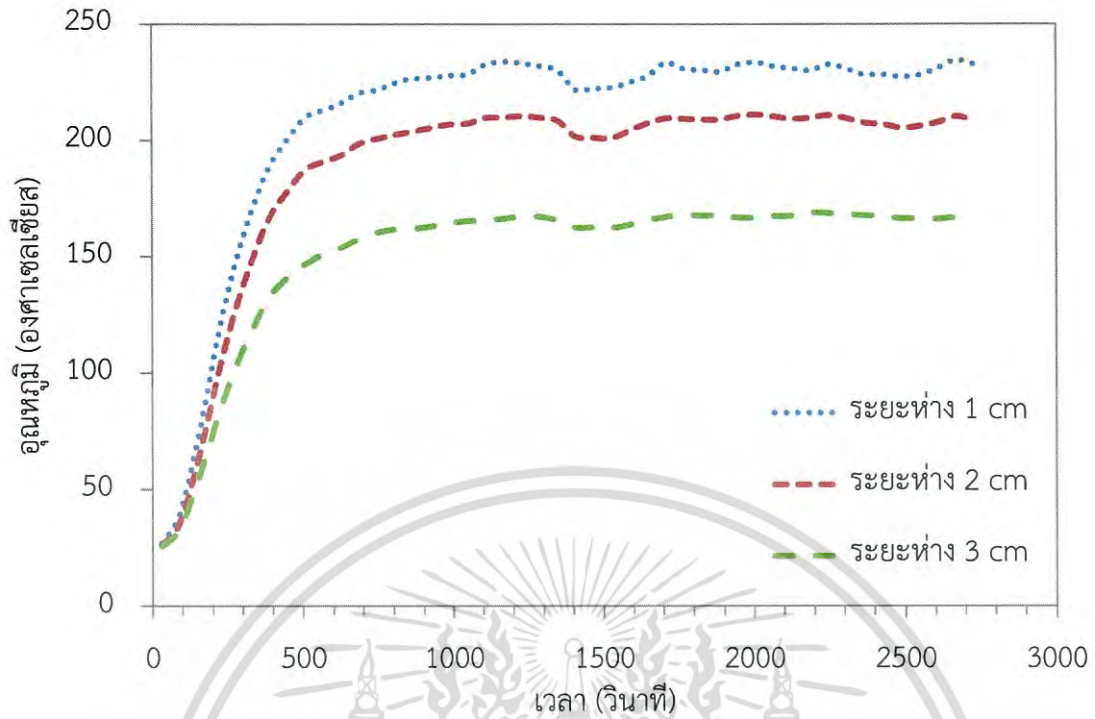


รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 550 วัตต์

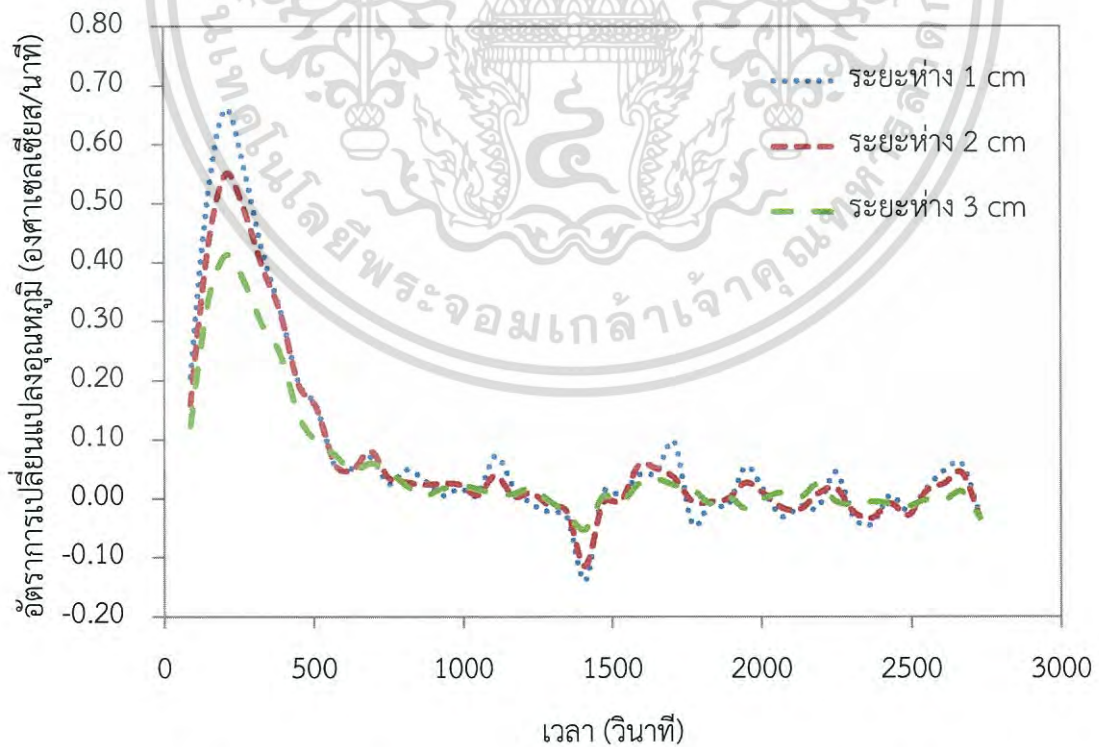


รูปที่ 20 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 550 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

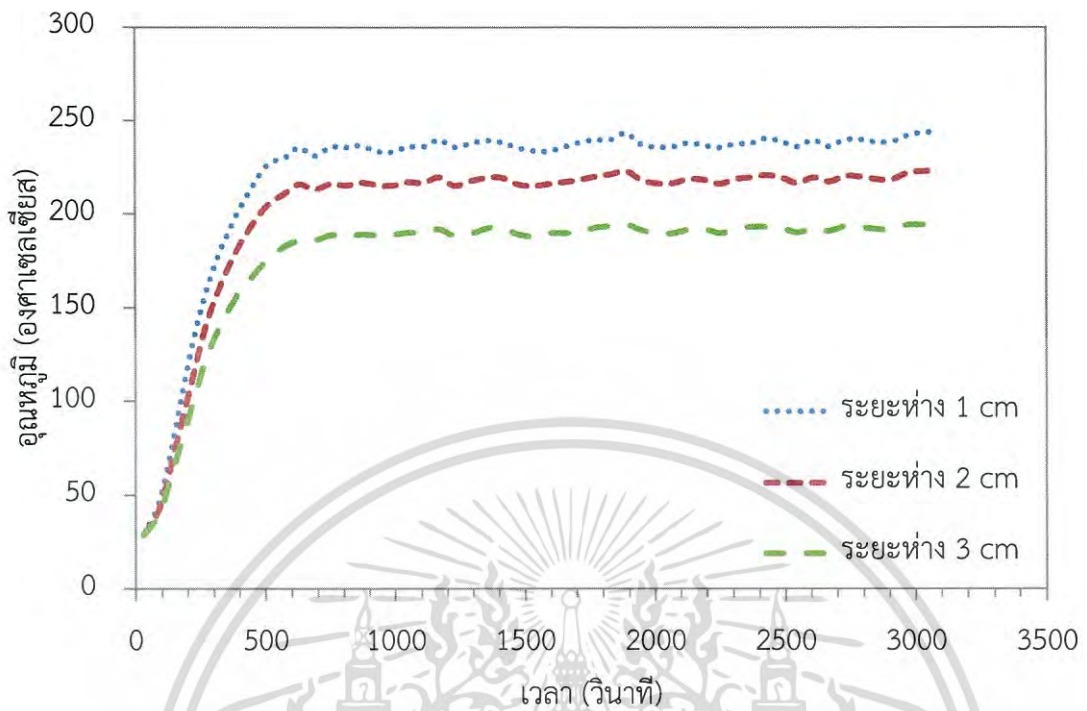


รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุนหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์

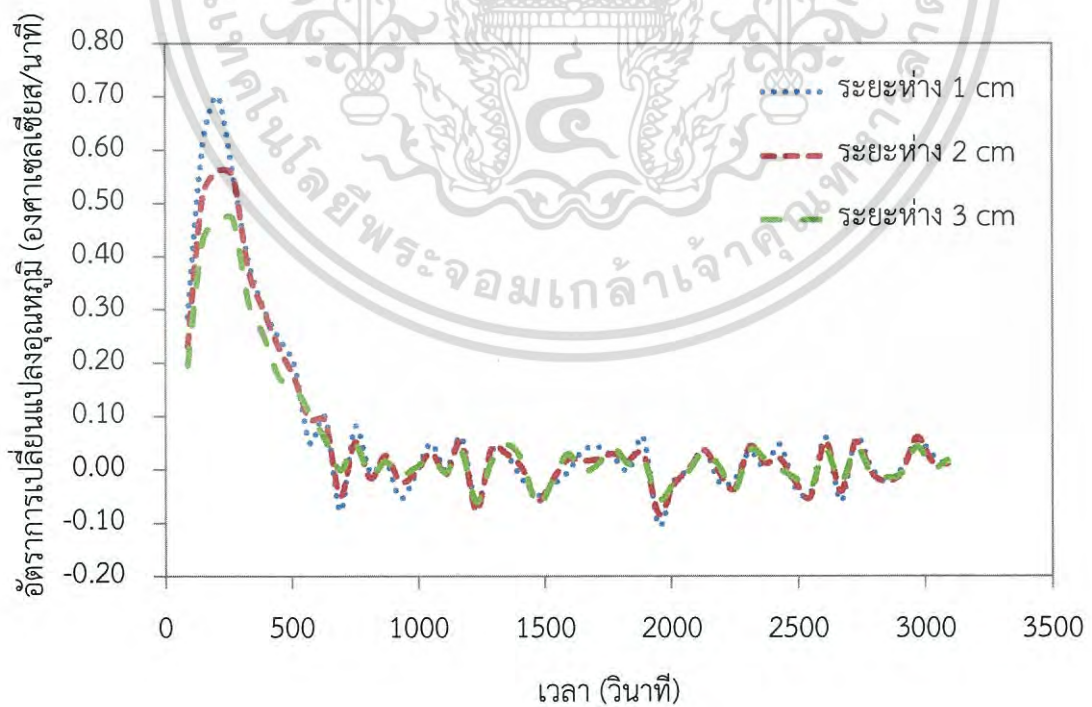


รูปที่ 22 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุนหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

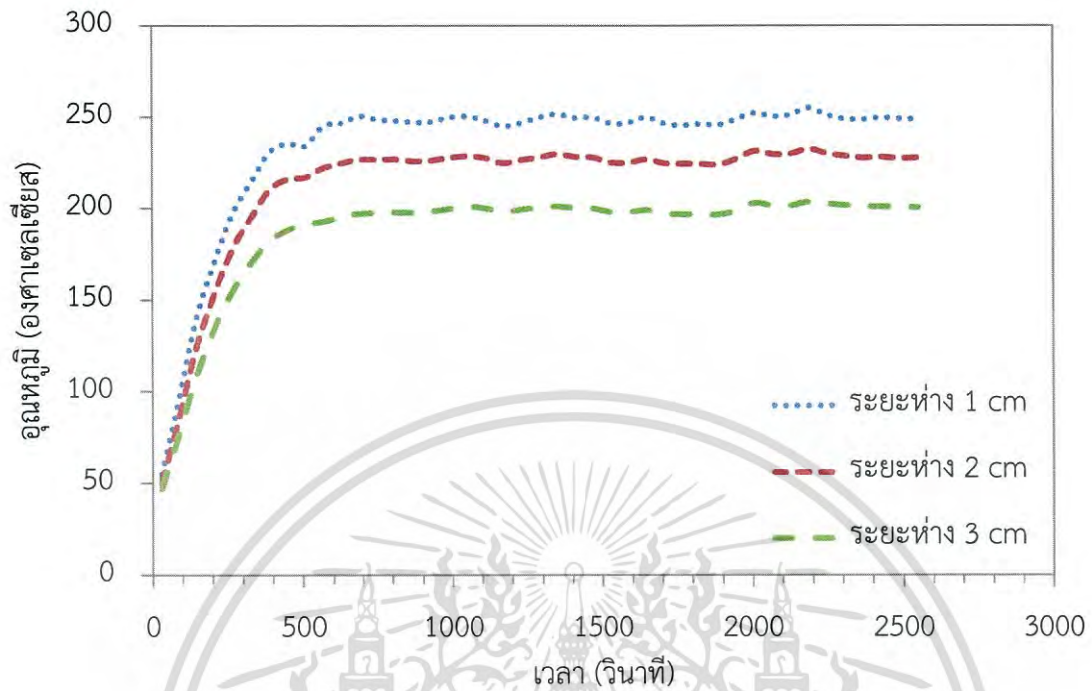


รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 650 วัตต์

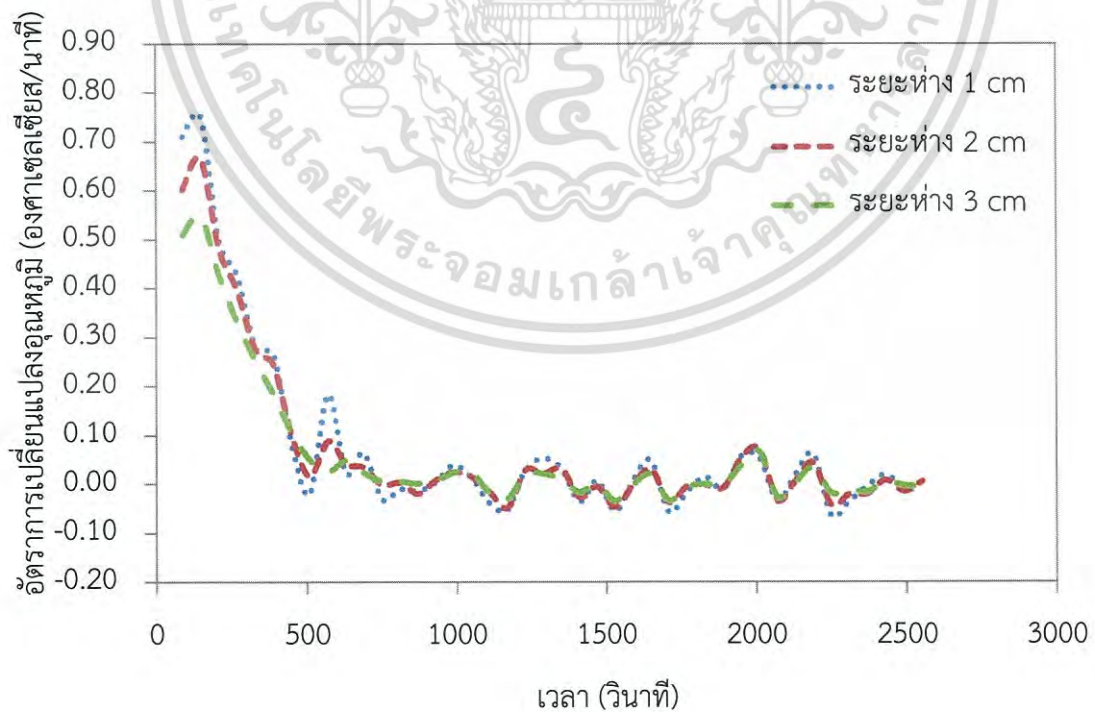


รูปที่ 24 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 650 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

