Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vol. 8 No. 2 July – December, 2017

หม้อกวนขนมสองชั้นที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

นิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร[1*] และ ธัญญา ปรเมษฐานุวัฒน์[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) แก้ไขปัญหา 2) สนับสนุน ผู้ประกอบการ และ 3) ศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในหม้อกวนขนมสองชั้น สำหรับแก้ไขการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหม้อกวนขนม ที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ และประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีในกระบวนการกวนขนม โดยเลือกศึกษาตัวอย่าง คือ ขนมหม้อแกง โดยหม้อกวนขนมเส้นผ่านศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร ความสูงของหม้อ 300 มิลลิเมตร ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร ทำจากท่อเหล็กไร้สนิม AISI 304 จำนวนที่ใช้ 16 ท่อ มีความยาวในส่วนที่ทำระเหย 100 มิลลิเมตร และความยาวในส่วนที่เกิดการควบแน่น 250 มิลลิเมตร เติมสารทำงานน้ำร้อยละ 80 ของปริมาตรส่วนทำระเหย พบว่าการเปรียบเทียบกระจายตัวอุณหภูมิหม้อกวนแต่ละแบบ เมื่อเปรียบเทียบสวนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความคาดเคลื่อนของการกระจายอุณหภูมิ หม้อกวนขนมที่ถูกพัฒนาโดยใส่ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน พบว่าแสดงผลการทดสอบการกระจายตัวให้ค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุด 0.021 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเชื่อมั่น R^2 คือ 0.90 และสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง 3.4 กิโลกรัมต่อครั้ง การกระจายตัวของหม้อกวนขนมที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนให้การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอ และให้ค่าสีของขนมหม้อแกงมีความสม่ำเสมอเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการ

คำสำคัญ: ท่อเทอร์โมไซฟอน หม้อกวนขนมสองชั้น และขนมหม้อแกง

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. 08-4405-5248 อีเมล: nipon.b@fitm.kmutnb.ac.th

_18-0086(030-036)4.indd 30 1/29/61 BE 11:40 AM

Thermosyphon Application in Double Layer Pot for Mixing Thai Dessert

Nipon Bhuwakietkumjohn[1*] and Thanya Paramethanuwat[1]

Abstract

This research aimed on I) solves a problem II) support entrepreneur and III) study the application of a two-phase closed thermosyphon (TPCT) in a double layer pot for mixing Thai dessert (TPTD). The TPTD has improved temperature distribution and reduced LPG consumption. Taro root Thai custard dessert recipe (Khanom Mor Kaeng) was selected for this study. A pot the size of 500 mm × 300 mm (diameter × height) was installed with a 16 tubes thermosyphon made up of a 304 stainless steel (AISI 304) tube with 25.40 mm ID. The lengths of the evaporator and condenser sections were 100 mm and 250 mm, respectively. Water was used as the working fluids at a filling ratio of 80% with respect to the evaporator section volume. Experimental data showed that the TPTD gave the lower standard deviation ± 0.021 with accordingly R^2 of 0.90. Consequently, the LPG consumption could be reduced by 3.40 kg/unit. The TPTD using water as the working fluid appeared to have a uniform temperature. Furthermore, the quality of the colour measurement and consideration of texture of the taro root Thai custard dessert recipe exceeded manufacturing standards.

Keywords: Thermosyphon, Double layer pot and Taro root Thai custard dessert

[1] Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering of Industry, Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut'sUniversity of Technology North BangkokPrachinburi Campus

