การอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับอากาศร้อน
Drying of Ground Fish Slices Using Superheated Steam Combined with Hot Air

คมกริช กัลยางาม[1] ภูมิใจ สอาดโฉม[2]* และ ธนิต สวัสดิ์เสวี[3]

[1]นักศึกษา [2]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก 63000
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นในระหว่างการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับอากาศร้อน และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อปลาบดแผ่นที่ได้หลังการอบแห้งทางด้านสี ความแข็ง ความเหนียว การหดตัว รวมทั้งประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส วิธีการอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นมี 2 วิธี วิธีที่ 1 เป็นการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 140 °ซ ตามด้วยอากาศร้อนที่ 110 °ซ (SSD+HAD) และวิธีที่ 2 เป็นการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ 110 °ซ ตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 220 °ซ และอากาศร้อนที่ 110 °ซ (HAD+SSD+HAD) โดยเนื้อปลาบดแผ่นที่ใช้สำหรับอบแห้งมีขนาด 50x50x1.3 และ 50x50x2.2 (กว้างxยาวxหนา) มม. ทั้งนี้เนื้อปลาบดแผ่นมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 205-215 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ถูกอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลอง พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าเนื้อปลาบดแผ่นหนา 2.2 มม. เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD และ HAD+SSD+HAD ใช้เวลาอบแห้งใกล้เคียงกัน ส่วนคุณภาพของเนื้อปลาบดแผ่นหลังการอบแห้ง พบว่า ความสว่างมีค่าลดลงแต่ความแข็ง ความเหนียว และเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเนื้อปลาบดเพิ่มขึ้นเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD มีความสว่างความแข็งและความเหนียวมากกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD ได้รับคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสมากที่สุด

Abstract

The objectives of this research were to study the changes in the moisture of ground fish slices during drying with superheated steam combined with hot air, and to compare the physical properties (in terms of color, hardness, toughness and shrinkage) as well as sensory evaluation of dried fish slices. Two drying methods were performed (i.e., superheated steam drying at 140 °C combined with hot air drying at 110 °C (SSD+HAD), and hot air drying at 110 °C combined with superheated steam drying at 220 °C and hot air drying at 110 °C (HAD+SSD+HAD)). The ground fish samples were produced at sizes of 50x50x1.3 and 50x50x2.2 mm (WDH). The samples with the initial moisture content of around 205-215% dry basis were dried until the final moisture content of about 20% dry basis. Results showed that the samples with 1.3 mm thickness had shorter drying times than those with 2.2 mm thickness. The samples dried by SSD+HAD and HAD+SSD+HAD were similar in the drying time. In term of qualities, it was seen that the lightness of dried samples decreased, but the hardness, toughness, and shrinkage percentage of dried samples increased when the samples thickness increased. Dried samples obtained from SSD+HAD had higher lightness, hardness and toughness, but had lower percentage of shrinkage than those obtained from HAD+SSD+HAD. Moreover, it was found that dried samples obtained from HAD+SSD+HAD had the highest sensory scores.

คำสำคัญ : การอบแห้งด้วยอากาศร้อน การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื้อปลาบดแผ่น

Keywords : Ground Fish Slices, Hot Air Drying, Superheated Steam Drying

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ poomjai.s@gmail.com โทร. 0 5551 5900 ต่อ 244

1. บทนำ

ปลาเป็นอาหารที่คนไทยนิยมบริโภคเนื่องจากเนื้อปลามีรสชาติดีมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันน้อย ปราศจากเส้นเอ็นที่เหนียวและแข็งจึงย่อยง่าย และสามารถนำมาปรุงอาหารได้หลายชนิด ปลายังเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โปรตีนในเนื้อปลาถูกนำไปใช้ในการเสริมสร้างเนื้อเยื่อและซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่สึกหรอไขมันที่มีอยู่ในเนื้อปลาเป็นส่วนประกอบของเซลล์ต่าง ๆ โดยเฉพาะสมอง วิตามินและแร่ธาตุที่อยู่ในเนื้อปลาช่วยควบคุมการทำงานของร่างกายให้ทำหน้าที่ได้ตามปกติ (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2556) ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าปลาและผลิตภัณฑ์จากปลา 1,496,722 ตัน คิดเป็นมูลค่า 85,369 ล้านบาทและมีปริมาณการส่งออกปลาและผลิตภัณฑ์จากปลา 1,174,831 ตัน คิดเป็นมูลค่า 131,553 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ในบางครั้งเนื้อปลามีมากเกินความต้องการบริโภค ดังนั้น จึงต้องถนอมอาหารหรือแปรรูปเนื้อปลาด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาและทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์รวมทั้งคุณค่าทางอาหารไม่สูญเสียไป การแปรรูปเนื้อปลาให้เป็นเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นขนมขบเคี้ยวอบกรอบไร้น้ำมัน (ไม่ต้องใช้น้ำมันทอด) ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายของผู้บริโภค นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวก็ยังสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งในการถนอมอาหารและช่วยเพิ่มมูลค่าของอาหาร การอบแห้งเนื้อปลาในปัจจุบันนิยมอบแห้งด้วยอากาศร้อนซึ่งทำให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลงกว่าการตากแดดตามธรรมชาติแต่การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ และใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่ยาวนานส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูญเสียไป (สุดาทิพย์ คงขำ, 2549) ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการนำไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated Steam) มาใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งแทนอากาศร้อน