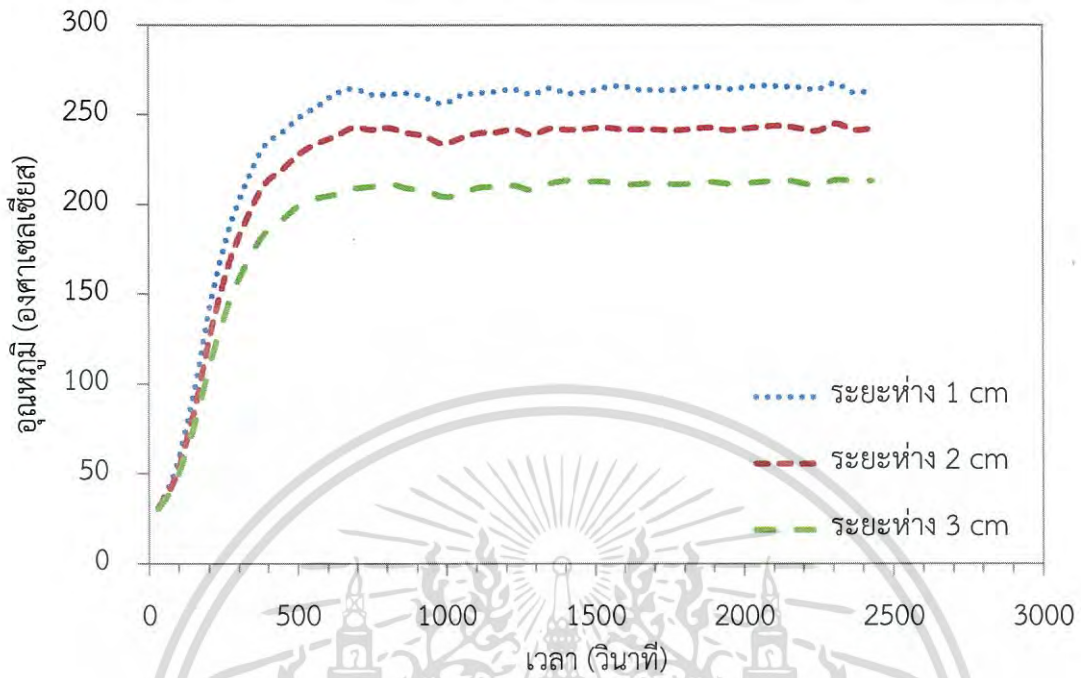


รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

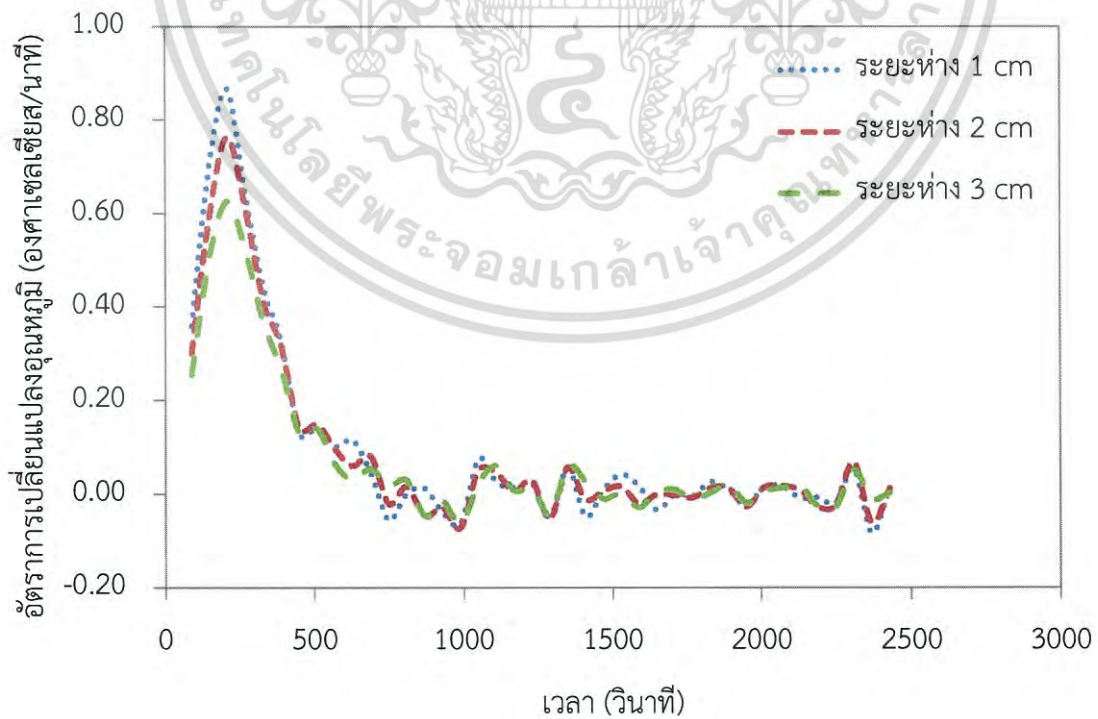


รูปที่ 26 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

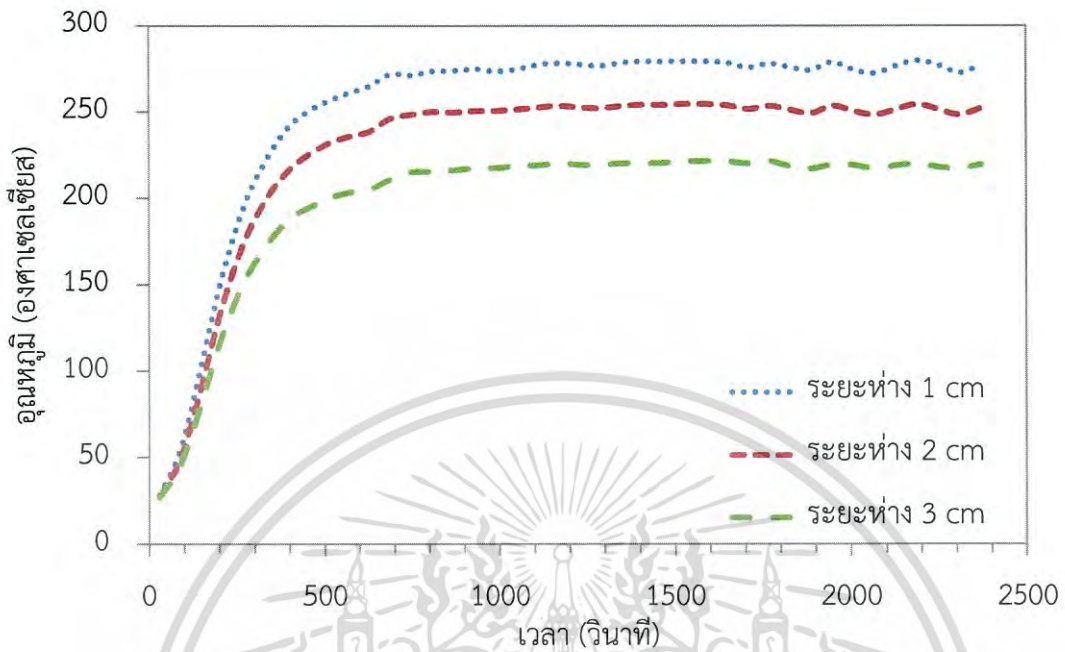


รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 750 วัตต์

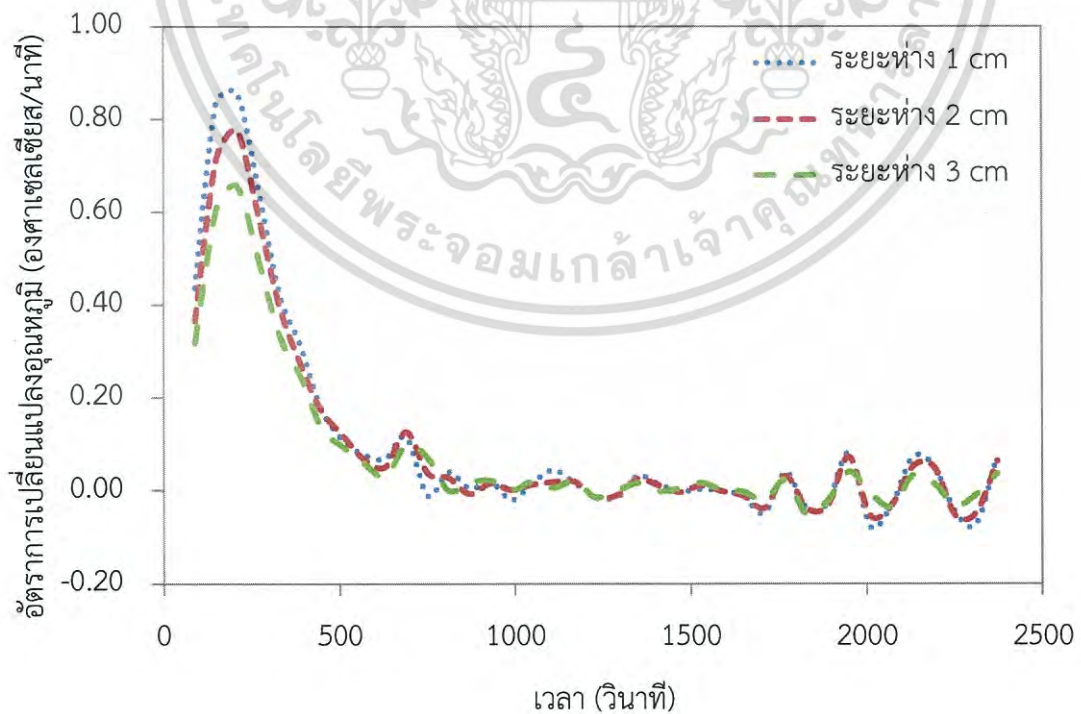


รูปที่ 28 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 750 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างอณูหภูมิกับเวลาที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์



รูปที่ 30 อัตราการเปลี่ยนแปลงของอณูหภูมิที่ระดับกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์

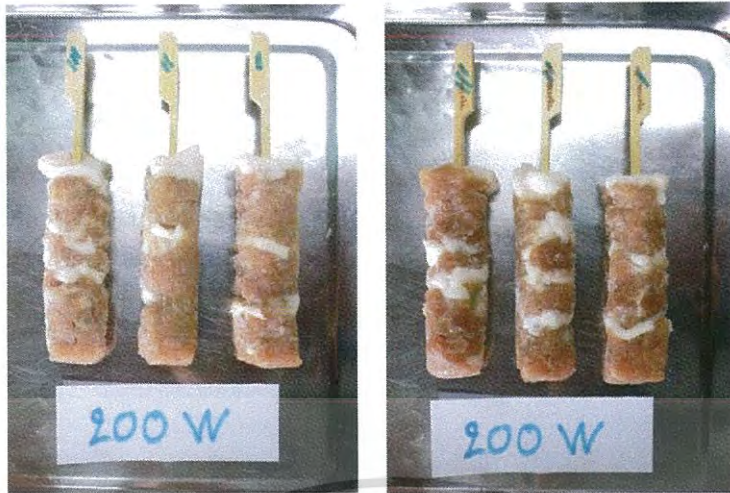
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



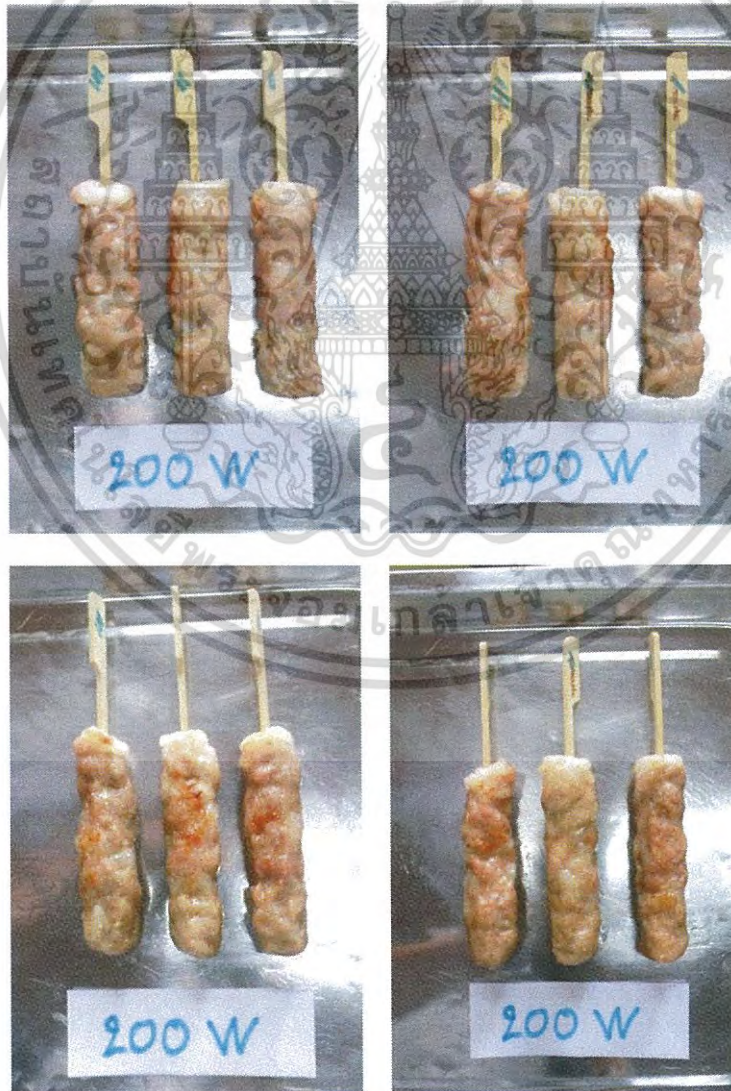
## ภาคผนวก ข

รูปผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างและหลังย่าง  
ของการทดลองอย่างด้วยชุดทดลองกระบวนการย่าง

