การประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนช่วยในการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชในเครื่องทอดสุญญากาศ

สกุลตลา วรรณปะเข[1]* และ จักรพันธ์ เงาทอง[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนช่วยในการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชในเครื่องทอดสุญญากาศ โดยตัวหม้อทอดและเทอร์โมไซฟอนทำจากสแตนเลส เบอร์ 304L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเทอร์โมไซฟอนคือ2เซนติเมตรสูง40เซนติเมตรสารทำงานที่ใช้คือ น้ำกลั่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของหม้อทอดสุญญากาศคือ 50 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ ทดสอบวัดการกระจายของน้ำมันพืชในหม้อทอดเมื่อใส่ผลิตภัณฑ์(กล้วยน้ำว้าหั่นบาง 10 กิโลกรัม) ทดสอบทอดที่อุณหภูมิ 110°C ความดันที่ใช้ทดสอบคือ 0.8 และ 1 บาร์ พบว่าเมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนในหม้อทอดอุณหภูมิของน้ำมันพืชมีค่าสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันมากกว่าที่ไม่ได้ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน และหากนำกล้วยน้ำว้าทอดกรอบที่ได้ไปทดสอบวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์พบว่าเมื่อทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อทอดสุญญากาศที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเพื่อช่วยกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชพบว่ามีค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง และค่าสีแดง (L*, a*, b*) ใกล้เคียงกับกล้วยน้ำว้าสุกมากกว่าการทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

คำสำคัญ: เทอร์โมไซฟอน การทอดสุญญากาศ กล้วยน้ำว้าทอด

[1] อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-3721-7300 ต่อ 7063 อีเมล: Sakultala.W@fitm.kmutnb.ac.th

รับเมื่อ 5 มิถุนายน 2556 ตอบรับเมื่อ 8 ตุลาคม 2556

The Application of Thermosyphons for the Temperature Distribution of Vegetable Oil in Vacuum Fryers

Sakultala Wannapakhe[1]* and Chakapan Ngaouwthong[1]

Abstract

This research investigated the application of thermosyphons for the temperature distribution of vegetable oil used in vacuum fryers. The vacuum frying pot and thermosyphons were made from stainless steel type 304L. The diameter and height of the thermosyphons were 2 and 40 cm, respectively. Distilled water was used as the working fluid. The diameter and height of the vacuum frying pot were 50 and 60 cm, respectively. The temperature of the vegetable oil for testing with the product (10 kg of Namwa banana slice) was 110 °C; the vacuum pressure testing was at 0.8 and 1 bar. It was found that the temperature distribution of the vegetable oil in vacuum frying pot with the thermosyphon was better than vacuum frying pot without the thermosyphon. Compared with ripened bananas, the color parameters (L*, a*, b*) of the sample obtained from the vacuum fryer equipped with the thermosyphon were more similar to ripened bananas than those from the fryer without the thermosyphon.

Keywords: Thermosyphon, Vacuum frying, Fried Namwa banana

[1] Lecturer, Department of Design and Production Technology of Agricultural Industry, Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus.

* Corresponding Author, Tel. 0-3721-7300 Ext. 7063, E-mail: Sakultala.W@fitm.kmutnb.ac.th

Received 5 June 2013; Accepted 8 October 2013

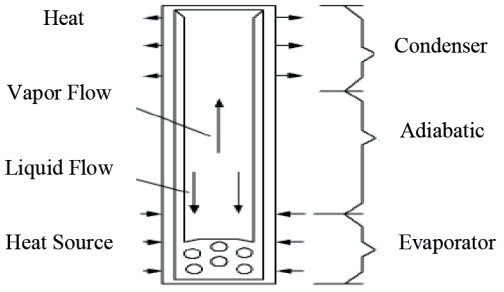
1. บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยพืชผลทางการเกษตรและนับเป็นประเทศที่มีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่หลายชนิด และบ่อยครั้งที่มักเกิดปัญหาราคาพืชผลทางการเกษตรที่ตกต่ำโดยเฉพาะหากขายผลผลิตแบบสด ดังนั้นหากสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นก็จะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดปราจีนบุรีซึ่งเป็นจังหวัดที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี มีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลายชนิดที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นก็จะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้เป็นจำนวนมาก และประกอบกับที่จังหวัดปราจีนบุรีมีกลุ่มชาวบ้านและผู้ประกอบการหลายแห่งที่เล็งเห็นถึงความสำคัญในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น กลุ่มสมุนไพรบ้านดงบังแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรต่างๆ กลุ่มสมุนไพรบ้านเนินหอมที่ได้แปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นชาชงสมุนไพรหรือผลิตภัณฑ์อาหารที่แปรรูปจากกล้วย กลุ่มแม่บ้านทหาร พัน ชบร. กรม สน.พล.ร.2 รอ. ที่ทำการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรในรูปแบบของทอดต่างๆ เช่น กล้วยฉาบ ฟักทองทอด ฯลฯ เป็นต้น และจากการสังเกตผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปโดยทั่วไปที่ใช้กรรมวิธีการทอดนั้นส่วนมากผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีสีที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งหากสามารถควบคุมคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพและมาตรฐานคงที่