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการอบแห้งที่ใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว (Saturation Temperature) ที่ความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งซึ่งใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียวเป็นเวลานานทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งทางด้านสีไม่ค่อยดี (วันชลี เพ็งพงศา, 2549; ภูมิใจ สอาดโฉมและคณะ, 2556) การอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับอากาศร้อนเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากในช่วงของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนใช้อุณหภูมิต่ำกว่าในช่วงของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งทางด้านสีดีขึ้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเนื้อสัตว์ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับอากาศร้อน ได้แก่ การอบแห้งเนื้อหมู (ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน, 2544; วันชลี เพ็งพงศา, 2549; Sa-adchom, 2010) และการอบแห้งเนื้อไก่ (สุดาทิพย์ คงขำ, 2549; Nathakaranakule et al., 2007) อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยของ Sa-adchom (2010) พบว่า หมูแผ่นที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อนมีความกรอบและการพองตัวที่น้อย ทำให้คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ได้ไม่ค่อยดี ดังนั้น การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ๆ เป็นระยะเวลาสั้น ๆ (เทคนิคพัฟฟิง) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาได้ เนื่องจาก

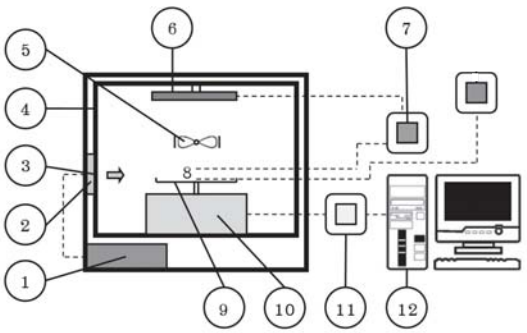
วิธีการนี้ทำให้น้ำในอาหารเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วจึงเกิดแรงดันไอน้ำกระทำต่ออาหาร ส่งผลให้อาหารมีความพรุนสูงและพองตัวมากขึ้น (สุรพิชญ์ ทับเที่ยง และคณะ, 2554) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเนื้อสัตว์ด้วยเทคนิคพัฟฟิง ได้แก่ Sa-adchom (2010) ได้อบแห้งหมูแผ่นด้วยเทคนิคแบบสามขั้นตอน 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 เป็นการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (140 °ซ) ตามด้วยอากาศร้อน (180 °ซ) และอากาศร้อน (110 °ซ) และวิธีที่ 2 เป็นการอบแห้งด้วยอากาศร้อน (140 °ซ) ตามด้วยอากาศร้อน (180 °ซ) และอากาศร้อน (110 °ซ) ซึ่งพบว่า คะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหมูแผ่นอบแห้งดีขึ้นเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบสองขั้นตอน (ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (140 °ซ) ตามด้วยอากาศร้อน (110 °ซ)) ทั้งนี้หากพัฟฟิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอาจจะทำให้หมูแผ่นมีความพรุนและการพองตัวมากกว่านี้ เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่สูง (Sa-adchom, 2010) จากข้อดีของการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบหลายขั้นตอนและแนวทางการศึกษาของงานวิจัยต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบหลายขั้นตอน ได้แก่ วิธีที่ 1 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (140 °ซ) ตามด้วยอากาศร้อน (110 °ซ) และวิธีที่ 2 การอบแห้งด้วยอากาศร้อน (110 °ซ) ตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (220 °ซ) และอากาศร้อน (110 °ซ) และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อปลาบดแผ่นที่ได้หลังการอบแห้งทางด้านสีความแข็ง ความเหนียว การหดตัว และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

2. วิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

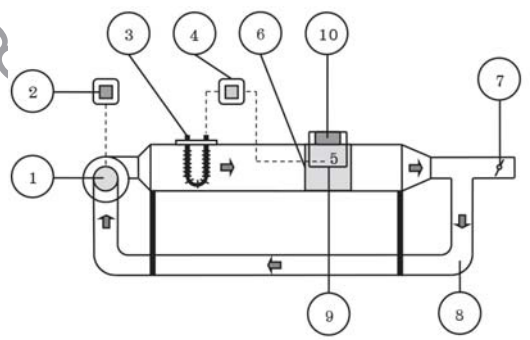
การอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นในงานวิจัยนี้มี 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน และวิธีที่ 2 การอบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งใช้เครื่องอบแห้งยี่ห้อ Toshiba รุ่น ER-D300C แสดงดังรูปที่ 1 การทำงานของเครื่องอบแห้งนี้เริ่มจากน้ำที่อยู่ภายในกล่องใส่น้ำ (หมายเลข 1) ถูกปั๊มผ่านตัวทำความร้อน (หมายเลข 2) เพื่อให้น้ำกลายเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งแล้วจึงถูกปล่อยผ่านช่องปล่อย (หมายเลข 3) เข้าสู่ภายในห้องอบแห้ง (หมายเลข 4) ซึ่งมีขนาดภายใน 40x30.5x45.5 (กว้างxยาวxสูง) ซม. ไอน้ำร้อนยวดยิ่งถูกหมุนเวียนอยู่ภายในเครื่องอบแห้งด้วยพัดลมขนาดประมาณ 45 วัตต์ (หมายเลข 5) และมีช่องระบายไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่ทางด้านซ้ายด้านขวา และด้านหลังของตัวเครื่องอบแห้ง ทั้งนี้เพื่อการควบคุมอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งภายในห้องอบแห้งให้มีความเที่ยงตรง จึงได้ติดตั้งตัวทำความร้อนเสริมขนาด 2,000 วัตต์ (หมายเลข 6) ที่ผนังด้านบนของห้องอบแห้ง โดยควบคุมอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ยี่ห้อ Toho รุ่น TTM-004 (หมายเลข 7) มีความถูกต้อง $\pm$1 °ซ ตำแหน่งที่ควบคุมอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่เหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (หมายเลข 8) เป็นตัววัดอุณหภูมิ นอกจากนี้ ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (หมายเลข 9) มีขนาด 20x20 ซม. น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งถูกวัดโดยใช้โหลดเซลล์พิกัด 5 กก. รุ่น 603 (หมายเลข 10) ต่อเข้ากับเครื่องวัดน้ำหนักรุ่น AD-4329 (หมายเลข

11) มีความละเอียด 1 กรัม และต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ (หมายเลข 12) ทั้งนี้เครื่องอบแห้งสามารถผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้ประมาณ 0.5 กก. ต่อ ชม.



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยที่ (1) กล่องใส่น้ำ (2) ตัวทำความร้อน (3) ช่องปล่อยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (4) ห้องอบแห้ง (5) พัดลม (6) ตัวทำความร้อน (7) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (8) เทอร์โมคัปเปิล (9) ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (10) โหลดเซลล์ (11) เครื่องวัดน้ำหนัก และ (12) เครื่องคอมพิวเตอร์