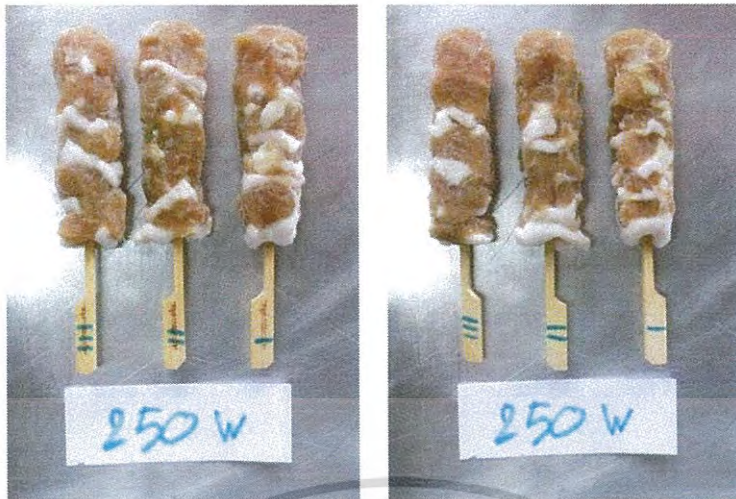
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 ผลิตรัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



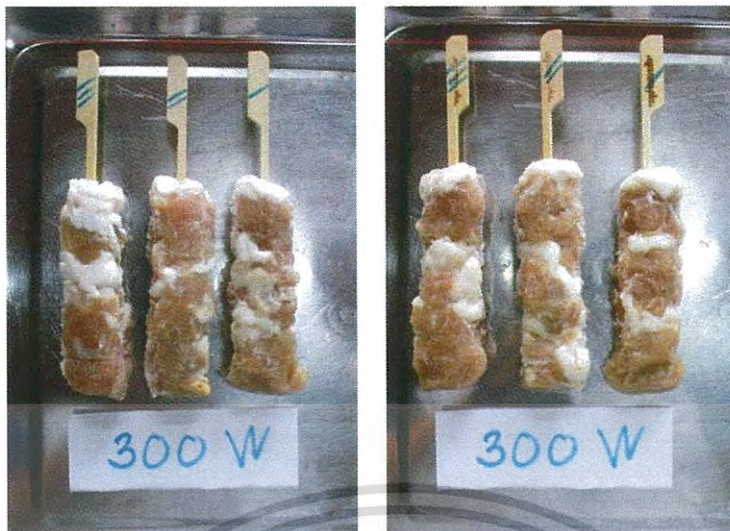
รูปที่ 32 ผลิตรัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



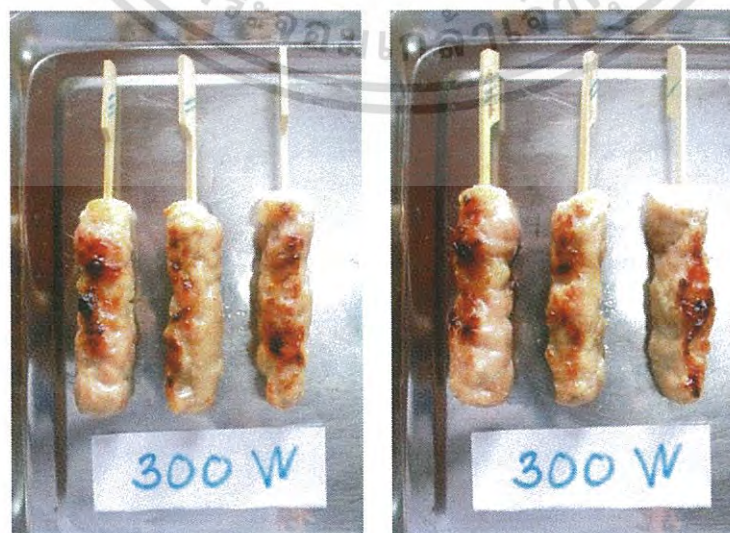
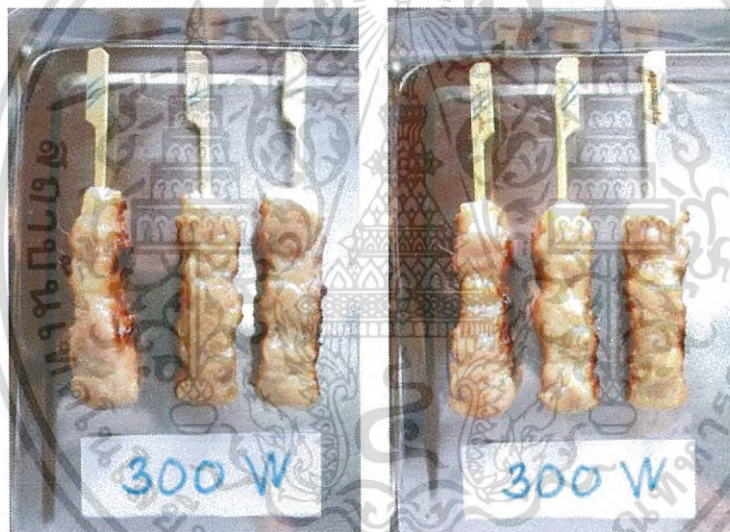
รูปที่ 33 ผลิตรัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



รูปที่ 34 ผลิตรัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 35 ผลิตรภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



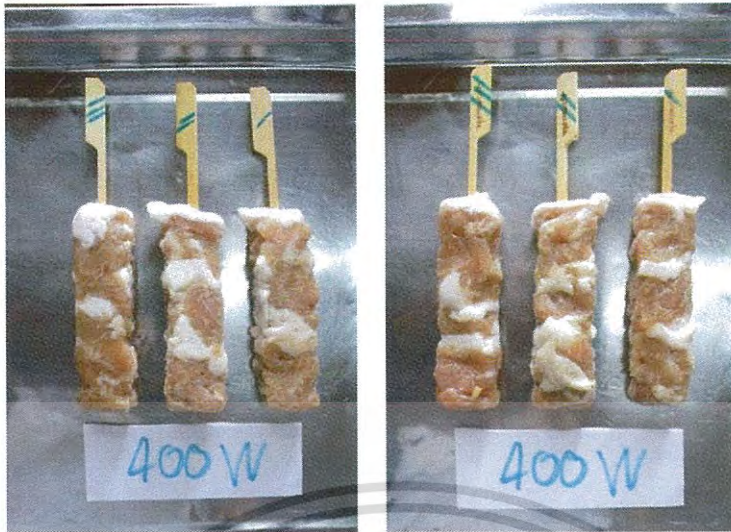
รูปที่ 36 ผลิตรภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร  
เอกสารนี้แจ้งเอกสารให้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



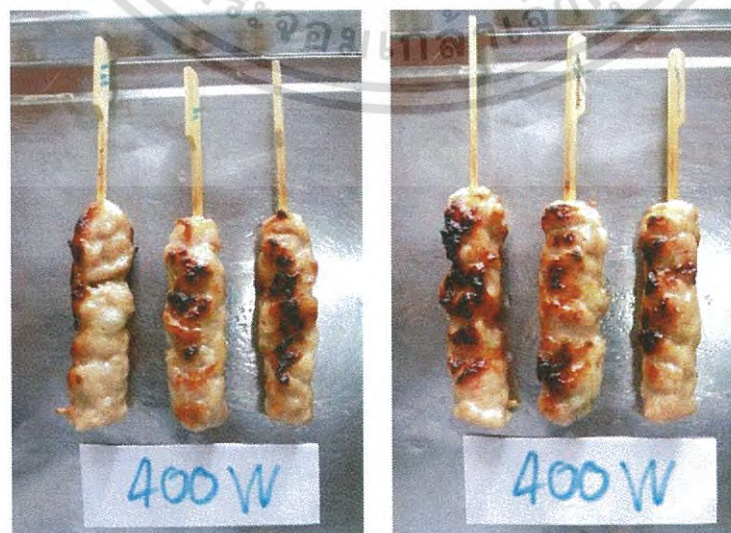
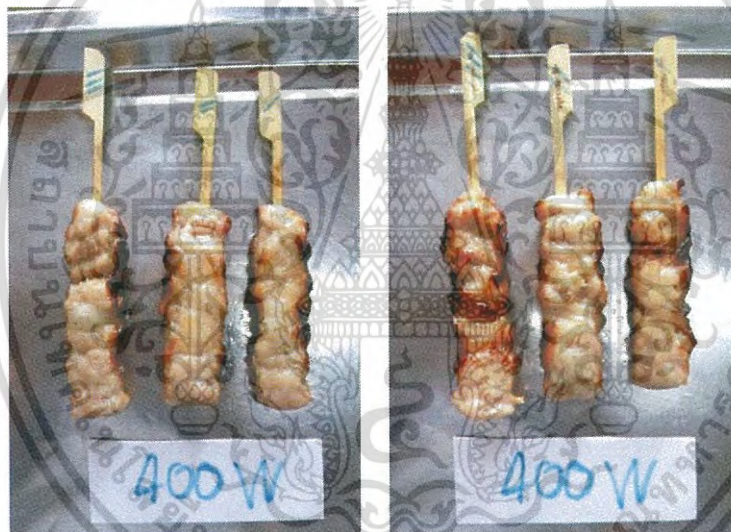
รูปที่ 37 ผลิตรักณ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 350 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



เอกสารนี้รูปที่ 38 ผลิตรักณ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 350 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร ынด้านกรค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



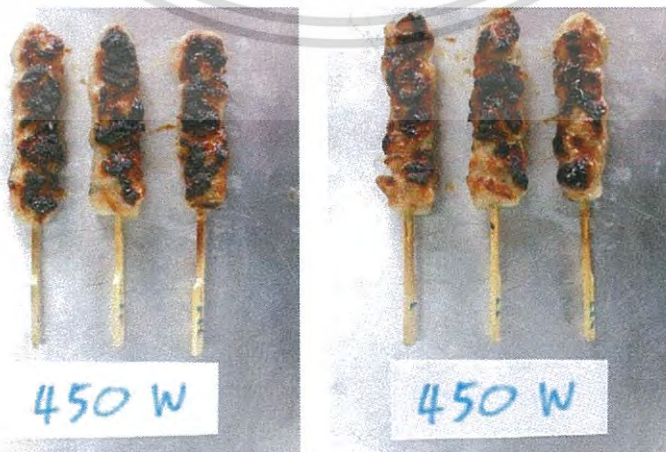
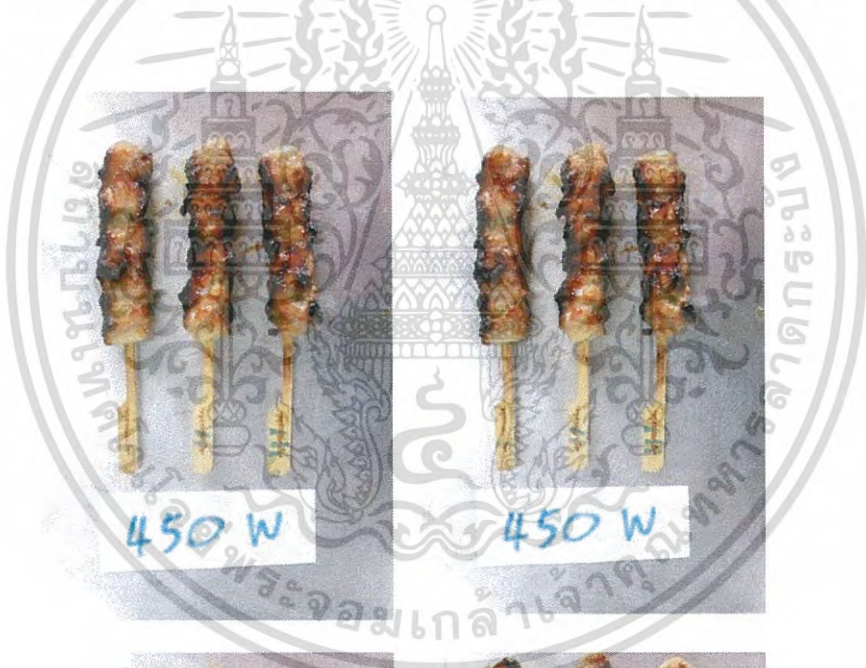
รูปที่ 39 ผลิตรกัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



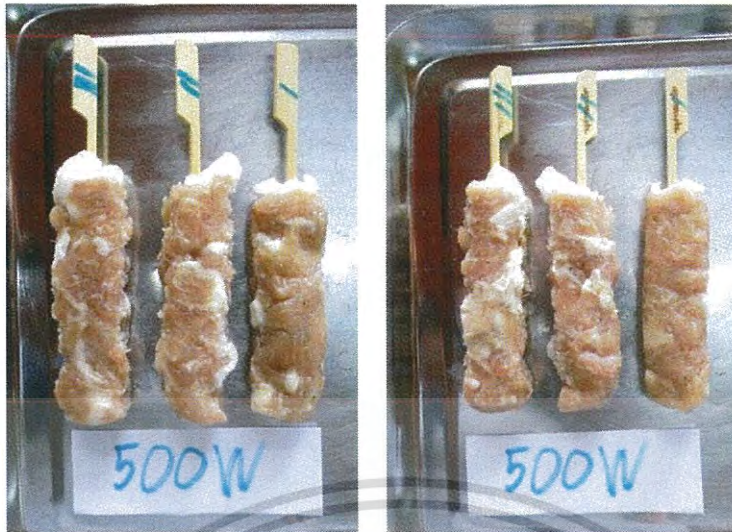
รูปที่ 40 ผลิตรกัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร  
 เอกสารนี้แจ้งเอกสารไว้ล่วงหน้าในเอกสารนี้เพื่อที่จะให้ท่านได้เห็นว่ากรณิต่างๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