การทอดถือได้ว่าเป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรวิธีหนึ่ง ซึ่งหลักการทอดคือการนำชิ้นอาหารใส่ลงในน้ำมันขณะร้อน ผิวหน้าของชิ้นอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหารระเหยกลายเป็นไอ การระเหยของน้ำจะค่อยๆ เคลื่อนที่เข้าไปด้านในของชิ้นอาหาร ทำให้ผิวหน้าของอาหารมีลักษณะเป็นเปลือกแห้งแข็งหุ้มชิ้นอาหารไว้ อุณหภูมิที่ผิวหน้าอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 100°C [1] จะเห็นได้ว่าการทอดนั้นต้องอาศัยอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงซึ่งทำให้สารอาหารที่อยู่ในอาหาร เช่น วิตามินบางชนิดที่ละลายที่อุณหภูมิสูงลดลงได้ซึ่งหากสามารถทอดอาหารในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการทอดแบบปกติทั่วไปก็จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงได้เกิดมีการทอดกรอบในระบบสุญญากาศเป็นที่นิยมแพร่หลายในต่างประเทศ ซึ่งสามารถทำให้อาหารสุกได้ในอุณหภูมิต่ำกว่าปกติส่งผลให้นอกจากผลิตภัณฑ์แปรรูปนั้นมีอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานแล้วยังรักษาคุณภาพด้านกลิ่น สีและรสชาติของผลผลิตนั้นๆ ให้มีคุณภาพใกล้เคียงธรรมชาติเดิมได้ค่อนข้างดี [2], [3] ทำให้ผลผลิตที่ผ่านการแปรรูปแล้วมีมูลค่าสูงขึ้น ดังเช่นทุเรียนทอดกรอบสุญญากาศที่ซื้อขายกันในตลาดที่มีราคาสูงในปัจจุบัน เทคโนโลยีการทอดกรอบภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่เพิ่มอัตราการระเหยของน้ำโดยที่จุดเดือดของน้ำจะลดต่ำลง เนื่องจากในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีน้ำมันเป็นตัวถ่ายเทความร้อน ทำให้น้ำระเหยออกจากผลผลิตด้วยการเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาลดลง โดยสำหรับเครื่องทอดแบบสุญญากาศได้มีนักวิจัยศึกษาและออกแบบเครื่องทอดสุญญากาศเพื่อให้เหมาะสมกับการทอดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น Rungjumrus, A. และคณะ [4] ได้ศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทอดสุญญากาศขนาดต้นแบบ ที่สามารถทอดสับปะรดได้ครั้งละ 2 กิโลกรัม การออกแบบยึดหลักการสมดุลพลังงานเพื่อกำหนดปริมาณน้ำมันและกำลังของฮีตเตอร์ซึ่งจะสามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำมันให้อยู่ในช่วง 80 ± 5 องศาเซลเซียสตลอดกระบวนการทอด หม้อทอดทำด้วยเหล็กกล้าปลอดสนิม (304L) หนา 4 มิลลิเมตร 2 ชั้น ออกแบบเป็นถังทรงกระบอกก้นมนเพื่อรับแรงดันจากภายนอก ชั้นนอกบรรจุน้ำมันถ่ายเทความร้อนซึ่งอุ่นให้ร้อนโดยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 4.5 กิโลวัตต์ หม้อทอดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 72 เซนติเมตรและติดตั้งระบบหมุนเหวี่ยงเพื่อให้สามารถสลัดน้ำมันจากผลิตภัณฑ์