[*] Corresponding Author Tel. 08-4405-5248 e-mail: nipon.b@fitm.kmutnb.ac.th

_18-0086(030-036)4.indd 31 1/29/61 BE 11:40 AM

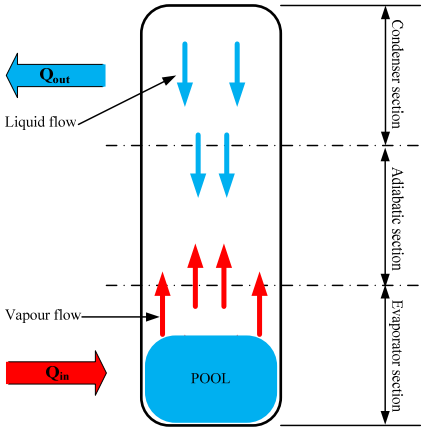
1. บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงครึ่งปีหลังของปี 2552 อันเป็นผลมาจากสภาวะการฟื้นตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ และส่งผลให้การใช้พลังงานของประเทศไทยในเดือนมกราคม 2553 มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนโดยพบว่า การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด โดยรวมเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 2.60 คิดเป็นมูลค่าการใช้พลังงาน 104,637 ล้านบาท มีการผลิตพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.10 การนำเข้าพลังงานมีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.80 การส่งออกพลังงานมีปริมาณลดลง เนื่องจากมีการใช้ในประเทศเพิ่มขึ้นโดยลดลง ร้อยละ 10.00 และในภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการพลังงานมากเป็นอันดับสองรองจากคมนาคมขนส่ง โดยในช่วงปี 2550 – 2554 มีอัตราเพิ่มเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 5.10 [1] ดังนั้นหากมีความเป็นไปได้ถ้าภาคอุตสาหกรรมสามารถลดการใช้พลังงานในการผลิตลงได้ ก็จะเป็นส่วนช่วยให้ประเทศมีการใช้พลังงานลดลง และส่งผลให้การนำเข้าพลังงานมีปริมาณลดลงเช่นกัน แล้วยังส่งผลไปยังต้นทุนในการผลิตที่จะลดลงด้วย ทำให้มีการคิดค้นหาวิธีที่จะมาช่วยภาคอุตสาหกรรมในการลดการใช้พลังงานขึ้น

ในปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการแปรรูปพืชผักและผลไม้ บรรจุผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน โดยเฉพาะในส่วนกระบวนการผลิตขนมหวาน ที่ใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการผลิตขนมหม้อแกง เนื่องจากหม้อกวนขนมหม้อแกงมีการให้ความร้อนที่ก้นหม้อทำให้อุณหภูมิภายในบริเวณก้นหม้อนั้นสูงกว่าบริเวณตรงกลาง และด้านบนมาก อุณหภูมิภายในหม้อกวนไม่สม่ำเสมอ ทำให้ใช้เวลานานกวนขนมหวานทำให้สีของขนมเปลี่ยนไปจากความต้องการเนื่องจากเกิดการไหม้ของน้ำตาลด้านล่างก้นหม้อกวน และยิ่งไปกว่านั้นราคาของแก๊สหุงต้มมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นทำให้ต้นทุนในการผลิตก็เพิ่มขึ้น หากเราสามารถลดการใช้แก๊สหุงต้มลงได้ก็จะทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้

จากปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงการประยุกต์ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนกับหม้อกวนขนมแบบสองชั้นโดยใช้ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนในการช่วยกระจายความร้อน ให้มีความสม่ำเสมอกับหม้อกวนขนมหม้อแกง ใช้เวลาการกวนขนมหม้อแกงน้อยลง สีของขนมหม้อแกงมีความสม่ำเสมอและยังสามารถช่วยลดการใช้แก๊สหุงต้มทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงได้อีกทางหนึ่ง

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยอาศัยกระบวนการระเหยและควบแน่นของสารทำงานและอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการดึงเอาของเหลวควบแน่นจากปลายด้านเย็นกลับมาสู่ปลายด้านร้อน ท่อเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่รับความร้อนเรียกว่า ส่วนทำระเหย (Evaporator section) รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนแล้วทำให้สารทำงานที่อยู่ภายในระเหยกลายเป็นไอ ส่วนอะเดียแบติก (Adiabatic section) เป็นส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ซึ่งบางทีอาจจะไม่มีส่วนนี้ก็ได้ ส่วนคายความร้อนหรือเรียกว่าส่วนควบแน่น (Condenser section) เป็นส่วนที่สารทำงานที่ได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหยเป็นไอมาคายความร้อนให้แหล่งรับความร้อนแล้วกลั่นตัวเป็นของเหลวอาศัยตัวกลางในการพาความร้อนคือสารทำงาน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอน

โดยการทำงานของท่อความร้อนนั้นไม่ต้องอาศัยแรงภายนอกมากระทำ [2, 3] Paramethanuwat และคณะ [4] ทำการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนเพื่อประหยัดพลังงานและช่วยในเรื่องของสีของไส้กรอกปลามีความสม่ำเสมอ โดยติดตั้งในเตาอบรมควันไส้กรอกปลาใช้เทอร์โมไซฟอนทั้งหมด 30 แท่งติดตั้งภายในห้องอบจากการทดสอบพบว่าสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกปลาที่ได้มีสีที่สม่ำเสมอ

