การอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

Pork Slices Drying Using a Combined Vacuum and Far-Infrared Radiation Technique

ภูมิใจ สอาดโฉม[1*] และธนิต สวัสดิ์เสวี[2]

[1*]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41/1 หมู่ 7 ถ.พหลโยธิน ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 โทร. 081-7275771 Email: poomjai.s@gmail.com

[2]สายวิชาเทคโนโลยีอุตสาหภาพ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อหมูบดแผ่นที่ได้หลังการอบแห้งทางด้านสี การหดตัว ความแข็ง และความเหนียว รวมทั้งหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้ง และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นขนาด 10×10×0.13 และ 10×10×0.22 ซม. (ขนาดการบดที่ 2 มม. และ 4.5 มม.) ด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่ความดันของห้องอบแห้ง 10 กิโลปาสคาล และควบคุมอุณหภูมิอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. ที่ 110 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่า แต่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อเวลาที่ใช้อบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ส่วนคุณภาพของเนื้อหมูบดแผ่นหลังการอบแห้งพบว่า ความสว่างและสีเหลืองมีค่าลดลง แต่สีแดงและร้อยละการหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเนื้อหมูเพิ่มขึ้น ขนาดการบดไม่มีผล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อสี ร้อยละการหดตัว ความแข็ง และความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสเฉลี่ยอยู่ในช่วงของความชอบปานกลาง

คำสำคัญ: การอบแห้งด้วยสุญญากาศ, การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล, เนื้อหมูบดแผ่น

Abstract

The aims of this research were to study the changes in the moisture and temperature of pork slices undergoing a combined vacuum and far-infrared radiation technique, and compared the physical properties (in terms of color, shrinkage, hardness and toughness) of dried pork slices. The specific energy consumption and the sensory attributes of dried pork slices were also investigated. The pork meat was ground at grinding sizes of 2 mm. and 4.5 mm, and was produced at sizes of 10×10×0.13 and 10×10×0.22 cm. The pork samples were dried using the combined vacuum and far-infrared radiation technique at the drying pressure of 10 kPa, and the drying temperature

of 110 °C. Based on the experimental results, drying of ground pork with the thickness of 1.3 mm had a shorter drying time, but had a higher specific energy consumption than that of 2.2 mm. The grinding sizes had no significant effects on the specific energy consumption at P > 0.05. In term of qualities, it was found that the lightness and yellowness of dried pork decreased, but the redness and shrinkage percentage of dried pork increased when the pork thickness increased. However, the grinding sizes had no significant effects on the color, shrinkage percentage, hardness and toughness of dried pork at P > 0.05. Moreover, the mean score from sensory test of dried pork was like moderately.

Keywords: Far-Infrared Drying, Ground Pork Slices, Vacuum Drying

1. บทนำ

เนื้อหมูเป็นอาหารที่คนไทยนิยมบริโภคเพราะเนื้อหมูมีรสชาติที่อร่อยและอุดมด้วยโปรตีนและสารอาหารต่าง ๆ รวมทั้งกรดไขมันและโคเลสเตอรอล (นภาพร อภิรดีวจีเศรษฐ์, 2539) นอกจากนี้หมูยังเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยเนื่องจากหมูสามารถเลี้ยงดูได้ง่ายและเจริญเติบโตได้เร็ว ในปี พ.ศ.2555 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกเนื้อหมูและผลิตภัณฑ์ 14,417 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,723 ล้านบาท และมีปริมาณการนำเข้าเนื้อหมูและผลิตภัณฑ์ 1,518 ตัน คิดเป็นมูลค่า 94 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ในบางครั้งปริมาณเนื้อหมูมีมากเกินความต้องการของตลาดการแปรรูปเนื้อหมูให้เป็นเนื้อหมูอบแห้งจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและทำให้เนื้อหมูมีมูลค่าเพิ่มขึ้น การอบแห้งเนื้อสัตว์โดยทั่วไปนิยมใช้อากาศร้อนจากเครื่องทำความร้อน (Heater) โดยอากาศร้อนถ่ายเทความร้อนไปยังเนื้อสัตว์เพื่อทำให้ความชื้นภายในเนื้อสัตว์เกิดการระเหยออกไป ซึ่งเป็นการใช้พลังงานสูงในส่วนของการให้ความร้อนแก่อากาศ และเมื่อใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนสูง ๆ ทำให้คุณภาพทางด้านสีและการหดตัวของเนื้อสัตว์อบแห้งที่ได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้งด้วยสุญญากาศเป็นกระบวนการลดความดันในขณะอบแห้ง เพื่อช่วยให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยลดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (Jaya & Das, 2003) อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยสุญญากาศถึงแม้น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์ระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในทางปฏิบัติเพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งก็จำเป็นต้องใช้แหล่งผลิตความร้อนเข้ามาช่วย การนำรังสีอินฟราเรดไกลมาเป็นแหล่งผลิตความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากรังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์สั่นและเกิดความร้อน ซึ่งทำให้อุณหภูมิในเนื้อผลิตภัณฑ์สูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ส่งผลให้ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์อบแห้งไม่เหี่ยวย่น และคงสมบัติของผลิตภัณฑ์ไว้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง (Glouannec et al., 2002; Nourhene et al., 2009) นอกจากนี้รังสีอินฟราเรดไกลยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และกระจายความร้อนได้สม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง (Chua & Chou, 2003; Vogt, 2007) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ได้แก่ ต้นหอม (Mongpraneet et al., 2002) กล้วยหอมทอง (Nimmol et