การอบแห้งด้วยอากาศร้อนใช้เครื่องอบแห้งแสดงดังรูปที่ 2 การทำงานของเครื่องอบแห้งนี้เริ่มจากอากาศภายนอกถูกดูดผ่านเข้ามาในตัวเครื่องอบแห้งโดยพัดลมชนิดแรงเหวี่ยงโค้งหน้า (หมายเลข 1) ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ยี่ห้อ Toshiba รุ่น IK ขนาด 746 วัตต์ และควบคุมด้วยเครื่องปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ยี่ห้อ Pan Drives (หมายเลข 2) จากนั้นอากาศเคลื่อนที่ผ่านตัวทำความร้อนขนาด 5,000 วัตต์ (หมายเลข 3) ซึ่งควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ยี่ห้อ Toho รุ่น TTM-004 (หมายเลข 4) มีความถูกต้อง ± 1 °ซ ตำแหน่งที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อนอยู่เหนือผลิตภัณฑ์ 3 °ซม. โดยมีเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (หมายเลข 5) เป็นตัววัดอุณหภูมิ จากนั้นอากาศร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องอบแห้ง (หมายเลข 6) ซึ่งมีขนาด 35x35x35 (กว้างxยาวxสูง) ซม. และเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งเข้าสู่ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วแล้วจึงระบายอากาศร้อนทิ้งไปประมาณ 20% ด้วยวาล์วปีกผีเสื้อ (หมายเลข 7) ส่วนอากาศร้อนที่เหลือประมาณ 80% ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยท่อลมร้อนย้อนกลับ (หมายเลข 8) ทั้งนี้ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (หมายเลข 9) มีขนาด 25x25 (กว้างxยาว) ซม. และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งถูกวัดโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ HUAJIE รุ่น DJ-1002C (หมายเลข 10) มีความละเอียด 0.01 กรัม นอกจากนี้ ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบแห้งควบคุมที่ 0.3 เมตรต่อวินาทีและ 110 °ซ ตามลำดับ และมีการหุ้มฉนวนใยแก้วตลอดความยาวของเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อน โดยที่ (1) พัดลมชนิดแรงเหวี่ยงโค้งหน้า (2) เครื่องปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (3) ตัวทำความร้อน (4) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (5) เทอร์โมคัปเปิล (6) ห้องอบแห้ง (7) วาล์วปีกผีเสื้อ (8) ท่อลมร้อนย้อนกลับ (9) ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (10) เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำเนื้อปลานิลสดมาตัดตามยาวให้เป็นแผ่นบาง ๆ และล้างด้วยน้ำเกลือ 0.3% (เกลือ 0.3 กรัมต่อน้ำ 100 มล.) แล้วนำขึ้นมาให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นบดเนื้อปลาให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นยี่ห้อ Tesco รุ่น HB988L เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำเนื้อปลาบดผสมกับส่วนผสมต่าง ๆ ในอัตราส่วนของเนื้อปลาบด 71% น้ำตาลทราย 17% น้ำ 7.1% ซีอิ้วขาว 4.3% และเกลือป่น 0.6% โดยน้ำหนักและปั่นผสมรวมกันเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำเนื้อปลาที่เตรียมไว้บรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน (Polyethylene) แล้วรีดให้เป็นแผ่นขนาด 50x50 (กว้างxยาว) มม. หนา 1.3 และ 2.2 มม. ด้วยเครื่องรีดยี่ห้อ Hope Win รุ่น HP-180F และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีก่อนการอบแห้ง ทั้งนี้เนื้อปลาบดแผ่นมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 205-215 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน โดยอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °ซ จนเนื้อปลาบดแผ่นมีความชื้นประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง แล้วอบแห้งต่อด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 110 °ซ จนเนื้อปลาบดแผ่นมีความชื้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง และวิธีที่ 2 การอบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนโดยอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 110 °ซ จนเนื้อปลาบดแผ่นมีความชื้นประมาณ 95-105 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง แล้วอบแห้งต่อด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 220 °ซ (เนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 40 วินาที ส่วนเนื้อปลาบดแผ่นหนา 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 60 วินาที เนื่องจากหากใช้เวลาอบแห้งนานกว่าเวลาดังกล่าวข้างต้นแล้วทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดการไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณขอบของผลิตภัณฑ์) จากนั้นอบแห้งต่อด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 110 °ซ จนเนื้อปลาบดแผ่นมีความชื้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ทั้งนี้เนื้อปลาบดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วเก็บไว้ในถุงโพลีเอทิลีนและห่อด้วยกระดาษฟลอยด์เพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศแวดล้อมแล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพทางด้านสี ความแข็ง ความเหนียว และการหดตัว

2.4 การหาปริมาณความชื้นของตัวอย่าง

การหาน้ำหนักแห้งของเนื้อปลาบดแผ่นทำได้โดยนำเนื้อปลาบดแผ่นไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 °ซ เป็นเวลา 72 ชม. จนน้ำหนักคงที่ (AOAC, 1995) โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งแล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นที่เวลาใด ๆ ได้ดังสมการ (อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และศักชัย จงจำ, 2553)

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

โดยที่ M คือ ความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นที่เวลาใด ๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) W คือ น้ำหนักของเนื้อปลาบดแผ่นที่เวลาใด ๆ (กก.) และ D คือ น้ำหนักแห้งของเนื้อปลาบดแผ่น (กก.)

