

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

THERMAL EFFICIENCY IMPROVEMENT OF PLANETARY
OIL JACKETED BAKERY CUSTARD COOKER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

THERMAL EFFICIENCY IMPROVEMENT OF PLANETARY
OIL JACKETED BAKERY CUSTARD COOKER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL EFFICIENCY IMPROVEMENT OF PLANETARY
OIL JACKETED BAKERY CUSTARD COOKER



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'T INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

นายกฤษณะ	ชูประยูร	รหัสนักศึกษา 58010048
นางสาวกวีศรา	เวชวิกุล	รหัสนักศึกษา 58010052
นางสาวณัฐนันท์	รุจิระพรวิทย์	รหัสนักศึกษา 58010397

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่		
นักศึกษา	นายกฤษณะ ชูประยูร	รหัสนักศึกษา	58010048
	นางสาวกวีศรา เวชวิกุล	รหัสนักศึกษา	58010052
	นางสาวณัฐนันท์ รุจิระพรวิทย์	รหัสนักศึกษา	58010397
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร		
ปีการศึกษา	2561		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรมซึ่งใช้เตาแก๊สความดันสูงเป็นแหล่งให้ความร้อน ด้วยการติดตั้งครีบบเพื่อเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อน ทำการศึกษาแบบจำลองและคำนวณด้วยค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบ นำมาออกแบบ จำนวนครีบบและขนาดครีบบ ทำการทดลองเบื้องต้นกับชุดทดลองขนาดเล็กที่มีรูปแบบเหมือนกับเครื่องจักรขนาดใช้งานจริง วัดอัตราการถ่ายเทความร้อนก่อนและหลังปรับปรุงด้วยการติดครีบบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน กับผลิตภัณฑ์สองชนิดคือ น้ำบริสุทธ์ และไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิง พบว่าหลังจกติดครีบบจำนวน 30 ครีบบที่พื้นผิวสัมผัสแก๊สร้อน จะใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่กระบวนการน้อยลง อุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น 17.30% และ 16.83% อุณหภูมิแก๊สทิ้งต่ำลง 13.40% และ 25.72% เมื่อเทียบกับไม่ติดครีบบ สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ชั้นน้ำมัน 66.67% และ 67.67% และชั้นผลิตภัณฑ์ 44.44% และ 27.78% ของน้ำบริสุทธ์และไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ตามลำดับเมื่อเทียบกับก่อนติดครีบบ ผลประหยดที่เกิดขึ้นได้รับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ด้วย

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน, เพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนด้วยครีบบ, ครีบบ

Thesis	thermal efficiency improvement of planetary oil jacketed bakery custard cooker
Student	Mr.Klitsana Chooprayoon Student ID : 58010048 Miss.Kawisara Wetwikun Student ID : 58010052 Miss.Nutthanan Ruchirapornwit Student ID : 58010397
Project Advisor	Assistant Professor Dr.Kiattisak Roonprasang
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food engineering
Academic Year	2018

ABSTRACT

The research objective is increasing the energy efficiency of a cooking mixer in an industry which uses high-pressure gas Brunner as a source of heat by installation of fins to increase heat transfer area. Study on the model and calculated with the thermal properties of materials to design a number of fins and fin size. Experimenting with a set of experiments that have similar pattern as actual machine. Measuring before and after performance improvement and analysis of heat transfer performance with two kinds of products are water and bakery filling. Controlled the fuel feed rate found after mounting 30 fins on the surface contact hot gas take less time to heat and increase oil temperature 17.30% and 16.83% decrease exhaust gas temperature 13.40% and 25.72% compare without the fins. enhance heat transfer 66.67% and 67.67% at oil layer 44.44% and 27.78% at product layer in pure water and bakery filling respectively. The cost saving is analyzed in this research.

Keyword : Heat transfer ; Increase heat transfer area by fins ; Fins

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษาสำหรับการให้คำปรึกษาช่วยเหลือแนะนำในการทำปฏิญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาต่างๆ ซึ่งได้นำมาประกอบในการทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคุณอำนาจ คุณตะคุ ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการติดตั้งเครื่องมือวัด และการจัดทำชุดหม้อทดลอง ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปฏิญานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณผู้ประกอบการสนับสนุนทุนการวิจัยโครงการ บริษัท ซีพีแรม จำกัด สำหรับการสนับสนุนเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรมในการทดลอง สนับสนุนถ่ายวัตถุดิบและข้อมูลต่างๆในการทำปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง รวมทั้ง เพื่อน พี่ และน้อง ทุกคนที่คอยให้กำลังใจในการสนับสนุนและช่วยเหลือพวกเรา คณะวิจัยขอมอบคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ให้กับ บิดา มารดา ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่พวกเรา และขอให้ทุกท่านจงมีแต่ความสุขตลอดไป

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

นายกฤษณะ

ชูประยูร

นางสาวกวีตรา

เวชวิกุล

นางสาวณัฐนันท์

รุจิระพรวิทย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 การเผาไหม้	3
2.2 แก๊สปิโตรเลียมเหลว	4
2.3 อุณหภูมิเปลวไฟ	4
2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การวัด	5
2.4.1 เครื่องมือปรับความดันก๊าซ	5
2.4.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหล	5
2.4.3 เทอร์โมคัปเปิล	6
2.4.4 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปีโตต์	6
2.4.5 บอลวาล์ว	7
2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 ทฤษฎี และหลักการออกแบบ	9
3.1 การถ่ายเทความร้อน	9
3.1.1 การนำความร้อน	9
3.1.2 การพาความร้อน	9
3.1.3 การแผ่รังสีความร้อน	10
3.2 กฎการไม่สูญหายของพลังงาน	10
3.3 การเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน	10
3.4 การประยุกต์วิธีการคำนวณเพื่อใช้ในโครงการวิจัย	12
3.5 ความร้อนเหลือทิ้ง	13
3.5.1 คุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง	13
3.5.2 การคำนวณปริมาณของความร้อนเหลือทิ้ง	13
3.6 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง	13
3.6.1 ค่าความร้อนสูง	13
3.6.2 ค่าความร้อนต่ำ	14
3.7 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์	14
3.7.1 ความร้อนสัมผัส	14
3.7.2 ความร้อนแฝงของการระเหย	15
บทที่ 4 แผนการทดลองและวิธีการทดลอง	16
4.1 แผนการทดลอง	16
4.2 วิธีการทดลอง	18
4.2.1 การทดลองที่ 1	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 การทดลองที่ 2	19
4.2.3 การทดลองที่ 3	24
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	27
5.1 ผลการทดลอง	27
5.1.1 ส่วนที่ 1	27
5.1.2 ส่วนที่ 2	29
5.1.3 ส่วนที่ 3	31
5.1.4 ส่วนที่ 4	38
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	40
6.1 สรุปผลการวิจัย	40
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง	40
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	42

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
2.1 เตาเผาที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์	3
2.2 อุณหภูมิแต่ละช่วงสีของเปลวไฟ	4
2.3 ลักษณะโครงสร้างของโรตารีเตอร์และทิศทางการไหลของของไหล	5
2.4 การวัดการไหลด้วยเครื่องมือวัดการไหลชนิดท่อปีโตต์	6
3.1 ลักษณะของครีบบนสำหรับการถ่ายเทความร้อน	11
3.2 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนของหม้อกวนไส้	12
4.1 ฟังแสดงส่วนการทดลอง	16
4.2 ฟังแสดงแผนการทำงานวิจัย	17
4.3 ก. หม้อทดลองไม่ติดครีบบน	18
4.3 ข. หม้อทดลองติดครีบบนด้านใน	18
4.3 ค. หม้อทดลองติดครีบบนด้านนอก	18
4.4 จุดวัดอุณหภูมิในการทดลอง	19
4.5 อุปกรณ์ และชุดทดลองกระบวนการให้ความร้อน	19
4.6 วัดอุณหภูมิ 4 จุด คือ แก๊สร้อน น้ำมัน ผลิตภัณฑ์ และอากาศ	20
4.7 pitotube manometer Testo 435 Series	21
4.8 ก. ดาต้าล็อกเกอร์ wisco AI20	21
4.8 ข. เทอร์โมคัปเปิล Type k	21
4.9 แผนการติดตั้งเครื่องมือการทดลอง	22
4.10 การติดตั้งเครื่องมือการทดลอง	22
4.11 ให้ความร้อนแก่หม้อทดลอง	22
4.12 ผสมวัตถุดิบไส้ขนมในหม้อทดลอง	23
4.13 กวนส่วนผสมให้เข้ากัน และป้องกันการไหม้ติดขอบหม้อ	23

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
4.14 ใช้ pitotube manometer วัดความดันต่างของหม้อทอด	23
4.15 ชั่งน้ำหนักแก๊สที่ใช้ต่อหนึ่งกระบวนการ	24
4.16 การให้ความร้อนแก่เครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่	24
4.17 นำส่วนผสมวัตถุดิบเทลงยังเครื่องกวนไส้	25
4.18 เปิดใบกวนเพื่อกวนไส้ขนม	25
4.19 จุดวัดอุณหภูมิทั้ง 4 จุดของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่	25
4.20 ใช้ pitotube manometer วัดความดันต่างของเครื่องกวนไส้	26
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของน้ำที่ได้รับความร้อนในหม้อทอดแต่ละแบบ	27
5.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวน และความสูงของครีป	29
5.3 กราฟระหว่างอุณหภูมิน้ำมันเริ่มต้น และเวลาที่ชั้นน้ำมันของผลิตภัณฑ์น้ำ	31
5.4 กราฟระหว่างอุณหภูมิน้ำมันเริ่มต้น และเวลาที่ชั้นน้ำมันของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพด	32
5.5 กราฟระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของน้ำ	32
5.6 กราฟระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพด	33
5.7 กราฟระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเหลือทิ้ง และเวลาของน้ำ	33
5.8 กราฟระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเหลือทิ้ง และเวลาของไส้ขนมพายข้าวโพด	34
5.9 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนก่อนติดครีปของน้ำ	34
5.10 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนหลังติดครีปของน้ำ	35
5.11 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนก่อนติดครีปของไส้ขนมพายข้าวโพด	35
5.12 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนหลังติดครีปของไส้ขนมพายข้าวโพด	36
5.13 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนของน้ำ	38
5.14 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนของไส้ขนมพายข้าวโพด	38

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 Typical Heating Value of Some Gaseous Fuels at 1 atm, 25 °C	14
5.1 ตารางเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยการใช้ความร้อนของหม้อทอดทั้ง 3 แบบ	28
5.2 รายละเอียดครีบบความหนา 0.1 เซนติเมตรสูง 1 เซนติเมตรที่จำนวนครีบใดๆ	30
5.3 รายละเอียดครีบบความหนา 0.1 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีบ ที่ความสูงครีบใดๆ	30
5.4 แก๊สที่ใช้ต่อหนึ่งกระบวนการของหม้อทอด	37
5.5 เวลาที่ใช้ในกระบวนการของหม้อทอด	37



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานในรูปแบบความร้อนได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างหลากหลาย ทั้งในกระบวนการแปรรูปอาหาร กระบวนการฆ่าเชื้อ รวมถึงกระบวนการทำความสะอาดวัตถุดิบ และเครื่องจักร ซึ่งกระบวนการผลิตให้ได้มาของความร้อนนี้ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ความร้อนจากถ่านหิน น้ำมันดิบ แก๊สธรรมชาติ ดังนั้นจึงควรใช้ความร้อนนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่เมื่อพิจารณาเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรม พบว่ามีปริมาณแก๊สร้อนเหลือทิ้งจากระบบปริมาณมาก และยังมีอุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิแก๊สที่เผาไหม้ แสดงว่าความร้อนส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกนำไปใช้มีเพียงความร้อนส่วนน้อยที่ถูกใช้ในกระบวนการ เป็นเหตุให้ใช้เชื้อเพลิงมากในการให้ความร้อนแก่ระบบ

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวนไส้ด้วยวิธีการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนเพื่อลดปริมาณแก๊สที่ใช้ จากการศึกษาสมการการถ่ายเทความร้อน ตัวแปรที่สามารถควบคุม คำนวณ และทดลองได้อย่างไม่ซับซ้อนคือพื้นที่สัมผัสความร้อน การปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสมี 2 วิธีคือการส่งของไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และการเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดครีป (Lienhard, 2008) เนื่องจากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องจักรในโรงงานซึ่งมีพื้นที่จำกัด จึงเลือกวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการถ่ายเทความร้อนด้วยครีป จากการศึกษาข้อมูลของหม้อจำลองเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อกวนไส้ขนมจะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่สภาวะคงที่ที่ใช้ในการอุ่นผลิตภัณฑ์ และปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากระบบส่วนใหญ่คือปริมาณความร้อนที่ให้กับอากาศเพื่อนำไปแลกเปลี่ยนความร้อน (จารุภัศ แสงผล, ชนะ สารสุวรรณ และพิชชาพร ประพินศรี, 2015) จึงคาดว่า การเพิ่มพื้นที่ด้วยครีปจะเพิ่มโอกาสให้อากาศร้อนสัมผัสกับหม้อเพิ่มขึ้น ความร้อนในอากาศถูกนำไปใช้มากขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศร้อนเหลือทิ้งลดลง และสามารถลดปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยครีปของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรม

1.2.2 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากครีปของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลอัตราการถ่ายเทความร้อนก่อนและหลังติดครีบกาวหม้อทอดล่องที่จำลองรูปแบบการถ่ายเทความร้อน และทำจากวัสดุเดียวกับเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่
- 1.3.2 ใช้น้ำและไส้ขนมพายข้าวโพดในการทดลองเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน
- 1.3.3 ทดลองโดยใช้รูปแบบการให้ความร้อนเหมือนกับเครื่องกวนไส้ระดับอุตสาหกรรม
- 1.3.4 ศึกษาเฉพาะครีบกาว

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น
- 1.4.2 สามารถลดการใช้พลังงานในการให้ความร้อนในกระบวนการ
- 1.4.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อติดครีบกาวจำนวน และความสูงต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

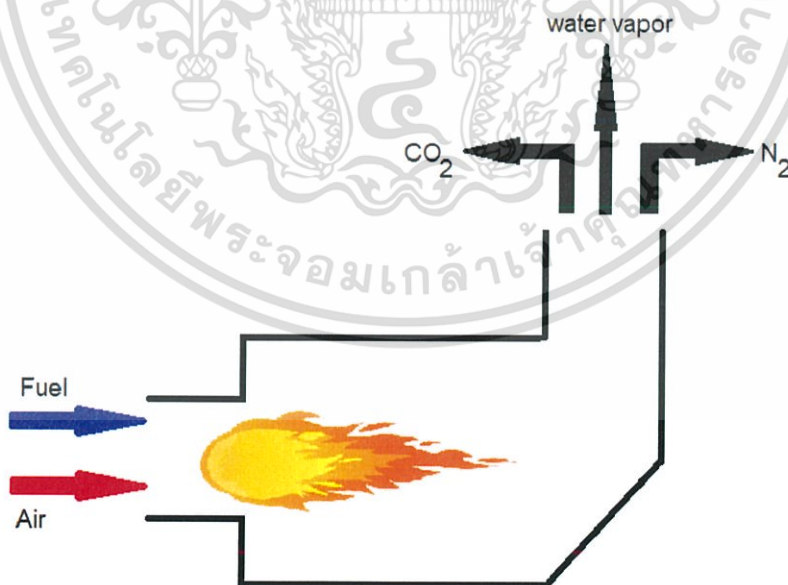
บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ในการวิเคราะห์ และออกแบบการวิจัย มีตัวแปรที่สำคัญสำหรับกระบวนการถ่ายเทความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ให้มีการนำพลังงานสูญเปล่ากลับมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น และเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อน จึงได้ทำการศึกษารวบรวมเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 การเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างองค์ประกอบที่เผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนพร้อมกับทำการปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะเดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้นการควบคุมการเผาไหม้ ให้สมบูรณ์จึงสำคัญมาก หากเผาไหม้ในสภาวะที่มีอากาศมากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และความร้อนที่ได้ลดลงจะต้องใช้ก๊าซเชื้อเพลิงในการทำปฏิกิริยาปริมาณมากตามไปด้วย



รูปที่ 2.1 เตาเผาที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

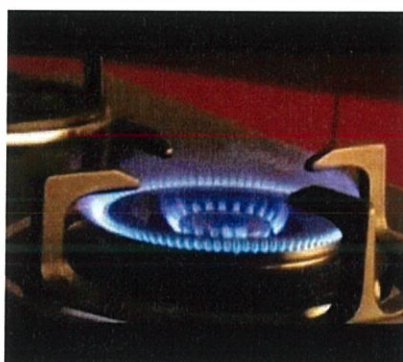
2.2 แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG)

ก๊าซ LPG หมายถึงก๊าซที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารไฮโดคาร์บอนพวกปิโตรเลียม ซึ่งอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิ และความดันปกติ แต่เมื่อเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิจะกลายเป็นของเหลวได้ง่าย ก๊าซมีอัตราการขยายตัวสูง การเติมก๊าซลงในภาชนะ จึงไม่ควรเติมเต็ม ควรเติมประมาณ 85% ของภาชนะ เพื่อให้มีช่องว่างไว้สำหรับขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน โดยทั่วไปก๊าซ LPG จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่เพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วไหลจึงต้องใส่สารเคมี Ethyl Mercaptan หรือ Thiophane ลงไปเพื่อให้มีกลิ่นฉุน ในสถานะที่เป็นก๊าซของก๊าซ LPG ก๊าซจะมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศเมื่อเกิดการรั่วไหล ก๊าซจะไหลไปรวมกันอยู่ที่ต่ำ และในสถานะของเหลวของก๊าซ LPG ก๊าซจะมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำ เมื่อเกิดการรั่วไหลลงในकुคลองหรือท่อ น้ำ ก๊าซจะลอยอยู่บนน้ำ โดยทั่วไปก๊าซ LPG จะเป็นก๊าซผสมระหว่างโพรเพน และบิวเทนในอัตราส่วน 70 : 30

ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่มักจะใช้เชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG ในการเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อน เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด สะดวกต่อการขนส่ง ไม่มีเขม่าติดไฟง่าย ให้เปลวไฟความร้อนสูง ซึ่งอุณหภูมิเปลวไฟจากการเผาไหม้แก๊ส LPG อยู่ที่ 1900 องศาเซลเซียส และมีมลพิษน้อย โดยปกติก๊าซไม่เป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง แต่ถ้ามีการหายใจเข้าสู่ปอดเป็นระยะเวลานานทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน เป็นอันตรายต่อชีวิตได้หากร่างกายขาดอากาศเป็นระยะเวลานาน และอาจเกิดพิษทางอ้อมจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊ส LPG ประกอบด้วยสามองค์ประกอบ คือ ก๊าซโพรเพน (Propane, C_3H_8) ก๊าซบิวเทน (Butane, C_4H_{10}) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ให้พลังงานความร้อนเมื่อเกิดการเผาไหม้ และสารที่มีกลิ่นเหม็นเรียกว่า เอทิลเมอร์แคปแทน (C_2H_5SH) คล้ายกลิ่นเหม็นของโชเน่า เพื่อเตือนภัยกรณีก๊าซรั่ว

2.3 อุณหภูมิและสีของเปลวไฟ

สีของเปลวไฟแต่ละสี จะให้อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.2 โดยที่สีของเปลวไฟสามารถบอกได้ถึงลักษณะการเผาไหม้ได้ด้วย เช่น เปลวไฟสีเหลือง เกิดจากอากาศเข้าน้อยเกินไป แก๊ซโดยการปรับเพิ่มช่องอากาศ หรือเปลวไฟสีแดง เกิดจากมีแก๊สมากเกินไป แก๊ซโดยการให้ลดที่วาล์วแก๊สลง เปลวไฟที่ดีควรเป็นเปลวไฟสีน้ำเงินจะให้ความร้อนที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.2 อุณหภูมิแต่ละช่วงสีของเปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การวัด

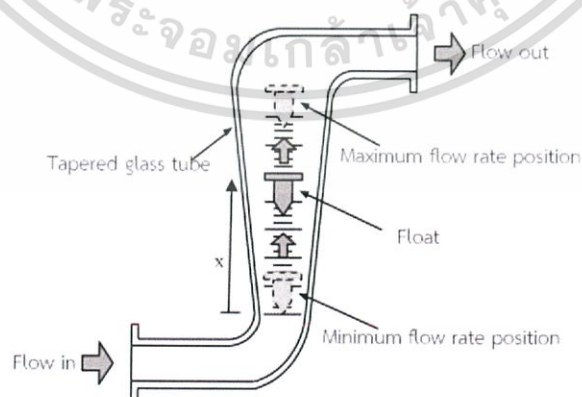
การเลือกใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดลองพิจารณาจาก ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ หรือเป็นไปตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีช่วงการวัด และมีลักษณะการทำงานที่เหมาะสม โดยเลือกใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวัดดังนี้

2.4.1 เครื่องมือปรับความดันก๊าซ (Pressure Regulator)

เป็นอุปกรณ์ลดแรงดัน (Regulator) ใช้ในการปรับลดความดันของแก๊สจากถังก่อนเข้าเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่แก๊สจะต้องผ่าน เพราะแก๊สทั่วไปในถังจะมีความดันสูง หลักการทำงานจะใช้ สปริง และแผ่นไดอะแฟรม ทำหน้าที่ทั้งในการปรับความดัน และควบคุมความดัน พร้อมกัน โดยการเลือกใช้เครื่องมือปรับความดันจะเลือกจากชนิดของแก๊ส และแรงดันที่ใช้งาน ซึ่งแก๊สที่ใช้งานในการทดลองคือแก๊ส LPG (liquefied petroleum gas) มีน้ำหนัก 15 กิโลกรัม และแรงดันภายในถังอยู่ที่ 6 บาร์ เป็นถึงขนาดทั่วไปใช้ตามครัวเรือน เพื่อสะดวกในการขนย้าย โดยแรงดันที่ใช้งานอยู่ที่ 1.5 บาร์ เครื่องมือปรับความดันที่เลือกใช้จะต้องมีช่วงตั้งแต่ 0 - 6 บาร์ และสามารถเข้ากับแก๊ส LPG ได้

2.4.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Rotameter)

เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหลทั้งของเหลว และก๊าซ โดยโครงสร้างทั่วไปของโรตاميเตอร์ประกอบด้วยท่อแก้วใสลักษณะเป็นรูปทรงกรวยวางตัวอยู่ในแนวตั้ง ภายในมีลูกลอย (Float) ที่สามารถเลื่อนขึ้นเลื่อนลงได้อย่างอิสระตามค่าอัตราการไหลของของไหล ดังรูปที่ 2.3 โดยทั่วไปลูกลอยทำจากทองเหลือง สแตนเลส หรือพลาสติกชนิดพิเศษ ลูกลอยที่อยู่ภายในโรตاميเตอร์มีหลายรูปทรง มีจุดอ่านค่าแสดงไว้บนลูกลอย ออกแบบตามคุณสมบัติของไหลที่ต้องการวัดการไหลและย่านการวัดอัตราการไหล โดยโรตاميเตอร์ที่นำมาใช้งานเป็นลูกลอยแบบทรงกลมเพราะสำหรับการวัดอัตราการไหลในย่านความเร็วต่ำ และเลือกช่วงการใช้งานที่เหมาะสมกับการทดลองโดยได้ทำการเลือกโรตاميเตอร์ช่วงอัตราการไหลที่ 0 - 5 ลิตรต่อนาที มาใช้ในการทดลองนี้



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของโรตاميเตอร์และทิศทางการไหลของของไหล

(ที่มา : นวกัฑรา และ ทวีพล, 2555)

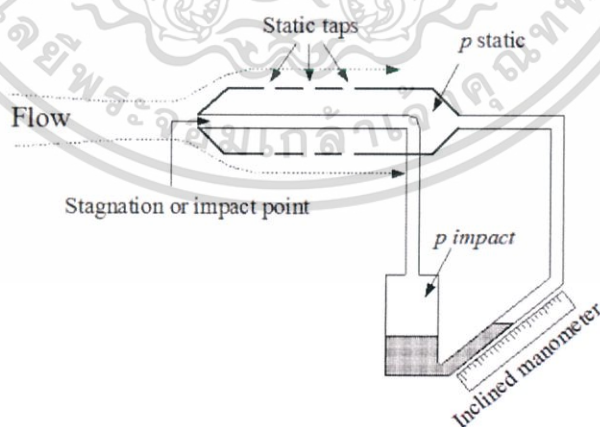
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้า จัดเป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทแอคทีฟ สามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุดโดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งพลังงานภายนอก เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้โดยตรงในรูปของเครื่องมือวัดหรือการส่งสัญญาณทางด้าน output ให้กับระบบควบคุม โดยเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล Type k เพราะเป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1300 องศาเซลเซียส และทนอุณหภูมิต่ำได้ถึง -250 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่นให้แรงดันทางด้าน output สูง สามารถใช้กับการแผ่รังสีความร้อนได้

2.4.4 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปีโตต์ (Pitot tube)

เป็นเครื่องมือวัดการไหล ที่มีลักษณะเป็นโพรบตรงกระบอกใช้สำหรับวัดการไหลของของไหล จะต้องใช้ร่วมกับ Manometer หรือเครื่องวัดความดันแตกต่างกัน โดยนำปลายของ Pitot tube หนึ่งเข้าปะทะกับแรงลม และอีกด้านของ Pitot tube นั้นจะต่อสายเข้ากับเครื่องวัดความดันแตกต่างกัน เพื่อหาค่าความดันที่เกิดขึ้นและคำนวณเป็นความเร็วลม โดยอาศัยหลักการแปลงความดันเชิงความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันกระทบ (Impact pressure, P_{imp}) หรือความดันที่จุดหยุดนิ่ง (Stagnation pressure) ท่อปีโตต์ประกอบด้วยท่อทรงกระบอกสองอันสวมกัน ดังรูปที่ 2.4 บริเวณปลายท่อที่อยู่ด้านในเป็นปลายเปิด ซึ่งเป็นจุดที่ของไหลกระทบกับปลายโพรบ ที่จุดนี้ของไหลมีความเร็วต่ำมากหรือใกล้เคียงศูนย์ (Stagnation point) ส่วนบริเวณปลายท่อด้านนอกเป็นปลายปิด และมีช่องเปิดที่ผนังท่อ 2 - 3 ช่อง เพื่อให้เกิดความดันสถิต (Static pressure) สามารถวัดความดันแตกต่าง ระหว่างความดันสถิตและความดันกระทบได้ด้วยเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง



รูปที่ 2.4 การวัดการไหลด้วยเครื่องมือวัดการไหลชนิดท่อปีโตต์
(ที่มา: นวภัทรา และ ทวีพล, 2555)

ค่าความดันแตกต่างที่วัดได้สามารถนำมาใช้คำนวณหาความเร็วของไหล โดยใช้ทฤษฎีของเบอร์นูลลี ดังสมการที่ 2.1

$$v = \sqrt{\frac{2(p_{imp} - p_{stat})}{\rho}} \quad (2.1)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของของไหล
 p_{stat} คือ ความดันสถิตภายในท่อ
 p_{imp} คือ ความดันกระทบหรือความดันที่จุดหยุดนิ่ง

2.4.5 บอลวาล์ว (ball valve)

วาล์วที่มีตัวปิดเปิด (disc) เป็นทรงกลม ซึ่งจะมีรูตรงกลางเพื่อให้ของไหลไหลผ่าน ส่วนด้ามจับจะบ่งบอกว่าวาล์วกำลังเปิด หรือปิด บอลวาล์วมีความคงทน สามารถทนแรงดันสูงและอุณหภูมิสูงได้ โดยเลือกใช้บอลวาล์วเพราะบอลวาล์วเหมาะสำหรับไลน์ท่อแก๊ส LPG ตั้งแต่ร้านอาหาร โรงงานที่ใช้ LPG ไปจนถึงงานปั๊มแก๊ส โรงบรรจุ และรถขนส่งแก๊ส

2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้มีการศึกษามากมายยุคหลายสมัย เพื่อใช้ในการตอบคำถามหรือทำนายในสิ่งที่สนใจอยู่ ไม่ว่าจะเป็นในด้านวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ ทางด้านวิศวกรรม ทางด้านแพทย์ หรือแม้แต่ด้านเศรษฐศาสตร์ และสังคมศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวแปร ที่มีความสัมพันธ์ได้ในรูปร่างง่าย มีการกำหนดตัวแปรให้มีความหมายที่สอดคล้องกับความเป็นจริงเพื่อใช้อธิบายสิ่งที่กำลังศึกษา ในงานวิจัยนี้จึงได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางทฤษฎี เพื่อใช้ในการศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของครีป โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองมาเปรียบเทียบเพื่อพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปทำการเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนของครีปได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Elnaggar (2015) ได้ศึกษาการเพิ่มการระบายความร้อนด้วยครีปในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนครีป และความหนาของครีปว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพอย่างไร ซึ่งได้ผลสรุปว่าการเพิ่มจำนวนครีปนั้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าเนื่องจากเมื่อเพิ่มความหนาของครีปส่งผลให้ระยะห่างของครีปแต่ละครีปลดลงป้องกันการไหลของของไหลที่ต้องการไหลผ่านบริเวณข้างครีป จากบทความดังกล่าว สามารถนำการออกแบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบครีปสำหรับหม้อกวนไส้สังขยาในอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lienhard (2008) ศึกษาสมการ และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ที่นำมาใช้ในการคำนวณในปริยญาพันธ์ รวมถึงศึกษารูปแบบให้การถ่ายเทความร้อน จากการศึกษาสมการ การถ่ายเทความร้อน ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้สามารถคำนวณ และทดลองได้อย่างไม่ซับซ้อน คือ พื้นที่สัมผัสความร้อน การปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส มี 2 วิธี คือการส่งของไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และการเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยการติดครีป

จารุภัส แสงผล, ชนะ สารสุวรรณ และพิชชาพร ประพินศรี (2015) ได้ศึกษาข้อมูลของหม้อจำลองเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ จะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่สภาวะคงที่ที่ใช้ในการอุ่นผลิตภัณฑ์ และปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากระบบส่วนใหญ่คือปริมาณความร้อนที่ให้กับอากาศเพื่อนำไปแลกเปลี่ยนความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี และหลักการออกแบบ

การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ทำได้โดยใช้พื้นฐานทางวิศวกรรมในการ คำนวณ และออกแบบ ทั้งในเรื่องการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในกระบวนการ เผาไหม้ และหลักการในการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสมกับการใช้งาน

3.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญในชีวิตประจำวัน และอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์ และตัวกลางให้ความร้อน โดยอาศัยความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิ โดยสามารถแบ่งประเภทของการถ่ายเทความร้อนได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

3.1.1 การนำความร้อน (Conduction) การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากวัสดุซึ่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยโมเลกุล ที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทความร้อนให้โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลในตัวกลางมีทิศทางที่ไม่แน่นอน

Fourier (1822) ทำการทดลองได้กฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) ซึ่งเป็นอัตราสำหรับการนำความร้อนใช้สำหรับการคำนวณหาจำนวนความร้อนที่ส่งถ่ายต่อหน่วยเวลา ซึ่งสมการของฟูเรียร์เป็นดังสมการ (3.1)

$$q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.1)$$

3.1.2 การพาความร้อน (Convection) การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในสสารสองสถานะ คือ ของเหลว และแก๊สเนื่องจากมีสมบัติการเคลื่อนที่แบบลอยขึ้นเท่านั้น เพราะเมื่อสสารได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นของสสารต่ำลง สสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงเข้ามาแทนที่ด้านล่าง โดยสมการ สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพาความร้อนเป็นสมการ (3.2)

$$q_{conv} = hA(T_h - T_c) \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อน ออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ในการส่งถ่ายพลังงานโดยวัตถุแต่ละชนิดสามารถ ดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสีของวัตถุ และผิวของวัตถุ

$$q_{rad} = \varepsilon\sigma(T_h^4 - T_c^4)A \quad (3.3)$$

3.2 กฎการไม่สูญหายของพลังงาน

การใช้กฎการไม่สูญหายใดๆ คือ การกำหนดปริมาณควบคุมซึ่งได้แก่บริเวณที่ต้องพิจารณา ปริมาณควบคุมมักอยู่กับที่ และล้อมรอบด้วยพื้นผิวควบคุม พลังงาน และมวลสารสามารถส่งถ่ายผ่าน พื้นผิวนั้นเข้าออกปริมาณควบคุมได้ กฎการไม่สูญหายของพลังงานกล่าวไว้ว่า อัตราที่ความร้อน และ พลังงานเชิงกลผ่านเข้าสู่ปริมาณควบคุมลบด้วยอัตราที่พลังงานนี้ผ่านออกจากปริมาณควบคุมจะต้อง เท่ากับอัตราที่พลังงานนี้ถูกสะสมไว้ในปริมาณควบคุม โดยกฎการไม่สูญหายของพลังงานเขียนได้ ดังสมการ (3.4)

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st} \quad (3.4)$$

โดยที่ E_{st} คืออัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานสะสมภายในปริมาณควบคุมเทียบเวลาซึ่งมีค่าเท่ากับ

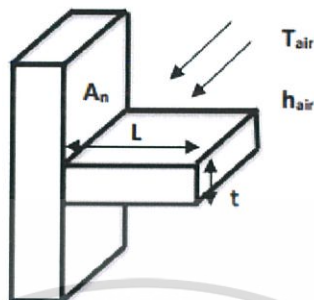
$$E_{st} = \rho c_p \frac{dT}{dx} \quad (3.5)$$

3.3 การเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน

Lienhard (2008) การออกแบบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน เมื่อพิจารณาตัว แปรในสมการการถ่ายเทความร้อน ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ง่ายต่อการคำนวณ และทดลอง คือ พื้นที่ในการสัมผัสความร้อน การเพิ่มพื้นที่สัมผัสความร้อนมีอยู่ 2 วิธีคือการส่งของไหลไปแลกเปลี่ยน ความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) และการเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน ของไหลด้วยการติดครีบ

เนื่องจากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในพื้นที่ที่จำกัด และลงทุนต่ำจึงเลือกวิธีการ เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยครีบ

เมื่อทำการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยครีบริบตรงการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อติดครีบริบจำนวนใดๆ สามารถหาประสิทธิภาพของครีบริบ และพื้นที่ผิวจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของครีบริบ ซึ่งใช้รูปร่างครีบริบเป็นแผ่นตรง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะของครีบริบสำหรับการถ่ายเทความร้อน

โดยมีสมการคำนวณประสิทธิภาพของครีบริบดังนี้

$$\eta_f = \frac{\tan(mL)}{mL} \quad (3.6)$$

เมื่อ L คือความยาวของครีบริบ และ η_f คือประสิทธิภาพ

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k_f t_f}} \quad (3.7)$$

เมื่อ k_f คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของครีบริบ

และ t_f คือความหนาของครีบริบ

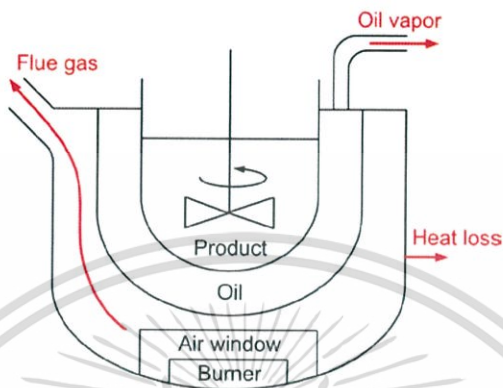
$$q_t = hA_t \left[1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \right] (T_s - T_a) \quad (3.8)$$

เมื่อ T_a อุณหภูมิแก๊สร้อน และ T_s อุณหภูมิพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การประยุกต์วิธีการคำนวณเพื่อใช้ในโรงงานวิจัย

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดครีบนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของหม้อกวนไส้ขนมได้โดยใช้การคำนวณการพาความร้อนที่ผิวด้านนอกที่สัมผัสกับแหล่งให้ความร้อนและด้านในชั้นน้ำมันดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนของหม้อกวนไส้

โดยในการคำนวณการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการติดครีบนี้นี้ใช้สมการประสิทธิภาพครีบริบตรงในการคำนวณซึ่งสามารถหาการถ่ายเทความร้อนเมื่อยังไม่ติดตั้งครีบริบได้จากการพาความร้อน (3.2) และการถ่ายเทความร้อนเมื่อทำการติดครีบริบได้จากสมการการถ่ายเทความร้อนเมื่อติดครีบริบ (3.8) โดยมีการคำนวณดังนี้

อัตราการถ่ายเทความร้อนก่อนติดครีบริบ

$$q_{conv} = hA(T_{air} - T_s)$$

ประสิทธิภาพครีบริบตรง

$$\eta_f = \frac{\tan(mL)}{mL}$$

$$m = \sqrt{\frac{2h}{k_f t_f}}$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อติดครีบริบ

$$q_t = hA_t \left[1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \right] (T_{air} - T_s)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความร้อนเหลือทิ้ง (Waste heat)

ความร้อนเหลือทิ้ง คือความร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างประโยชน์หรือวัตถุประสงค์ใดๆ อีกครั้ง ระบบกลไกที่จะนำความร้อนมาใช้ให้ความร้อนเหลือทิ้งนั้นเหลือน้อยที่สุด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแก๊ส ความร้อนเหลือทิ้ง และความคุ้มค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแก๊สไอเสียร้อนจำนวนมากถูกผลิตจากหม้อไอน้ำ เตาอบแห้ง และเตาเผาต่างๆ ถ้าสามารถนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ได้ หรือหาวิธีลดปริมาณ ความร้อนเหลือทิ้ง จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ลงได้

3.5.1 คุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง การบ่งบอกคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้งสามารถใช้ อุณหภูมิเป็นตัวบอกระยะและคุณภาพ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

1. ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพสูง มีอุณหภูมิในช่วง 600 – 1,600 องศาเซลเซียส มักเป็น ความร้อนทิ้งในรูปแก๊สไอเสียจากเตาเผา เหมาะที่จะนำไปใช้กับระบบผลิตกำลัง (Power generation) ระบบผลิตกำลังงาน และความร้อนร่วม (Cogeneration) ระบบผลิตความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller) หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง เช่น อุ่นวัตถุดิบ หรืออุ่นอากาศ

2. ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพปานกลาง มีอุณหภูมิในช่วง 200 – 600 องศาเซลเซียส มักเป็นความร้อนทิ้ง ในรูปแก๊สไอเสียจากหม้อไอน้ำ กังหันแก๊ส เครื่องยนต์ หรือเตาขึ้นรูปโลหะ เหมาะที่จะนำไปใช้ในการ ผลิตไอน้ำความดันปานกลางหรือนำไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

3. ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพต่ำ มีอุณหภูมิในช่วง 35 – 200 องศาเซลเซียส มักเป็น ความร้อนทิ้งในรูปคอนเดนเสทน้ำ และของเหลวที่ใช้ระบายความร้อน และอากาศระบายความร้อน เหมาะที่จะนำไปใช้ในการให้ความร้อนชั้นต้น เช่น อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ อุ่นของเหลว อุ่นอากาศ และ ทำน้ำร้อน หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง

3.5.2 การคำนวณปริมาณของความร้อนเหลือทิ้ง คำนวณได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$q_{ex} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.9)$$

3.6 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง (Heating Value)

เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ โดยทั่วไป ค่าความร้อนมี 2 ประเภท คือค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV) ซึ่งได้แสดงค่าความร้อนของแก๊สบางชนิด ดังตารางที่ 3.1

3.6.1 ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value, HHV)

เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่วัดได้ในภาวะที่น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกควบคุมให้กลั่น กลายเป็นของเหลว ซึ่งจะให้ความร้อนแฝงของการกลั่นตัวออกมา ทำให้วัดความร้อนได้มากขึ้น

3.6.2 ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV)

เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ปล่อยให้มีสภาพเป็นไอน้ำ

ตารางที่ 3.1 Typical Heating Value of Some Gaseous Fuels at 1 atm, 25 °C

Fuel	HHV		LHV	
	(MJ/m ³) ^a	MJ/kg	(MJ/m ³) ^a	MJ/kg
Hydrogen (H ₂)	11.7	142.2	9.9	121.2
Carbon Monoxide (CO)	11.6	10.1	11.6	10.1
Methane (CH ₄)	36.4	55.5	32.8	50.0
Ethane (C ₂ H ₆)	63.8	51.9	58.4	47.8
Propane (C ₃ H ₈)	90.8	50.4	83.6	46.4
Butane (C ₄ H ₁₀)	117.0	49.5	108.0	45.8
Ethylene (C ₂ H ₄)	57.7	50.3	54.1	47.2
Acetylene (C ₂ H ₂)	53.2	49.9	51.4	47.2
Propylene (C ₃ H ₆)	84.2	48.9	78.8	45.8
Natural gas (Typical)	38.8	53.5	34.6	48.3
Coal Producer gas (Typical)	5.2	5.3	4.3	48.3
Wood Producer gas (Typical)	4.8	5.1	4.0	4.2

ที่มา : Kenneth W. Ragland and Kenneth M. Bryden. 2011. Combustion Engineering. 2nd Edition. New York: CRC Press

ซึ่งสามารถนำมาหาค่าความร้อนได้จากสมการ

$$q_{comb} = \dot{m} \cdot LHV \quad (3.10)$$

3.7 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ (Product heating)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง que เปลี่ยนเป็นพลังงานอื่นได้เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล และ พลังงานความร้อน มีหน่วยเป็นจูล (Joule, J) ในระบบเอสไอ (SI) ความร้อนมี 2 ลักษณะ คือ

3.7.1 ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแต่สถานะยังคงเดิม เช่น น้ำ เมื่อถูกเพิ่มปริมาณความร้อนเข้าไป จนถึง 100 องศาเซลเซียส หรือเรียกว่า จุดเดือดของน้ำ ปริมาณความร้อนนี้ที่ให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด เรียกว่า ความร้อนสัมผัส สามารถหาได้จากสมการ

$$q_{sensible} = \dot{m}c_p\Delta T \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ความร้อนแฝงของการระเหย ปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เช่น น้ำมีความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอเท่ากับ 2,257.2 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หรือ 540 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ณ ความดันบรรยากาศ หมายความว่า น้ำ 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปลี่ยนสถานะเป็นไอ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ต้องใช้ปริมาณความร้อน เท่ากับ 2,257.2 กิโลจูล สามารถหาความร้อนได้จากสมการ

$$q_{latent} = \dot{m} \cdot h_{fg} \quad (3.12)$$

โดยสมการ และหลักการคำนวณข้างต้น สามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และคำนวณค่าที่วัดได้จากการทดลองเพื่อหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนในงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

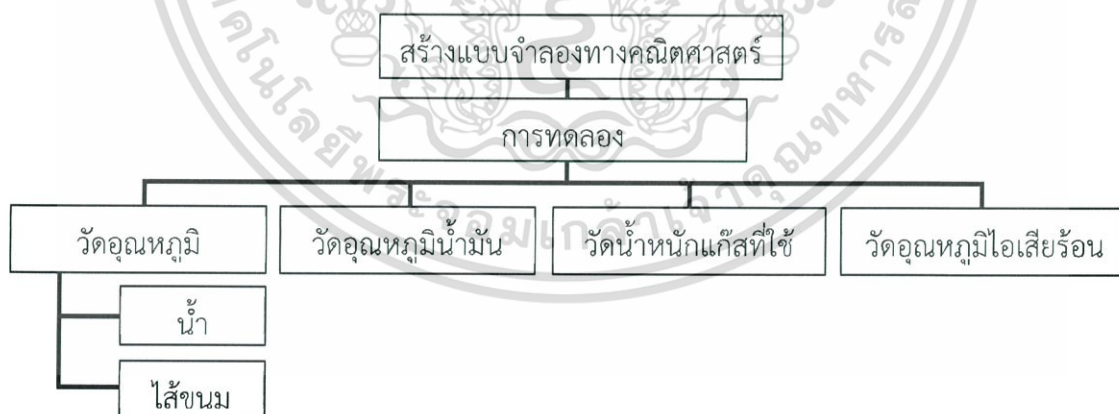
บทที่ 4

แผนการทดลองและวิธีการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยจะวัด และเก็บผลอัตราการถ่ายความร้อนจากหม้อทดลองที่จำลอง จากเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรม รุ่น SC-402A ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเบเกอรี่ ใช้สารรับความร้อนคือ น้ำ และไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ไส้พายข้าวโพดจาก บริษัท ซีพีแรม จำกัด เพื่อวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ชั้นต่างๆ ของหม้อเมื่อติดครีบนอกชั้นน้ำมัน

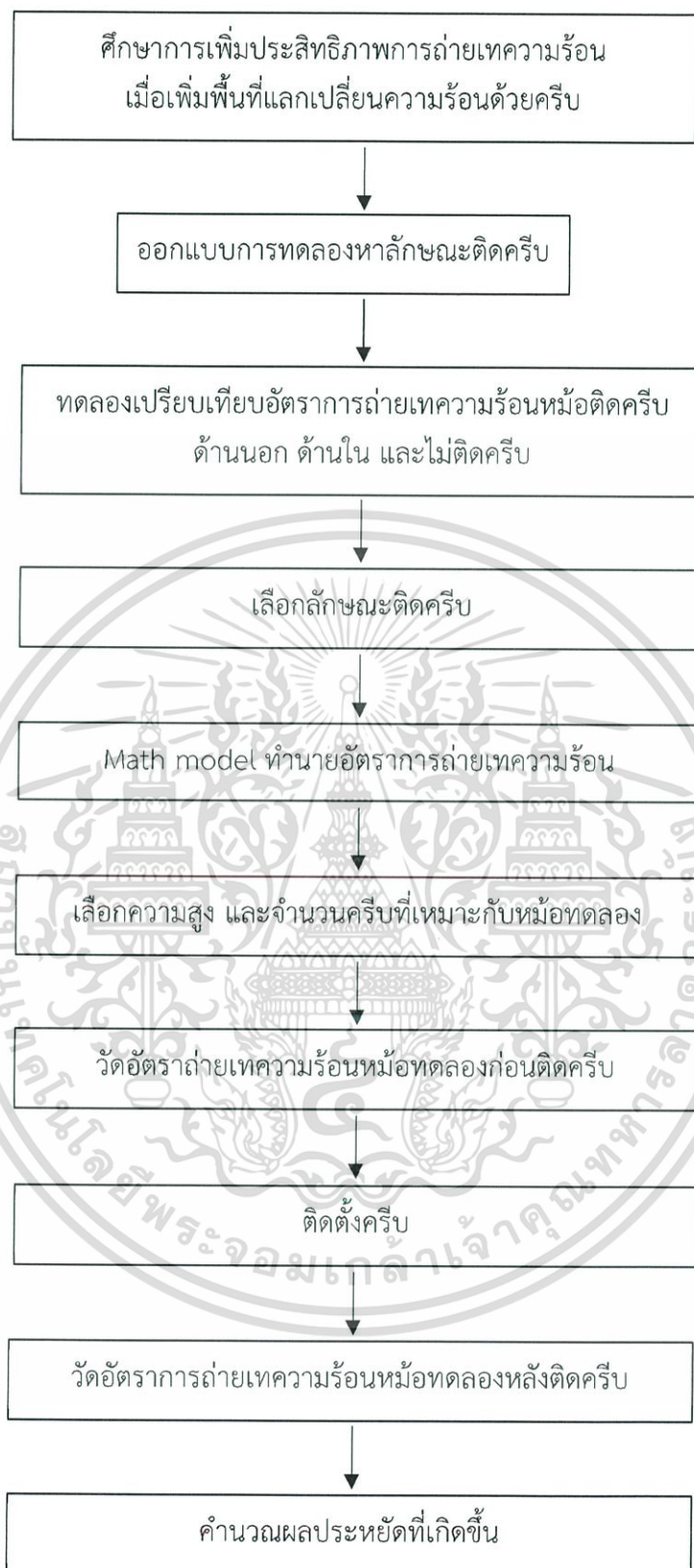
4.1 แผนการทดลอง

การหาจำนวนครีบบนการติดตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแก่หม้อทดลอง เริ่มต้นจากการหาตำแหน่งการติดตั้งว่าการติดตั้งครีบบนรูปแบบใดจะสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดี จึงทดลองที่เปรียบเทียบการติดตั้ง 3 แบบดังนี้ แบบไม่ติดครีบบน ติดครีบบนด้านใน และ ติดครีบบนด้านนอก ทำการทดลองจากนั้นนำผลมาคำนวณจำนวน และความสูงครีบบนจากการถ่ายเทความร้อนด้วยครีบบน เลือกจำนวน และความสูงที่เหมาะสมกับหม้อทดลอง โดยจะแบ่งการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ 3 ส่วน คือ ชั้นผลิตภัณฑ์ ชั้นน้ำมันกระจายความร้อน และปล่องอากาศร้อน เหลือทิ้ง เปรียบเทียบผลการถ่ายเทความร้อนก่อน และหลังติดครีบบนจากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสมการ และคำนวณหาผลประหยัดที่เกิดจากการติดครีบบน แสดงข้อมูลการทดลอง และ ขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ผังแสดงส่วนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผังแสดงแผนการทำงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 การทดลองที่ 1 หลักษณะการติดครีบตรงที่สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดครีบ

การทดลองหาตำแหน่งติดครีบตรงที่สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ทดลองโดยการต้มน้ำด้วยชุดหม้อทดลอง 3 แบบคือ หม้อที่ไม่ติดครีบ หม้อติดครีบด้านใน และหม้อติดครีบด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ใช้แก๊สชีวเทนในการให้ความร้อนควบคุมระดับความร้อนที่เตาฟู และปริมาตรน้ำที่เท่ากัน โดยต้มน้ำปริมาตร 600 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งน้ำระเหยจนถึงปริมาตรที่กำหนด ทำการวัดอุณหภูมิ 4 จุด คือตัวกลางรับความร้อน ปล่องอากาศร้อนเหลือทิ้ง อุณหภูมิในที่ก้นลม และอุณหภูมินอกที่ก้นลม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ควบคุมความร้อนจากเตาให้เท่ากันโดยการเปิดแก๊สในระดับที่เท่ากันทุกครั้ง และเริ่มวัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้ data logger agilent รุ่น 34970A ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิล Type K ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและเวลาทุกๆ 2 วินาทีตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำระเหยจนปริมาตรลดลงตามที่กำหนด ทำการทดลองแบบนี้กับหม้อทดลองทั้ง 3 แบบ แบบละ 10 ซ้ำ ซึ่งปริมาณแก๊สที่ใช้เปรียบเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อแต่ละแบบ และนำผลจากการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เลือกรูปแบบการติดตั้งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุดไปติดตั้งให้กับหม้อทดลองที่จำลองเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรม รุ่น SC-402A ต่อไปโดยมีอุปกรณ์ในการทดลองดังนี้ 1. คอมพิวเตอร์ 2. data logger agilent 3. สายเทอร์โมคัปเปิล Type K 4. แผ่นกั้นลม 5. ชุดฉนวนกันความร้อน 6.เตาแก๊ส 7.แก๊สชีวเทนกระป๋อง 8.ชุดหม้อทดลอง 9.เทอร์โมมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



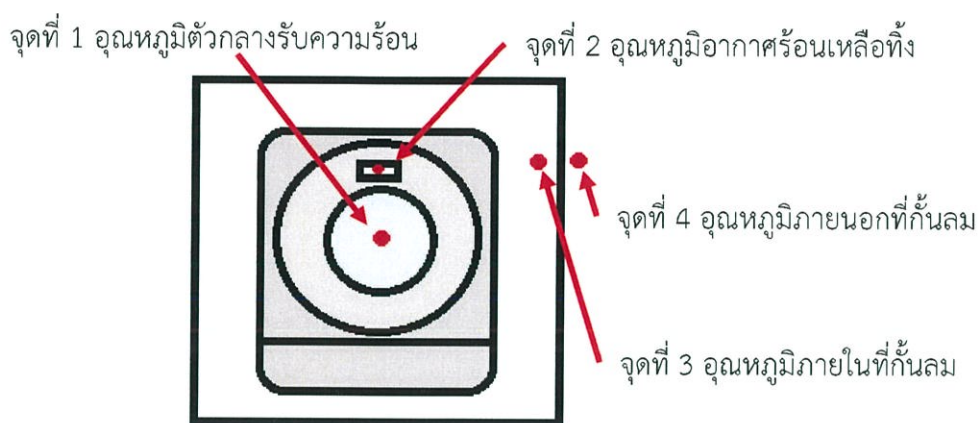
ก.