al., 2007; Swasdisevi et al., 2009) ขิง (อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, และศักชัย จงจำ, 2553) ขนุน (จิตติมณฑน์ วงศ์ษา, และศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์, 2555) และขมิ้น (Saetan et al., 2013) ซึ่งพบว่าไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเนื้อสัตว์ด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ทั้งนี้เนื้อสัตว์ควรได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายจุลินทรีย์และแบคทีเรียทั้งหมดในเนื้อสัตว์ (Ranken, 2000) จากข้อดีของการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และแนวทางการศึกษาของงานวิจัยต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อหมูบดแผ่นที่ได้หลังการอบแห้ง หาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้ง และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นขนาด 10×10×0.13 และ 10×10×0.22 ซม. (ขนาดการบดที่ 2 มม. และ 4.5 มม.) ที่ความดันของห้องอบแห้ง 10 กิโลปาสคาล และควบคุมอุณหภูมิอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. ที่ 110 องศาเซลเซียส

2. วิธีการทดลอง

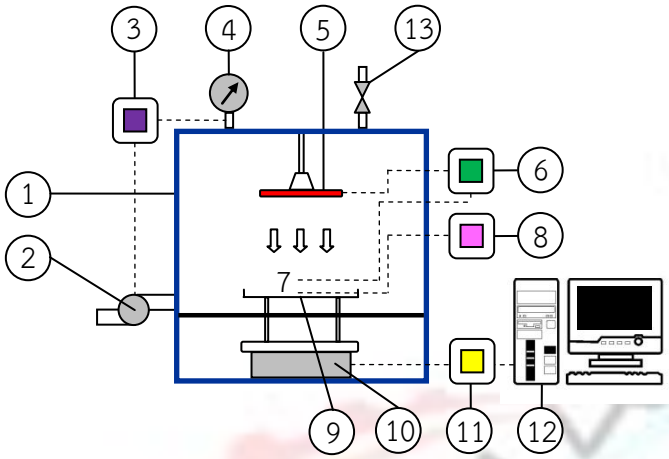
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังภาพที่ 1 การทำงานของเครื่องอบแห้งนี้เริ่มจากอากาศภายในห้องอบแห้งซึ่งมีขนาดภายใน 40×40×40 ซม. (หมายเลข 1) ถูกดูดออกไปโดยปั๊มสุญญากาศโรตารีเวนแบบสองจังหวะยี่ห้อ Woosung รุ่น MPV-6 ขนาด 400 วัตต์ (หมายเลข 2) ความดันภายในห้องอบแห้งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมความดันยี่ห้อ Sunx รุ่น DP-100 (หมายเลข 3) ซึ่งต่อกับเกจวัดความดัน (หมายเลข 4) เมื่อถึงความดันที่ต้องการแล้วจึงเปิดหลอดรังสีอินฟราเรดไกลยี่ห้อ Infrapara รุ่น AW–2–250 จำนวน 2 หลอด ๆ ละ 250 วัตต์ (หมายเลข 5) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ผนังด้านบนของห้องอบแห้งและอยู่ห่างจากผลิตภัณฑ์ 15 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ยี่ห้อ Toho รุ่น TTM - 004 (หมายเลข 6) มีความถูกต้อง ±1 องศาเซลเซียส ตำแหน่งที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศอยู่เหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. และใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (หมายเลข 7) เป็นตัววัดอุณหภูมิ อุณหภูมิ ของผลิตภัณฑ์ถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Lutron รุ่น TM–947SD (หมายเลข 8) นอกจากนี้ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (หมายเลข 9) มีขนาด 25 × 2 5 ซม. น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งถูกวัดโดยใช้โหลดเซลล์พิกัด 3 กก. รุ่น NA1 (หมายเลข 10) ต่อเข้ากับเครื่องวัดน้ำหนักยี่ห้อ A&D รุ่น AD–4329 (หมายเลข 11) มีความละเอียด 0.001 กก. และต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ (หมายเลข 12) ทั้งนี้เครื่องอบแห้ง ได้หุ้มฉนวนใยแก้วเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปยังภายนอก และมีวาล์วปรับความดัน (หมายเลข 13) ติดตั้งอยู่ด้วย