ได้ในสภาวะสุญญากาศ สำหรับหม้ออุ่นน้ำมันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 68 เซนติเมตร ความจุน้ำมัน 35 ลิตร ส่วนการสร้างสภาวะสุญญากาศสามารถทำได้โดยใช้ปั๊มสุญญากาศชนิด Rotary Vane ขนาดแรงม้าเพื่อสร้างสุญญากาศที่ 60 มิลลิเมตรปรอท เครื่องควบแน่นไอน้ำออกแบบให้เป็นชนิด Shell and Tube จากการทดสอบการทำงานของเครื่องพบว่าสามารถทอดสับปะรดแช่แข็ง 2 กิโลกรัมที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ -20 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความชื้นร้อยละ 4.91 ± 0.28 (น้ำหนักฐานแห้ง) และปริมาณน้ำมันร้อยละ 17.04±2.80 (น้ำหนักฐานเปียก) ด้วยเวลา 50 นาที และพบว่าอุณหภูมิน้ำมันมีการแกว่งตัวสูงสุด ± 10 องศาเซลเซียส และความสามารถในการดักจับไอน้ำของเครื่องควบแน่นเป็นร้อยละ 97

เทอร์โมไซฟอนถือเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สูง โดยส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอนโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น โดยเทอร์โมไซฟอนเป็นท่อความร้อนที่ปราศจากวัสดุพรุนที่ช่วยในการดึงสารทำงานที่กลั่นตัวกลับมายังส่วนทำระเหย คือ เมื่อสารทำงานภายในท่อความร้อนบริเวณส่วนทำระเหยได้รับความร้อนสารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอและลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่นซึ่งเย็นกว่าและจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ส่วนควบแน่น และหลังจากนั้นสารทำงานจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลย้อนกลับคืนลงมาตามผนังด้านในของท่อสู่ส่วนทำระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งจากความสามารถของเทอร์โมไซฟอนที่สามารถส่งถ่ายความร้อนได้และสามารถสร้างได้ง่าย จึงได้มีนักวิจัยนำเทอร์โมไซฟอนไปประยุกต์ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน [5]-[7] เช่น Yang และคณะ [8] ได้ศึกษาการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนสำหรับอุ่นอากาศ โดยการนำความร้อนที่เหลือทิ้งจากไอเสียของรถราง (Carriage) ไปปรับสภาวะอากาศให้กับห้องผู้โดยสาร Noie-Baghban and



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอน [5]

Majideian [9] ได้ศึกษาการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนสำหรับอุ่นอากาศเพื่อปรับอากาศในห้องศัลยกรรมในโรงพยาบาล โดยทดลองและทดสอบกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนเพียงท่อเดียว แล้วนำค่าต่างๆ ไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองหาจำนวนของท่อความร้อนโดยใช้ค่าไส้ใน (Wick) 3 แบบ คือนิเกิล เบอร์ 50 นิเกิลเบอร์ 250 และสแตนเลสสตีลเบอร์ 100 ใช้สารทำงาน 3 ชนิด คือ เมทธานอล น้ำ และอะซิโตน ให้ความร้อนแก่ด้านทำระเหย 20-400 W เป็นต้น จากข้อดีที่ได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้นของเครื่องทอดสุญญากาศนั้นหากมีการใช้หม้อทอดสุญญากาศที่มีขนาดเล็กนั้นจะมีข้อแตกต่างของอุณหภูมิจากก้นหม้อจนถึงระดับผิวของน้ำมันพืชต่ำแต่หากมีการเพิ่มขนาดของหม้อทอดสุญญากาศให้มีขนาดที่ใหญ่เพื่อให้สามารถทอดวัตถุดิบได้ปริมาณมากมักจะมีข้อแตกต่างอุณหภูมิของน้ำมันพืชภายในหม้อทอดหากการทอดนั้นถ้าน้ำมันพืชที่อยู่ด้านล่างของหม้อทอดจะมีอุณหภูมิที่สูงส่วนน้ำมันพืชที่อยู่ด้านบนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านล่าง ส่งผลให้เมื่อทอดในระยะเวลาเท่ากันของที่ทอดหากอยู่บริเวณด้านล่างของหม้อทอดมักจะเกิดการไหม้ ซึ่งทำให้ต้องมีการติดตั้งส่วนของถังตะแกรงที่สามารถหมุนหรือเขย่าได้ส่งผลให้ต้องมีการติดตั้งตะแกรงทอดแบบหมุนหรือตัวกวนน้ำมันพืชเพื่อช่วยกระจายอุณหภูมิซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ข้อดีของเทอร์โมไซฟอนมาช่วยในการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชในเครื่องทอด

