FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนแบบถาดหมุน เพื่อใช้ในการผลิตอาหารแห้งเชิงพาณิชย์

Design and Development of Rotating Tray Hot Air Oven for Dried-foods Commercial Production

วิรุณ โมนะตระกูล[1)] สมสงวน ปัสสาโก[2)] พลเทพ เวงสูงเนิน[3)] และ พรณรงค์ สิริปิยะสิงห์[4)*]

Wiroon Monatrakul[1)] Somsanguan Passago[2)] Ponthep Vengsungnle[3)] and Pornnarong Siripiyasing[4)*]

[1)]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

[2)]คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

[3)]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

[4)]สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

[1)]Programme in Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, Thailand, 44000

[2)]Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Thailand, 30000

[3)]Programme in Environmental Sicience, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, Thailand, 44000

[4)]Programme in Biology, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, Thailand, 44000

Received: 10 พ.ย.61

Accepted: 21 ธ.ค.61

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนต้นแบบเพื่อใช้ในการอบแห้งและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งในเชิงพาณิชย์ วัตถุประสงค์ของการออกแบบคือ ตัวเครื่องทำด้วยสแตนเลสทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งใช้อุปกรณ์สแตนเลสในการวางผลิตภัณฑ์เพื่อนำเข้าเครื่องอบ เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐาน

FEAT JOURNAL
July - December 2018 ; 4(2) : 49 - 59

GMP การทำงานให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิระบบดิจิทัล มีระบบไหลเวียนลมร้อนและปล่อยความชื้น มีชุดถาดแขวนแบบลอยตัวและหมุนได้ด้วยกำลังขับมอเตอร์เกียร์ไฟฟ้าทดรอบ ผลการทดสอบสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์วัตถุดิบได้มาตรฐานการทำแห้งด้วยลมร้อนและมีประสิทธิภาพในการทำเวลาอบแห้งดีกว่าตู้อบลมร้อนแบบถาดทั่วไปโดยเฉลี่ย 25.6% และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 17.5 บาท ต่อชั่วโมง ซึ่งประหยัดกว่าเตาอบลมร้อนแบบถาดทั่วไปอยู่ที่ 10.57% เมื่อเทียบกับปริมาณการอบแห้งที่เท่ากัน โดยสามารถพัฒนากำลังการผลิตตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนให้เป็นอุตสาหกรรมการผลิตจำนวนมาก ตอบสนองการพัฒนาผลิตภัณฑ์อบแห้งของแต่ละชุมชน เป็นการเพิ่มศักยภาพในการสร้างผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้มีคุณภาพและมาตรฐาน นำไปสู่การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจต่อไป

คำสำคัญ : ตู้อบลมร้อน ถาดหมุน ระบบไหลเวียนลมร้อน

Abstract

This research aims to design and develop baking oven with rotating tray and enhance dried food products for commerce. The objective is to create stainless steel oven with also stainless steel trays according to the GMP standard. The heating system is electric with digital temperature control unit. The oven had hot-air circulation system with humidity expellant. There are free-rotating trays driven by a transmission of an electric motor. The baking performance when baking food ingredients reaches the standard of hot air baking activity and is 25% faster than normal baking oven. The rate of electric power consumption is less than a dollar per hour (17.5 Baht). This is 10.57% more economic than normal oven when the same amount of food ingredients is being baked. The oven can handle mass-production activity and fulfill dried food industry of each community. It can enhance capability in producing high quality local products that reach the standard for better community economy.

Keywords : Hot-air oven rotating tray Hot-air circulation system

*ติดต่อ: wiroonnnn@gmail.com, 094-0548321

1. บทนำ

การอบแห้ง ก็เป็นหนึ่งในกระบวนการปัจจัยหลักของเกือบทุกการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่สำคัญโดยเป็นประเด็นเป้าหมายของทางกลุ่มวิจัย ซึ่งการอบแห้งเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ความชื้นระหว่างกระบวนการผลิต หรือเพื่อการใช้พัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ โดยการควบคุมและขจัดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้ลดลงใน