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

เนื้อหมู (ส่วนสันนอก) ซื้อจากห้างสรรพสินค้าในอำเภอเมือง จังหวัดตาก นำมาบดผ่านหน้าแว่นรังผึ้งซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2 มม. และ 4.5 มม. ด้วยเครื่องบดยี่ห้อ TJ–12/22 รุ่น TJ–M12E จากนั้นนำเนื้อหมูบดผสมกับส่วนผสมต่าง ๆ ในอัตราส่วนของเนื้อหมูบด ร้อยละ 71 น้ำตาลทราย ร้อยละ 17 น้ำ ร้อยละ 7.1 ซีอิ๊วขาว ร้อยละ 4.3 และเกลือป่น ร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก และปั่นผสมรวมกันเป็นเวลา 1 นาที ด้วยเครื่องปั่นยี่ห้อ Tesco รุ่น HB988L แล้วนำเนื้อหมูที่เตรียมไว้บรรจุ

ลงในถุงโพลีเอทิลีน (Polyethylene) แล้วรีดให้เป็นแผ่นขนาด 10×10 (กว้าง×ยาว) ซม. หนา 1.3 และ 2.2 มม. ด้วยเครื่องรีดยี่ห้อ Hope Win รุ่น HP-180F และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีก่อนการอบแห้ง



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล โดยที่ (1) ห้องอบแห้ง (2) ปั๊มสุญญากาศ (3) เครื่องควบคุมความดัน (4) เกจวัดความดัน (5) หลอดรังสีอินฟราเรดไกล (6) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (7) เทอร์โมคัปเปิล (8) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (9) ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (10) โหลดเซลล์ (11) เครื่องวัดน้ำหนัก (12) เครื่องคอมพิวเตอร์ และ (13) วาล์วปรับความดัน

2.3 วิธีการทดลอง

นำเนื้อหมูบดแผ่นที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่ความดันของห้องอบแห้ง 10 กิโลปาสคาล และควบคุมอุณหภูมิอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. ที่ 110 องศาเซลเซียส โดยอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 155 – 165 มาตรฐานแห้ง จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ ร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ทั้งนี้เนื้อหมูบดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วเก็บไว้ในถุงโพลีเอทิลีนและห่อด้วยกระดาษฟลอยด์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพทางด้านสี การหดตัว ความแข็ง ความเหนียว และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

2.4 การหาปริมาณความชื้นของตัวอย่าง และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย

การหาน้ำหนักแห้งของเนื้อหมูบดแผ่นทำได้โดยนำเนื้อหมูบดแผ่นไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชม. จนน้ำหนักคงที่ (AOAC, 1995) โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้ง แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นที่เวลาใด ๆ ได้ดังสมการ

$$M = \left(\frac{W - D}{D} \right) \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ M คือความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นที่เวลาใด ๆ (ร้อยละมาตรฐานแห้ง) W คือน้ำหนักของเนื้อหมูบดแผ่นที่เวลาใด ๆ (กก.) และ D คือน้ำหนักแห้งของเนื้อหมูบดแผ่น (กก.)

อัตราการอบแห้ง คืออัตราส่วนระหว่างการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อระยะเวลาอบแห้ง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$DR_{av} = \frac{(M_{in} - M_f)}{100} \times \left(\frac{D}{A \times t} \right) \quad (2)$$

โดยที่ DR_{av} คืออัตราการอบแห้งเฉลี่ย (กก./(ตร.ม.·นาที)) M_{in} คือความชื้นเริ่มต้นของเนื้อหมูบดแผ่น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง) M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของเนื้อหมูบดแผ่น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) D คือ น้ำหนักแห้งของเนื้อหมูบดแผ่น (กก.) A คือพื้นที่ผิวของเนื้อหมูบดแผ่น (ตร.ม.) และ t คือระยะเวลาอบแห้ง (นาที)