สุญญากาศแบบธรรมดาที่ไม่ติดตั้งตะแกรงแบบหมุนเหวี่ยง ซึ่งหากติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเพื่อช่วยในการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันจากด้านล่างของหม้อทอดมายังด้านบนของหม้อทอดจะช่วยในการลดปัญหาข้อนี้ลงได้ และส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทอดมีสีสม่ำเสมอกันทั้งหม้อ

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 หม้อทอดสุญญากาศ

ในการออกแบบการออกแบบเครื่องทอดสุญญากาศโดยการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนช่วยในการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชนั้นขั้นตอนแรกกำหนดขนาดของหม้อทอดที่ต้องการซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้กำหนดขนาดของหม้อทอดให้เหมาะสมกับปริมาตรของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จะใช้สำหรับทอดโดยทั่วไปและให้มีที่ว่างสำหรับแขวนตะแกรงทอด ขนาดหม้อทอดที่ใช้ในการทดสอบมีความสูง 60 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อคือ 50 เซนติเมตร ตัวหม้อทอดทำจากแผ่นสแตนเลสเบอร์ 304 ความหนา 2 มิลลิเมตร และมีแท่นภายในหม้อทอดเพื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากท่อสแตนเลสที่มีขนาดความยาว 40 เซนติเมตร

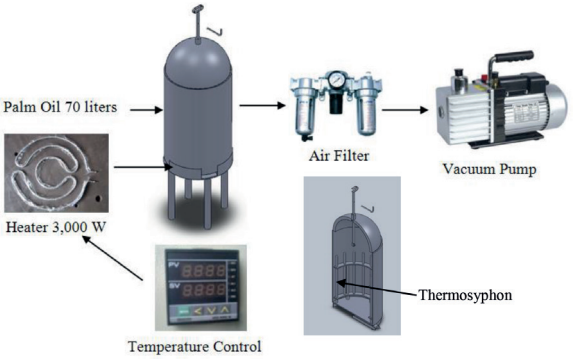
2.2 เทอร์โมไซฟอน

ในการสร้างเทอร์โมไซฟอนสำหรับหม้อทอดสุญญากาศใช้ท่อสแตนเลสเบอร์ 304 มาวัดและตัดให้ได้ขนาดที่ออกแบบไว้คือมีความยาว 40 เซนติเมตรและเติมน้ำกลั่นเพื่อใช้เป็นสารทำงานหลังจากนั้นทำให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศโดยใช้หลักการความดันไอน้ำไล่อากาศและทำการเชื่อมปลายท่อทองแดงที่อยู่บนแท่งสแตนเลสจะได้เทอร์โมไซฟอนดังรูปที่ 2 จากนั้นนำไปติดตั้งในหม้อทอดโดยวางบนแท่นวางเทอร์โมไซฟอน

2.3 วิธีการทดสอบอุณหภูมิภายในหม้อทอดสุญญากาศ

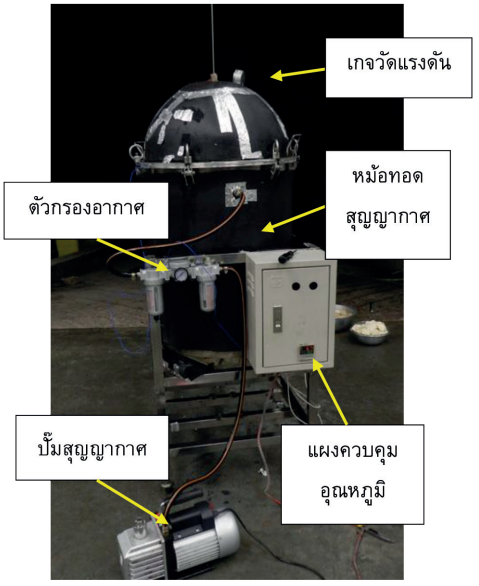
ในการทดสอบจะติดตั้งอุปกรณ์และมีลำดับขั้นตอนในการทำงานของเครื่อง ดังรูปที่ 3 และเมื่อติดตั้งเครื่องทอดสุญญากาศ ดังรูปที่ 4 โดยในการทดสอบครั้งนี้ทำการ