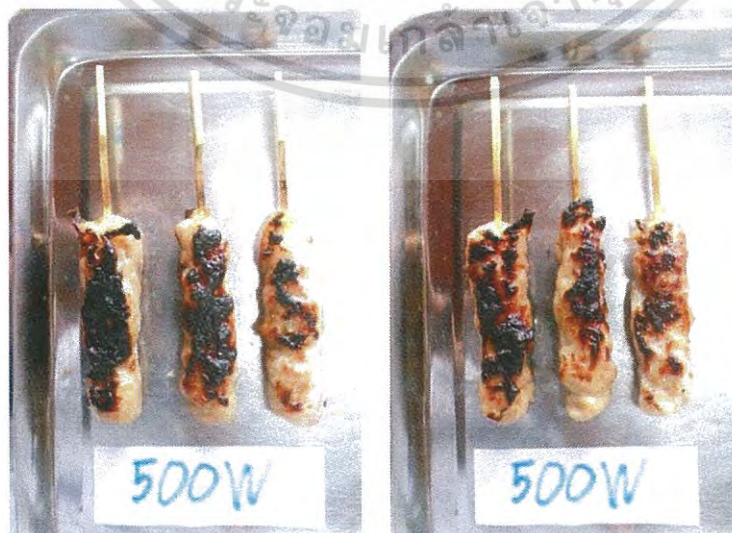
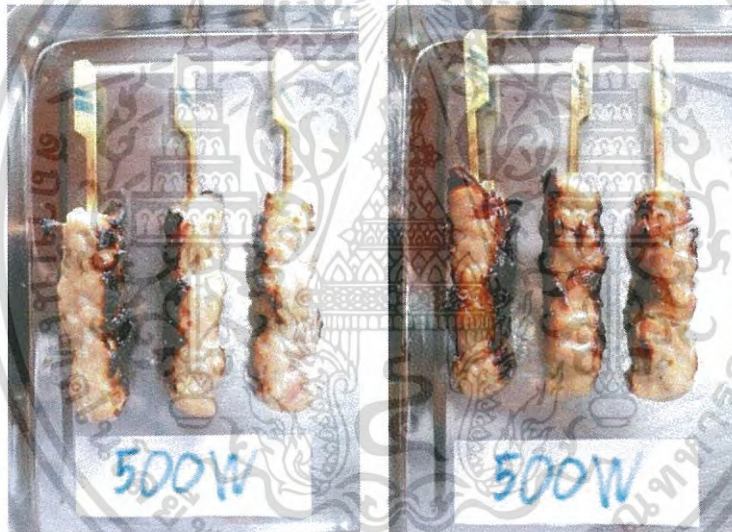
รูปที่ 41 ผลิตรภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



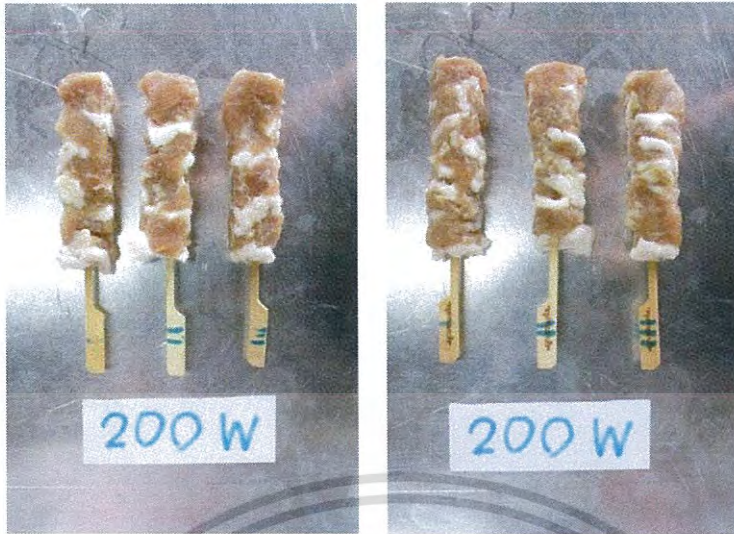
รูปที่ 42 ผลิตรภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



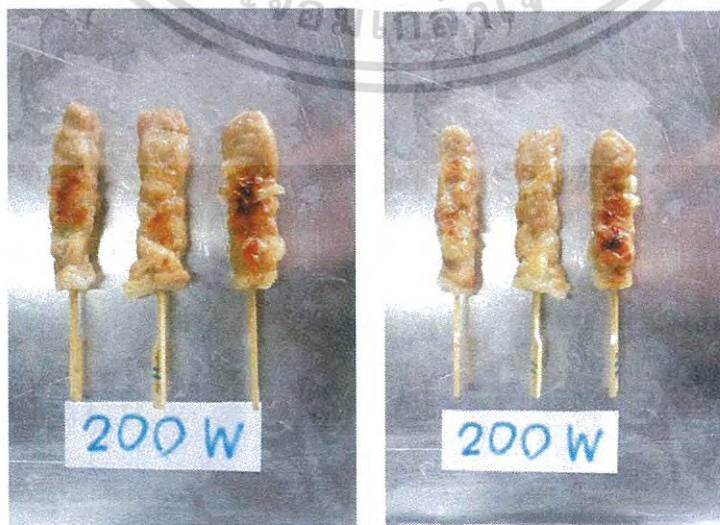
รูปที่ 43 ผลิตรกณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร



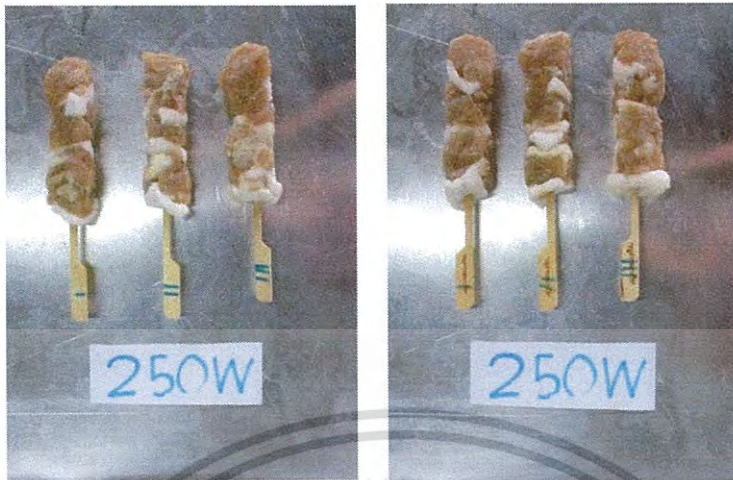
เอกสารนี้ รูปที่ 44 ผลิตรกณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ระยะ 1 เซนติเมตร  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



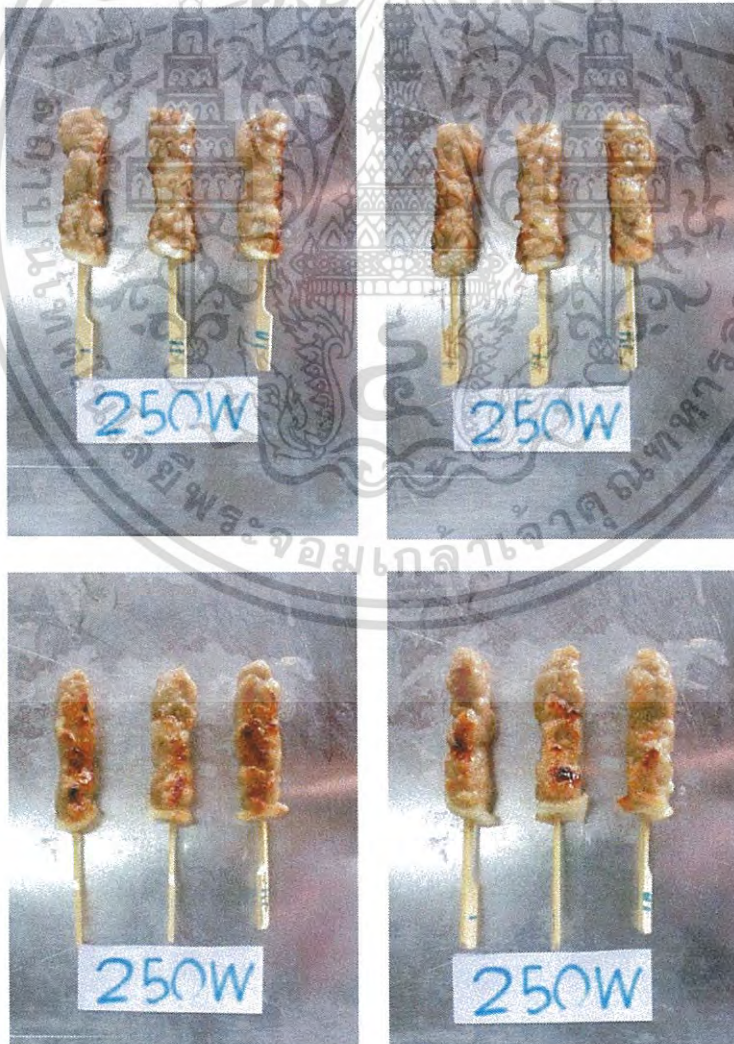
รูปที่ 45 ผลิตรักณ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร



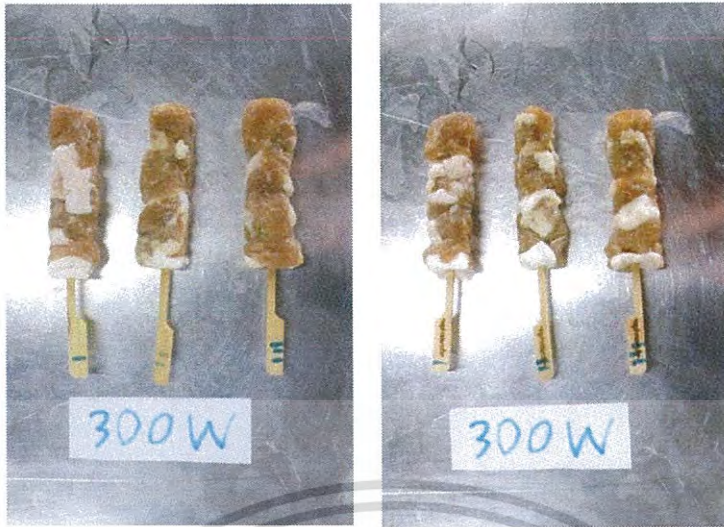
เอกสารนี้รูปที่ 46 ผลิตรักณ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร ынด้านกรค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



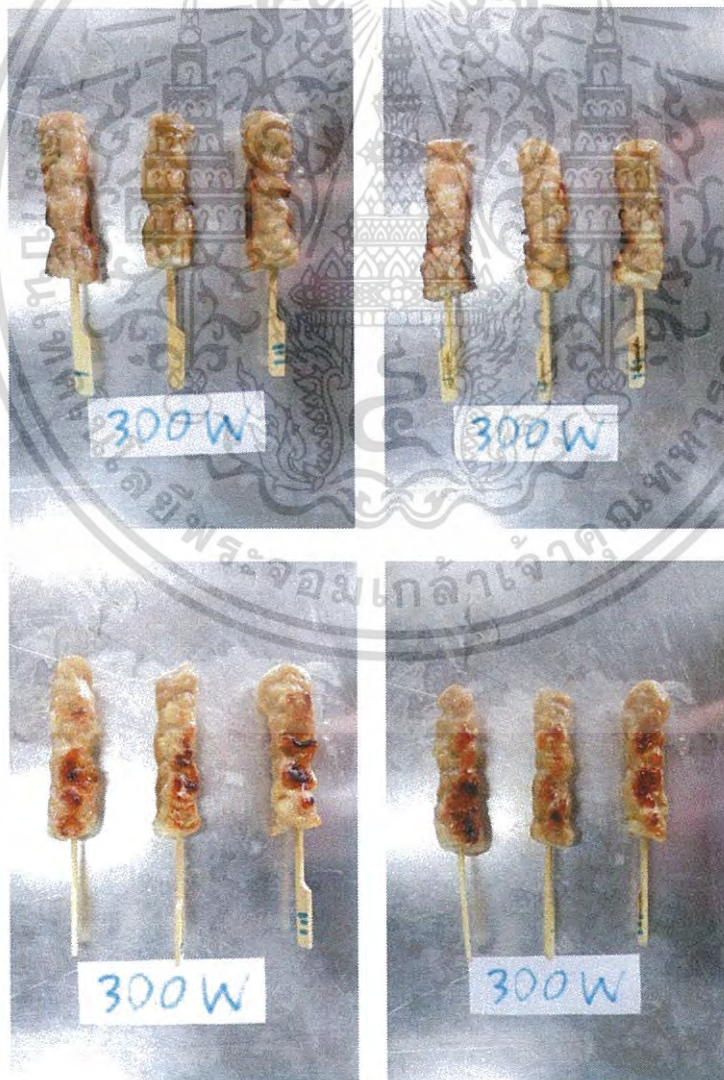
รูปที่ 47 ผลิตรกณ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร



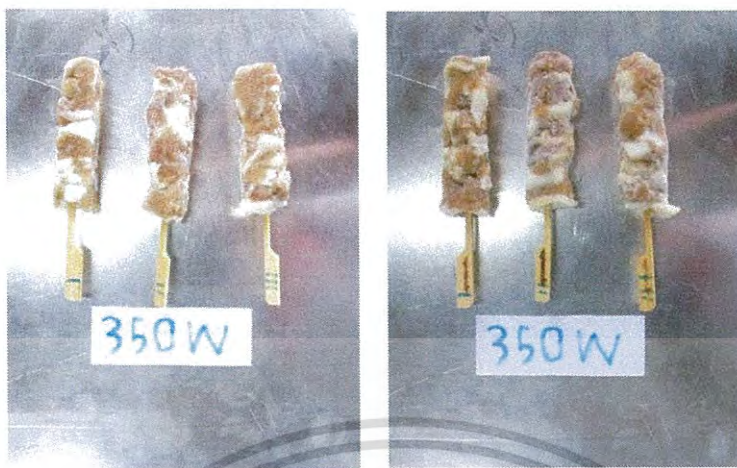
รูปที่ 48 ผลิตรกณ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