2.5 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

(1) การทดสอบคุณภาพทางด้านสี วัดสีที่ผิวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400 โดยวัดสีตามระบบ Hunter ซึ่งแสดงในเทอมของตัวแปร *L* *a* และ *b* โดยค่า *L* แสดงค่าความสว่าง *a* แสดงค่าสีแดงและสีเขียว และ *b* แสดงค่าสีเหลืองและน้ำเงิน ในการทดสอบใช้เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง 5 ชิ้นต่อการทดสอบแต่ละครั้ง

(2) การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัว วัดพื้นที่ของเนื้อหมูบดแผ่นก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องวัดพื้นที่ยี่ห้อ Ushikata รุ่น X-PLAN360C ร้อยละการหดตัวของเนื้อหมูบดแผ่นหลังการอบแห้งคำนวณได้จาก

$$S = (1 - (\frac{A_{s,dried}}{A_{s,i}})) \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ S คือ ร้อยละการหดตัวของเนื้อหมูบดแผ่นหลังการอบแห้ง $A_{s,dried}$ คือ พื้นที่ของเนื้อหมูบดแผ่นหลังการอบแห้ง (ตร.ม.) $A_{s,i}$ คือ พื้นที่ของเนื้อหมูบดแผ่นก่อนการอบแห้ง (ตร.ม.) ทั้งนี้การทดสอบใช้เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่างทดสอบ

(3) การทดสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส (ความแข็งและความเหนียว) วัดความแข็งและความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA-XT.Plus ความแข็งพิจารณาจากค่าแรงกดสูงสุด (Maximum compressive force) ที่กระทำต่อชิ้นเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง ซึ่งหัวกดที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Cylinder) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. มีความเร็วในการกด 1 มม./วินาที ส่วนความเหนียวพิจารณาจากค่าแรงเฉือนสูงสุด (Maximum shear force) ที่กระทำต่อชิ้นเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งจนแตกออกจากกัน ซึ่งหัวตัดที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเป็นใบมีดตัด (Guillotine blade) มีความเร็วในการตัด 1 มม./วินาที การทดสอบใช้เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง

2.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยคำนวณได้จาก

$$SEC = \frac{E_{electric}}{M_w} \quad (4)$$

โดยที่ SEC คือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์·ชั่วโมง/กิโลกรัม) $E_{electric}$ คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (กิโลวัตต์·ชั่วโมง) และ M_w คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง (กิโลกรัม)

2.7 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสกับเนื้อหมูแผ่นอบแห้งที่ขายในท้องตลาด การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ 1 – 9 คะแนน (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) (Lawless and Heymann, 2010) โดยผู้ประเมินคือ นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จำนวน 100 คน แบบสอบถามในการทดสอบประกอบด้วยคำถาม 5 ข้อ ได้แก่ คุณลักษณะทาง ด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม

2.8 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี การหดตัว ความแข็ง ความเหนียว ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

(1) ผลของความหนาเนื้อหมูต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น

ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่อใช้เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. ซึ่งพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นที่มีความหนาน้อยมีระยะทางที่ความชื้นต้องใช้ในการเคลื่อนที่จากภายในเนื้อหมูออกมายังผิวน้อย (ภูมิใจ สอาดโฉม, และคณะ, 2556) ดังนั้นความชื้นจึงเคลื่อนที่ออกจากเนื้อหมูบดแผ่นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยของเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. มีค่ามากกว่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยของเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. (แสดงในตารางที่ 1) ทั้งนี้ที่ระดับขนาดการบด 2 มม. (ดูภาพที่ 2 (ก)) พบว่า เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 21 และ 36 นาที ตามลำดับ และที่ระดับขนาดการบด 4.5 มม. (ดูภาพที่ 2(ข)) พบว่า เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 22 และ 38 นาที ตามลำดับ

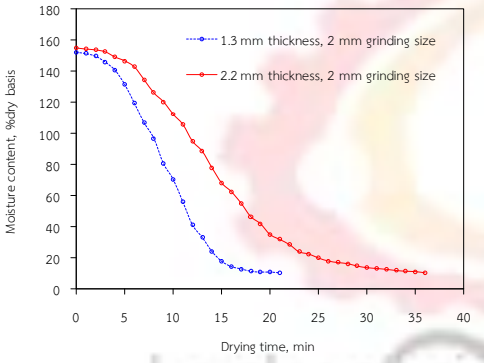
(2) ผลของขนาดการบดเนื้อหมูต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่อใช้เนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบว่า ที่ระดับความหนา 1.3 มม. (ดูภาพที่ 3(ก)) เนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 21 และ 22 นาที ตามลำดับ และที่ระดับความหนา 2.2 มม. (ดูภาพที่ 3 (ข)) เนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 36 และ 38