กว่าเตาอบที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนและนอกจากนั้นยังช่วยให้ระหยัดเวลาในการอุ่นเตาอบรมควันส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอีกด้วย นิพนธ์และคณะ [5] ได้ประยุกต์ใช้ท่อเทอร์โมไซฟอนในกระบวนการอบไก่ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานจากถ่านอัดแท่งและยังสามารถช่วยกระจายความร้อนให้สม่ำเสมอ ส่งผลให้สีของไก่ที่อบสม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดปัญหาการไหม้เกรียมของไก่ และที่ได้คุณภาพของไก่อบ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างหม้อกวนขนมหม้อแกงที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

2.2 เพื่อทราบถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหม้อกวนขนมหม้อแกงก่อนและหลังการติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

2.3 เพื่อทราบถึงข้อมูลเชิงคุณภาพ ของสีขนมหม้อแกงที่ผ่านการกวนด้วยหม้อกวนขนมหม้อแกงที่ติดตั้งและไม่ได้ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบจำนวนท่อความร้อนท่อเทอร์โมไซฟอน อัตราการถ่ายเทความร้อน ของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนและการถ่ายเทความร้อน ที่ส่วนควบแน่นสามารถคำนวณได้จาก สมการ ของ ESDU No. 81038 (1983) ดังต่อไปนี้ [4, 6]

$$Q_{\max} = (\overset{g}{m} C_p)_{\min} \Delta T_{\max} \qquad (1)$$

การออกแบบจำนวนท่อความร้อนท่อเทอร์โมไซฟอนสามารถคำนวณหาได้โดย

$$Q_{\text{theorical}} = \frac{\Delta T}{Z_{\text{total}}} \qquad (2)$$

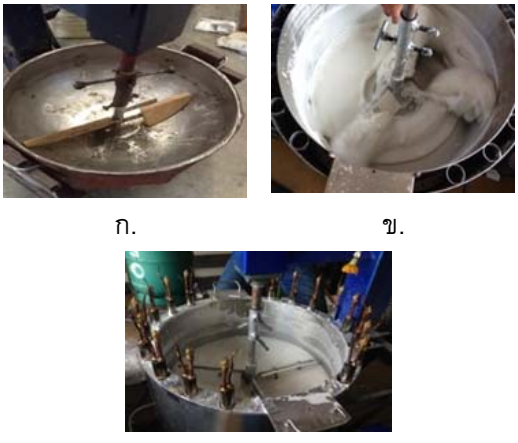
เมื่อ $Q_{\text{theorical}}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางทฤษฎี

Z_{total} = ค่าความต้านทานความร้อนรวมในวงจรไฟฟ้าสมมูล

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วนระเหยกับส่วนควบแน่น

ซึ่งท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.40 มิลลิเมตรทำมาจากท่อเหล็กไร้สนิมมาตรฐาน (AISI 304) โดยอ้างอิงขนาดเทอร์โมไซฟอน ที่มีการประยุกต์ใช้งานของ Parametthanuwat และคณะ [4] และและการคำนวณจำนวนเทอร์โมไซฟอน จาก Anon และคณะ [6] ซึ่งจะได้จำนวนเทอร์โมไซฟอน 16 ท่อ จากนั้นกำหนดความยาวในส่วนที่ทำระเหย 100 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะรับความร้อนจากเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี และความยาวในส่วนที่เกิดการควบแน่น 250 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะระบายความร้อน และเป็นส่วนสูงของหม้อกวนสองชั้น ที่นำเทอร์โมไซฟอนเข้ามาช่วยในการกระจายความร้อน เติมน้ำเป็นสารทำงานร้อยละ 80 ของปริมาตรส่วนทำระเหย Parametthanuwat และคณะ [4]

3.2 วิเคราะห์ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของหม้อกวนขนม โดยการติดตั้งเทอร์โมคัปปิ้ล (OMEGA with ±0.1℃ accuracy) 5 ตำแหน่ง เพื่อทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในหม้อกวนขนมหม้อแกงทั้งสามแบบ ดังรูปที่ 2 ได้แก่ ก. หม้อกวนขนมที่ผู้ประกอบการใช้อยู่ในปัจจุบัน ข. หม้อกวนขนมหม้อแกงสองชั้นที่ยังไม่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน ค. หม้อกวนขนมหม้อแกงสองชั้นที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล(Yokogawa DX200 with ±0.1℃ accuracy, 20 channel input and -200℃ to 1,100℃)



ก. ข.