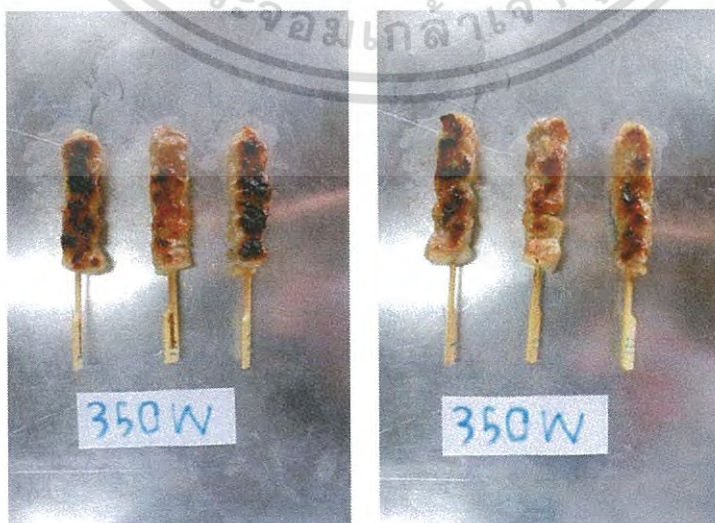
รูปที่ 49 ผลิตรกณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร



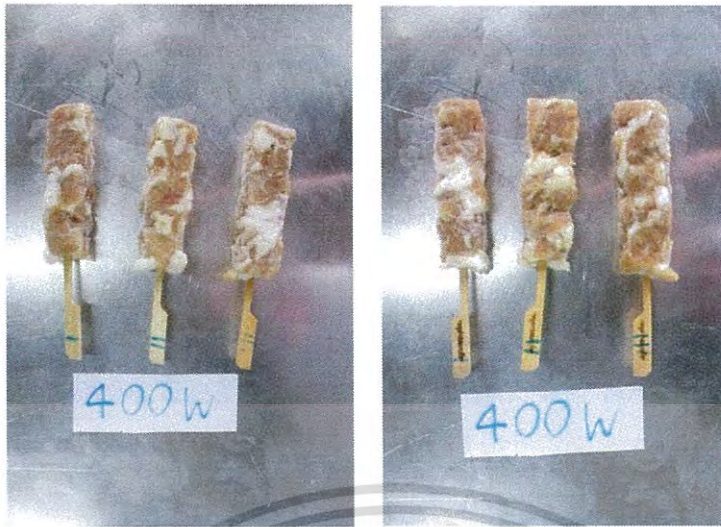
รูปที่ 50 ผลิตรกณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เขียนเอกสารไว้ล่วงหน้าไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญาใด ๆ ที่นำมาใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



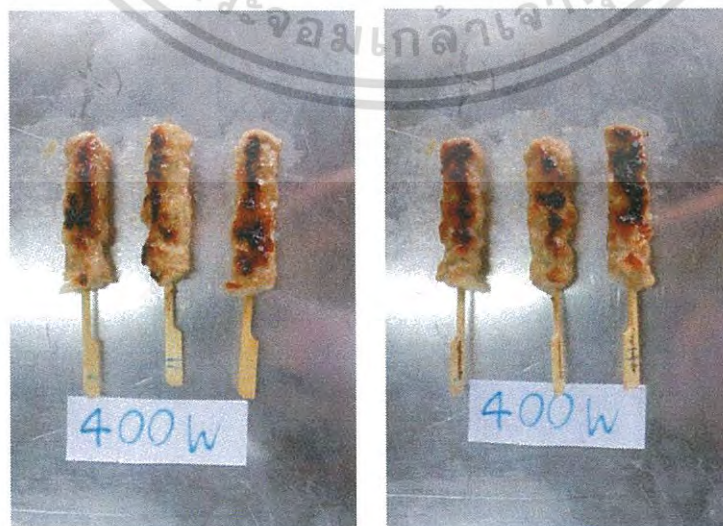
รูปที่ 51 ผลิตรกณ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 350 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร



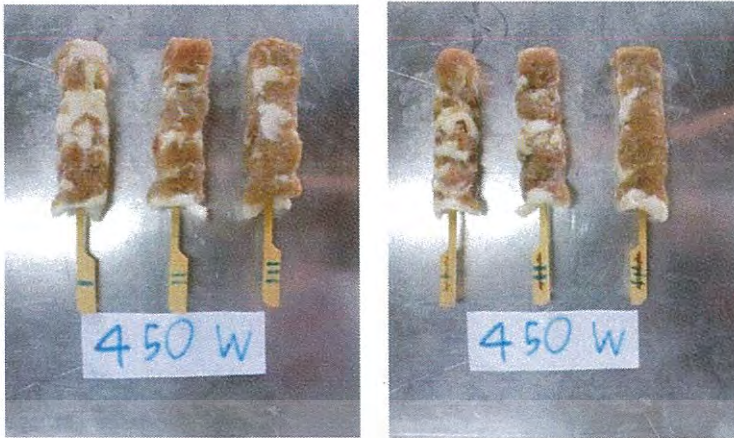
รูปที่ 52 ผลิตรกณ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 350 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในพิธีการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



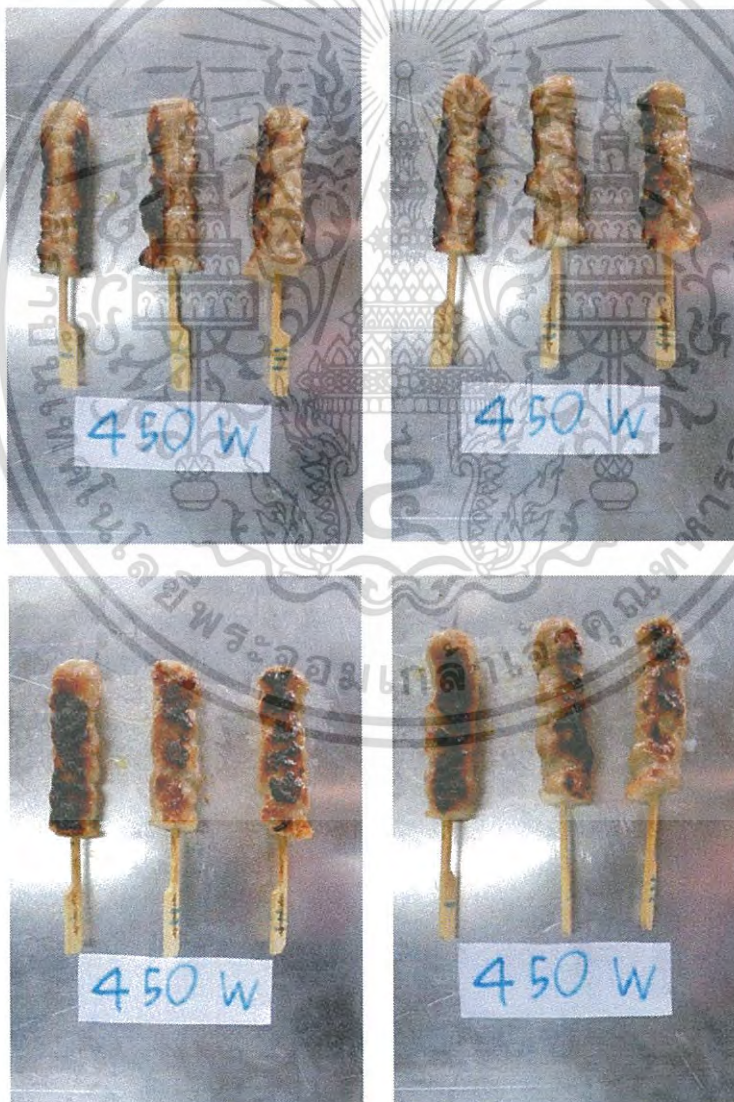
รูปที่ 53 ผลิตรักณ์ท์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 54 ผลิตรักณ์ท์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

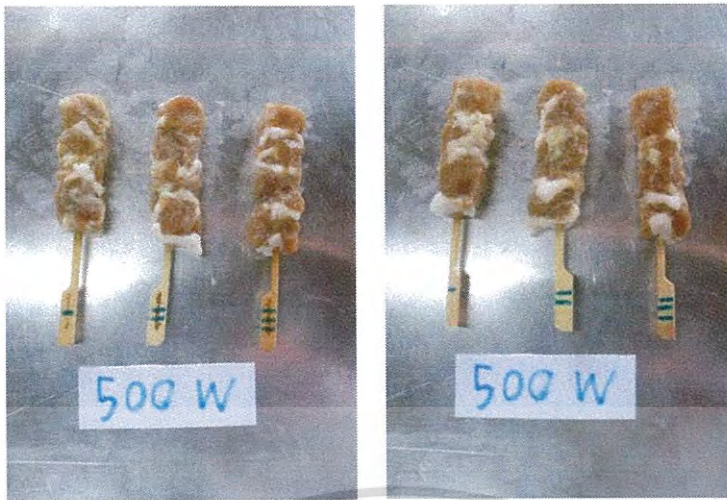


รูปที่ 55 ผลิตรัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 56 ผลิตรัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 57 ผลิตรกัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ก่อนย่างที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร

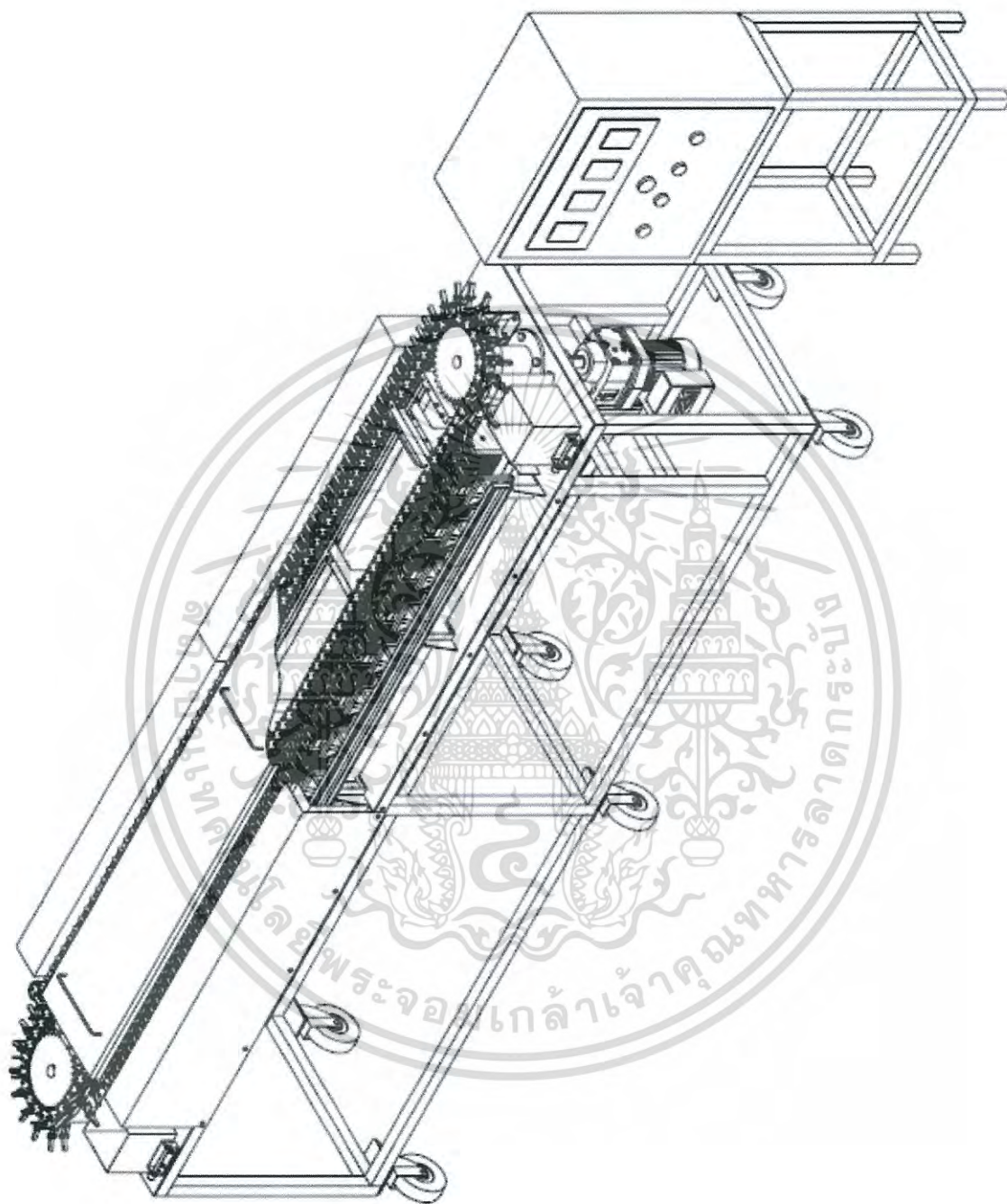


รูปที่ 58 ผลิตรกัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้หลังย่างที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ระยะ 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

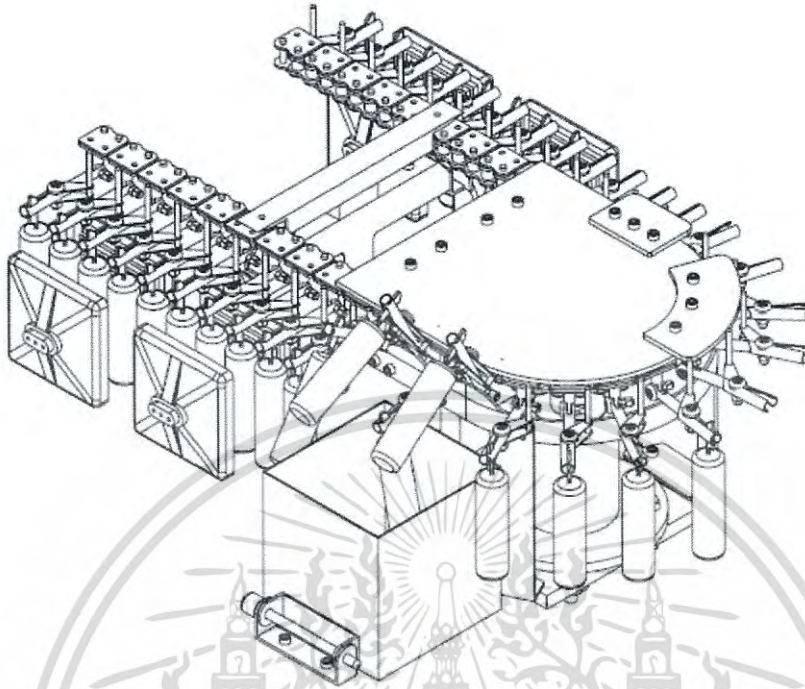


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

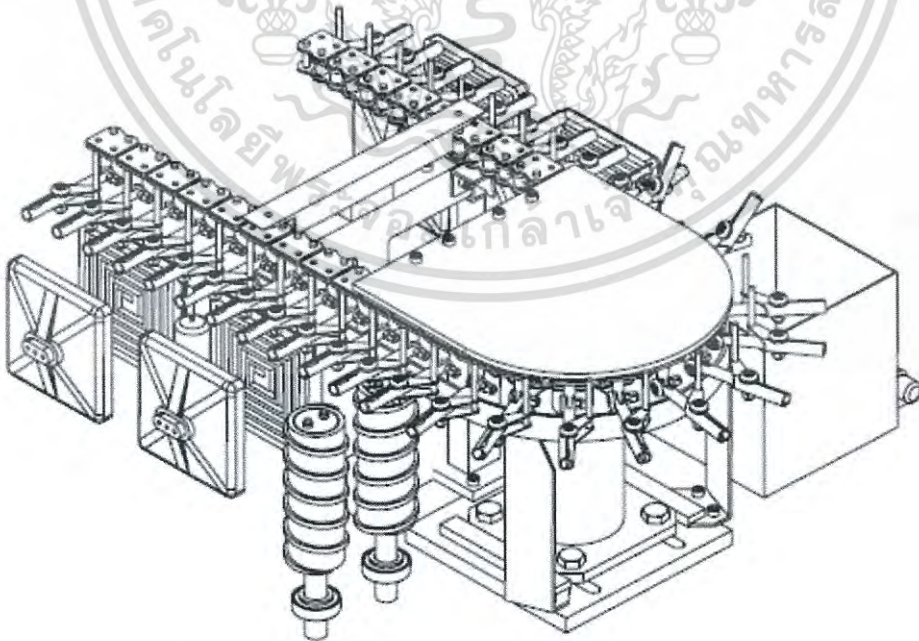


รูปที่ 59 เครื่องอย่างแบบต่อเนื่องสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 60 การเคลื่อนที่ของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเข้าสู่บริเวณของการจุ่มน้ำปรงรส



