

246798

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246798

## รายงานการวิจัย

เครื่องอบแห้งชนิดควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเทคนิคการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด

DRYER FOR FOOD QUALITY CONTROL BY  
MEASURING OF IR RADIATION

ผศ.ดร.นวกัฏรา หนูนา

รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร และ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

600251915

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



246798

## รายงานการวิจัย

เครื่องอบแห้งชนิดควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเทคนิคการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด

DRYER FOR FOOD QUALITY CONTROL BY  
MEASURING OF IR RADIATION

ผศ.ดร.นวกัทร หนูนา

รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร และ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2554

- ขอขอบคุณ - คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- บุคลากรประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
  - นางสาวดาวสวัสดิ์ เคลือวัลย์ และ นางสาวหทัยภัทร วงษ์ไทยวรรณ  
นักศึกษาประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
  - นายภูวนาท พรนิภาอำไพ นายรุ่งโรจน์ จันทรผล และนายอิสรา อาดำ  
นักศึกษาประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

นวกัฑรา หนูนาค

**โครงการวิจัย** เครื่องอบแห้งชนิดควบคุมคุณภาพอาหารด้วยเทคนิคการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด  
**DRYER FOR FOOD QUALITY CONTROL BY MEASURING OF IR RADIATION**

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ-  
ทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2554

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 64,900 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2553 ถึง 30 กันยายน 2554

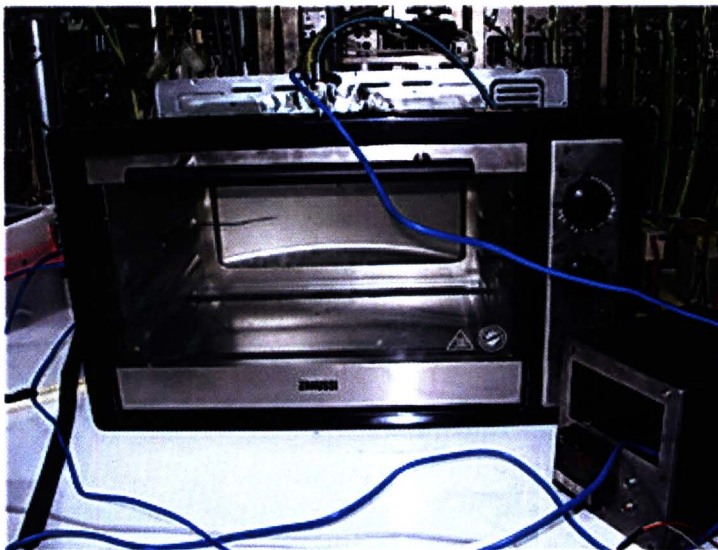
**รายนามคณะผู้วิจัย**

- 1) ชื่อ-นามสกุล ผศ.ดร.นวกัฑรา หนูนาค  
หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
โทรศัพท์ 02-329-8356-7 ต่อ 17 โทรสาร 02-329-8358 ต่อ 13  
Email kbnavaph@kmitl.ac.th
- 2) ชื่อ-นามสกุล รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์  
หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
โทรศัพท์ 02-739-2407 ต่อ 109 โทรสาร 02-739-2406  
Email kstaweep@kmitl.ac.th

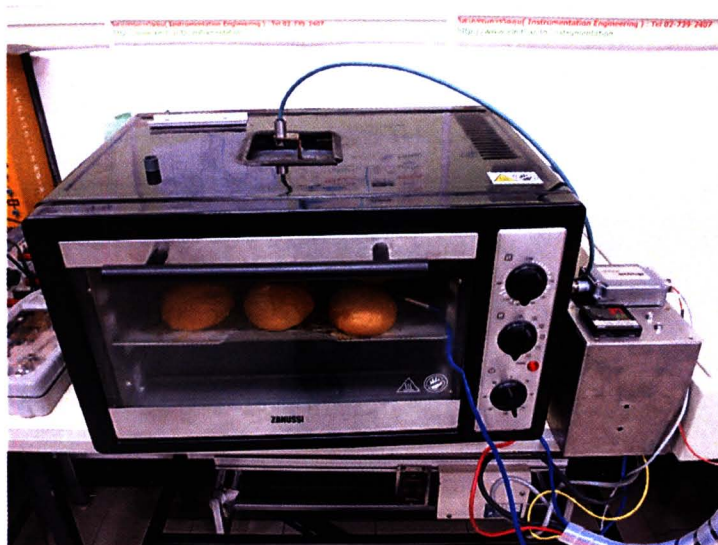
**คำสำคัญ** การแผ่รังสีอินฟราเรด กล้องถ่ายภาพความร้อน กระบวนการอบขนมปัง