2.5 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.5.1 การทดสอบคุณภาพทางด้านสี ใช้เครื่องมือวัดสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400 วัดที่

ผิวของเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งตามระบบ Hunter ซึ่งแสดงในเทอมของตัวแปร L a และ b โดยค่า L แสดงค่าความสว่าง a แสดงค่าสีแดงและสีเขียว และ b แสดงค่าสีเหลืองและน้ำเงินในการทดสอบใช้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งจำนวน 5 ชิ้นต่อการทดสอบแต่ละครั้ง

2.5.2 การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัว ใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ยี่ห้อ Ushikata รุ่น X-PLAN 360C วัดพื้นที่ของเนื้อปลาบดแผ่นก่อนและหลังการอบแห้ง ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อปลาบดแผ่นหลังจากอบแห้งคำนวณได้ดังสมการ

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

โดยที่ S คือ เปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อปลาบดแผ่นหลังจากอบแห้ง $A_{s,dried}$ คือ พื้นที่ของเนื้อปลาบดแผ่นหลังจากอบแห้ง (ตร.ซม.) $A_{s,i}$ คือ พื้นที่ของเนื้อปลาบดแผ่นก่อนการอบแห้ง (ตร.ซม.) ทั้งนี้การทดสอบใช้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้ง 5 ชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่างทดสอบ

2.5.3 การทดสอบคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส (ความแข็งและความเหนียว) ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA-XT.Plus โดยความแข็งพิจารณาจากค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Compressive Force) ที่กระทำต่อชิ้นเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งซึ่งหัวกดที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Cylinder) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. มีความเร็วในการกด 1 มม./วินาที ส่วนความเหนียวพิจารณาจากค่าแรงเฉือนสูงสุด (Maximum Shear Force) ที่กระทำต่อชิ้นเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งจนแตกออกจากกันซึ่งหัวตัดมีลักษณะเป็นใบมีดตัด (Guillotine Blade) มีความเร็วในการตัด 1 มม./วินาที การทดสอบใช้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้ง 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง

2.6 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสกับเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียวที่ 140 °ซ (เนื้อปลาแผ่นบดอบแห้งในงานวิจัยของภูมิใจ สอาดโฉม และคณะ, 2556) การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสใช้วิธี 9-point Hedonic Scale (Lawless and Heymann, 2010) โดยผู้ประเมิน คือ นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จำนวน 50 คน แบบสอบถามในการทดสอบประกอบด้วยคำถาม 5 ข้อ ได้แก่ คุณลักษณะทางด้านสี ลักษณะปรากฏ กลิ่น รส เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวม

2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี ความแข็ง ความเหนียว การหดตัว และการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

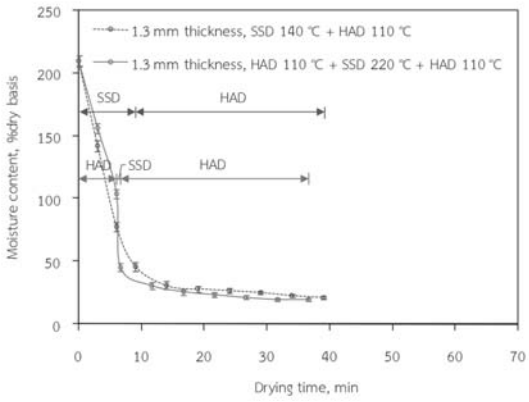
3.1 ผลของวิธีการอบแห้งและความหนาของเนื้อปลาบดแผ่นต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่น