กระบวนการ อาศัยปัจจัยคืออุณหภูมิ ความเร็วและการกระจายลม ระยะเวลาในการอบ ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของวัตถุดิบจะสามารถนำไปต่อยอดเพิ่มมูลค่าและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ได้อีกต่อไป ซึ่งในปัจจุบันตลาดสินค้าเกษตรและอาหารมีการขยายตัวมาอย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ย 6-7% ต่อปี เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 5 ปีที่ผ่านมา (2556-2560) [1] ดังนั้นแล้ว การพัฒนาระบบอบแห้งด้วยลมร้อน โดยวิธีการผสมผสานเพื่อทำให้ประสิทธิภาพอุปกรณ์ หรือกระบวนการอบแห้งดียิ่งขึ้นก็จะสามารถช่วยให้พัฒนาศักยภาพการแปรรูปอาหารแห้งได้ ทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาตู้อบลมร้อนที่สามารถหมุนถาดรับลมร้อนได้ทั่วถึงพร้อมกับการออกแบบช่องปล่อยลมร้อนให้มีความสม่ำเสมอทั่วถึงเท่ากัน จะเป็นทิศทางการพัฒนาตู้อบลมร้อนแบบถาดที่เหมาะสมสำหรับโครงการวิจัยนี้

2. ทฤษฎีพื้นฐานการทำแห้ง

การทำแห้ง (Drying) หมายถึงการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) คำจำกัดความนี้จะไม่รวมถึงการกำจัดน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีอื่นๆ โดยการลดความชื้นของผลิตผลจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ นั้นคือมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ (a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บผลผลิตไว้ได้นาน ผลผลิตแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน การกำจัดความชื้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แห้ง ส่วนใหญ่จะทำให้แห้งด้วยกระบวนการให้ความร้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ [2-3]

ความรู้เรื่องปริมาณความชื้นในอาหารเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการคาดคะเนคุณภาพของอาหาร อาหารบางชนิดจะมีคุณภาพไม่คงตัวที่ปริมาณความชื้นต่ำ เช่น น้ำมันถั่วลิสงซึ่งจะเสื่อมเสียที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่า 0.6% ในขณะที่อาหารชนิดอื่นๆ จะคงตัวที่ปริมาณความชื้นสูง เช่น แป้งมันซึ่งมีความคงตัวที่ความชื้น 20% [4] ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหารเป็นปริมาณน้ำซึ่งจุลินทรีย์ เอนไซม์หรือปฏิกิริยาทางเคมีนำไปใช้ได้หรือหมายถึงน้ำอิสระที่กล่าวมาแล้วนั้นเอง น้ำในอาหารจะทำให้เกิดความดันไอ ขนาดของความดันไอจะขึ้นกับ

1) ปริมาณของน้ำที่มีอยู่

2) อุณหภูมิ

3) ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย โดยเฉพาะเกลือและน้ำตาลในน้ำ

คำจำกัดความของ a_w คือ อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$a_w = \frac{P}{P_O} \tag{1}$$

หรือ

$$a_w = \frac{\text{ความชื้นสัมพัทธ์}}{100} \tag{2}$$

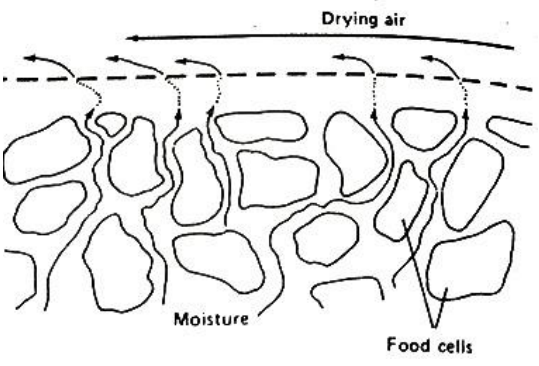
P (Pa) = ความดันไอของอาหาร

P_O (Pa) = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

หากความชื้นรอบๆ อาหารต่ำกว่าความชื้นในอาหารจะทำให้ a_w ที่ผิวหน้าของอาหารลดลง และในทางกลับกัน a_w ที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นถ้าความชื้นรอบๆ อาหารสูงกว่าในอาหาร ดังนั้นใน