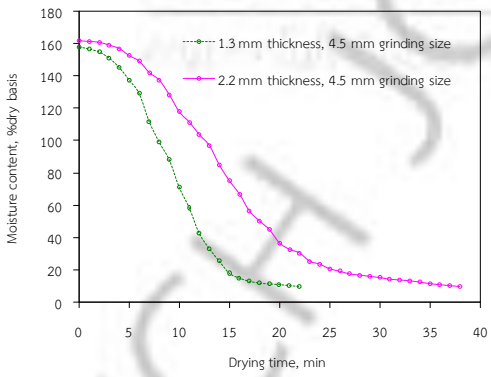
นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เห็นได้ว่า เนื้อหมูทั้งสองขนาดการบดนี้ใช้เวลาอบแห้งใกล้เคียงกัน เนื่องจากรังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Swasdisevi et al., 2009) ทำให้เนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน (แสดงในตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อัตราการอบแห้งเฉลี่ยของเนื้อหมูบดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่สภาวะต่าง ๆ

ความหนา (มม.)	ขนาดการบด (มม.)	อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (กก./(ตร.ม.·นาที))
1.3	2	3.30×10^{-2}
	4.5	3.28×10^{-2}
2.2	2	3.09×10^{-2}
	4.5	3.08×10^{-2}

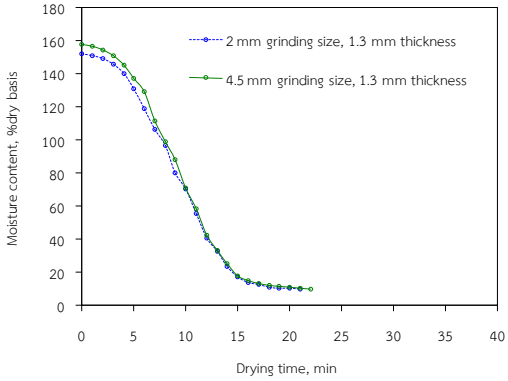


(ก)

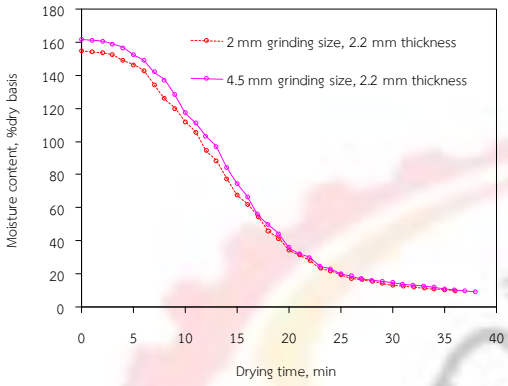


(ข)

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. โดยที่ (ก) เนื้อหมูบดแผ่นมีขนาดการบด 2 มม. และ (ข) เนื้อหมูบดแผ่นมีขนาดการบด 4.5 มม.



(ก)



(ข)

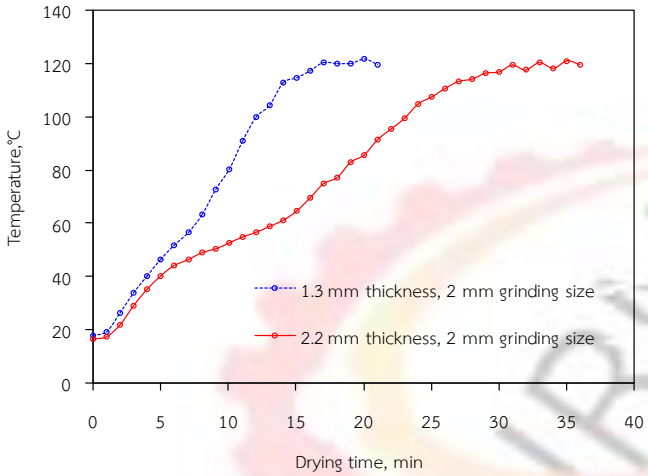
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 และ 4.5 มม. โดยที่ (ก) เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ (ข) เนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม.