รูปที่ 2 เทอร์โมไซฟอน

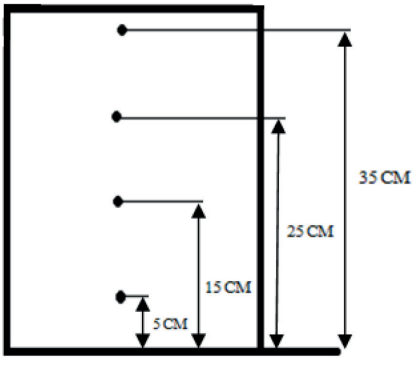


รูปที่ 3 ไดอะแกรมของเครื่องทอดสุญญากาศ

เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์ม) ภายในหม้อทอดที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนจำนวน 10 แท่ง และไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนภายในหม้อทอด ในการวิจัยครั้งนี้ติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3000 วัตต์ที่ก้นหม้อทอดสุญญากาศเพื่อเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำมันพืชภายในหม้อทอดสุญญากาศ เติมน้ำมันปาล์มให้ได้ระดับที่กำหนดไว้คือ 40 เซนติเมตรวัดจากก้นหม้อ (70 ลิตร) ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่ 110°C และควบคุมความดันภายในหม้อทอดสุญญากาศที่ 0.8 และ 1 บาร์เมื่ออุณหภูมิและความดันภายในหม้อทอดสุญญากาศเข้าสู่ภาวะสมดุลให้กดก้านแขวนตะแกรงทอดเพื่อให้กล้วยน้ำว้าปริมาณ 10 กิโลกรัม (หั่นความหนา 2 มิลลิเมตร)

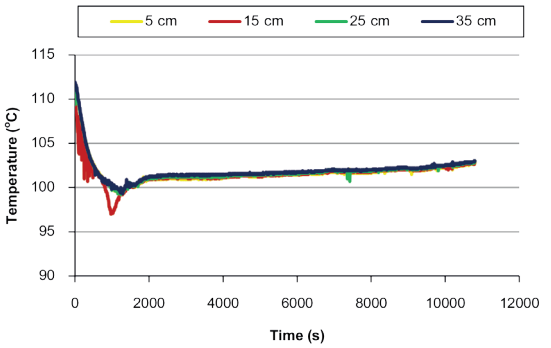


รูปที่ 4 เครื่องทอดสุญญากาศ



รูปที่ 5 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิของน้ำมันพืช

ที่บรรจุอยู่ภายในตะกร้าทอดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร สูง 36 เซนติเมตร ลงทอด ซึ่งจะมีการควบคุมความดันภายในหม้อทอดให้มีความดันภายในหม้อทอดตามระดับความดันที่ต้องการทดสอบวัดอุณหภูมิภายในหม้อทอดที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางหม้อที่ระดับความสูงของน้ำมันพืชตามที่กำหนด ดังรูปที่ 5 ทุก ๆ 5 วินาที จนกระทั่งกล้วยน้ำว้าที่ทอดสุก (สังเกตได้จากอุณหภูมิภายในหม้อทอดที่วัดได้เริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล) จากนั้นสุ่มกล้วยน้ำว้า 100 ชิ้น ที่ผ่านการทอดจนสุกไปวิเคราะห์ผลสีของกล้วยน้ำว้าทอดโดยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น MiniScan EZ