ข.

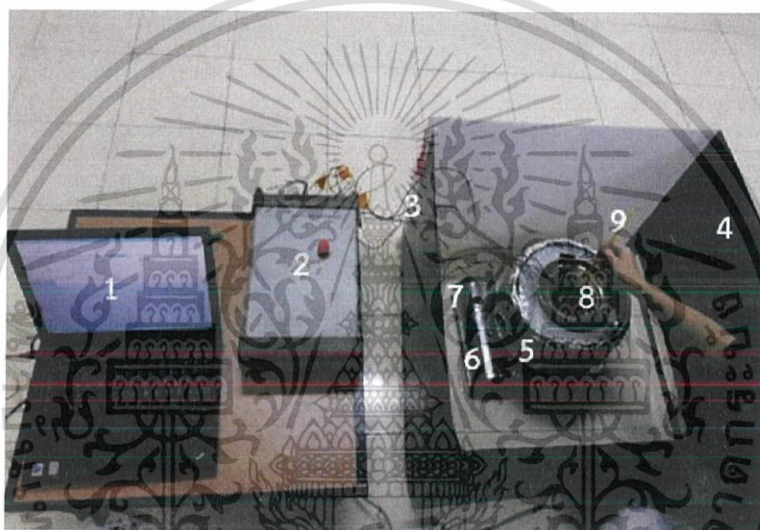
ค.

รูปที่ 4.3 ก. หม้อทดลองไม่ติดครีบ ข. หม้อทดลองติดครีบด้านใน ค. หม้อทดลองติดครีบด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 จุดวัดอุณหภูมิในการทดลอง



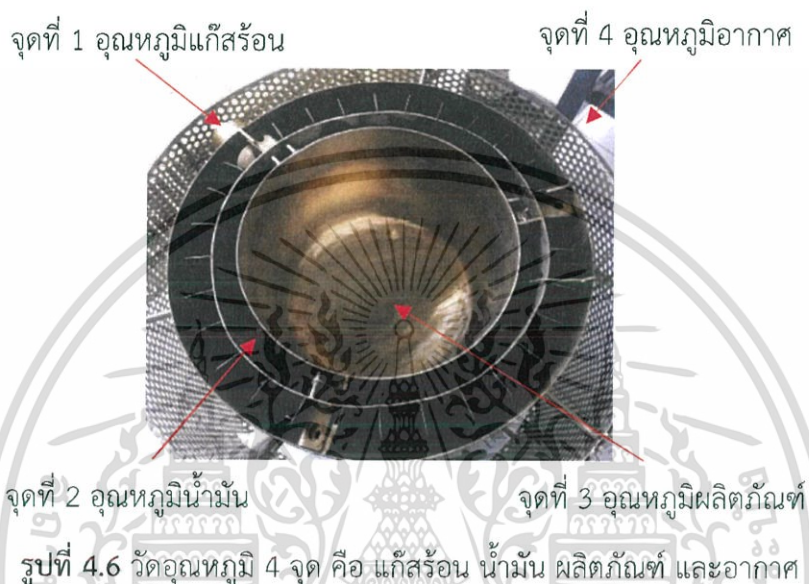
รูปที่ 4.5 อุปกรณ์ และชุดทดลองกระบวนการให้ความร้อน

4.2.2 การทดลองที่ 2 ทดลองวัดอุณหภูมิที่ตัวกลางต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อทดลองก่อน และหลังติดตั้ง

ทำการทดลองกับผลิตภัณฑ์สองชนิดคือ น้ำบริสุทธิ์ และ ไข่ผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ (ไข่ขนมพาย ข้าวโพด) ปริมาณ 15 กิโลกรัม ติดตั้งเครื่องมือวัด และควบคุมการไหลแก๊สตามแผนการทดลอง ดังรูปที่ 4.9 จะได้รูปแบบการติดตั้งจริงดังรูปที่ 4.10 ความคุมอัตราการไหลของแก๊ส LPG ที่ 3 ลิตร ต่อนาที โดยปรับความดันให้ลดลงเหลือ 1.5 บาร์ เพื่อให้ตรงกับรูปแบบที่ใช้ในโรงงาน จุดไฟจากนั้น ปรับวาล์วควบคู่กับโรตัมเตอร์ เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.11 ไข่ผลิตภัณฑ์ลงไปในห้องชั้นผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไข่ขนมต้องใส่ส่วนผสมตามสูตรตามขั้นตอน และระหว่างการให้ความร้อนต้องกวนตลอดเวลา ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงเท่าที่กำหนดคือ อุณหภูมิคงที่ที่ทำให้น้ำเดือด และใส่ขุ่นมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Type K) แสดงในรูปที่ 4.8 โดยทำการวัด 4 จุดคือ อุณหภูมิแก๊สร้อน อุณหภูมิน้ำมัน อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ทำการบันทึกผลอุณหภูมิด้วยดาต้าล็อกเกอร์ wisco AI20 แสดงในรูปที่ 4.8 เก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ทำการทดลองกับหม้อทดลองทั้งก่อนติดครีบ และหลังติดครีบ จำนวน 3 ซ้ำของทั้งสองผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำในการนำไปคำนวณ



จุดคำนวณข้อมูลที่ 1 ปล่องระบายอากาศ ใช้ pitotube manometer Testo 435 Series แสดงดังรูปที่ 4.7 วัดอุณหภูมิและความดันตกคร่อมของแก๊สร้อนเหลือทิ้งที่ปล่องระบายอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.14 เพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วของไอเสียร้อนด้วยสมการ (4.1) หาอัตราการไหลเชิงปริมาตรด้วยสมการ (4.2) และคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากแก๊สร้อนเหลือทิ้งด้วยสมการ (4.3)

$$V = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}} \quad (4.1)$$

$$Q_f = AV \quad (4.2)$$

$$Q_{ex} = M_f C_{pf} (T_2 - T_1) \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 pitot tube manometer Testo 435 Series



ก.

ข.

รูปที่ 4.8 ก. คาร์ด้าล็อกเกอร์ wisco AI20 ข. เทอร์โมคัปเปิล Type k

จุดคำนวณข้อมูลที่ 2 บริเวณชั้นน้ำมัน วัดอุณหภูมิน้ำมันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการนำอุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำมันได้รับด้วยสมการ (4.4)

$$Q_{oil} = mc_p \Delta T \quad (4.4)$$

จุดคำนวณข้อมูลที่ 3 ชั้นผลิตภัณฑ์ วัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการเพื่อนำไปคำนวณปริมาณความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับด้วยสมการ (4.5)

$$Q_{product} = mc_p \Delta T \quad (4.5)$$

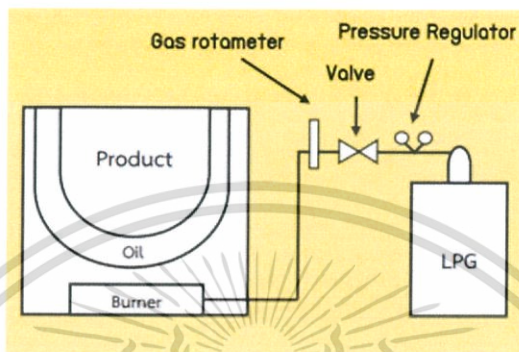
จุดคำนวณข้อมูลที่ 4 ชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG เริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของกระบวนการให้ความร้อน ดังรูปที่ 4.15 เพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงในสมการ (4.6)

$$Q_{comb} = \dot{m}_f \times LHV \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าความร้อนที่คำนวณแต่ละส่วนมาแทนในสมการ (4.7) เพื่อหา Q_{loss} โดยปริมาณความร้อนที่น้ำมันได้รับจัดเป็นส่วนหนึ่งของ Q_{loss} จากนั้นนำผลห่อหุ้มทดลองก่อน และหลังติดครีป มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาเพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อน

$$Q_{comb} = Q_{product} + Q_{ex} + Q_{loss} \quad (4.7)$$



รูปที่ 4.9 แผนการติดตั้งเครื่องมือการทดลอง

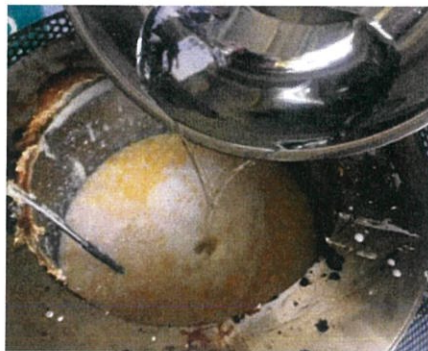


รูปที่ 4.10 การติดตั้งเครื่องมือการทดลอง



รูปที่ 4.11 ให้ความร้อนแก่ห่อหุ้มทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผสมวัตถุดิบไส้ขนมในหม้อทอด



รูปที่ 4.13 กวนส่วนผสมให้เข้ากัน และป้องกันการไหม้ติดขอบหม้อ



รูปที่ 4.14 ใช้ pitotube manometer วัดความดันต่างของหม้อทอด

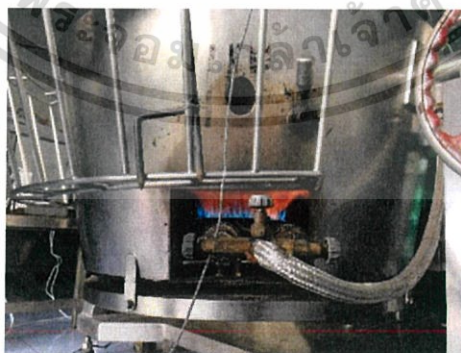
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ชั่งน้ำหนักแก๊สที่ใช้ต่อหนึ่งกระบวนการ

4.2.3 การทดลองที่ 3 ทดลองวัดอุณหภูมิที่ตัวกลางต่างๆ ของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรมเพื่อวัดประสิทธิภาพเริ่มต้นก่อนติดคิริบ และกำหนดตัวแปรสำหรับการออกแบบการติดคิริบให้แก่เครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรม

ทำการวัด และคำนวณที่จุดต่างๆ เหมือนกับหม้อทดลอง ใช้ระบบให้ความร้อนแบบเตาฟูดังรูปที่ 4.17 ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส LPG ที่ 20 ลิตรต่อนาที ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองคือน้ำและไส้ขนม ผสมส่วนผสมตามสูตรตามขั้นตอนในสัดส่วนผลิตภัณฑ์ปริมาณ 35 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4.17 ใช้ใบกวนกวนไส้ขนมขณะให้ความร้อน ใช้ระดับความเร็วใบกวนเป็นระดับปกติ ใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดความร้อน 4 จุดคือ อุณหภูมิแก๊สร้อน อุณหภูมิน้ำมัน อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ใช้ pitotube manometer วัดความดันต่างที่ช่องระบายอากาศร้อนของเครื่องกวนไส้ ดังรูปที่ 4.20 นำข้อมูลที่ได้จากการวัดไปคำนวณประสิทธิภาพและหาค่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.16 การให้ความร้อนแก่เครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

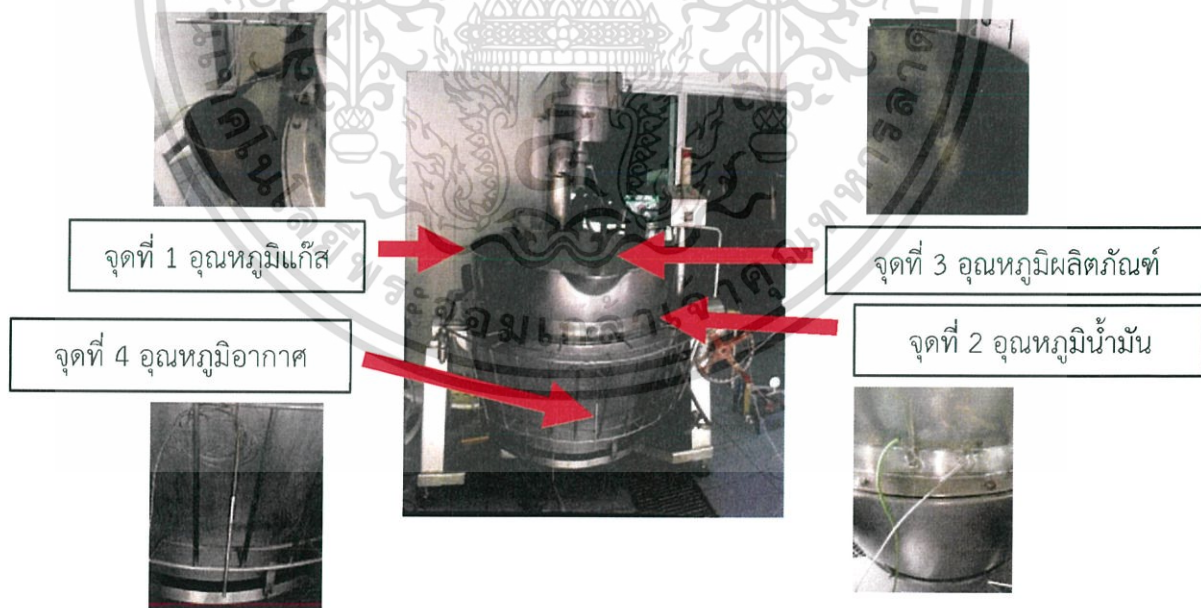
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 นำส่วนผสมวัตถุดิบเทลงยังเครื่องกวนไส้