FEAT JOURNAL
July - December 2018 ; 4(2) : 49 - 59

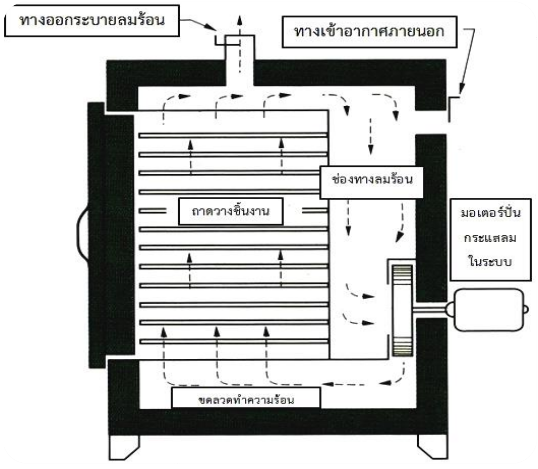
การทดลองเพื่อหา a_w จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำในภาชนะที่ปิดสนิทและจะต้องหาความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารด้วย ค่าที่หาได้นี้เรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (equilibrium relative humidity, ERH) เมื่อนำ ERH หารด้วย 100 ก็จะเป็นค่าของ a_w ค่า a_w ของน้ำบริสุทธิ์เท่ากับ 1.00 และจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ตามปกติในน้ำบริสุทธิ์ [5]



ภาพที่ 1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง [6]

เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryers)

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ยๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวน ในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบางๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5เมตร/วินาทีต่อตารางเมตร ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อหรือแบฟเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ [2]



ภาพที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบถาดทั่วไป

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

คือการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการไหลต่างๆ การถ่ายเทความร้อน การแพร่กระจายของอนุภาค รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยหาผลเฉลยและจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้น หรืออาจจะเรียกได้ว่าซีเอฟดีคือ วิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล พื้นฐานของซีเอฟดี คือ สมการนาเวียร์-สโตกส์ มีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ปัญหาในภาคอุตสาหกรรมและงานวิจัยต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไหลและการถ่ายเทความร้อน [7-8]

3. ขั้นตอนการทดลอง

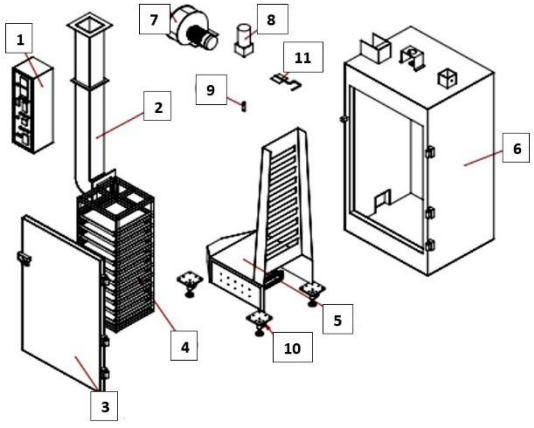
1) ศึกษากระบวนการและทฤษฎีในการทำแห้งและลดความชื้นของผลิตภัณฑ์

2) ออกแบบเครื่องอบแห้งแบบตู้โดยใช้อากาศร้อนแบบถาดหมุนเพื่อใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3) ทำการสร้างเครื่องอบแห้งถาดหมุนต้นแบบและทดสอบประสิทธิภาพโดยการนำไปอบแห้งผลิตภัณฑ์เพื่อหาจุดคุ้มทุนและความคุ้มค่าในการใช้งาน

3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

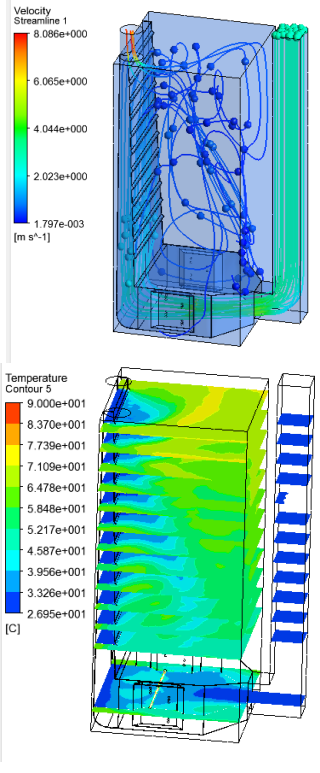
เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาดหมุนสำหรับการอบแห้งนั้นระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน หลัก ก็คือ ตู้อบ ระบบนำพาและหมุนเวียนลมร้อน และชุดควบคุมตู้อบ ดังแสดงในภาพที่ 3