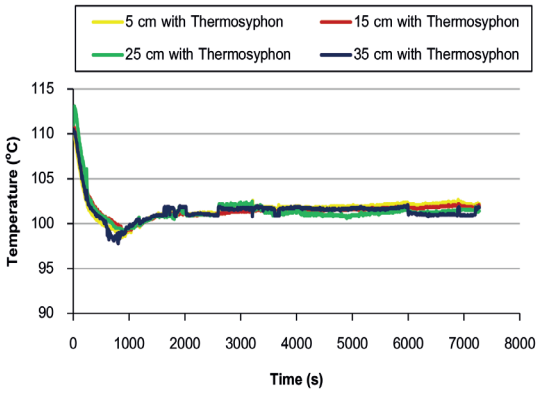
รูปที่ 6 ผลความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมันพืชภายในหม้อทอดที่ไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนที่ความดัน 1 บาร์

4. ผลการทดลอง

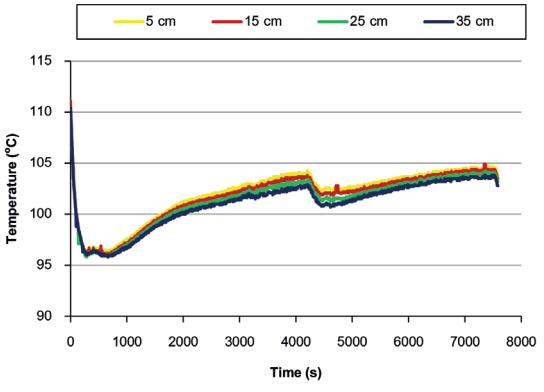
4.1 ผลการการกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชในหม้อทอดสุญญากาศ

ในการทดสอบวัดความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมันพืชในหม้อทอดสุญญากาศโดยใช้กล้วยน้ำว้าหั่นบาง น้ำหนักรวม 10 กิโลกรัม ทดสอบทอดที่อุณหภูมิ 110°C และความดันที่ใช้ในการทดสอบคือ 0.8 และ 1 บาร์ อุณหภูมิน้ำมันพืชถูกวัดที่ระดับความสูงของน้ำมัน โดยวัดจากก้นหม้อทอดที่ระดับ 5, 15, 25 และ 35 เซนติเมตร ค่าอุณหภูมิที่วัดจะเริ่มวัดตั้งแต่เริ่มทอดผลิตภัณฑ์จนสุก คือผลิตภัณฑ์มีความกรอบโดยใช้วิธีการสังเกตจากการดูสีและความกรอบโดยการใช้มือทดสอบด้วยการหักผลิตภัณฑ์ว่ามีความเหมาะสมใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่มีการทอดด้วยวิธีเดียวกัน

จากรูปที่ 6 - 9 เมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนในหม้อทอดเวลาที่ใช้ในการทอดจนผลิตภัณฑ์สุก มีค่าน้อยกว่าการทอดโดยใช้หม้อทอดสุญญากาศเพียงอย่างเดียวและเมื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนในหม้อทอดสุญญากาศพบว่าอุณหภูมิในแต่ละจุดมีความใกล้เคียงกันมากกว่าหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนและพบว่าเวลาที่ใช้สำหรับทอดผลิตภัณฑ์เมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนในหม้อทอดสุญญากาศใช้เวลาในการทอดจนกล้วยน้ำว้าสุกน้อยกว่าการทอดกล้วยน้ำว้าด้วยหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

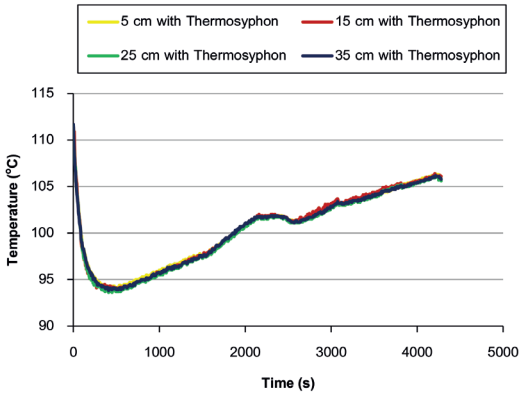


รูปที่ 7 ผลความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมันพืชภายในหม้อทอดที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนที่ความดัน 1 บาร์



รูปที่ 8 ผลความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมันพืชภายในหม้อทอดที่ไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนที่ความดัน 0.8 บาร์