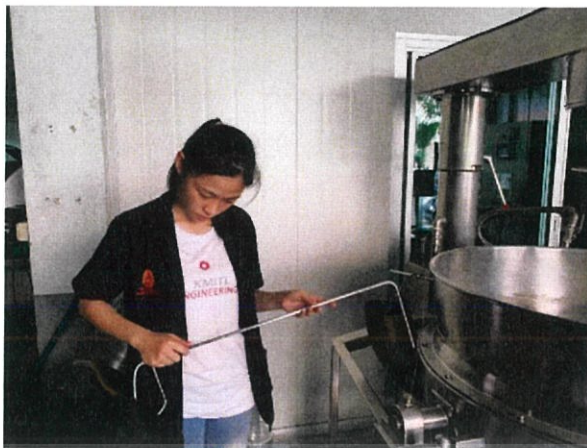


รูปที่ 4.18 เปิดใบกวนเพื่อกวนไส้ขนม



รูปที่ 4.19 จุดวัดอุณหภูมิทั้ง 4 จุดของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ใช้ pitotube manometer วัดความดันต่างของเครื่องกวนไส้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

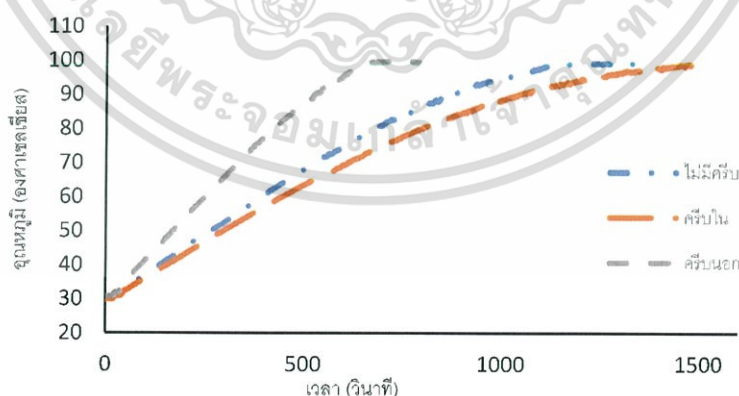
วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนในแต่ละชั้นของหม้อทดลอง จะใช้รูปแบบการให้ความร้อนเช่นเดียวกับเครื่องกวนไส้จริงในอุตสาหกรรม ใช้ไส้ขมพายข้าวโพดจาก บริษัท ซีพีแรม จำกัด ทดลองกับเครื่องกวนไส้ในอุตสาหกรรม และหม้อทดลอง นำผลอัตราการถ่ายเทความร้อนก่อนและหลังติดครีบกจากหม้อทดลองไปเปรียบเทียบเพื่อหาจำนวนการติดครีบที่เหมาะสมในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนแก่เครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ระดับอุตสาหกรรม และเปรียบเทียบกับสมการการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยครีบบว่าสามารถใช้ทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องกวนไส้ได้หรือไม่

5.1 ผลการทดลอง

แบ่งผลการทดลองเป็น 4 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 หาลักษณะการติดครีบตรงที่สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดครีบ ส่วนที่ 2 คำนวณจำนวน และความสูงครีบจากสมการคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบการติดตั้งครีบแก่หม้อทดลอง ส่วนที่ 3 ทดลองวัดอุณหภูมิที่ตัวกลางต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อทดลองก่อน และหลังติดครีบ และคำนวณผลประหยัดจากการติดครีบ ส่วนที่ 4 วัดประสิทธิภาพเริ่มต้นของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเริ่มต้นของเครื่องกวนไส้ในอุตสาหกรรม

5.1.1 ส่วนที่ 1 หาลักษณะการติดครีบตรงที่สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดครีบ



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของน้ำที่ได้รับความร้อนในหม้อทดลองแต่ละแบบ

การทดลองเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อทดลองไม่ติดครีบ ติดครีบด้านนอก และ ติดครีบด้านใน ทำโดยการวัดอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 2 วินาที เมื่อนำอุณหภูมิของน้ำมาพลอตกราฟเทียบกับ เวลาจะแสดงให้เห็นความชันของเส้นอุณหภูมิความร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหม้อทดลองแต่ละแบบ ดังรูปที่ 5.1

การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในหม้อทดลอง ก่อนให้ความร้อนกระทั่งน้ำมีปริมาตรลดลงตามที่กำหนด ทำให้สามารถอธิบายตามทฤษฎีได้ว่าความร้อนช่วงแรกที่น้ำได้รับจะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเรียกว่าความร้อนสัมผัส (Sensible heat) จนกระทั่งถึงจุดเดือดความร้อนจะถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะน้ำจากของเหลวเป็นไอโดยที่ไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อได้จากเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำจนถึงปริมาตรที่กำหนด เนื่องจากควบคุมความร้อนระดับเดียวกัน ทำให้ทราบว่าเมื่อชุดทดลองใดที่ใช้เวลาน้อยกว่า ส่งผลให้ใช้แก๊สน้อย โดยน้ำหนักของแก๊สจะถูกนำไปคำนวณเป็นพลังงานในรูปแบบความร้อนที่ให้กับระบบซึ่งได้จากการเผาไหม้ ดังนั้นน้ำหนักของแก๊สจึงเป็นตัวบ่งบอกว่าการให้พลังงานแก่ระบบปริมาณเท่าใดในการต้มน้ำหนึ่งรอบ เมื่อใช้เวลาให้ความร้อนแก่ระบบในการต้มน้อยแสดงว่าความร้อนถ่ายเทไปยังน้ำได้เร็ว หรือหม้อทดลองสามารถถ่ายเทความร้อนให้น้ำได้ดี ในทางกลับกันเมื่อใช้เวลาให้ความร้อนแก่ระบบในการต้มนานแสดงว่าความร้อนถ่ายเทไปยังน้ำได้ช้า หรือหม้อทดลองถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี

เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของหม้อทดลองที่ไม่ติดครีบ ติดครีบด้านใน และติดครีบด้านนอก คือ 1,384 1,492 และ 790 วินาทีตามลำดับ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าหม้อทดลองติดครีบด้านนอก มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด และหม้อทดลองที่ไม่ติดครีบ และต่ำสุดคือหม้อติดครีบด้านใน

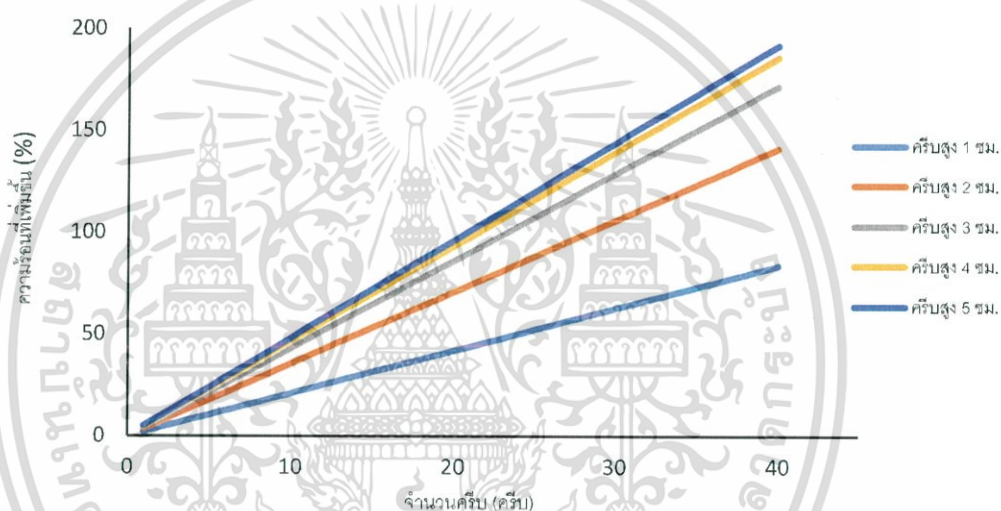
ตารางที่ 5.1 ตารางเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยการใช้ความร้อนของหม้อทดลองทั้ง 3 แบบ

ค่าความร้อน	ไม่ติดครีบ	ติดครีบด้านใน	ติดครีบด้านนอก
ความร้อนสัมผัส (%)	16.74	15.98	23.51
ความร้อนแฝง (%)	0.01	0.01	0.01
ความร้อนเหลือทิ้ง และ ความร้อนสูญเสีย (%)	83.24	84.00	76.46
ความร้อนเผาไหม้ (%)	100	100	100
ประสิทธิภาพ (%)	16.75	15.98	23.51

ตารางที่ 5.1 แสดงถึงผลการคำนวณความร้อนที่ถูกใช้ในระบบทั้งหมดโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าความร้อนส่วนใหญ่ไหลออกจากระบบ ความร้อนที่ถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิมากกว่าความร้อนที่ใช้ระเหยไอ การเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยวิธีการติดครีบ สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้เฉพาะกรณีการติดครีบด้านนอก

การติดครีبد้านในไม่สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ เนื่องจากครีبد้านในมีพื้นผิวในการสัมผัสอากาศร้อนเท่ากับหม้อที่ไม่ติดครีบ แต่ครีบไม่สามารถระบายความร้อนให้น้ำได้ดี เนื่องจากครีบออกแบบมาเพื่อระบายความร้อนด้วยวิธีการพา แต่น้ำที่อยู่ในหม้อทดลองตอนเริ่มต้นเป็นน้ำนิ่ง การพาความร้อนในช่วงแรกจึงมีผลน้อย ความร้อนที่ได้รับส่วนหนึ่งจึงสะสมอยู่ที่ครีบแทนที่จะถ่ายเทให้น้ำทั้งหมดเหมือนหม้อที่ไม่มีครีบ ซึ่งความคาดหวังคือครีบจะสามารถระบายความร้อนในตัวเองให้กับน้ำทำให้น้ำร้อนไวขึ้น แต่หลักการระบายความร้อนด้วยการพาตัวกลางที่เป็นอากาศหรือน้ำต้องมีการเคลื่อนที่จึงจะมีการระบายความร้อนที่ดี ดังนั้นอุณหภูมิน้ำจึงเพิ่มขึ้นช้ากว่า

5.1.2 ส่วนที่ 2 คำนวนจำนวนและความสูงครีบจากสมการคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบการติดตั้งครีบแก่หม้อทดลอง



รูปที่ 5.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวน และความสูงของครีบ

รูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าทั้งจำนวน และความสูงของครีบสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวทางเดียวกัน แต่ความสูงของครีบนั้นมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าจำนวนครีบสังเกตได้จากเส้นกราฟในช่วงที่ทำการคำนวณ เมื่อความสูงครีบเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะค่อยๆ ลดลง แต่จำนวนยังส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนเท่าเดิม

เนื่องจากความหนาของสแตนเลสที่น้อยที่สุดที่ช่างสามารถเชื่อมได้คือ 0.1 เซนติเมตร จึงให้ค่าความหนาในการคำนวณจำนวนครีบ และความสูงครีบ พิจารณาการติดครีบบนผนังหม้อชั้นน้ำมันด้านที่สัมผัสกับอากาศร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อชั้นนี้เท่ากับ 16 นิ้ว ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS 304) ได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดครีบบความหนา 0.1 เซนติเมตรสูง 1 เซนติเมตรที่จำนวนครีบิดๆ

จำนวนครีบบ	พื้นที่ที่ครีบบ (m ²)	พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น (%)	ความร้อนที่เพิ่ม (%)	ระยะห่างระหว่างครีบบ (cm)
1	0.01	2.37	2.13	111.72
5	0.04	11.85	10.64	22.34
10	0.09	23.70	21.28	11.17
15	0.13	35.55	31.92	7.45
20	0.17	47.39	42.56	5.59
25	0.21	59.24	53.2	4.47
30	0.26	71.09	63.85	3.72
35	0.30	82.94	74.49	3.19
40	0.34	94.79	85.13	2.79

ตาราง 5.2 แสดงการคำนวณการติดครีบบแต่ละจำนวนเห็นได้ว่าหม้อทดลองเมื่อติดครีบบจนถึงจำนวนหนึ่งจะทำให้ช่องว่างระหว่างครีบบมีค่าน้อยมากทำให้เป็นอุปสรรคต่อการติดตั้ง เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขนาดของเครื่องมือในการเชื่อม ดังนั้นจึงเลือกการติดครีบบที่จำนวน 30 ครีบบเพื่อสะดวกต่อการติดตั้ง และไม่ชิดกันจนเกินไป การชิดเกินไปจะทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากของไหลจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างครีบบได้ยากดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนครีบบไปมากเกินไปจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง เพราะครีบบจะทำตัวเสมือนผนังหนาแทน

ตารางที่ 5.3 รายละเอียดครีบบความหนา 0.1 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีบบ ที่ความสูงครีบบิดๆ