**Keywords:** Infrared Emission, Thermal Imager, Bread Baking Process

## รูปภาพผลงานวิจัย



รูปที่ 1 ตู้อบที่ติดตั้งเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (IR sensor) ไว้ที่บริเวณด้านบน เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ



รูปที่ 2 การอบขนมปังด้วยตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ผิวอาศัยหลักการการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้สมบัติการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ (Emissivity,  $\epsilon$ ) ในกระบวนการแปรรูปอาหาร วิธีการวัดค่า  $\epsilon$  ของวัตถุทำได้โดยวัดค่าอุณหภูมิของวัตถุด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Imager, TI) หรือด้วย IR sensor (ความยาวคลื่น 8-14  $\mu\text{m}$ ) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุให้คงที่ด้วยตู้ควบคุมอุณหภูมิ ปรับอุณหภูมิที่วัดได้จากกล้อง TI หรือ IR sensor ให้เท่ากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แท้จริงของวัตถุ จะได้ค่า  $\epsilon$  ที่แท้จริงของวัตถุ ผลการทดลองวัดค่า  $\epsilon$  ของวัสดุทางอาหารในกระบวนการอบขนมปัง เริ่มจากโดจนกลายเป็นขนมปัง โดยแบ่งช่วงการศึกษาค่า  $\epsilon$  ออกเป็น 3 ช่วงตามอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง ดังนี้ ช่วงที่ 1 อุณหภูมิที่กึ่งกลางและที่ผิวเท่ากับ  $25^{\circ}\text{C}$ – $40^{\circ}\text{C}$  และ  $40^{\circ}\text{C}$ – $90^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับค่า  $\epsilon$  เท่ากับ 0.950 ช่วงที่ 2 อุณหภูมิที่กึ่งกลางและที่ผิวเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$ – $60^{\circ}\text{C}$  และ  $90^{\circ}\text{C}$ – $100^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับค่า  $\epsilon$  ประมาณ 0.950 (เท่ากับช่วงที่ 1) และช่วงที่ 3 อุณหภูมิที่กึ่งกลางและที่ผิวเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$ – $98^{\circ}\text{C}$  และ  $100^{\circ}\text{C}$ – $120^{\circ}\text{C}$  ได้ค่า  $\epsilon$  อยู่ในช่วง 0.81-0.95 โดยในระหว่างกระบวนการอบขนมปังด้วยอุณหภูมิเตาอบคงที่และไม่คงที่ ค่า  $\epsilon$  ของขนมปังมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่า  $\epsilon$  ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวเป็นหลัก

## Abstract

246798

The objective of this research is to propose the application of infrared radiation properties (Emissivity,  $\epsilon$ ) of object in the food industry. Emissivity value was obtained by measuring a surface temperature of the target object using Thermal Image Camera (TI) or IR Sensor (wavelength between 8-14  $\mu\text{m}$ ) and a thermocouple. Bread baking process was selected to be the case study. The baking process was divided into the following 3 stages: stage 1: the center temperature of bread was  $25^{\circ}\text{C}$ – $40^{\circ}\text{C}$  which caused to the surface temperature was  $40^{\circ}\text{C}$ – $90^{\circ}\text{C}$  and  $\epsilon$  value was 0.95, stage 2: the center temperature was  $40^{\circ}\text{C}$ – $60^{\circ}\text{C}$  which caused to the surface temperature was  $90^{\circ}\text{C}$ – $100^{\circ}\text{C}$  and  $\epsilon$  value was 0.95, and stage 3: the center temperature was  $60^{\circ}\text{C}$ – $98^{\circ}\text{C}$  which caused to the surface temperature was  $100^{\circ}\text{C}$ – $120^{\circ}\text{C}$  and  $\epsilon$  value was in the range of 0.81-0.95. Both baking conditions with constant and non-constant oven temperature were not effect to the  $\epsilon$  values because they mainly depended on the surface temperature.