3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

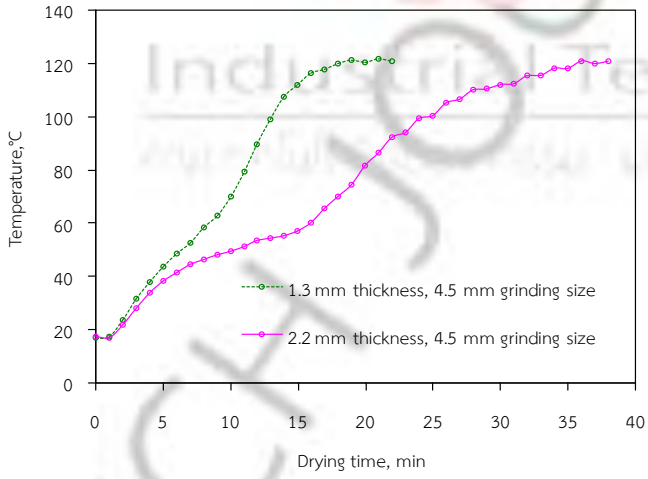
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื้อหมูบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5 ซึ่งพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 17 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อความดันของห้องอบแห้งลดลง (ความดันของห้องอบแห้งถูกควบคุม ที่ 10 กิโลปาสคาล) ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลง (ภูมิใจ สอาดโฉม, 2548) เมื่อเปิดหลอดรังสีอินฟราเรดไกลให้ทำงานแล้ว อุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเมื่ออุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นถึงจุดเดือดของน้ำที่ความดันของห้องอบแห้งแล้ว (ที่ความดันของห้องอบแห้ง 10 กิโลปาสคาล น้ำมีจุดเดือดอยู่ที่ 45.8 องศาเซลเซียส (ประเสริฐ เทียนนิมิต, และคณะ, 2554)) อุณหภูมิเนื้อหมูบดแผ่นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำอิสระที่บริเวณผิวของเนื้อหมูบดแผ่นได้รับพลังงานแฝง (Latent energy) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอ หลังจากนั้นอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และยังพบว่า ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้ง (ภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5) อุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศที่ควบคุมเหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. ที่ 110 องศาเซลเซียส เนื่องจากรังสีอินฟราเรดไกลมีความสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ ความร้อนจึงเกิดการสะสมอยู่ในเนื้อ

ผลิตภัณฑ์ ทำให้อุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศดังกล่าว

ภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. ซึ่งพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเร็วกว่าเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. อย่างเด่นชัด เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม.นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. แสดงดังภาพ ที่ 5 พบว่า เนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 4.5 มม. เนื่องจากเนื้อหมูทั้งสองขนาดการบดนี้มีอัตราการลดความชื้นที่ใกล้เคียงกัน

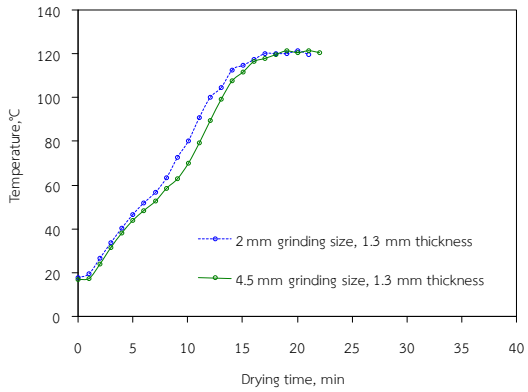


(ก)

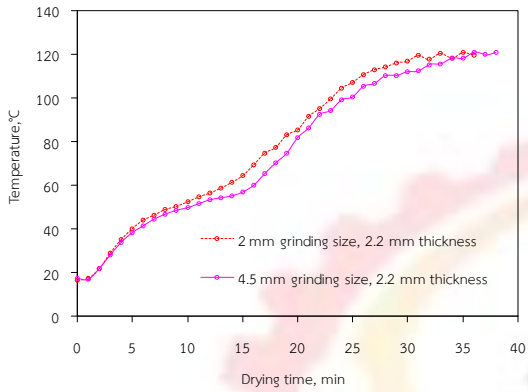


(ข)

ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. โดยที่ (ก) เนื้อหมูบดแผ่นมีขนาดการบด 2 มม. และ (ข) เนื้อหมูบดแผ่นมีขนาดการบด 4.5 มม.



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 และ 4.5 มม. โดยที่ (ก) เนื้อ หมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ (ข) เนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม.

3.3 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

(1) คุณภาพทางด้านสี

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านสีของเนื้อหมูบดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ที่ระดับความหนาเดียวกัน ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. ใช้เวลาอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระดับขนาดการบดเดียวกัน เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 1.3 มม. มีค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) มากกว่า แต่มีค่าสีแดง (a) น้อยกว่าเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 2.2 มม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้งนานกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) มากกว่าเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. (ภูมิใจ สอาดโฉม, และคณะ, 2556)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านสีของเนื้อหมูบดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

ความหนา (มม.)	ขนาดการบด (มม.)	สี		
		ค่า *L*	ค่า *a*	ค่า *b*
1.3	2	53.72±0.61[b]	8.51±1.10[a]	27.03±0.59[b]
	4.5	53.17±0.75[b]	9.14±1.08[a]	27.56±0.65[b]
2.2	2	44.46±0.78[a]	12.21±0.89[b]	17.93±0.63[a]
	4.5	44.24±0.92[a]	12.61±1.21[b]	18.09±0.58[a]