3.1.1 ผลของวิธีการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่น

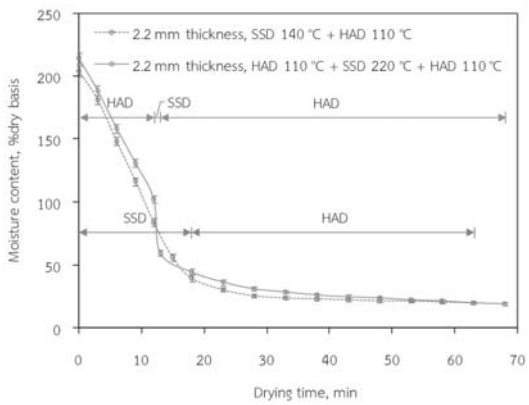
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ที่ระดับความหนา 1.3 มม. (ดูรูปที่ 3 (ก)) เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD และ HAD+SSD+HAD ใช้เวลาอบแห้ง 39 และ 36.67 นาที ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วย SSD+HAD และ HAD+SSD+HAD ใช้เวลาอบแห้งใกล้เคียงกัน เนื่องการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD มีช่วงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูง (220 °ซ) ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยอย่างรวดเร็วส่วนการอบแห้งด้วย SSD+HAD มีช่วงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง (140 °ซ) อย่างต่อเนื่อง ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยค่อนข้างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความหนา 2.2 มม. (ดูรูปที่ 3(ข)) พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD และ HAD+SSD+HAD ใช้เวลาอบแห้ง 63 และ 68 นาที ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วย SSD+HAD ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD เนื่องจากการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD มีช่วงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 220 °ซ ใช้เวลาอบแห้งเพียง 60 วินาที (หากใช้เวลาอบแห้งมากกว่า 60 วินาทีทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์เริ่มเกิดการไหม้) เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD จึงลดความชื้นได้ช้ากว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD ซึ่งมีช่วงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °ซ อย่างต่อเนื่องนานถึง 18 นาที

3.1.2 ผลของความหนาของเนื้อปลาบดแผ่นต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่น

รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 และ 2.2 มม. พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งสั้นกว่าเนื้อปลาบดแผ่นหนา 2.2 มม. เนื่องจากเนื้อปลาบดแผ่นที่มีความหนาน้อยมีระยะทางที่ความชื้นต้องใช้ในการเคลื่อนที่จากภายในเนื้อปลาบดออกมายังผิวน้อย ดังนั้น ความชื้นจึงเคลื่อนที่ออกจากเนื้อปลาบดแผ่นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ใช้เวลาอบแห้งที่น้อย (ภูมิใจ สอาดโฉม และคณะ, 2556) ทั้งนี้การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) (ดูรูปที่ 4(ก)) พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 และ 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 39 และ 63 นาที ตามลำดับ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) (ดูรูปที่ 4 (ข)) พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 และ 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้ง 36.67 และ 68 นาที ตามลำดับ

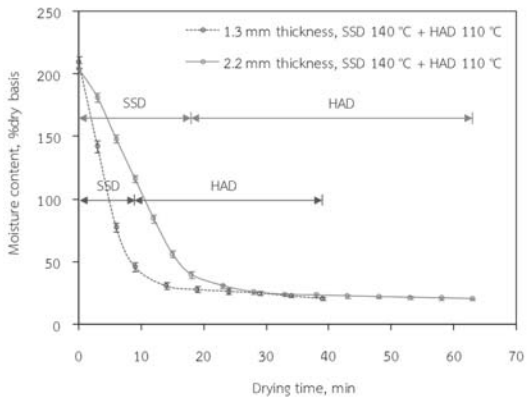


(ก)

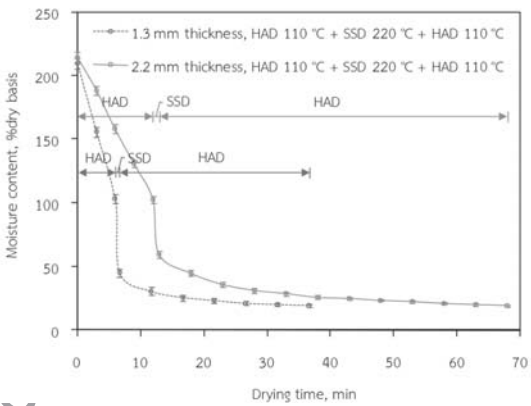


(ข)

รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) โดยที่ (ก) อบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นที่ความหนา 1.3 มม. และ (ข) อบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นที่ความหนา 2.2 มม.