ค.

รูปที่ 2 หม้อกวนขนมหม้อแกงทั้งสามแบบ

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพสีของขนมหม้อแกงด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Chroma meter CR-300) โดยการวัดค่าสี L* a*และ b* แล้วหาค่าความแตกต่างสีทั้งหมด ΔE^* (ผลรวมของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากวัตถุสีเดิม) จากค่า ΔL^* (ผลรวมค่าความสว่างของวัตถุที่

เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม) Δ a* (ผลรวมค่าสีความเขียวและสีแดงของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม) และ Δ b* (ผลรวมค่าสีความเหลืองและสีน้ำเงินของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม)โดย Δ E* เป็นค่าบ่งบอกความพึงพอใจที่สามารถสังเกตุได้ด้วยตาเปล่า และใช้การตัดสินใจ/ความพึงพอใจของผู้บริโภค ที่หาได้จากขนมหม้อแกงหลังจากกระบวนการกวนเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว

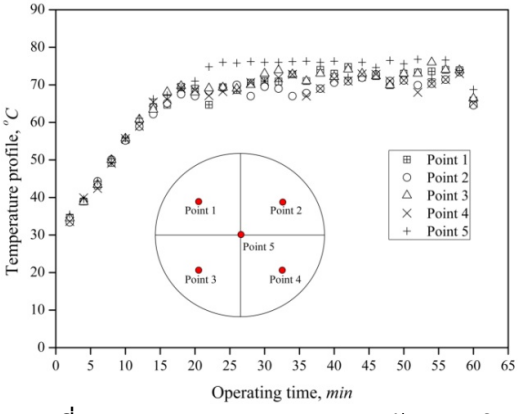
$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\right]^{0.5} \qquad (3)$$

3.4 การวัดอัตราการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง

พลังงานสิ้นเปลืองจากการกวนขนมหม้อแกงเผือก โดยเริ่มวัดจากการให้ความร้อนไปยังหม้อกวน จนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดเดือดเข้ากันได้ดี โดยใช้เวลาในการกวน จนกระทั่งขนมหม้อแกงเผือกสุก ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อการกวน 1 ครั้ง โดยหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจาก จากการชั่งน้ำหนักของถังแก๊ส LPG เพื่อหาอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่อครั้งการกวน จากนั้น นำอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง/วิจัย มาเปรียบข้อมูลเชิงตัวเอลสำหรับหาอัตราการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง

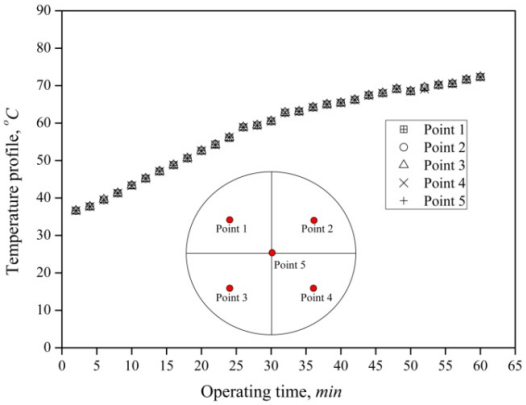
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการกระจายอุณหภูมิของหม้อกวนขนมทั้งสามแบบ



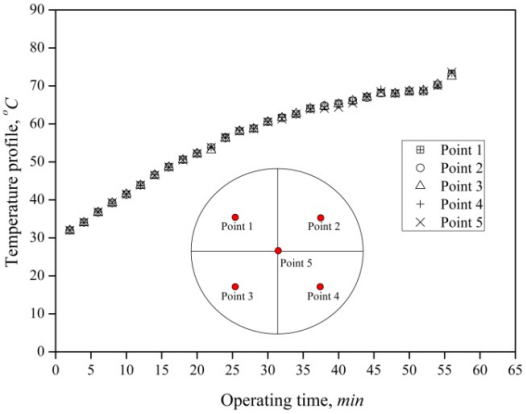
รูปที่ 3 กราฟการทดสอบการกระจายตัวอุณหภูมิหม้อกวนขนมหม้อแกงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