ความสูงครีบบ (cm)	พื้นที่ที่ครีบบ (m ²)	พื้นที่ที่เพิ่มขึ้น (%)	ความร้อนที่เพิ่มขึ้น (%)
1	0.26	67.33	63.85
2	0.50	134.66	112.41
3	0.74	202.00	142.54
4	0.98	269.33	158.94
5	1.22	336.66	167.23

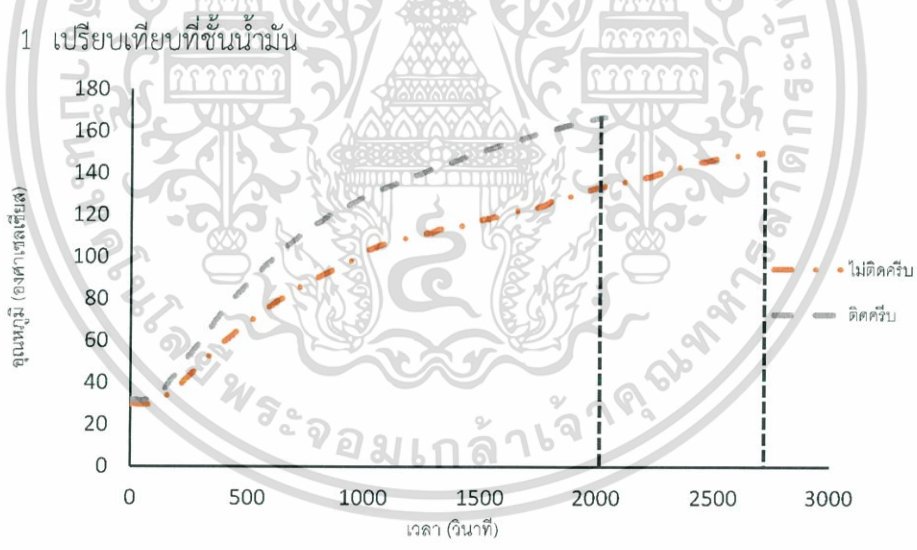
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามความสูงของครีป เมื่อติดครีปสูงขึ้นความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่เพิ่มในอัตราส่วนเดียวกับพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อครีปสูงขึ้นจะทำให้การนำความร้อนภายในครีปลดลง จึงเลือกความสูงครีปที่ 3 เซนติเมตร และเมื่อเพิ่มเป็น 4 เซนติเมตร ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นเพิ่มเป็นอัตราส่วนที่น้อยมากไม่คุ้มค่าแก่การติดตั้ง

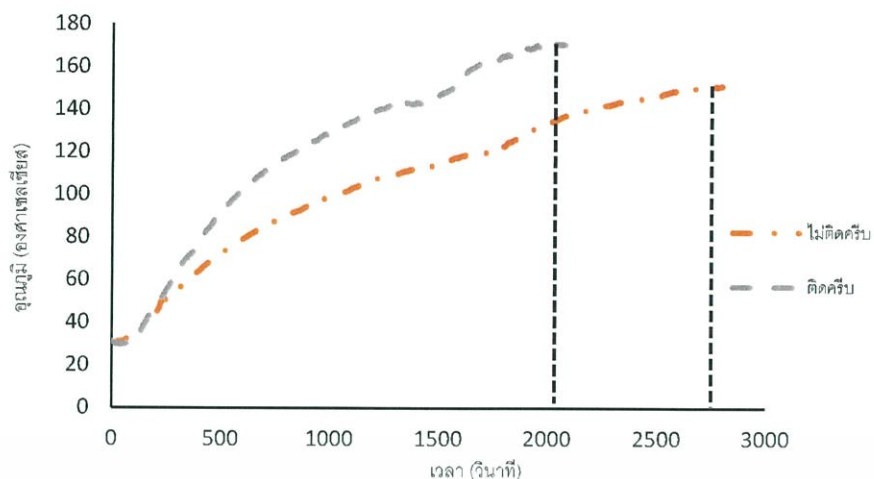
การติดตั้งครีปความหนา 0.1 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีปที่ผิวสัมผัสอากาศคิดเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศร้อนเป็น 3 เท่า สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ 142.54% เพื่อต้องการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เท่ากันให้กับเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ จึงต้องเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศร้อนเป็น 3 เท่าจากเดิม วิเคราะห์ตามจำนวน และความสูงที่เป็นไปได้

เมื่อได้รูปแบบการติดครีปจากส่วนที่ 1 และทำการคำนวณหาแนวโน้มอัตราความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อติดครีปที่จำนวน และความสูงระดับต่างๆ ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกจำนวนครีปที่เหมาะสมกับหม้อทอดลงในส่วนที่ 2 แล้วทำการทดลองวัดอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ น้ำมัน และวัดอัตราการไหลของอากาศร้อนเหลือทิ้งเพื่อดูพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของหม้อทอดก่อน และหลังติดครีปในส่วนที่ 3

5.1.3 ส่วนที่ 3 ทดลองวัดอุณหภูมิที่ตัวกลางต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อทอดก่อนและหลังติดครีป และคำนวณผลประหยัดจากการติดครีป



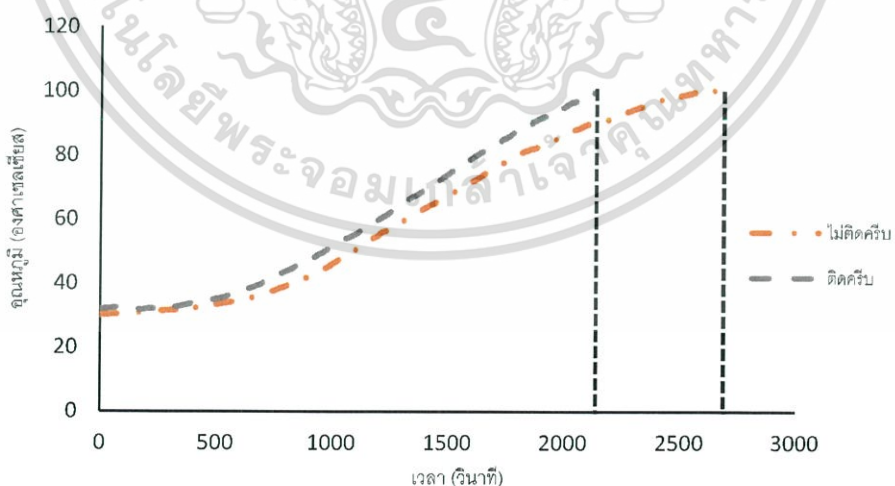
รูปที่ 5.3 กราฟระหว่างอุณหภูมิน้ำมันเริ่มต้น และเวลาที่ขึ้นน้ำมันของผลิตภัณฑ์น้ำ



รูปที่ 5.4 กราฟระหว่างอุณหภูมิน้ำมันเริ่มต้น และเวลาที่ขึ้นน้ำมันของผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพด

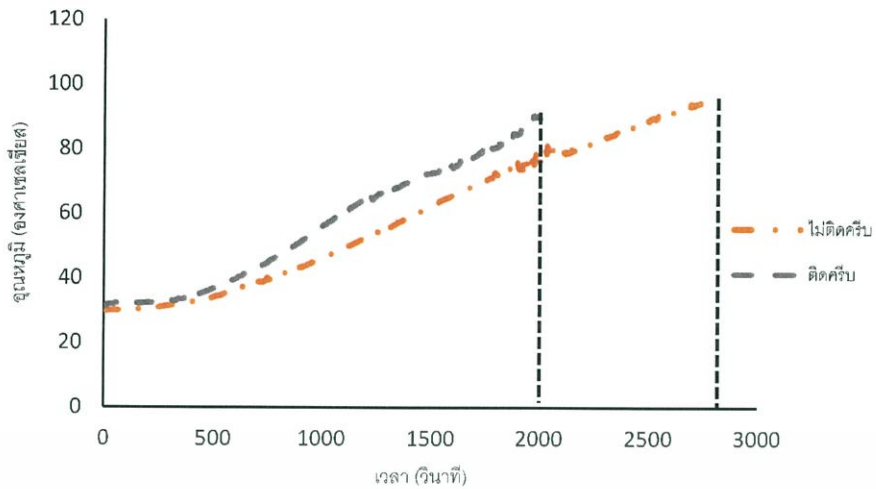
จากรูปที่ 5.3 และ 5.4 แสดงอุณหภูมิน้ำมันเฉลี่ยของหม้อทอดลมที่ติดครีบจะสูงกว่าหม้อทอดลมไม่ติดครีบ และสามารถรับความร้อนได้รวดเร็วสังเกตจากใช้เวลาในกระบวนการสั้นลง เนื่องจากครีบทำให้อากาศร้อนสัมผัสกับพื้นผิวหม้อมากขึ้น จึงรับความร้อนจากอากาศได้เพิ่มขึ้น เมื่อกระบวนการใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นลงแก๊สที่ใช้ก็ลดลงด้วย การติดครีบจึงสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน และก่อให้เกิดผลประหยัดค่าพลังงานเชื้อเพลิงได้จริงโดยอุณหภูมิน้ำมันสูงสุดของหม้อติดครีบผลิตภัณฑ์น้ำ และใส่ขนมพายข้าวโพด คือ 176.1 และ 170.7 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 33.20 และ 34.40 นาที อุณหภูมิสูงสุดของหม้อไม่ติดครีบในผลิตภัณฑ์น้ำ และใส่ขนมพายข้าวโพดคือ 150.05 และ 146.1 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 45.49 และ 47.32 นาที

2. เปรียบเทียบที่ชั้นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.5 กราฟระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของน้ำ

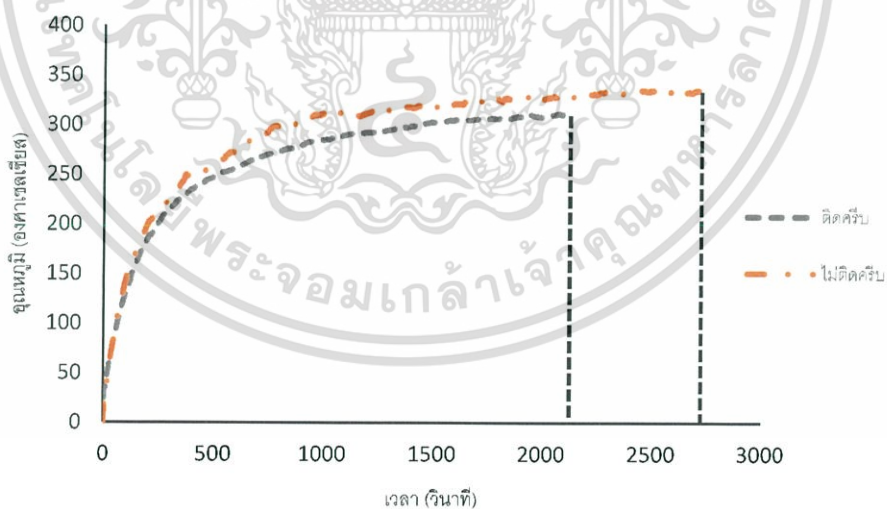
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพด

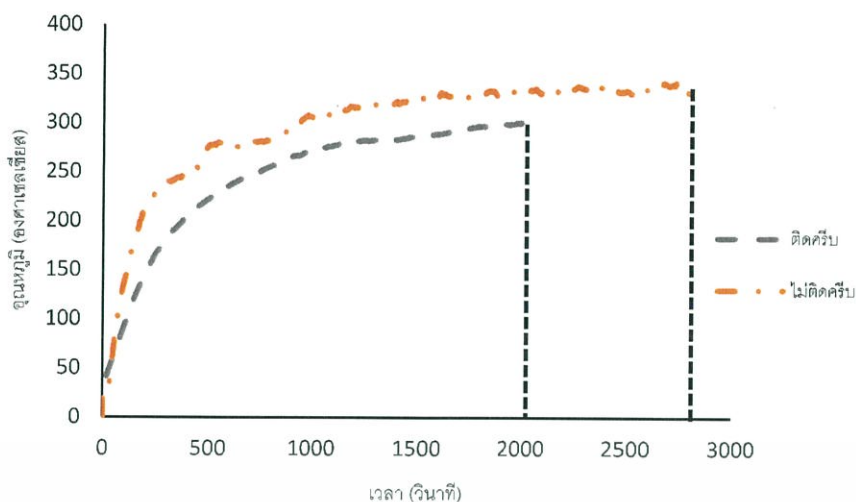
จากรูปที่ 5.5 และ 5.6 แสดงให้เห็นว่าการติดครีปที่หม้อชั้นสัมผัสอากาศร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดได้เร็วขึ้น เนื่องจากน้ำมันรับความร้อนได้ไวมากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเข้าหม้อชั้นผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตาม จากผลต่างอุณหภูมิที่มากขึ้น เวลาที่ใช้ให้ความร้อนแก่กระบวนการของผลิตภัณฑ์น้ำ และไส้ขนมพายข้าวโพดของหม้อติดครีปลดลง คือ 33.20 และ 34.40 นาที และหม้อไม่ครีปใช้เวลา 45.49 และ 47.32 นาที ตามลำดับ

3. เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศร้อนเหลือทิ้ง



รูปที่ 5.7 กราฟระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเหลือทิ้ง และเวลาของน้ำ