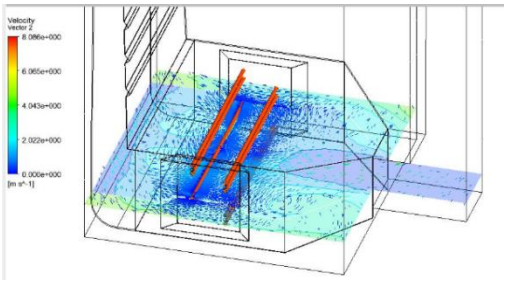
ภาพที่ 3 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดหมุน 1. ชุดควบคุม (Control Unit) 2. ท่อนำลม (Air delivery duct) 3. ประตูฉนวนกันความร้อน 4. ชั้นวางถาดแบบหมุนได้ (Rotation tray) 5. ท่อกระจายลมร้อน (Hot air distribution duct) 6. ตัวเรือนตู้อบพร้อมบุฉนวน (Oven insulated housing) 7. พัดลมดูดลม (Centrifugal fan) 8, 9 มอเตอร์ควบคุมการหมุนถาด (Rotation tray motor) 10. ฐานล้อ (Base wheels) 11. แผ่นเปิด-ปิดควบคุมปริมาณลมระบาย

การออกแบบตู้อบจะออกแบบให้มีขนาดเท่ากับ 120cm x 80cm x 220cm เพื่อให้สามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์อบแห้งได้เพียงพอและเหมาะสมกับกลุ่มชุมชนและธุรกิจขนาดย่อม เป้าหมายเครื่องอบสามารถควบคุมความร้อนในช่วง 50 ถึง 120°C การทำงานให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิระบบดิจิทัลที่ฝังเทอร์โมคัปเปิลอยู่ในตู้อบ มีระบบไหลเวียนลมร้อนและปรับปริมาณอากาศเข้าได้ด้วย shutter และปล่อยความชื้นมีชุดถาดแขวนแบบลอยตัวและหมุนได้ด้วยกำลังขับมอเตอร์เกียร์ไฟฟ้า

ทั้งนี้การออกแบบยังได้มีการจำลองการไหลของอากาศที่ไหลวนภายในตู้อบเพื่อหาปริมาณความเร็วอากาศ การกระจายอุณหภูมิ และขนาดของพัดลมโดยการวิเคราะห์แบบสภาวะคงตัว (steady state) [9, 10] โดยเพิ่มเติมสมการพลังงาน และมีการสร้างพลังงานภายในโดเมนของอากาศ (heat generation) จะได้สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของอากาศและอัตราการถ่ายโอนพลังงาน เพื่อจะทำให้การดูดและระบายความร้อนรวมถึงความชื้นในตู้อบได้มีประสิทธิภาพดัง ภาพที่ 4



FEAT JOURNAL
July - December 2018 ; 4(2) : 49 - 59



ภาพที่ 4 การจำลองการไหลของลมและการกระจายอุณหภูมิในตู้อบระบบด้วยโปรแกรม Ansys CFX version 14.5

สร้างเครื่องต้นแบบ

เมื่อได้แบบและตัวแปรจากการออกแบบแล้วจึงดำเนินการสร้างโดยโครงสร้างหลักถูกนำมาประกอบกันดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 การสร้างตู้อบ

ภาพที่ 6 การวัดอุณหภูมิ ความเร็วลม ณ จุดต่างๆ ของตู้อบ

การทดสอบอบแห้ง

วิธีการทดสอบการอบจะทำการอบพืชผลการเกษตร และอาหารเปียก เช่น มะม่วง ปลาร้า โดยจะเก็บความชื้นทุกๆ 10 นาทีโดยผลผลิตดังกล่าวจะถูกอบภายในตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนและแบบถาดทั่วไป ในเวลาเดียวกันเพื่อทำการเปรียบเทียบการอบของระบบ โดยจะเก็บตัวอย่างไปหาความชื้นในทุกๆ 10 นาที เช่นเดียวกัน การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหรือความชื้นมีหลายวิธี วิธีการที่นิยมใช้คือ Drying method ซึ่งมี 3 แบบคือ

- Hot air oven method : Water Activity (a_w)
- Vacuum oven method
- การใช้สารดูดความชื้น

วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Hot air oven method โดยมีหลักการคือหาค่า a_w คือค่าความชื้นที่มีผลต่ออัตราการเจริญของจุลินทรีย์