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

(2) คุณภาพทางด้านการหดตัว ความแข็ง และความเหนียว

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านการหดตัว ความแข็ง และความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า ที่ระดับความหนาเดียวกัน ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อร้อยละการหดตัวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 และ 4.5 มม. ใช้เวลาอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกล้ามเนื้อมีการหดตัวใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ผลของการหดตัวยังส่งผลให้ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อความแข็งและความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง นอกจากนี้ ยังพบว่าที่ระดับขนาดการบดเดียวกัน เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 2.2 มม. มีร้อยละการหดตัวมากกว่าเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 1.3 มม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้งนาน เส้นใยกล้ามเนื้อจึงได้รับความร้อนเป็นเวลานานด้วยทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีการหดตัวมาก ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภูมิใจ สะอาดโฉม และคณะ (2556) ทั้งนี้ค่าความแข็งและความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งถูกเปรียบเทียบที่ระดับความหนาเดียวกันเท่านั้น

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านการหดตัว ความแข็ง และความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

ความหนา (มม.)	ขนาดการบด (มม.)	การหดตัว (%)	ความแข็ง (นิวตัน)	ความเหนียว (นิวตัน)
1.3	2	15.44±0.65[a]	3.26±1.10[a]	3.77±1.32[a]
	4.5	16.19±0.78[a]	3.41±1.15[a]	3.92±1.18[a]
2.2	2	23.50±0.68[b]	13.79±2.56[b]	61.69±9.56[b]
	4.5	23.97±0.89[b]	15.68±2.53[b]	65.42±8.58[b]

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

3.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลซึ่งคำนวณตามสมการที่ 4 แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ที่ระดับความหนาเดียวกัน ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. นี้ยังเท่ากันอีกด้วย

ในตารางที่ 4 ยังพบว่า ที่ระดับขนาดการบดเดียวกัน การอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. มีปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์น้อยกว่า และมีปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. ทั้งนี้เห็นได้ว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. และ 2.2 มม. มีค่าเพียง 0.22 และ 0.33 กิโลวัตต์•ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากเครื่องอบแห้งนี้มีระบบควบคุมการทำงานเปิด-ปิดของหลอดรังสีอินฟราเรดไกลด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี และมีระบบควบคุมการทำงานเปิด-ปิดของปั๊มสุญญากาศด้วยเครื่องควบคุมความดัน ซึ่งระบบควบคุมทั้งสองดังกล่าวช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

ความหนา (มม.)	ขนาดการบด (มม.)	ปริมาณน้ำที่ระเหย (กรัม)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์•ชั่วโมง)	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์•ชั่วโมง/กิโลกรัม)
1.3	2	14.21 ± 0.54^{a}	0.22	15.48 ± 0.59^{c}
	4.5	14.80 ± 0.48^{a}	0.22	14.86 ± 0.47^{bc}
2.2	2	23.23 ± 0.74^{b}	0.33	14.21 ± 0.45^{ab}
	4.5	24.41 ± 0.98^{b}	0.33	13.52 ± 0.54^{a}

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

3.5 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. (ขนาดการบดที่ 2 มม. และ 4.5 มม.) ถูกเลือกเพื่อนำมาประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากมีความแข็งและความเหนียวที่น้อย (แสดงดังตารางที่ 3) ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า คะแนนทางด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. นี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีคะแนนทางด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมน้อยกว่าเนื้อหมูแผ่นอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความพองตัวและความกรอบน้อยกว่า อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบโดยรวมของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงของความชอบปานกลาง

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งทางด้านประสาทสัมผัส

รายการ	คุณลักษณะ				
	สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	ความชอบโดยรวม
1.เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ขนาดการบด 2 มม.	7.39 ± 1.15^{a}	6.94 ± 1.29^{a}	6.97 ± 1.05^{a}	7.08 ± 1.08^{a}	7.15 ± 1.01^{a}
2.เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ขนาดการบด 4.5 มม.	7.30 ± 1.23^{a}	6.88 ± 1.17^{a}	7.08 ± 1.11^{a}	7.15 ± 1.13^{a}	7.07 ± 1.07^{a}
3.เนื้อหมูอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด	7.98 ± 0.80^{b}	8.08 ± 0.94^{b}	7.81 ± 1.02^{b}	8.62 ± 0.75^{b}	8.28 ± 0.83^{b}