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 และ 2.2 มม. โดยที่ (ก) อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) และ (ข) อบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD)

3.2 การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.2.1 คุณภาพทางด้านสี

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านสีของเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้ง ซึ่งพบว่า ที่ระดับความหนาเดียวกันเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) มีค่าความสว่าง (ค่า *L*) ค่าสีแดง (ค่า *a*) และค่าสีเหลือง (ค่า *b*) มากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD มีช่วงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงมาก (220 °ซ) ทำให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning Reaction) ได้แก่ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Millard Reaction) ของน้ำตาลรีดิวซ์กับโปรตีนและปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน (Caramelization) จากน้ำตาล (วันชลี เพ็งพงศา, 2549) ซึ่งส่งผลให้เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD มีผิวสีน้ำตาลเข้มมากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD นอกจากนี้ ยังพบว่า ที่วิธีการอบแห้งเดียวกัน เนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 มม. มีค่าความสว่าง (ค่า *L*) และค่าสีเหลือง (ค่า *b*) มากกว่า แต่มีค่าสีแดง (ค่า *a*) น้อยกว่าเนื้อปลาบดแผ่นหนา 2.2 มม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากเนื้อปลาบดแผ่นหนา 2.2 มม. ใช้เวลาอบแห้งนานกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันมากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นหนา 1.3 มม.

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านสีของเนื้อปลาบดแผ่นหลังการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	ความหนาเนื้อปลา (มม.)	สี		
		ค่า *L*	ค่า *a*	ค่า *b*
ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 140 °ซ + อากาศร้อนที่ 110 °ซ (SSD+HAD)	1.3	50.4 ± 30.81^{d}	15.28 ± 0.95^{c}	23.45 ± 1.15^{d}
	2.2	40.71 ± 1.34^{b}	19.53 ± 1.08^{d}	16.39 ± 1.02^{b}
อากาศร้อนที่ 110 °ซ + ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 220 °ซ + อากาศร้อนที่ 110 °ซ (HAD+SSD+HAD)	1.3	46.21 ± 1.28^{c}	10.29 ± 0.88^{a}	19.54 ± 1.16^{c}
	2.2	38.57 ± 1.06^{a}	13.22 ± 1.28^{b}	14.52 ± 0.93^{a}

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$)

3.2.2 คุณภาพทางด้านความแข็ง ความเหนียว และการหดตัว

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านความแข็ง ความเหนียว และการหดตัวของเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ที่ระดับความหนา 2.2 มม. เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) มีความแข็งและความเหนียวมากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD ทำให้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งมีความพรุนและพองตัวมากกว่า (จากการสังเกต) เมื่อทดสอบความแข็งและ

ความเหนียวตามหัวข้อที่ 2.5.3 เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD จึงแตกหรือแยกออกได้ง่ายกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความหนา 1.3 มม. ความแข็งและความเหนียวของเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD และ HAD+SSD+HAD นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และพบว่า ที่ระดับความหนาเดียวกัน เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD มีช่วงการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูง (220 °ซ) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังพบว่าที่วิธีการอบแห้งเดียวกันเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งหนา 1.3 มม. มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งหนา 2.2 มม. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งน้อย จึงได้รับความร้อนเป็นเวลาไม่นาน ทำให้มีการหดตัวน้อย ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของภูมิใจ สอาดโฉม และคณะ (2556) ทั้งนี้ค่าความแข็งและความเหนียวของเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งถูกเปรียบเทียบที่ระดับความหนาเดียวกันเท่านั้น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านความแข็ง ความเหนียว และการหดตัวของเนื้อปลาบดแผ่นหลังการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	ความหนาเนื้อปลา (มม.)	ความแข็ง (นิวตัน)	ความเหนียว (นิวตัน)	การหดตัว (%)
ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 140 °ซ + อากาศร้อนที่ 110 °ซ (SSD+HAD)	1.3	3.08±0.19[a]	4.16±0.98[a]	13.29±1.19[a]
	2.2	13.89±0.74[c]	14.28±2.54[c]	22.18±1.34[c]
อากาศร้อนที่ 110 °ซ + ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 220 °ซ + อากาศร้อนที่ 110 °ซ (HAD+SSD+HAD)	1.3	3.25±0.33[a]	4.96±0.89[a]	17.97±1.22[b]
	2.2	7.53±0.53[b]	7.79±3.21[b]	27.65±1.48[d]

หมายเหตุ อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$)

3.2.3 การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้ง ซึ่งพบว่า เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) มีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏเนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมมากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และยังพบว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD มีคะแนนทางด้านสี ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบโดยรวมมากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียว (SSD) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เนื่องจากการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD ทำให้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งที่ได้มีความพรุนสูงและพองตัวมากกว่า (จากการสังเกต) การอบแห้งด้วย SSD+HAD และ SSD อย่างไรก็ตาม คะแนนทางด้านกลิ่นรสของเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD, SSD+HAD และ SSD นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เนื่องจากมีการปรุงรสเนื้อปลาบดแผ่นด้วยสูตรเดียวกันตามหัวข้อที่ 2.2