รูปที่ 61 ชุดลูกกลิ้งสร้างลายบนผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



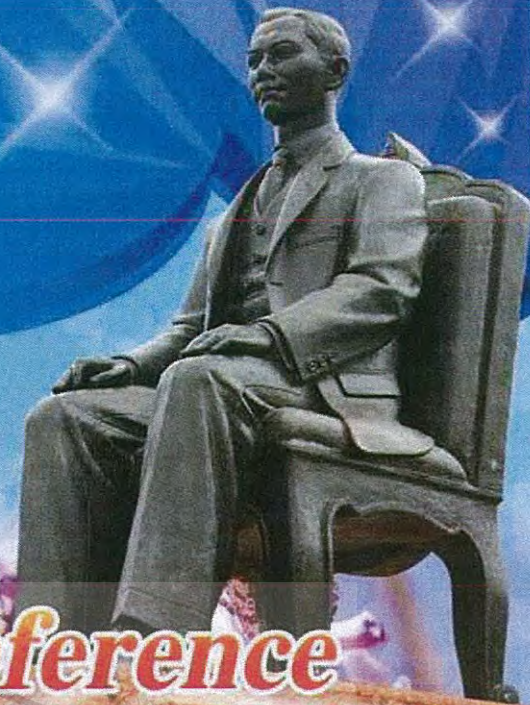
**ภาคผนวก ง**

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> July 2016, PSU, Songkhla



Proceedings

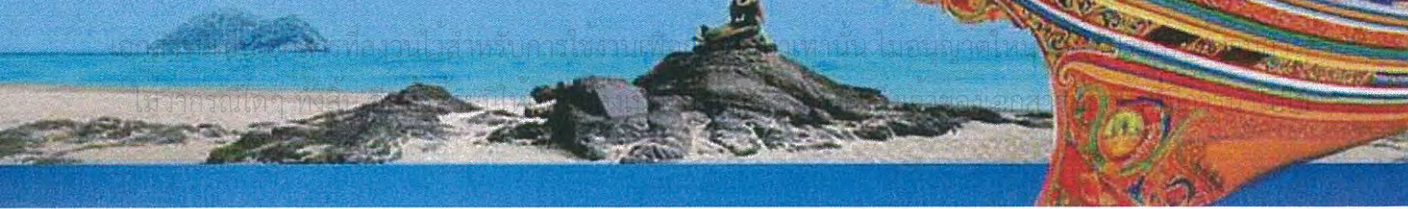
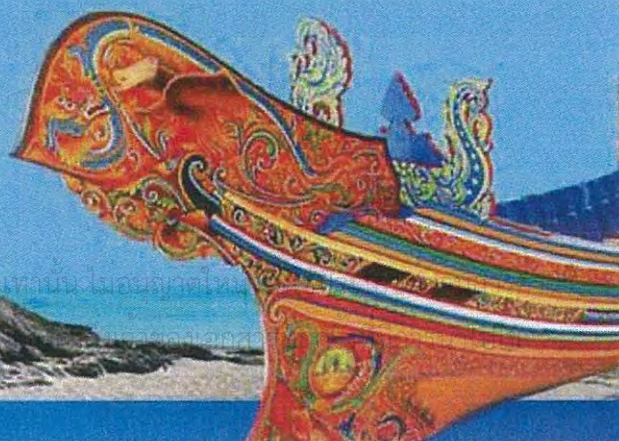
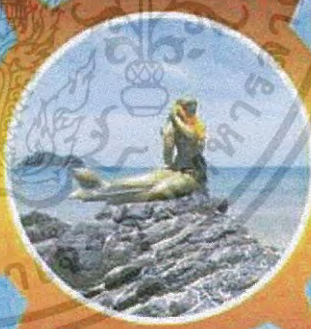
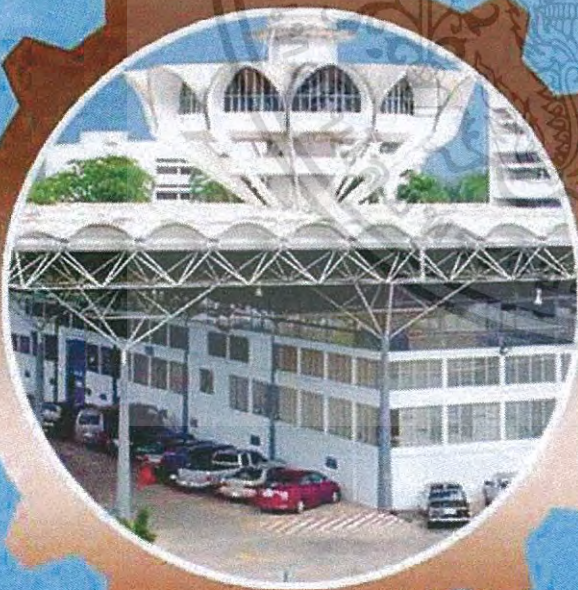
# The 30<sup>th</sup> Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30

วันที่ 5-8 กรกฎาคม 2559

ณ โรงแรม บีพี สมิทลา บีช โฮเทล แอนด์ รีสอร์ท

อ.เมือง จ.สงขลา





5<sup>th</sup> - 8<sup>th</sup> July 2016, PSU, Songkhla

## Proceedings

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30  
5-8 กรกฎาคม 2559

ณ โรงแรม บีพี สมิหลา บีช โฮเต็ล แอนด์ รีสอร์ท อ.เมือง จ.สงขลา



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย และสมาคมศิษย์เก่าคณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
AMM0011: .....	145
ผลกระทบของความเร็วลมร้อนต่อการอบแห้งข้าวโพดในตู้อบแห้งแบบท่อลมร้อน	
AMM0012: .....	151
การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดท่อน้ำมันสำหรับปั๊มหลังแบบต่อเนื่องสำหรับใช้ในชุมชน	
AMM0013: .....	159
การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของการติดตามรอยร้าวด้วยวิธีคอมพิวเตอร์ความเครียด	
AMM0014: .....	167
การประมาณพิกัดความคลาดเคลื่อน 3 มิติบนพื้นฐานจำลองการตัดเฉือนเสมือนจริง ในกระบวนการคว้านขึ้นรูปโดยพิจารณาการเบี่ยงเบนเคลื่อนที่คิเนเมติกส์	
AMM0015: .....	175
การประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มการป้องกันการแตกหักของใบพัดอากาศยานไร้คนขับ	
AMM0016: .....	180
การวิเคราะห์รูปแบบการสั่นสะเทือนของคานที่ทำจากวัสดุคอมโพสิตแบบลามิเนต เพื่อศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนกว้างของคานและสัดส่วนโมดูลัส	
AMM0017: .....	188
การพัฒนาอุปกรณ์ของหุ่นยนต์ในการกัดผิวชิ้นงานแบบอัลตราโซนิกสำหรับกระบวนการ แต่งพื้นผิวแบบละเอียด	
AMM0018: .....	197
การศึกษาแบบจำลองการสึกหรอเครื่องมือตัดสำหรับการตัดเฉือนเสมือนจริงในกระบวนการ คว้านขึ้นรูปบนเครื่องกัดซี เอ็น ซี	
AMM0019: .....	205
อิทธิพลของอัตราส่วนการรีดลดขนาดหน้าตัดที่มีผลต่อสมบัติทางกลของโลหะกัมเมทัล สำหรับประยุกต์ใช้ทางออร์โธปิดิกส์	
AMM0020: .....	210
การศึกษาการเพิ่มสมบัติสปริงให้กับยางธรรมชาติด้วยสารตัวเติม	
AMM0021: .....	215
ความสามารถในการหล่อขึ้นของน้ำยางพารา	
AMM0022: .....	220
การออกแบบและพัฒนาเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้	
AMM0023: .....	228
การทดสอบคุณสมบัติทางกลวัสดุคอมโพสิตสำหรับการออกแบบตัวถังโมโนค็อก รถไฟฟ้าต้นแบบพลังงานแบบเตอโรในการแข่งขันเซลล์อีโคมาราธอน	
AMM0024: .....	232
การตรวจวัดการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบสภาพของชุดบอลสกรูขับเคลื่อนแกน ของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและพัฒนาเครื่องย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ Design and development of the continuous infrared grilling machine for pork-skewer product

ศุภเกียรติ ทองทับ<sup>1</sup>, เอกพงษ์ ชีวดีโสภณ<sup>1</sup> และ เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง แขวงลาดกระบังเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520  
\*ติดต่อ: kiattisak.ro@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: 0 2329 8356

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เครื่องย่างมีส่วนประกอบหลักได้แก่ 1) โครงสร้างเครื่องย่าง 2) ชุดส่งกำลังและลำเลียง 3) ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ 4) ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด 5) ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสและ 6) ชุดควบคุมกระบวนการอย่างกระบวนการย่างเริ่มต้นจากการป้อนผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้เข้ากับชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบและลำเลียงด้วยโซ่ผ่านชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดในระหว่างการย่างมีการจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส 2 ครั้งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการย่างผลิตภัณฑ์ถูกปล่อยลงในภาชนะรองรับทดลองอย่างตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิผิวของแผ่นอินฟราเรดเป็น 520, 530, และ 540 องศาเซลเซียสด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่เป็น 1, 1.27, และ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาทีผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องย่างสามารถทำงานและควบคุมสถานะของกระบวนการย่างได้ตามต้องการอุณหภูมิภายในของตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาของการย่างซึ่งการย่างตัวอย่างที่อุณหภูมิเป็น 520-540 องศาเซลเซียสด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่เป็น 1-1.27 เซนติเมตรต่อวินาทีส่งผลให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิภายในมากกว่า 72 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ได้หลังการย่างมีคุณภาพ และปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ USDA

**คำหลัก:** เครื่องย่างแบบต่อเนื่อง; ผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้; อินฟราเรด

### Abstract

This research was aimed at designing and developing a continuous infrared grilling machine for pork-skewer product. The machine consists of 1) structural frame, 2) power transmission and conveying units, 3) gripper unit, 4) infrared heater, 5) seasoning sauce containers, and 6) controller. The grilling process begins from loading pork-skewers to the gripper units, passing through the infrared heater with a chain conveyor, dipping into seasoning sauce container twice during grilling, unloading pork-skewers into a container. The products were grilled at 520, 530, and 540°C of surface temperature of infrared heater, and at the moving velocity of 1, 1.27, and 1.54 cm/s. The results showed that the machine could be operated and controlled the grilling conditions as designed. The internal temperature of products increased with time and temperature. Internal temperatures of products grilled by the temperature of 520-540°C and the moving velocity of 1-1.27 cm/s were higher than 72°C. It indicated that grilled products were quality and safety from harmful bacteria, according to USDA recommendation.