หมายเหตุ 1. อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

2. ระดับคะแนนของการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส: 1=ไม่ชอบมากที่สุด 2=ไม่ชอบมาก 3=ไม่ชอบปานกลาง 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 5=เฉย ๆ 6=ชอบเล็กน้อย 7=ชอบปานกลาง 8=ชอบมาก และ 9=ชอบมากที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเนื้อหมูบดแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล พบว่า เนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่า แต่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเร็วกว่าเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. เนื้อหมูบดแผ่นที่ขนาดการบด 2 มม. และ 4.5 มม. ใช้เวลาอบแห้งและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และจากการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 1.3 มม. มีความสว่างและสีเหลืองมากกว่า แต่มีสีแดงและร้อยละการหดตัวน้อยกว่าเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งหนา 2.2 มม. ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อสี ร้อยละการหดตัว ความแข็ง และความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า การอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. ขนาดการบดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีคะแนนคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสน้อยกว่าเนื้อหมูแผ่นอบแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความพองตัวและความ

กรอบน้อยกว่า ดังนั้นในงานวิจัยถัดไปควรศึกษาถึงอุณหภูมิและความดันอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งมีความพองตัวและความกรอบมากที่สุด รวมทั้งเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ (ได้แก่ จลนศาสตร์การอบแห้ง สมบัติทางกายภาพ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และคะแนนคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส) ของการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลกับการอบแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยการสนับสนุนของโครงการการวิจัยภาคปฏิบัติและการพัฒนา (Project of Hands-on Research and Development) ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องวัดสีและเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

6. เอกสารอ้างอิง

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และ ศิระษา เจ็งสุขสวัสดิ์. (2555) การศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งแบบสุญญากาศของขนุนพันธุ์ทองสุดใจ, **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13**, โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่.

นภาพร อภิรดีวจีเศรษฐ์. (2539). **คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อหมูและผลของวิธีประกอบอาหารต่อปริมาณไขมันและวิตามิน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันโภชนาการ. มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี และ ปานเพชร ชินินทร. (2554). **ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ภูมิใจ สอาดโฉม. (2548). **การจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยหอมทองด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภูมิใจ สอาดโฉม, ปฏิพล สมุททารินทร์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, ทัศนะ ถมทอง และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2556). การอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, **วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร, 7(2), กันยายน 2556**.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). **นำเข้า-ส่งออกสินค้าที่สำคัญ**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php, เข้าดูเมื่อวันที่ 21/06/2556.

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ศักชัย จงจำ. (2553). การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด, **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 15(2), กรกฎาคม – ธันวาคม 2553**, หน้า 76 – 86.

AOAC. (1995). **Official Methods of Analysis of AOAC International**, Virginia: Association of Official Analytical Chemists.

Chua, K.J. and Chou, S.K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries, **Trends in Food Science & Technology, vol. 14(12)**, December 2003, pp. 519 – 528.

Glouannec, P., Lecharpentier, D. and Noel, H. (2002). Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material, **Applied Thermal Engineering, vol. 22(15)**, October 2002, pp. 1689 – 1703.

Jaya, S. and Das, H. (2003). A vacuum drying model for mango pulp, **Drying Technology, vol. 21(7)**, pp. 1215 – 1234.

Lawless, H.T. and Heymann, H. (2010). **Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices**, New York: Springer.

Mongpraneet, S., Abe, T. and Tsurusaki, T. (2002). Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions, **Journal of Food Engineering, vol. 55(2)**, November 2002, pp. 147 – 156.

Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T. and Soponronnarit, S. (2007). Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation, **Journal of Food Engineering, vol. 81(3)**, August 2007, pp. 624 – 633.

Nourhene, B., Neila, B., Imen B.S. and Nabil, K. (2009). Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves, **Industrial Crops and Product, vol. 29(2–3)**, March 2009, pp. 412 – 419.

Ranken, M.D. (2000). **Handbook of Meat Product Technology**, Oxford: Blackwell Science.

Saetan, P., Pratinthong, N. and Swasdisevi, T. (2013). Turmeric Drying Using a Combined Vacuum and Fir-Infrared Dryer, **paper presented in the 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference (TSAE 2013)**, Prachuap Kiri Khan, Thailand.

Swasdisevi, T., Devahastin, S., Sa-Adchom, P. and Soponronnaris, S. (2009). Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice, **Journal of Food Engineering, vol. 92(1)**, May 2009, pp. 100 – 106.

Vogt, M. (2007). Infrared drying lowers energy costs and drying times, **Plastics, Additives and Compounding, vol. 9(5)**, September – October 2007, pp. 58 – 61.