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพของเนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งทางด้านประสาทสัมผัส

วิธีการอบแห้ง	ความหนาเนื้อปลา (มม.)	คุณลักษณะ				
		สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	ความชอบโดยรวม
ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 140 °ซ + อากาศร้อนที่ 110 °ซ	1.3	6.86±0.97^{b}	6.08±1.08^{a}	6.02±0.82^{a}	3.62±1.05^{b}	4.36±0.69^{b}
	2.2	6.92±1.08^{b}	6.14±1.05^{a}	5.92±0.99^{a}	2.16±0.71^{a}	3.28±0.45^{a}
อากาศร้อนที่ 110 °ซ + ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 220 °ซ + อากาศร้อนที่ 110 °ซ	1.3	7.12±0.98^{b}	7.06±1.04^{b}	6.24±0.82^{a}	6.94±1.02^{d}	6.84±0.71^{d}
	2.2	7.26±1.07^{b}	6.94±0.91^{b}	6.16±1.08^{a}	6.34±0.92^{c}	6.38±0.75^{c}
ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 140 °ซ	1.3	6.24±0.98^{a}	5.94±0.96^{a}	5.84±0.89^{a}	3.42±0.73^{b}	4.14±0.76^{b}

หมายเหตุ 1. อักขระต่างกันในคอลัมน์เดียวกันให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 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. สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อปลาบดแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยอากาศร้อน (SSD+HAD) และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนตามด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน (HAD+SSD+HAD) พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD ใช้เวลาอบแห้งใกล้เคียงกับเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้ช้าเมื่อความหนาของเนื้อปลาบดเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พบว่า เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD มีความสว่าง สีแดง และสีเหลืองมากกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งมีความสว่างและสีเหลืองน้อยลง แต่มีสีแดงมากขึ้นเมื่อความหนาของเนื้อปลาบดเพิ่มขึ้น และพบว่า ที่ระดับความหนา 1.3 มม. ความแข็งและความเหนียวของเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD และ HAD+SSD+HAD นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่ระดับความหนา 2.2 มม. เนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย SSD+HAD มีความแข็งและความเหนียวมากกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยกว่าเนื้อปลาบดแผ่นที่อบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD นอกจากนี้ ยังพบว่า เปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อปลาบดแผ่นมีค่ามากขึ้นเมื่อ

ความหนาของเนื้อปลาบดเพิ่มขึ้น การอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD ทำให้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งได้รับคะแนนคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสมากที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วย SSD+HAD และ SSD เนื่องจากการอบแห้งด้วย HAD+SSD+HAD ทำให้เนื้อปลาบดแผ่นอบแห้งที่ได้มีความพรุนสูงและพองตัวมากกว่า (จากการสังเกต) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยถัดไปควรศึกษาถึงระดับอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความกรอบและการพองตัวมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

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

6. เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน. 2544. **การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

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

วันชลี เพ็งพงศา. 2549. **การอบแห้งเนื้อหมูปรุงรสด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับปั๊มความร้อน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุดาทิพย์ คงขำ. 2549. **การอบแห้งเนื้อไก่ปรุงรสด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับปั๊มความร้อน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. วันที่สืบค้น 2 มิถุนายน 2556. สถิติการนำเข้า-ส่งออกสินค้าที่สำคัญ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: **http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/import.php**

สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. วันที่สืบค้น 2 มิถุนายน 2556. ปลา-อาหารคู่ชีวิต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: **nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=2&id=122**

สุรพิชญ์ ทับเที่ยง, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2554. ผลของออสโมติกทรีทเมนต์และสภาวะพัฟฟิงต่อเวลาการอบแห้งและสมบัติทางกายภาพของกล้วยแผ่น. **วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร.** 42(3): 569-572.

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และศักชัย จงจำ. 2553. การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.** 15(2): 76-86.

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

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

Nathakaranakule, A., Kraiwanichkul, W. and Soponronnarit, S. 2007. Comparative study of different combined superheated-steamdrying techniques for chicken meat. **J. Food Engineering.** 80(4): 1023-1030.

Sa-adchom, P. 2010. **Meat product drying usingsuperheated steam**. Ph.D. Thesis. KingMongkut's University of Technology Thonburi.