**Keywords:** continuous grilling machine; skewer product; infrared

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ได้รับความนิยมนับประทานทั่วไปในประเทศไทยซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปแบบของเนื้อสัตว์ ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อวัวเนื้อไก่ลูกชิ้นหรือไส้กรอก เป็นต้นผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ผ่านกระบวนการย่างเพื่อให้อาหารสุกและปราศจากแบคทีเรียทำให้เกิดโรค โดยทั่วไปการย่างนิยมใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากไฟฟ้ การเผาไหม้ถ่านไม้หรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น การย่างเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลและความร้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งความร้อนทำให้โปรตีนของเนื้อสัตว์เกิดการเสียสภาพ รวมทั้งเนื้อสัตว์เกิดการสูญเสียมวลจากการระเหยของน้ำและการหดตัวของน้ำมัน[1] รายงานวิจัยจำนวนมากได้กล่าวถึงการย่างเนื้อสัตว์ที่อุณหภูมิสูง ทำให้โปรตีนบางส่วนของเนื้อสัตว์เกิดการไหม้และเกิดสาร Heterocyclic amines รวมทั้งการของน้ำมันจากเนื้อสัตว์หยดลงบนแหล่งความร้อนเกิดการสันดาป ไม่สมบูรณ์ของน้ำมัน เกิดสาร Polycyclic aromatic hydrocarbons เป็นควันหรือเขม่าลอยขึ้นมาสัมผัสกับผิวหนังเนื้อสัตว์ในระหว่างการย่างด้วย ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ถ้าหากร่างกายได้รับในปริมาณที่มากและเป็นเวลานาน อาจเกิดก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ [2,3,4] สำหรับการย่างด้วยคลื่นอินฟราเรด Braeckman et al. (2009) [5] รายงานว่าข้อดีของการให้ความร้อนแบบอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์ทำให้มีการหดตัวของน้ำมันและน้ำจากผลิตภัณฑ์น้อยกว่าการย่างด้วยรูปแบบอื่นและมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีกว่า

ปัจจุบันนี้พบว่าการย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ในระดับอุตสาหกรรมยังคงใช้แรงงานคนในการย่างและตรวจพินิจระดับความสุกด้วยสายตา ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมอัตราการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอได้ Nimerovski (1979) [6] และ Cheunget al. (2003) [7] ได้ออกแบบเครื่องย่างโดยใช้โซ่ลำเลียงโดยตัวเครื่องมีด้ามไม้เสียบผลิตภัณฑ์ยึดติดกับโซ่ และลำเลียงผลิตภัณฑ์เสียบไม้วางตัวในแนวนอนอยู่เหนือแหล่งกำเนิดความร้อน ผลิตภัณฑ์สามารถหมุนรอบตัวเอง

ระหว่างการเคลื่อนที่ในกระบวนการย่าง ซึ่ง Erzincanli และ Sharp (1997)[8] รายงานว่าการใช้ชุดกลไกจับผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดผลดีต่ออุตสาหกรรมมากกว่าในด้านความสะดวกและความปลอดภัยพนักงานไม่ต้องสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงสามารถลดการปนเปื้อนจากเชื้อแบคทีเรียที่อาจมาจากพนักงานได้

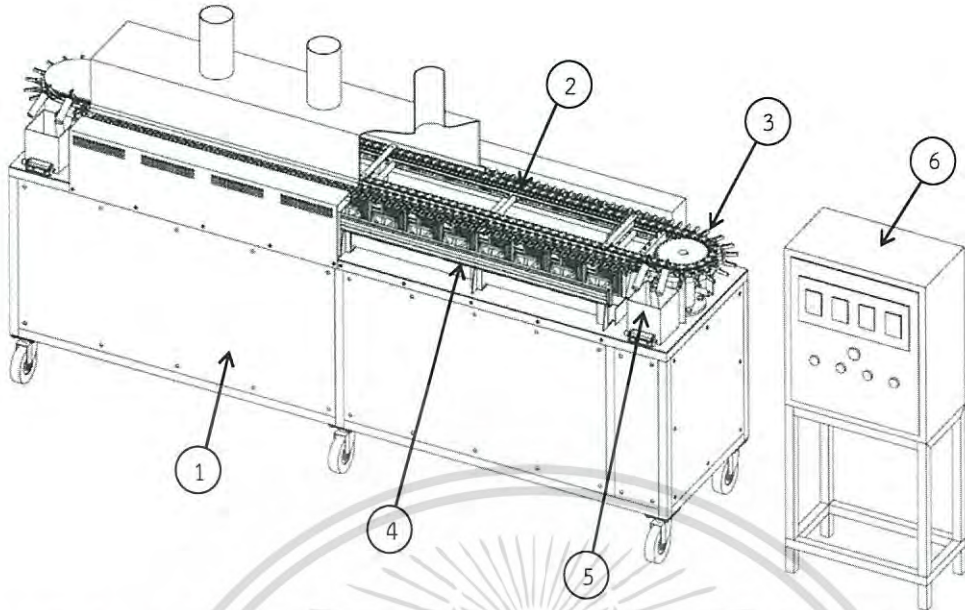
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องย่างด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งมีลักษณะการย่างผลิตภัณฑ์แบบต่อเนื่องในแนวตั้งด้วยชุดให้ความร้อนอินฟราเรดเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคนและลดการปนเปื้อนจากพนักงานสู่ผลิตภัณฑ์ และเพื่อพัฒนารูปแบบการย่างแบบต่อเนื่องในแนวตั้งให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังการย่างที่มีคุณภาพสามารถรับประทานได้ โดยอ้างอิงตามคำแนะนำของ United States Department of Agriculture (USDA) [9] ที่แนะนำอุณหภูมิสำหรับการปรุงอาหารประเภทเนื้อสัตว์ให้ปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคสำหรับเนื้อสัตว์ควรมีอุณหภูมิภายในอย่างน้อย 62.8 องศาเซลเซียส และเนื้อบด 71.1 องศาเซลเซียส

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

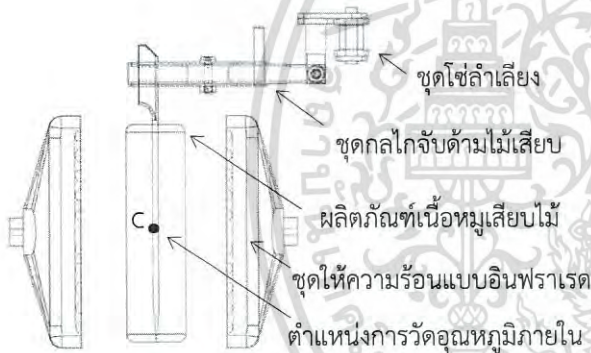
### 2.1 หลักการการออกแบบ

เครื่องย่างได้รับการออกแบบและสร้างให้มีส่วนประกอบหลัก ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 1) โครงสร้างเครื่องย่าง 2) ชุดส่งกำลังและลำเลียง 3) ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ 4) ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด 5) ชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสและ 6) ชุดควบคุมกระบวนการย่างซึ่งได้ยื่นขอรับสิทธิบัตรกับกรมทรัพย์สินทางปัญญาเลขที่คำขอ 1401003748[10] เครื่องย่างสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และมีชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบทำงานด้วยแรงกดของสปริงขด (Torsion spring) ติดกับโซ่ลำเลียง ดังรูปที่ 2 ทำหน้าที่ลำเลียงผลิตภัณฑ์ ในลักษณะการวางตัวในแนวตั้งผ่านระหว่างชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด โดยออกแบบให้ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเคลื่อนที่แบบวนกลับผ่านชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด 2 ช่วง ดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ (ดัดแปลงจากสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1401003748)



รูปที่ 2 การวางตัวในแนวดิ่งของผลิตภัณฑ์

## 2.2 ส่วนประกอบของเครื่องอย่าง

โครงสร้างเครื่องอย่างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์กระแสสลับ 380 โวลต์ 3 เฟสขนาด 2 แรงม้าและควบคุมอัตราเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ และชุดลำเลียงเป็นโซ่แบบปีกด้านเดียว เบอร์ 60 และชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบใช้แรงกดจากสปริงชุด ซึ่งเป็นวัสดุประเภท Music Wire โดยสามารถคำนวณหาจำนวนชุดใช้งานของสปริง ( $N_b$ ) และค่าคงที่ของสปริง ( $k$ ) ที่เหมาะสมดังรูปที่ 3 จากสมการที่ (4) และ (6) [11] ตามลำดับ โดยที่ค่า  $E$  คือค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น,  $d$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดสปริง,  $D$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดสปริง,  $\mu$  คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต และ  $\theta$  คือมุมกดของสปริง

$$\sum F_y = 0; \quad 4f = mg_{product} \quad (1)$$

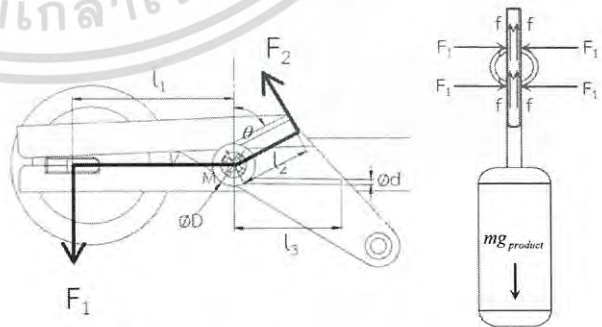
$$f = \mu F_1 \quad (2)$$

$$\sum M = 0; \quad 2F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2 \quad (3)$$

$$\theta = \frac{64(F_2 \times l_2) \times D \times N_b}{d^4 \times E} \quad (4)$$

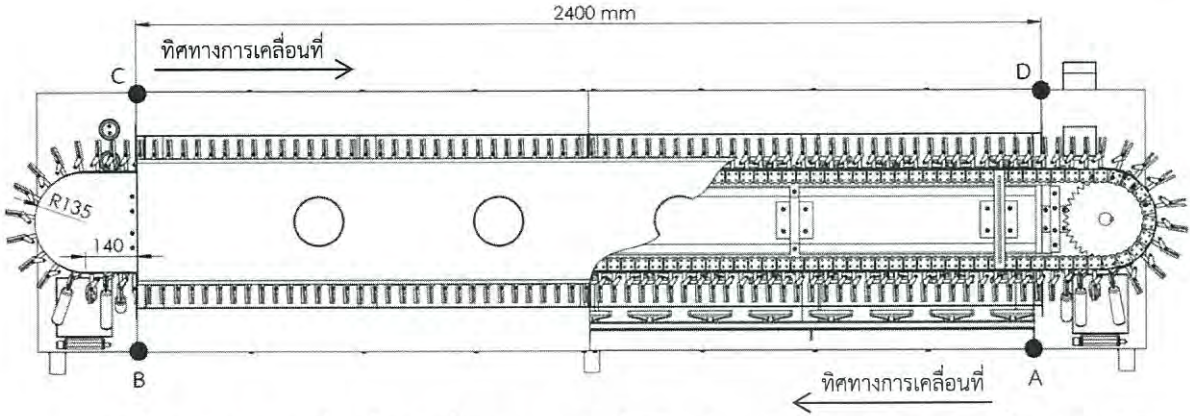
$$N_a = N_b \times \frac{l_2 + l_3}{3\pi D} \quad (5)$$

$$k = \frac{d^4 \times E}{64 \times D \times N_a} \quad (6)$$



รูปที่ 3 ผังของแรงบนชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

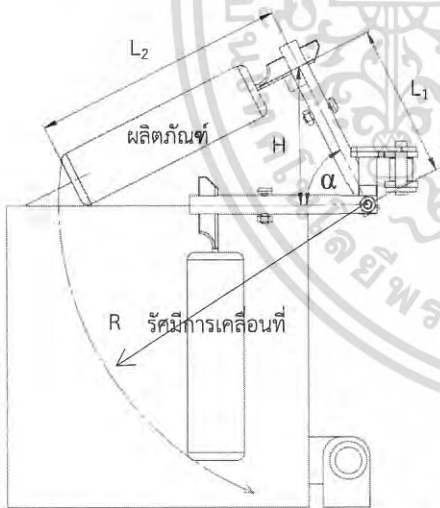


รูปที่ 4 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบสามารถจับผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสดังรูปที่ 5 คำนวณหามุมการยกตัว ( $\alpha$ ) ของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเพื่อให้สามารถจับผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสได้อย่างเหมาะสมจากสมการที่ (7) และความสูงการยกตัว (H) ด้วยสมการที่ (8)

$$\tan(\alpha) = L_2 / L_1 \quad (7)$$

$$\sin(\alpha) = H / L_1 \quad (8)$$



รูปที่ 5 การจับผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส

2.3 ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรด

ชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดชนิดเซรามิกสัขนาด 800 วัตต์ จำนวนรวม 60 แผ่น มีกำลังไฟารวม 48 กิโลวัตต์ ควบคุมกระบวนการอย่างด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเคที่ผิวของแผ่นอินฟราเรด และควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบProportional-Integral-Derivative (PID)

2.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทำงานเป็นแบบต่อเนื่องมีตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังรูปที่ 4 คือ 1) การจุ่มน้ำปรุงรสครั้งที่ 1(A) 2) การย่างช่วงที่ 1(AB) 3) การจุ่มน้ำปรุงรสครั้งที่ 2(B) และ 4) การย่างช่วงที่ 2(CD) รวมระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวอย่างจากจุด A ถึงจุด D เท่ากับ 550 เซนติเมตร การทำงานเริ่มต้นจากการป้อนผลิตภัณฑ์เข้ากับชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบซึ่งยึดติดอยู่กับโซ่ลำเลียง บริเวณการป้อนนี้ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเปิดออกเพื่อรอจับด้ามไม้เสียบของผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 6 หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ถูกลำเลียงจุ่มน้ำปรุงรสครั้งที่ 1 และเคลื่อนที่ผ่านการย่างช่วงที่ 1 จากนั้นผลิตภัณฑ์ถูกลำเลียงจุ่มน้ำปรุงรสครั้งที่ 2 และเคลื่อนที่ผ่านการย่างช่วงที่ 2 จนสิ้นสุดกระบวนการผลิตภัณฑ์จะถูกปล่อยลงบนภาชนะรองรับ และชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณการป้อนอีกครั้ง

2.5 การทดลอง

เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูหมักเสียบไม้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.0 เซนติเมตรความยาวเฉลี่ย 10.0 เซนติเมตร ไม้เสียบเป็นแบบไม้ตรงความยาว 15.0 เซนติเมตร ตัวอย่างมีมวลรวมไม้เสียบเฉลี่ย 42 กรัม แข็งแรงที่-20 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษาก่อนเริ่มการทดลองวางตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิภายใน -5 องศาเซลเซียสเสียบเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเคเข้าภายในบริเวณตรงกลางของตัวอย่างที่กึ่งกลางความยาวดังรูปที่ 2 เพื่อวัดอุณหภูมิภายในและติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลไว้ที่ผิวของตัวอย่าง จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของการย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ด้วยเครื่องยี่ห้อ Nanotech รุ่น KF-03 ที่ใช้แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซ

ผิวของแผ่นอินฟราเรดเป็น 520, 530 และ 540 องศาเซลเซียส [12] ด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ที่เป็น 1, 1.27 และ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาที บันทึกค่าอุณหภูมิภายในและผิวของตัวอย่างทุก 1 วินาทีด้วยเครื่อง Data logger (Model 34972A, Keysight Technologies, Inc., US)



ตำแหน่งป้อนผลิตภัณฑ์

รูปที่ 6 ตำแหน่งป้อนผลิตภัณฑ์

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 การออกแบบชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ คือชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ ซึ่งชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบสามารถจับด้ามไม้เสียบของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมั่นคง และพาผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดและพาผลิตภัณฑ์จุ่มลงในน้ำปรุงรสได้