รูปที่ 3 ผลการทดสอบการกระจายอุณหภูมิที่หม้อกวนนั้น จะเห็นได้ว่าหม้อกวนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นอุณหภูมิในแต่ละจุด มีความแตกต่างกัน เกิดจากพื้นที่ผิวก้นหม้อที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไม่มีความสม่ำเสมอมีลอยบุบรอยเชื่อมที่ไม่ได้มาตรฐาน เป็นเหตุให้การกระจายตัวของความร้อนในแต่ละจุดมีความแตกต่างกัน ทำให้ขนมได้รับความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีผลต่อคุณภาพสีของขนม



รูปที่ 4 กราฟการทดสอบการกระจายตัวอุณหภูมิหม้อกวนขนมหม้อแกงสองชั้นที่ยังไม่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

รูปที่ 4 ผลการทดสอบการกระจายอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่หม้อกวนทำได้แต่ละจุดใกล้เคียงกัน เวลาที่ใช้ในการกวนส่วนผสมประมาณ 62 นาที มีความใกล้เคียงกับหม้อกวนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคุณภาพสีเป็นไปตามที่ต้องการของผู้ประกอบการ เนื่องจากหม้อถูกออกแบบให้สามารถใส่น้ำลงไปในช่องระหว่างกลางได้ ทำให้ส่วนผสมที่ทำการกวนนั้น ได้รับความร้อนผ่านน้ำที่เป็นตัวกลางไม่สัมผัสเปลวไฟโดยตรง จึงทำให้สามารถควบคุมคุณภาพของขนมได้ดีกว่าหม้อกวนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 5 กราฟการทดสอบการกระจายตัวอุณหภูมิหม้อกวนขนมหม้อแกงสองชั้นที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน

จากรูปที่ 3-5 เป็นการทดสอบการกระจายตัวอุณหภูมิหม้อกวนขนม โดยทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลจำนวน 5 จุดบริเวณก้นหม้อทั้งสามชนิด หม้อที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน หม้อกวนที่พัฒนาแล้วแต่ยังไม่ติดท่อเทอร์โมไซฟอน และหม้อกวนที่พัฒนาแล้วติดท่อเทอร์โมไซฟอน ตามลำดับ

รูปที่ 5 ผลการทดสอบการกระจายอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่หม้อกวนทำได้แต่ละจุดใกล้เคียงกัน เวลาที่ใช้ในการกวนส่วนผสมลดลงน้อยกว่า 60 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบกับหม้อสองแบบแรก เนื่องจากติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิของหม้อดีขึ้นคุณภาพสีของส่วนผสมที่กวนเป็นไปตามที่ต้องการของผู้ประกอบการ อีกทั้งหม้อที่ทำการติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนนั้นยังสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้จากการใช้เวลาในการกวนส่วนผสมที่ลดลง

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพสีของขนมหม้อแกง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยสีของขนมหม้อแกง

กระบวนการ	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
หม้อกวนแบบไม่ใส่เทอร์โมไซฟอน	$47.45^{ab} \pm 0.28$	$11.42^{a} \pm 0.42$	$35.45^{a} \pm 0.42$	$16.15^{a} \pm 0.12$
หม้อกวนแบบใส่เทอร์โมไซฟอน	$44.88^{a} \pm 0.13$	$13.21^{a} \pm 0.03$	$37.34^{a} \pm 0.09$	$17.53^{a} \pm 0.73$
หม้อกวนที่ใช้ในปัจจุบัน	$46.48^{a} \pm 0.22$	$14.23^{ab} \pm 0.12$	$33.96^{a} \pm 0.18$	$20.97^{a} \pm 0.14$
ก่อนกวน	57.27^{ab}	6.44^{a}	18.81^{a}	-

^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมม์เดียวกัน หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95%