การอบแห้งปลาร้า

การทดสอบการอบนั้นจะใช้ปลาร้าสดในการอบ ซึ่งปลาร้าสดได้มาจากผู้ประกอบการ ซึ่งมีค่า Water Activity (a_w) เบื้องต้นที่ 0.83 ซึ่งการอบทดสอบนั้นจะอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนและแบบถาดทั่วไปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ภาพที่ 7 ทดสอบการอบปลาร้าสด

การอบมะม่วงแช่แข็ง

การทดสอบการอบนั้นจะใช้มะม่วงน้ำดอกไม้แช่แข็งโดยทำการฝานเป็นแผ่นและจัดเรียงเข้าตู้อบ ซึ่งมีค่า Water Activity (a_w) เบื้องต้นที่ 0.76 ซึ่งการอบทดสอบนั้น จะอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนและแบบถาดทั่วไป เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ภาพที่ 8 ทดสอบการอบมะม่วงฝานแผ่น

4. ผลการทดลอง

4.1 การดำเนินงานด้านออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน

จากการใช้กระบวนการออกแบบด้วยซอฟต์แวร์ Solid works และทดสอบการกระจายอุณหภูมิ และลม ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ทำให้ได้ โครงสร้างตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนที่มีน้ำหนักโครงสร้าง 447 กิโลกรัม ให้ความร้อนในตู้อบด้วย ฮีทเตอร์ ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 4 ชุด ต่ออนุกรม ชุดพัดลมส่งผ่านปริมาณลม 360 cfm ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 250 วัตต์ สามารถปรับลดปริมาณลมได้ด้วยความเร็วการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้า และถาดหมุนควบคุมด้วยมอเตอร์เกียร์ไฟฟ้าขนาด 125 วัตต์ ควบคุมความเร็วรอบด้วยระบบอินเวอร์เตอร์ และสามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 115 องศา โดยการกระจายลมตามช่องลมปล่อยหลังผ่าน ฮีทเตอร์ โดยความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 1-1.6 m/s ดังแสดงในภาพที่ 9

ช่องที่	ความเร็วลมเฉลี่ย m/s
11	3.5
10	1.6
9	1.6
8	1.5
7	1.5
6	1.4
5	1.4
4	1.3
3	1.2
2	1.1
1	1.0

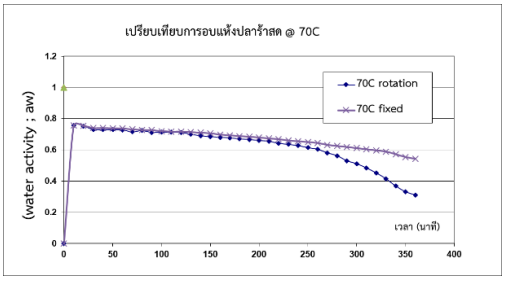
ภาพที่ 9 ความเร็วลมโดยเฉลี่ยจากการวัดทดสอบ

4.2 ผลการทดสอบการอบ

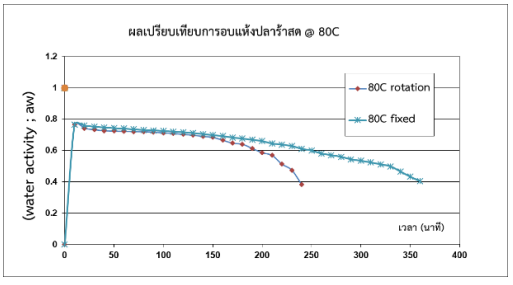
การอบปลาร้าสด

จากผลการทดสอบการอบปลาร้าสด พบว่า ณ อุณหภูมิการอบที่ได้กำหนดไว้ ที่ 70 80 และ 90 °C อัตราการลดลงของ Aw ของผลิตภัณฑ์ปลาร้าสด จะเกิดขึ้นที่ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนเร็วกว่าตู้อบลมร้อนแบบถาดในทุกอุณหภูมิกรณีศึกษา โดย ณ ที่อุณหภูมิอบทดสอบ 70 °C ค่า Aw จะถึงค่าประมาณ 0.5 หรือ ต่ำกว่า ณ ช่วงเวลานาทีที่ 270 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน และ ณ ช่วงเวลานาทีที่ 320 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาด และ ณ ที่อุณหภูมิอบทดสอบ 80 °C 90 °C ค่า Aw จะถึงค่าประมาณ 0.5 หรือ ต่ำกว่า ณ ช่วงเวลานาทีที่ 200, 150 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน และ ณ ช่วงเวลานาทีที่ 250, 190 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาดตามลำดับ

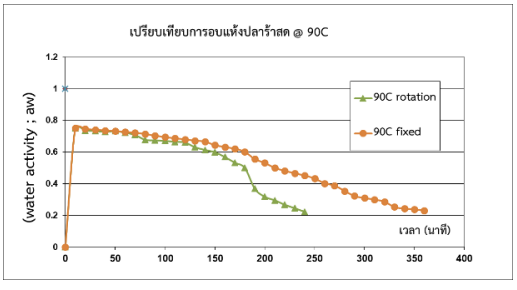
FEAT JOURNAL
July - December 2018 ; 4(2) : 49 - 59



(a)



(b)

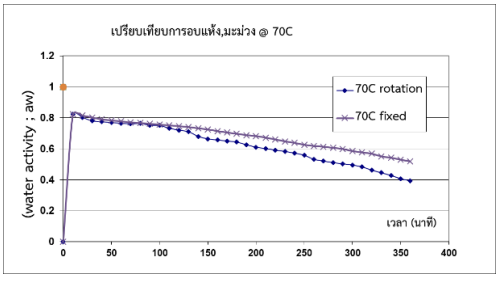


(c)

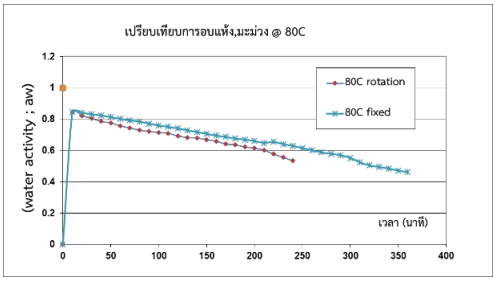
ภาพที่ 10 กราฟแสดงค่า Aw ที่ได้จากการทดสอบอบปลาร้าสดเปรียบเทียบระหว่างตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนและ ตู้อบลมร้อนแบบถาด ณ อุณหภูมิการอบที่ได้กำหนดไว้ ที่ (a) 70 °C , (b) 80 °C , (c) 90 °c

การอบมะม่วง

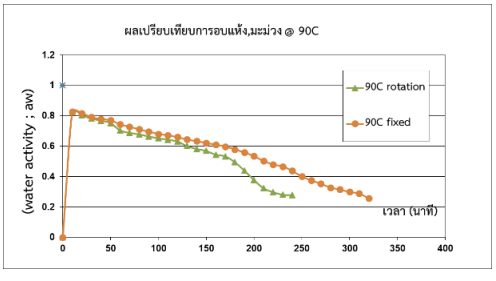
จากผลการทดสอบการอบมะม่วง พบว่า ณ อุณหภูมิการอบที่ได้กำหนดไว้ ที่ 70 80 90 °C อัตราการลดลงของ Aw ของผลิตภัณฑ์ มะม่วงแช่แข็ง จะเกิดขึ้นที่ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนเร็วกว่า ตู้อบลมร้อนแบบถาดในทุกอุณหภูมิกรณีศึกษา โดย ณ ที่อุณหภูมิอบทดสอบ 70 °C ค่า Aw จะถึงค่าประมาณ 0.5 หรือ ต่ำกว่า ณ ช่วงเวลานาทีที่ 220 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน และ ณ ช่วงเวลานาทีที่ 290 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาด และ ณ ที่อุณหภูมิอบทดสอบ 80 °C 90 °C ค่า Aw จะถึงค่าประมาณ 0.5 หรือ ต่ำกว่า ณ ช่วงเวลานาทีที่ 210, 140 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน และ ณ ช่วงเวลานาทีที่ 270, 170 สำหรับตู้อบลมร้อนแบบถาดตามลำดับ



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 11 กราฟแสดงค่า Aw ที่ได้จากการทดสอบอบมะม่วง เปรียบเทียบระหว่าง ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนและ ตู้อบลมร้อนแบบถาด ณ อุณหภูมิการอบที่ได้กำหนดไว้ ที่ (a) 70 °C, (b) 80 °C, (c) 90 °C

4.3 การทดสอบสมรรถนะการใช้งาน

การทดสอบประสิทธิภาพตู้อบลมร้อนได้ผลดำเนินการดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตู้อบลมร้อน