กลไกจับด้ามไม้เสียบมีอุปกรณ์หลักเป็นสปริงชด จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณและเลือกใช้สปริงชดที่เหมาะสมกับลักษณะการทำงานของกลไกจับด้ามไม้เสียบ และมวลของผลิตภัณฑ์ด้วย เริ่มต้นจากการใช้สมตุลแรง สมตุลโมเมนต์ และการคำนวณหาจำนวนขดใช้งานของสปริง และค่าคงที่ของสปริง จากการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตระหว่างไม้เสียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าเป็น 0.47 และเลือกใช้สปริงชดเป็นวัสดุประเภท Music Wire มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดสปริง (d) 0.1 เซนติเมตร ติดตั้งเข้ากับสกรูยึดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 1.0 เซนติเมตร ระยะ  $l_1$ ,  $l_2$  และ  $l_3$  มีค่าเป็น 3.0, 1.0 และ 3.0 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนขดใช้งานและค่าคงที่ของสปริงแสดงอยู่ในตารางที่ 1 เลือกใช้สปริงชดที่มีขนาดมุกดของสปริง ( $\theta$ ) เป็น 15 องศา และจำนวนขดสปริงใช้งาน ( $N_b$ ) เป็น 10 รอบ พบว่าชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบสามารถจับและลำเลียงผลิตภัณฑ์ได้โดยไม่เกิดความผิดพลาดในการทำงาน

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนขดใช้งานและค่าคงที่ของสปริง

ตัวแปร	ค่าออกแบบ				
$\theta$	10	15	20	25	30
$N_b$ (turns)	6.55	<u>9.82</u>	13.09	16.37	19.64
k (N.m/turn)	0.11	<u>0.08</u>	0.06	0.05	0.04

ตารางที่ 2 แสดงมุมการยกตัวของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบเพื่อให้สามารถจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในชุดภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีความยาว ( $L_2$ ) เป็น 15.0 เซนติเมตร และออกแบบให้ด้ามของชุดกลไก ( $L_1$ ) มีความยาวเป็น 10.0 เซนติเมตร ต้องออกแบบให้มีมุมการยกตัว ( $\alpha$ ) เป็นอย่างน้อย 56.31 องศา และความสูงของการยกตัว (H) เป็น 8.32 เซนติเมตร ผลของการคำนวณแสดงให้เห็นว่าชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบสามารถยกผลิตภัณฑ์ขึ้นข้ามขอบของภาชนะบรรจุน้ำปรุงรส และสามารถจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสได้

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและความสูงของการยกตัวของชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ

ตัวแปร	ค่าออกแบบ				
$L_1$ (cm)	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
$\alpha$ (°)	61.93	59.04	<u>56.31</u>	53.75	51.34
H (cm)	7.06	7.71	<u>8.32</u>	8.87	9.37

#### 3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่าง

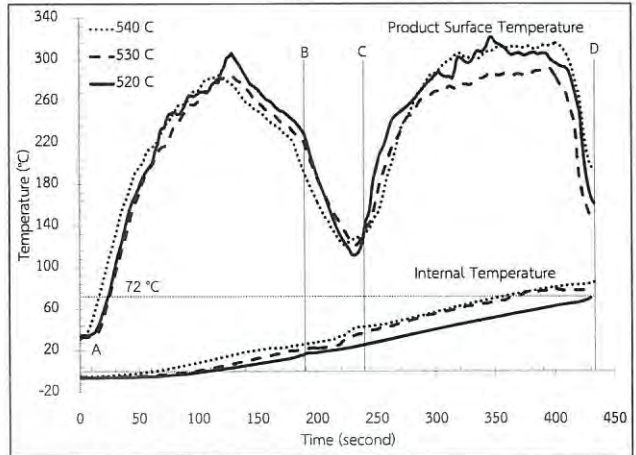
การทดลองอย่างตัวอย่างที่อุณหภูมิผิวของชุดให้ความร้อนแบบอินฟราเรดเป็น 520, 530 และ 540 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ 1, 1.27 และ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาที บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่าง ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องอย่าง ดังรูปที่ 7, 8 และ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่างในระหว่างกระบวนการย่างด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ที่เป็น 1, 1.27 และ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาทีซึ่งใช้เวลาในการเคลื่อนที่จากจุด A ถึงจุด D เป็น 550, 433 และ 357 วินาที ตามลำดับ และมีอัตราการย่างตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

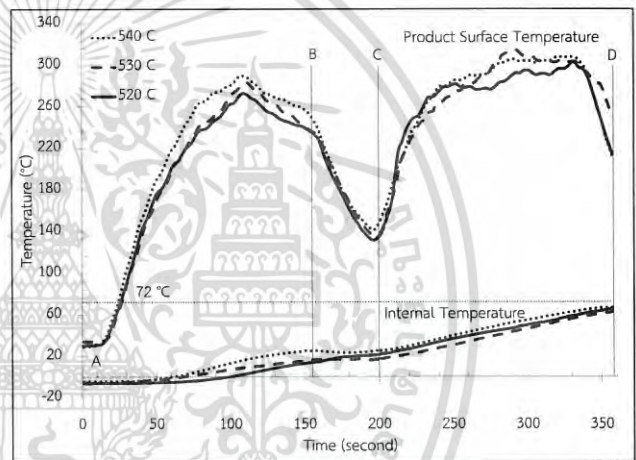
เป็น 1,000-1,800 ตัวอย่างต่อชั่วโมง หลังจากผ่านจุด A พบว่าตัวอย่างมีอุณหภูมิที่ผิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้จุด B ซึ่งเป็นบริเวณทางออกของการอย่างช่วงที่ 1 อุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่างเริ่มลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง BC ซึ่งเป็นช่วงเคลื่อนที่วนกลับ ไม่มีการให้ความร้อน หลังจากนั้นเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่การอย่างช่วงที่ 2 อุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด และแสดงค่าอุณหภูมิก่อนข้างคงที่ และเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้ทางออกของการอย่างช่วงที่ 2 ตัวอย่างมีอุณหภูมิที่ผิวลดลง

### 3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของตัวอย่าง

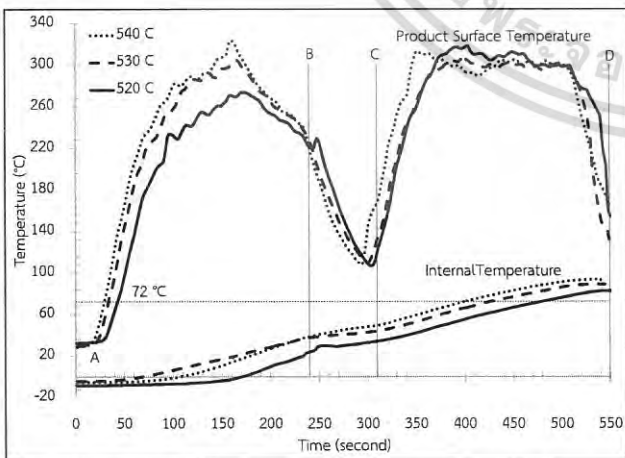
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตัวอย่างที่อัตราเร็วการเคลื่อนที่เป็น 1, 1.27 และ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 7, 8 และ 9 เริ่มต้นอุณหภูมิภายในตัวอย่างเท่ากับ -5 องศาเซลเซียส เมื่อตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าสู่ช่วงการอย่างช่วงที่ 1 พบว่าอุณหภูมิภายในของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการอย่างและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของการอย่าง เมื่อตัวอย่างออกจากช่วงการอย่างช่วงที่ 1 อุณหภูมิภายในของตัวอย่างเพิ่มขึ้นช้า เนื่องจากช่วงนี้ไม่มีการให้ความร้อน แต่มีการถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวอย่างเข้ามาภายในตัวอย่าง เมื่อตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าสู่ช่วงการอย่างช่วงที่ 2 อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนสิ้นกระบวนการอย่างที่ตั้งตำแหน่ง D



รูปที่ 8 อุณหภูมิที่ผิวและภายในตัวอย่างของอัตราเร็วการเคลื่อนที่ 1.27 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 9 อุณหภูมิที่ผิวและภายในตัวอย่างของอัตราเร็วการเคลื่อนที่ 1.54 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 7 อุณหภูมิที่ผิวและภายในตัวอย่างของอัตราเร็วการเคลื่อนที่ 1 เซนติเมตรต่อวินาที

ตารางที่ 3 อุณหภูมิภายในตัวอย่างหลังการอย่าง

อัตราเร็วการเคลื่อนที่ (เซนติเมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิการอย่าง (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายใน (องศาเซลเซียส)
1	520	82.4
	530	88.6
	540	87.4
1.27	520	72.8
	530	77.6
	540	85.8
1.54	520	65.1
	530	62.2
	540	66.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้นิพนธ์หรือเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ผู้นิพนธ์ขอสงวนสิทธิ์ในการดำเนินคดีตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

อัตราเร็วการเคลื่อนที่เป็น 1-1.27 เซนติเมตรต่อวินาทีที่ อุณหภูมิเป็น 520-540 องศาเซลเซียส (อัตราการย่าง 1,000-1,400 ตัวอย่างต่อชั่วโมง)สามารถทำให้อุณหภูมิ ภายในตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิมากกว่า 72 องศาเซลเซียส (72.8-88.6 องศาเซลเซียส)ซึ่งเป็นไปตาม ข้อเสนอแนะของ USDA ทำให้ได้ตัวอย่างหลังการย่างที่ สภาวะเหล่านี้มีลักษณะสุกมีคุณภาพสามารถรับประทาน ได้ และปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค ดังรูปที่ 10 แสดงลักษณะกายภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก่อนและ หลังการย่าง พบว่าตัวอย่างหลังการย่างด้วยเครื่องย่างมีสี ค่อนข้างสม่ำเสมอ



รูปที่ 10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการย่าง และสำหรับการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ นั้นเอกพงษ์ (2558)[12] ได้ทดลองอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมู เสียบไม้ด้วยเครื่องย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดนี้ ที่ อุณหภูมิ 520,530 และ 540 องศาเซลเซียสเพื่อ เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องย่างกับการ ย่างด้วยแรงงานคนผลลัพธ์ของการย่างแสดงให้เห็นว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกัน

#### 4. บทสรุป

การทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องย่างแบบต่อเนื่อง ด้วยอินฟราเรดที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาขึ้น สามารถทำงาน และควบคุมสภาวะของการย่างได้ดี ชุด กลไกจับด้ามไม้สามารถทำงานได้ดังนี้ 1) จับด้ามไม้ของ ผลิตภัณฑ์ 2) ล้างผลิตภัณฑ์ผ่านชุดให้ความร้อน 3) จุ่มผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุน้ำปรุงรสและ 4) ปล่อย ผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะรองรับได้ ชุดกลไกจับด้ามไม้เสียบ ทำงานได้โดยไม่เกิดความผิดพลาดในการทำงานเมื่อ ทดลองอย่างตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้ที่อุณหภูมิ ของการย่างเป็น 520-540 องศาเซลเซียสด้วยอัตราเร็ว การเคลื่อนที่เป็น 1-1.27 เซนติเมตรต่อวินาทีพบว่า อุณหภูมิภายในของตัวอย่างมากกว่า 72 องศาเซลเซียส

เป็นไปตามข้อเสนอแนะของ USDA ตัวอย่างมีลักษณะสุก และมีคุณภาพสามารถรับประทานได้ และปลอดภัยจาก แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องย่าง สามารถนำเครื่องย่างไปใช้งานในระบบอุตสาหกรรมได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ประกอบการสนับสนุนทุนวิจัยโครงการ บริษัทแปดคู่อิมมอรรอยจำกัดสำหรับการสนับสนุน ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้และเงินทุนในการออกแบบและ พัฒนาเครื่องย่างแบบต่อเนื่องด้วยอินฟราเรดสำหรับ ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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. *Journal of Food Engineering*, vol. 55, pp.217-222.
- [2] Arkadiusz Szterk. (2015). Heterocyclic aromatic amines in grilled beef: The influence of free amino acids, nitrogenous bases, nucleosides, protein and glucose on HAAs content. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 40, pp.39-46
- [3] Joon-Goo Lee, Su-Yeon Kim, Jung-Sik Moon, Sheen-Hee Kim, Dong-Hyun Kang, Hae-Jung Yoon. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, vol. 199, pp.632-638
- [4] O. Viegas, P. Novo, E. Pinto, O. Pinho, I.M.P.L.V.O. Ferreira. (2012). Effect of charcoal types and grilling conditions on formation of heterocyclic aromatic amines (HAAs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled muscle foods. *Food and Chemical Toxicology*, vol. 50, pp.2128-2134.
- [5] Braeckman, L., F. Ronsse, P.C. Hidalgo and J. Pieters. (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*, vol. 93, pp.437-443.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [6] Toshiyuki Nakashimma. (1979). AUTOMATIC BARBEQUING DEVICE. *United States Patent*, US4158991.
- [7] Cheung, Chun Kong lan, Kowloon and Hong Kong. (2003). Rotisserie Oven. *European Patent Office*, EP1306042A1.
- [8] F. Erzincanli and J. M. Sharp. (1997). Meeting the need for robotic handling of food products. *Food Control*, vol. 8, pp.185-190.
- [9] United States Department of Agriculture. (2013). Barbecue and food safety. URL: <http://www.usda.gov>, access on 11/04/2016.
- [10]เกียรติศักดิ์รุ่งพระแสง, เอกพงษ์ชีวิตโสภณและ ศุภเกียรติทองทับ. (2557). เครื่องอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสียบไม้ต่อเนื่องแบบหมุนวน. เลขที่คำขอสิทธิบัตร 1401003748. ระบบสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรออนไลน์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.ipthailand.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 11/04/2558.
- [11] Joseph E. Shigley and Charles R. Mischke. (2001). *Mechanical engineering design, 6 th edition*, McGraw-Hill, New York.
- [12] เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ.(2558). อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาของการย่างของเครื่องอย่างอัตโนมัติแบบอินฟราเรดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อหมูเสียบไม้, *การประชุมทางวิศวกรรมครั้งที่ 54*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายศุภเกียรติ ทองทับ  
 วัน เดือน ปีเกิด 22 มกราคม 2533  
 ที่อยู่ 102/105 ไร่ 105 แอเวนิว ถนนลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง  
 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร. 08-5495-3523  
 ประวัติการศึกษา 2550 มัธยมศึกษา โรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช จังหวัดอุบลราชธานี  
 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร (เกียรตินิยมอันดับ 2)  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2555-ปัจจุบัน ตำแหน่ง วิศวกรโครงการ โครงการบริหารศูนย์ประสานงานการออกแบบ  
 อาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์  
 พลังงาน

พ.ศ.2559-2560 ตำแหน่ง วิศวกรโครงการ โครงการศึกษาปรับปรุงระดับเกณฑ์มาตรฐาน  
 หลักเกณฑ์ และวิธีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้