โดยที่ความดัน 1 บาร์ เวลาที่ใช้สำหรับทอดจนกระทั่งกล้วยน้ำว้าสุกโดยหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนคือ 3 ชั่วโมง 3 วินาที และมีค่าอุณหภูมิแตกต่างกันเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลมากที่สุดคือ 1.3°C แต่เมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนภายในหม้อทอดสุญญากาศแล้วใช้เวลาในการทอดคือ 2 ชั่วโมง 11 นาที 9 วินาที และมีค่าอุณหภูมิแตกต่างกันเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลมากที่สุดคือ 0.8°C และที่ความดัน 0.8 บาร์ เวลาที่ใช้ทอดโดยหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนคือ 2 ชั่วโมง 6 นาที 24 วินาที และมีค่าอุณหภูมิแตกต่างกัน



รูปที่ 9 ผลความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมันพืชภายในหม้อทอดที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนที่ความดัน 0.8 บาร์

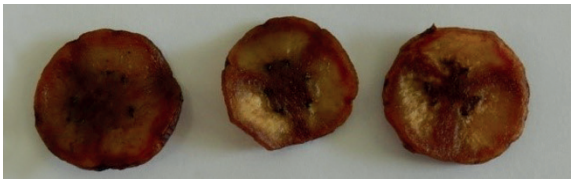
เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลมากที่สุดคือ 1.3°C และเมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนภายในหม้อทอดสุญญากาศเวลาที่ใช้สำหรับการทอดคือ 1 ชั่วโมง 11 นาที 20 วินาที และมีค่าอุณหภูมิแตกต่างกันเมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลมากที่สุดคือ 0.3°C เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนช่วยกระจายและรักษาอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่ใช้สำหรับทอดซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ทอดได้รับความร้อนสม่ำเสมอทำให้เกิดการคายน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าส่งผลให้ใช้เวลาในการทอดน้อยกว่าการทอดโดยใช้หม้อทอดสุญญากาศเพียงอย่างเดียว

4.2 ผลสีของกล้วยน้ำว้าเมื่อผ่านการทอด

เมื่อนำกล้วยน้ำว้าที่ทอดโดยทดสอบทอดที่อุณหภูมิ 110°C และความดันที่ใช้ในการทดสอบคือ 0.8 และ 1 บาร์ โดยการทอดทดสอบในหม้อทอดสุญญากาศที่ติดตั้งเทอร์ไมไซฟอนและแบบไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนไปทดสอบวัดค่าสีโดยการสุ่มกล้วยน้ำว้าก่อนและหลังการทอดจำนวน 100 ชิ้น ลักษณะของกล้วยที่ใช้ในการวัดค่าสีดังแสดงในรูปที่ 10 - 12 พบว่ากล้วยน้ำว้าทอดกรอบแล้วมีค่าระดับความสว่างและสี (L*, a*, b*) ที่แตกต่างจากกล้วยน้ำว้าก่อนทอดโดยพบว่าค่าความสว่างลดลง และค่าสีเหลืองลดลงแต่มีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อทอดสุญญากาศที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเพื่อช่วยกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืช

รูปที่ 10 ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่ใช้ในการทดสอบก่อนทอด

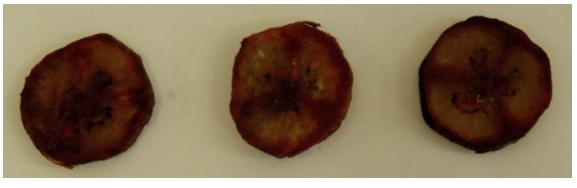
(ก) ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังทอดด้วยหม้อทอดสุญญากาศที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน



(ข) ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังทอดด้วยหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูปที่ 11 ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังทอดที่ความดัน 0.8 บาร์

(ก) ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังทอดด้วยหม้อทอดสุญญากาศที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน



(ข) ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังทอดด้วยหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

รูปที่ 12 ตัวอย่างกล้วยน้ำว้าหลังทอดที่ความดัน 1 บาร์

พบว่ามีค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง และค่าสีแดงใกล้เคียงกับกล้วยน้ำว้าสุกมากกว่าการทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับความสว่างและสี (L*, a*, b*)