หัวข้อทดสอบ	ผลการทดสอบ		
	ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน	ตู้อบลมร้อนแบบถาด	ผลที่ได้
1. เวลาการอบแห้งปลาร้าสดที่อุณหภูมิ 70 °C	270 นาที	320 นาที	อบเร็วกว่า 18.52%
2. เวลาการอบแห้งปลาร้าสดที่อุณหภูมิ 80 °C	200 นาที	250 นาที	อบเร็วกว่า 25%
3. เวลาการอบแห้งปลาร้าสดที่อุณหภูมิ 90 °C	150 นาที	190 นาที	อบเร็วกว่า 26.67%
4. เวลาการอบแห้งมะม่วงที่อุณหภูมิ 70 °C	220 นาที	290 นาที	อบเร็วกว่า 31.81%
5. เวลาการอบแห้งมะม่วงที่อุณหภูมิ 80 °C	210 นาที	270 นาที	อบเร็วกว่า 28.57%
6. เวลาการอบแห้งมะม่วงที่อุณหภูมิ 90 °C	140 นาที	170 นาที	อบเร็วกว่า 21.43%
7. ปริมาณบรรจุผลิตภัณฑ์สูงสุด	10 kg	10 kg	
8. การบริโภคไฟฟ้า	14.5 amp (4,500W)	13.6 amp (4,350W)	อุปกรณ์ของระบบถาดหมุนมีมากกว่า
9. การสิ้นเปลือง	17.5 บาทต่อชั่วโมง	19.35 บาทต่อชั่วโมง	ประหยัดมากกว่า 10.57%

5. สรุปและวิจารณ์

จากการออกแบบและสร้างตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุน และการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น จากผลการทดลองการอบปลาร้าสดและมะม่วงสุก พบว่า การอบปลาร้าสด สามารถใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนอบปลาร้าสด ที่ค่า Aw 0.5 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่ตลาดต้องการ (ไม่เกิน 0.5 Aw) ขณะที่ค่า Aw ของตัวอย่างปลาร้าที่อยู่เตาอบลมร้อนแบบถาด 35.02% ซึ่งตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนสามารถทำให้ปลาร้าสดแห้งตามความค่ามาตรฐานที่ต้องการภายใน 4.30 ชั่วโมง ที่ 70 °C, 3.20 ชั่วโมง ที่ 80 °C, 2.3 ชั่วโมง ที่ 90°C ซึ่งแตกต่างจากปลาร้าสดที่อบกับเตาอบลมร้อนแบบถาดซึ่งต้องใช้เวลา 5.20 ชั่วโมง ที่ 70°C, 4.10 ชั่วโมง ที่ 80 °C และ 3.10 ชั่วโมง ที่ 90 °C

เช่นเดียวกันกับการอบมะม่วงสุก ตู้อบสามารถอบมะม่วงสุกแช่แข็ง ให้แห้งที่ Aw 0.5 ภายใน 3.40 ชั่วโมง ที่ 70 °C, 3.30 ชั่วโมง ที่ 80 °C, 2.20 ชั่วโมง ที่ 90 °C ในขณะที่ค่า Aw ที่ต้องการของตัวอย่างที่อบกับเตาอบลมร้อนแบบถาด เท่ากับ 4.50 ชั่วโมง ที่ 70 °C, 4.30 ชั่วโมง ที่ 80°C, 2.50 ชั่วโมง ที่ 90°C ซึ่งในการอบในตู้อบลมร้อนแบบถาดนั้น ยังพบปัญหาของการแห้งไม่เท่ากันในบางชั้นวางของตู้อบ โดยการใช้ถาดหมุนร่วมกับการปรับการกระจายลมร้อนให้เท่ากันในทิศทางใดทิศทางหนึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลผลิตแห้งเร็ว ลดเวลาในการผลิตได้ อีกทั้งได้ทั้งคุณภาพไม่ว่าจะเป็นสี หรือ ความสะอาด เมื่อเทียบกับการอบแห้งลมร้อนด้วยตู้อบแบบถาดโดยทั่วไป

ความคุ้มค่าในการลงทุน

จากกรณีศึกษาของการอบแห้งปลาร้าสด และมะม่วงสุก เพื่อแปรรูปเป็นอาหารแห้งพบว่า ต้นทุนการแปรรูปจากการใช้เครื่องอบแห้งและค่าไฟฟ้า