ผลของคุณภาพของขนมหม้อแกงเผือก เมื่อนำไปวัดค่าสีพบว่า ความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*) ของขนมหม้อแกงเผือก ที่ผ่านการอบมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสีหลักของขนมหม้อแกงเผือก ที่ผ่านการอบในแต่ละแบบหม้อกวนที่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน คุณภาพสีหลักจัดอยู่ในสีน้ำตาลทอง ร่วมกับโทนเทาของเนื้อเผือก เมื่อเปรียบเทียบกับหม้อที่ไม่ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอน พบว่า คุณภาพสีหลักมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยใช้ขนมหม้อแกงเผือกที่ผ่านการกวน และอบโดยผู้ประกอบการทั้งสามเงื่อนไข เพื่อเป็นฐานในการเปรียบเทียบ ดูความแตกต่างของค่าสีรวม (ΔE^*) ของขนมหม้อแกงเผือก เห็นได้ว่าเมื่อเปรียบหม้อกวนสองชั้นที่มีการติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนให้ค่าความแตกต่างของค่าสีรวม (ΔE^*) ใกล้เคียงกับหม้อกวนที่ไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน และให้ค่าความแตกต่างของค่าสีรวม (ΔE^*) อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับผู้ประกอบการ ดังแสดงตารางที่ 1 นั้นหมายถึงการให้ค่าของสีน้ำตาลทอง ร่วมกับโทนเทาของเนื้อเผือกใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีสอดคล้องกับการสังเกตด้วยตาเปล่าดังรูปที่ 6

ก. ข. ค.

รูปที่ 6 ตัวอย่างสีขนมหม้อเผือกที่ได้จาก กระบวนการศึกษา (ก) การกวนโดยผู้ประกอบการ (ข) การกวนโดยไม่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน (ค) การกวนโดยติดตั้งเทอร์โมไซฟอน

5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการทดลองพบว่าเมื่อติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนร่วมกับหม้อกวนขนมหม้อแกงนั้น การกระจายความร้อนของหม้อกวนขนมหม้อแกงมีความสม่ำเสมอมากกว่าหม้อกวนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของผู้ประกอบการซึ่งแสดงผลการทดสอบการกระจายตัวให้ค่าความคาดเคลื่อนต่ำสุด 0.021 ซึ่งสอดคล้องกับค่า R^2 คือ 0.9 (ค่าความเชื่อมั่นในการตัดสินใจ/ค่าเบี่ยงเบนเพื่อใช้ในการตัดสินใจค่าสูงสุด คือ R^2 คือ 1 หมายถึงน่าเชื่อถือ 100%) อีกทั้งยังสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง 3.4 kg/unit (โดยการวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ก่อนและหลังการใช้หม้อกวนสองชั้นติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ภายใต้ปริมาณการทำขนมหม้อแกงต่อครั้งที่เท่ากัน) ค่าสีของขนมหม้อแกงมีความสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Paramethanuwat และคณะ [4] เมื่อนำท่อเทอร์โมไซฟอนไฟติดตั้งภายในเตาอบสีของไส้กรอกปลามีสีที่สม่ำเสมอกว่าเตาอบที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอนและยังสามารถช่วยให้ประหยัดเวลาในการอุ่นเตาอบรมควันส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิงในกระบวนการอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากทุนสนับสนุนนักวิจัยรุ่นใหม่ สัญญาเลขที่ KMUTNB-GEN-56-32 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7.เอกสารอ้างอิง

[1] EPPO, Energy Policy and Planning office. (2011). Energy Policy and Planning Magazine : Bangkok. Vol. 54 : 70 – 89. (in Thai)

[2] Lock, G.S.H. (1992). The tubular thermosyphon variations on a theme. ed. 1st. New York : United State: Oxford University Press.

[3] Ristoiu, D., et al. (2003). Experimental investigation of inclination angle on heat transfer characteristics of closed two-phase thermosyphon. 5th General Conference of the Balkan Physical. August 25-29 : Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro. (1643 – 1646).

[4] Parametthanuwat, T., S. Rittidech, and K. Booddachan. (2010). "Thermosyphon installation for energy thrift in a smoked fish sausage oven (TISO)." Energy. Vol. 35 No. 7 : 2836-2842.

[5] Bhuwakietkumjohn, N., Parametthanuwat, T. and Saengprapaitip, M. (2016). Design of Chicken Baking Drum with Charcoal Fuel for Household. 15th Heat and Mass transfer in thermal equipment and process Conference : Al's Resort Hotel, Koh Samui, Suratthani. (115 – 120). (in Thai)

[6] Anon et al. (1980). Heat pipes-general information on their use, operation and design, Data Item No. 80013. London : Engineering Sciences Data Unit.