## สารบัญ

|                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                                   | II   |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                   | III  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                | IV   |
| รูปภาพผลงานวิจัย                                  | V    |
| สารบัญเรื่อง                                      | VI   |
| สารบัญตาราง                                       | VIII |
| สารบัญภาพ                                         | IX   |
| บทที่ 1 บทนำ                                      | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา                     | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                  | 2    |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา                                | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                     | 2    |
| บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร                             | 3    |
| 2.1 การแผ่รังสีอินฟราเรด                          | 3    |
| 2.2 รังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุ                 | 5    |
| 2.3 การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นผิว           | 7    |
| 2.4 เปรียบเทียบการแผ่รังสีจากวัตถุจริงและวัตถุดำ  | 8    |
| 2.5 กระบวนการเกิดขนมปัง                           | 9    |
| 2.5.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของขนมปัง                  | 9    |
| 2.5.2 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการอบ | 9    |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                         | 11   |
| 2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบขนมปัง         | 11   |
| 2.6.2 การแผ่รังสีและการตรวจสอบอุณหภูมิของอาหาร    | 14   |
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง              | 15   |
| 3.1 วัสดุทดลองและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ               | 15   |
| 3.2 การทดสอบการอบขนมปัง                           | 16   |
| 3.2.1 การเตรียมโด                                 | 16   |
| 3.2.2 การเตรียมเตาอบ                              | 16   |
| 3.2.3 การวัดค่าต่างๆ                              | 19   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                        | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.3 การทดสอบการอบขนมปังด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่ผิว                     | 20   |
| 3.3.1 การวัด Emissivity ของขนมปังโดยใช้ IR sensor                      | 20   |
| 3.3.2 การทดสอบกระบวนการอบขนมปังโดยใช้ IR sensor                        |      |
| ควบคุมอุณหภูมิที่ผิว                                                   | 21   |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง                                 | 23   |
| 4.1 ค่า Emissivity ของขนมปังในระหว่างการอบ                             | 23   |
| 4.2 การทดสอบการอบขนมปัง                                                | 24   |
| 4.2.1 คุณลักษณะของเตาอบ: ฮีตเตอร์วิธีสัมผัสการตัดต่ออุณหภูมิภายในเตาอบ | 24   |
| 4.2.2 คุณลักษณะของเตาอบ: ความเร็วลมภายในเตาอบ                          | 25   |
| 4.2.3 คุณลักษณะของเตาอบ: การกระจายอุณหภูมิภายในเตาอบ                   | 27   |
| 4.2.4 การปรับอุณหภูมิอากาศภายในเตาอบในระหว่างการอบขนมปัง               | 28   |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกับอุณหภูมิใจกลางขนมปัง           |      |
| ในระหว่างการอบ                                                         | 34   |
| 4.4 การทดสอบการอบขนมปังด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่ผิวโดยใช้ IR Sensor     | 36   |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ                                    | 38   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                                     | 38   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                                         | 38   |
| บรรณานุกรม                                                             | 40   |
| ภาคผนวก คุณลักษณะของ IR Sensor                                         | 42   |

สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                             | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ค่า Emissivity ของพื้นผิววัสดุบางชนิด                                                                                            | 5    |
| 4.1 ค่า Emissivity ของขนมปังเมื่อใช้ IR Sensor ในการวัดค่า                                                                           | 24   |
| 4.2 ความเร็วเฉลี่ย (m/s) ของลมภายในเตาอบที่แถวและตำแหน่งต่างๆ                                                                        | 26   |
| 4.3 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของขนมปังหลังการอบ<br>เมื่ออุณหภูมิในช่วงที่ 2 มีค่าแตกต่างกัน                                               | 30   |
| 4.4 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของขนมปังหลังการอบ<br>เมื่ออุณหภูมิในช่วงที่ 3 มีค่าแตกต่างกัน                                               | 32   |
| 4.5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวและที่กึ่งกลางขนมปัง<br>และค่าร้อยละความชื้น (R <sup>2</sup> ) ของสมการในช่วงอุณหภูมิต่างๆ | 34   |