FEAT JOURNAL
July - December 2018 ; 4(2) : 49 - 59

จะขึ้นอยู่กับมูลค่าต้นทุนก่อนและมูลค่าหลังการอบแห้งของวัตถุดิบว่ามีมากน้อยเพียงใด สำหรับการอบแห้งปลาร้า และมะม่วงสุก พบว่า อัตราการคืนทุนของเครื่องจักรอยู่ที่ 0.75 ปี และ 0.72 ปี ตามลำดับ โดยใช้เกณฑ์ราคาเครื่องต้นแบบในมูลค่าสูงสุด (340,000 บาท) ซึ่งอยู่เหนือเกณฑ์ค่าเฉลี่ยของการลงทุนเครื่องจักรแปรรูปโดยทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนแบบถาดหมุน

หัวข้อทดสอบ	ผลการทดสอบ	
	อบแห้งปลาร้าสดที่อุณหภูมิ 70 °C (270 นาที)	อบแห้งมะม่วงฝานแผ่นที่อุณหภูมิ 70 °C (220นาที)
น้ำหนักผลิตสด	10kg	10kg
น้ำหนักหลังการอบแห้ง	3.5kg	4.2kg
ราคาผลิตภัณฑ์สด	4,821	4,937
ราคาผลิตภัณฑ์แห้ง	600 บาท/kg	500 บาท/kg
การบริโภคไฟฟ้า	78.75 บาท	64.2 บาท
กำไรจากการแปรรูป	1,700 บาท	1,750 บาท
รายได้ต่อวัน	2,269.58 บาท	2,360.12 บาท
ระยะเวลาคืนทุนเครื่องจักร	150 วัน	144 วัน

ความสำเร็จและความคุ้มค่าที่ได้รับคือได้ตู้อบลมร้อนแบบถาดหมุนต้นแบบที่สามารถประยุกต์ใช้กับการอบแห้งด้วยลมร้อนเข้ากับประเภทของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ โดยเฉพาะการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงที่ต้องใช้มาตรฐานในการอบแห้งที่แม่นยำเพื่อลดปัญหาเรื่องคุณภาพและการสูญเสียในการแปรรูป โดยใช้เพื่อเป็นเทคโนโลยีที่ดีมีคุณภาพเหมาะสมในการใช้งาน และเป็นการเผยแพร่ความรู้และองค์ความรู้สู่ภาครัฐและเอกชนและผู้สนใจทั่วไป เพื่อการพัฒนาศักยภาพในการแปรรูปอาหารแห้ง เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มทางสังคมตลอดจนเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำการวิจัยระดับสูงต่อไป

ผู้วิจัยและคณะทำงานหวังไว้ว่า งานวิจัยนี้จะเป็นการเปิดโอกาสและเป็นประโยชน์ในการต่อยอดให้ผู้ประกอบการในประเทศได้สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีที่เหมาะสมและสามารถจับต้องได้ง่ายยิ่งขึ้นเพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองได้มีมาตรฐานและโอกาสทางการตลาดและเศรษฐกิจ ที่นับวันจะแข่งขันและถูกตีกรอบด้วยกฎ กติกาให้แคบลงทุกวัน ไม่มากก็น้อย

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ช่วยสนับสนุนงบประมาณในการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ปี 2560 และแนวโน้มปี 2561 สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ; กระทรวงพาณิชย์.

[2] วิไล รังสาดทอง. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2547.

[3] สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. กระบวนการทำแห้งอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2539.

[4] Van den BC. Water activity. In : D. MacCarthy (ed.): Concentration and

drying of foods. Barking Essex: Elsevier Applied Science; 1986.

[5] Banwart GT. Basic food microbiology. Westport, Connecticut. AVI Publishing; 2009.

[6] วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุล. เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2548.

[7] ปราโมทย์ เตชะอำไพ. การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย Solidwork Simulation. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2552.

[8] กีรติ สุลักษณ์. การจำลองพฤติกรรมการไหลเพื่อออกแบบช่องทางเข้าของอากาศสำหรับหัวดูดอากาศที่ใช้ในกระบวนการชุบโลหะ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 29 (ME-NETT), 1-3 กรกฎาคม 2558, จังหวัดนครราชสีมา; 2558.

[9] Cengel YA, Ghajar AJ. Heat and Mass Transfer. United States of America: McGraw-Hill Education; 2015.

[10] 3D Heat Transfer Simulation & Thermal Analysis Software. ARRK Corporation. [Internet]. Available from: http://www.theseus-fe.com/simulation-software/heat-transfer-analysis.