ชนิดของกล้วยน้ำว้า	เทอร์โมไซฟอน	L*	a*	b*
กล้วยน้ำว้าสุก	-	52.79 ± 0.78	2.31 ± 0.86	17.42 ± 0.98
กล้วยทอดสุกที่ความดัน 0.8 บาร์	ติดตั้ง	36.28 ± 0.66	9.05 ± 0.72	15.03 ± 0.87
	ไม่ติดตั้ง	27.24 ± 0.72	10.03 ± 0.56	12.71 ± 0.78
กล้วยทอดสุกที่ความดัน 1 บาร์	ติดตั้ง	33.39 ± 0.72	8.29 ± 0.12	15.51 ± 0.95
	ไม่ติดตั้ง	28.77 ± 0.91	12.82 ± 0.97	9.12 ± 0.65

หมายเหตุ:
ค่า L (Lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง
ค่า a (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดง (+) และสีเขียว (-)
ค่า b (Yellowness Parameter) แสดงค่า สีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-)

5. สรุป

จากการทดสอบพบว่าในช่วงแรกของการทอดนั้นจะพบการตกของอุณหภูมิที่เนื่องจากน้ำมันมีการถ่ายเทความร้อนให้กับกล้วยน้ำว้าสไลด์ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำมันมีการลดต่ำลงอย่างรวดเร็วและค่อยๆ ปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลแต่อุณหภูมิของน้ำมันก็ยังไม่สามารถกลับเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้งไว้ในการทดสอบคือ 110°C ได้เนื่องจากน้ำมันที่อยู่ภายในหม้อทอดมีส่วนผสมของน้ำที่ออกจากกล้วยน้ำว้าสไลด์ส่งผลให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง เมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนสามารถช่วยกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชภายในหม้อทอดได้ซึ่งเมื่อติดตั้งเทอร์โมไซฟอนในหม้อทอดอุณหภูมิของน้ำมันพืชมีค่าสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันมากกว่าที่ไม่ได้ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนในทุกอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการทดสอบ และเมื่อทดสอบค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ทอดกรอบโดยทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อสุญญากาศพบว่าเมื่อทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อทอดสุญญากาศที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเพื่อช่วยกระจายอุณหภูมิของน้ำมันพืชพบว่ามีค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง และค่าสีแดงใกล้เคียงกับกล้วยน้ำว้าสุกมากกว่าการทอดกล้วยน้ำว้าในหม้อทอดสุญญากาศที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการวิจัยกลุ่ม ปีงบประมาณ 2554 คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] V. Rungsardthong, et al., *Food Processing Technology*, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1st edition, 2000 (in Thai).

[2] J. Wongsuwan and C. Lowsuksuwan, "Oil Uptake Reduction of Fruit Chips in Vacuum Frying," Project Paper, Bachelor of Engineering Program in Food Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, 2006 (in Thai).

[3] C. Tangduangdee, B. Sakarindr, and T. Suvit, "Heat and Mass Transfer during Deep-Fat Frying of Frozen Composite Foods with Thermal Protein Denaturation as Quality Index," Thesis Paper, Department of Chemical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2002 (in Thai).

[4] A. Rungjumrus, C. Tangduangdee, and S. Tia, "Design and Performance Analysis of a Pilot-scale Vacuum Fryer," *Proceedings of the 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, *Bangkok*, Thailand, 2006, October 10-12, pp. 291.

[5] S. Rittidech, et al., *Heat Pipe Technology*, Mahasarakham University, 1st edition, 2010 (in Thai).

[6] T. Paramethanuwat, S. Thonglat, P. Tadtiang, K. Booddachan, and S. Rittidech, "Thermosyphon installation for energy thrift in a smoked fish sausage oven(TISO)," *Energy*, vol. 35, pp.2836 - 2842, 2010.

[7] N. Dussadee, T. Punsaensri, and T. Kiatsiriroat, "Temperature control of paddy bulk storage with aeration-thermosyphon heat pipe," *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 138-145, 2007.

[8] F. Yang, X. Yuan, and L. Guiping, "Waste Heat Recovery Using Heat Pipe Heat Exchanger for Heat Exchanger for Heating Automobile Using Exhaust Gas," *Applied Thermal Engineering*. 2003.

[9] S.H. Noie-Baghban and G.R. Majideian, "Waste Heat Recovery using Heat Pipe Heat Exchange (HPHE) for Surgery Rooms in Hospitals," *Applied Thermal Engineering*, vol.20, pp.1271-1282, 2000.