## สารบัญรูปภาพ

| รูปที่                                                                                                                                                                  | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 การถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ                                                                                                                          | 6    |
| 2.2 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง                                                                                                                   | 7    |
| 2.3 การแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างวัตถุ 2 วัตถุ                                                                                                                              | 8    |
| 2.4 การถ่ายเทความร้อนสู่ขนมปังในระหว่างการอบ                                                                                                                            | 11   |
| 2.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวขนมปังเปรียบเทียบกับ<br>อุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปังใน zone ที่ 1 2 3 และ 4                                                        | 13   |
| 2.6 กราฟแสดงการเกิด gelatinization ของขนมปังเปรียบเทียบระหว่างการอบ<br>ภายใต้เงื่อนไขเดิมและเงื่อนไขที่มีการปรับลดอุณหภูมิในบางช่วงของการอบ                             | 13   |
| 3.1 ขนมปังในระหว่างการอบ                                                                                                                                                | 15   |
| 3.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น TI 32                                                                                                                                     | 15   |
| 3.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบสัมผัส Type K และเทอร์โมมิเตอร์ Fluke รุ่น 52 II 2 Channel                                                                                         | 16   |
| 3.4 เตาอบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองอบขนมปัง                                                                                                                                  | 17   |
| 3.5 ตำแหน่งการเสียบสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดการเปลี่ยนแปลง<br>ของอุณหภูมิอากาศในเตาอบ                                                                                   | 17   |
| 3.6 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมร้อนภายในเตาอบบริเวณเหนือถาดวาง                                                                                                              | 18   |
| 3.7 ตำแหน่งการวางถ้วยสแตนเลสบรรจุน้ำเปล่า<br>เพื่อหาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาอบ                                                                                         | 18   |
| 3.8 IR Sensor ที่ใช้ในการทดลอง และการติดตั้ง IR Sensor ไว้ที่ด้านบนเตาอบขนาดเล็ก                                                                                        | 20   |
| 3.9 ระบบการทดสอบการอบขนมปังด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่ผิวโดยใช้ IR Sensor                                                                                                  | 21   |
| 3.10 แผนผังแสดงการทดสอบการอบขนมปังโดยการควบคุมอุณหภูมิที่ผิวด้วย IR Sensor                                                                                              | 22   |
| 4.1 ลักษณะขนมปังระหว่างการอบเมื่ออุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปังมีค่าตั้งแต่<br>เริ่มต้น 40°C 60°C 98°C และภายหลังการคงอุณหภูมิภายในเตาอบ<br>ไว้ 10 นาที (สิ้นสุดกระบวนการอบ) | 23   |
| 4.2 ตัวอย่างภาพถ่ายทางความร้อนของขนมปังในระหว่างการอบ                                                                                                                   | 24   |
| 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในเตาอบเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิเตาอบไว้ที่ 210°C                                                                                          | 25   |
| 4.4 กราฟแสดงค่าความเร็วลมในแต่ละตำแหน่งของแถวบน แถวกลาง และแถวล่าง                                                                                                      | 26   |
| 4.5 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมร้อนภายในเตาอบบริเวณเหนือถาดวาง<br>และค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ เหนือถาดวาง                                                               | 27   |

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                                                                                                                                                                               | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.6 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาอบ                                                                                                                                                                                                                              | 27   |
| 4.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในเตาอบ (Tair)<br>อุณหภูมิที่ผิวขนมปัง (Tsurface) และอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง (Tcenter)<br>ที่อุณหภูมิอากาศในช่วงที่ 1 เป็น 180 °C และ 210°C                                                                              | 29   |
| 4.8 ผิวภายในของขนมปัง เมื่อให้อุณหภูมิอากาศในช่วงที่ 2 เป็น<br>90°C 100°C 110°C โดยอุณหภูมิในช่วงที่ 1 และ 2 เป็น 180°C และ 170°C                                                                                                                                    | 30   |
| 4.9 ผิวค่านอกของขนมปัง เมื่อให้อุณหภูมิอากาศในช่วงที่ 3 เป็น<br>170°C 180°C 190°C โดยอุณหภูมิในช่วงที่ 1 และ 2 เป็น 180°C และ 120°C                                                                                                                                  | 31   |
| 4.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในเตาอบ (Tair)<br>อุณหภูมิที่ผิวขนมปัง (Tsurface) และอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง (Tcenter)<br>เมื่อให้อุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบที่ 180°C                                                                                   | 32   |
| 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบ (Tair) อุณหภูมิที่ผิว<br>(Tsurface) และอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง (Tcenter) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง<br>ของอุณหภูมิอากาศในช่วงที่ 2 และ 3 จาก 180°C เป็น 120°C และ 170°C<br>ตามลำดับ                                       | 33   |
| 4.12 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายในเตาอบ (Tair)<br>อุณหภูมิที่ผิว (Tsurface) และอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง (Tcenter) เมื่อให้อุณหภูมิ<br>อากาศคงที่ที่ 170°Cและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในช่วงที่ 1<br>2 และ 3 เป็น 180°C 120°C และ 170°C | 33   |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกับอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง<br>ในช่วงที่ 1 เมื่ออุณหภูมิที่กึ่งกลางเริ่มต้นจนถึง 40 °C                                                                                                                                        | 34   |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกับอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง<br>ในช่วงที่ 2 เมื่ออุณหภูมิที่กึ่งกลางมีค่า 40–60°C                                                                                                                                              | 35   |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวกับอุณหภูมิที่กึ่งกลางขนมปัง<br>ในช่วงที่ 3 เมื่ออุณหภูมิที่กึ่งกลางมีค่า 60–98°C                                                                                                                                              | 35   |