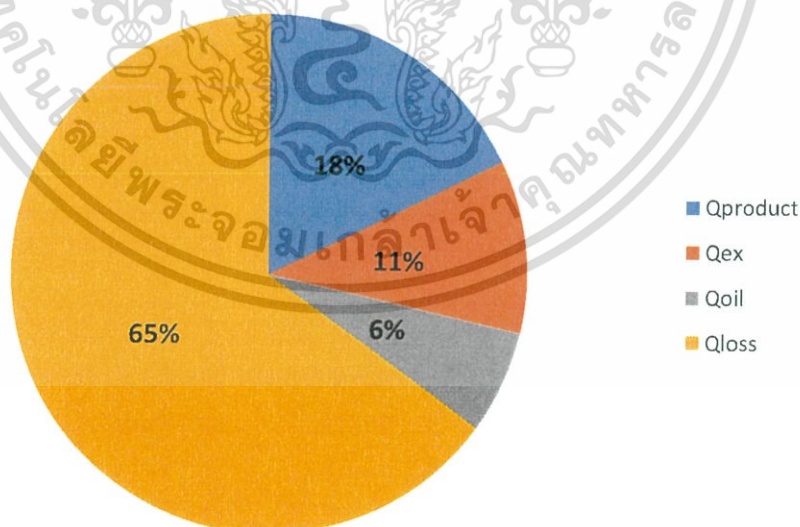
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเหลือทิ้ง และเวลาของไส้ขมพายข้าวโพด

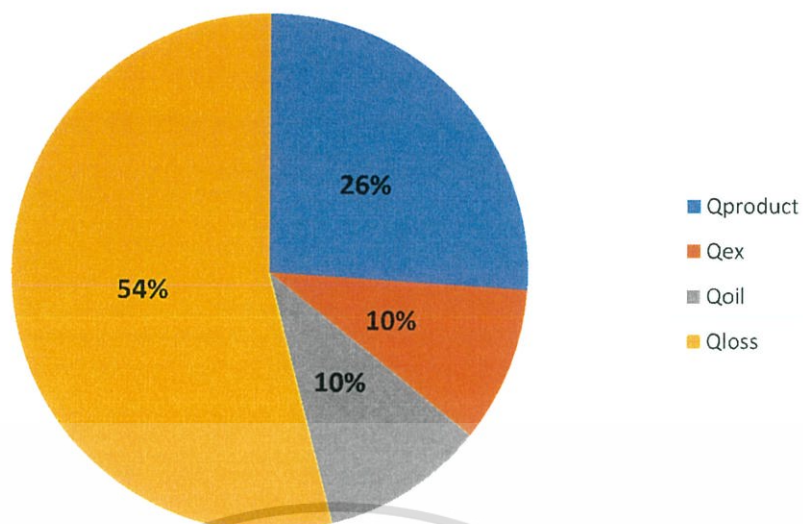
รูปที่ 5.7 และ 5.8 แสดงให้เห็นว่าการติดครีปที่หม้อชั้นสัมผัสอากาศร้อนส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศร้อนเหลือทิ้งของกระบวนการลดลง อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนติดครีป 305.4 และ 309.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยหลังติดครีป 269.3 และ 246.1 องศาเซลเซียสของผลิตภัณฑ์น้ำ และไส้ขมพายข้าวโพดตามลำดับ อุณหภูมิของอากาศร้อนเหลือทิ้งลดลงเนื่องจากครีปเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ความร้อนที่อากาศร้อนได้รับจากเชื้อเพลิงสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับหม้อทอดได้มากขึ้น ความร้อนของอากาศร้อนเหลือทิ้งจึงลดลง

4. เปรียบเทียบปริมาณการใช้ความร้อนของหม้อทอดก่อน และหลังติดครีป

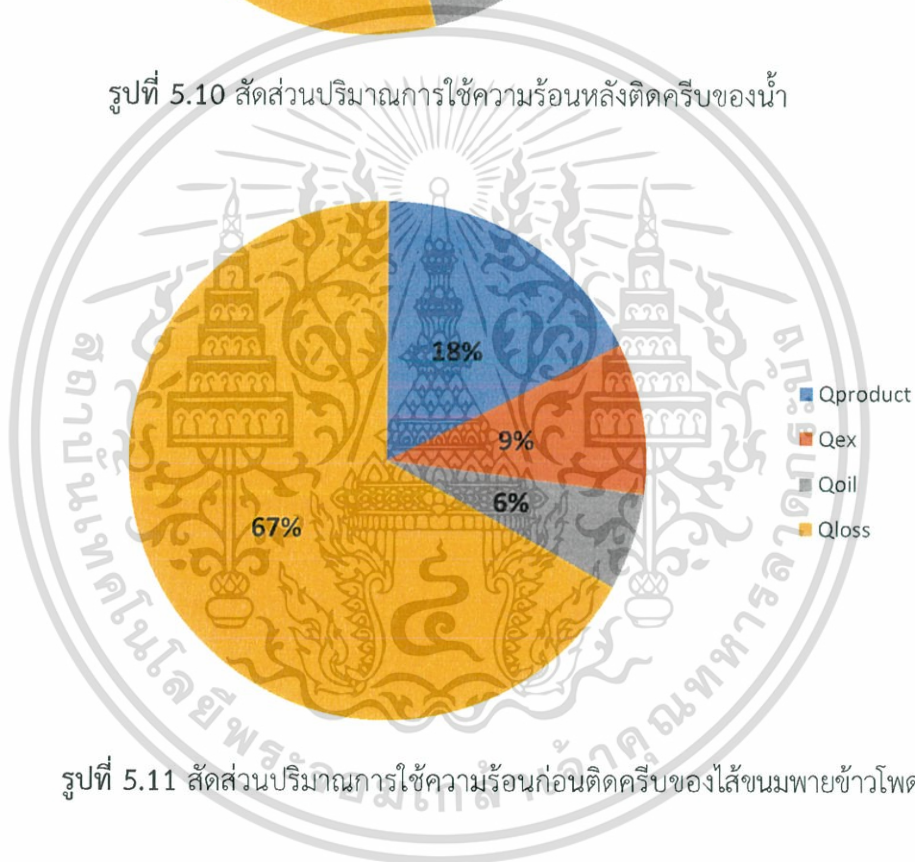


รูปที่ 5.9 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนก่อนติดครีปของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

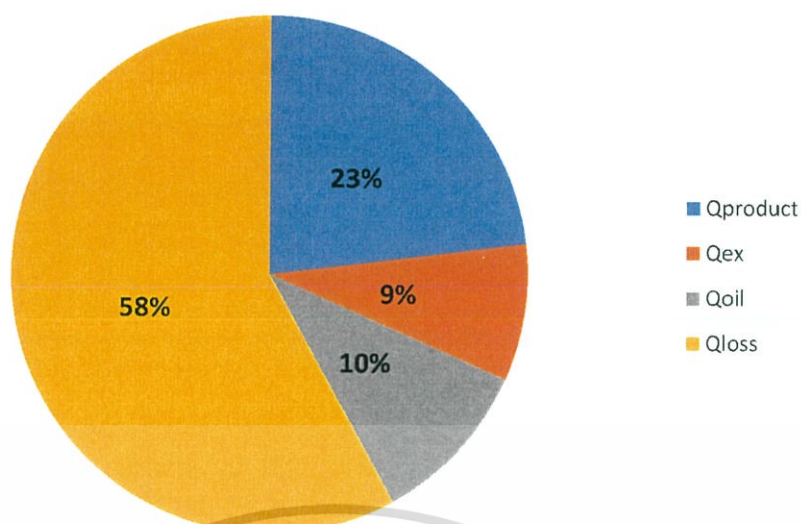


รูปที่ 5.10 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนหลังติดครีบน้ำ



รูปที่ 5.11 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนก่อนติดครีของไอน้ำพายข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนหลังติดครีบของไส้ขนมพายข้าวโพด

แผนภูมิสัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนของผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังติดครีบ เกิดจากการนำข้อมูล อุณหภูมิ และอัตราการไหลที่วัดจากการทดลอง มาคำนวณการถ่ายเทความร้อนในแต่ละส่วน ที่ถูกใช้ในในระบบทั้งหมดโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบความร้อนที่ใช้ในส่วนต่างๆ ก่อนและหลังติดครีบ

จากการทดลองทำให้ทราบอัตราความร้อนที่เพิ่มขึ้นดังนี้ การทดลองโดยใช้น้ำบริสุทธิ์ ชั้นผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น 44.44% ชั้นน้ำมันได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น 66.67% และจากการทดลองโดยใช้ไส้ขนมพายข้าวโพด ชั้นผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น 27.78% ชั้นน้ำมันได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น 67.67% จากการคำนวณสมการคณิตศาสตร์ครีบความหนา 0.1 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีบ สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับชั้นที่ถูกติดครีบ 142.54 ดังนั้นสมการคณิตศาสตร์ไม่สามารถทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสมการคำนวณอยู่ภายใต้สมมติฐานสภาวะอุดมคติ ซึ่งแตกต่างจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณผลประหยัดจากการติดครีบ

ตารางที่ 5.4 แก๊สที่ใช้ต่อหนึ่งกระบวนการของหม้อทอดลอง

หม้อทอดลอง	ผลิตภัณฑ์	น้ำหนักแก๊สที่ใช้งาน (kg)	น้ำหนักแก๊สเฉลี่ย (kg)
หม้อไม่ติดครีบ	ไส้ข้าวโพด 1	0.40	0.30
	ไส้ข้าวโพด 2	0.29	
	ไส้ข้าวโพด 3	0.26	
	ไส้ข้าวโพด 4	0.25	
หม้อติดครีบ	ไส้ข้าวโพด 1	0.32	0.22
	ไส้ข้าวโพด 2	0.18	
	ไส้ข้าวโพด 3	0.20	
	ไส้ข้าวโพด 4	0.18	

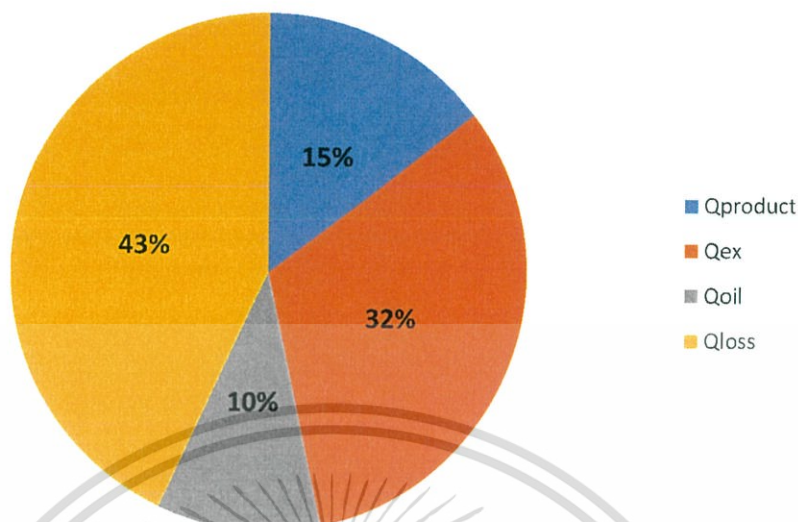
ตารางที่ 5.5 เวลาที่ใช้ในกระบวนการของหม้อทอดลอง

ผลิตภัณฑ์	ไส้ขนม		น้ำ	
	หม้อไม่ติดครีบ	หม้อติดครีบ	หม้อไม่ติดครีบ	หม้อติดครีบ
ลักษณะของหม้อทอดลอง				
เวลาที่ใช้ในกระบวนการ (วินาที)	2780	2002	2711	2134
	1730	1340	2515	1814
	1988	1363	2285	1615
	1754	1351	2920	1742
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	2063	1514	2607.75	1826.25
ผลประหยัดเวลา (นาทีก)	9.9		13.1	

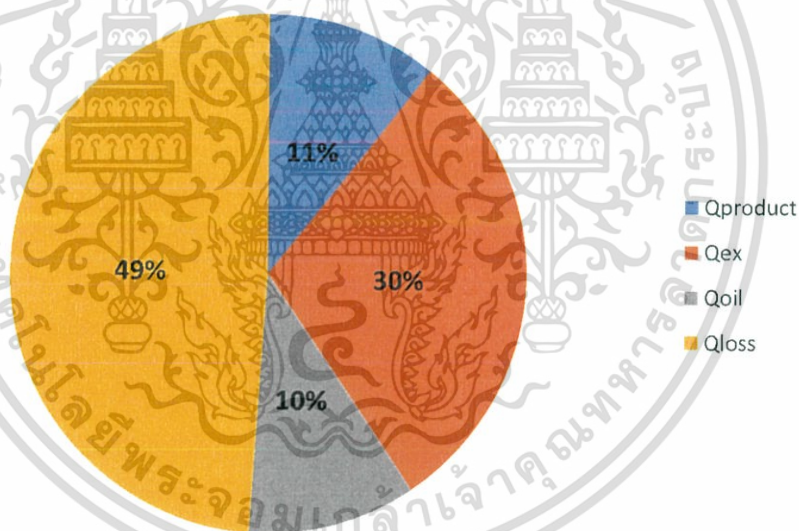
จากข้อมูลข้างต้นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสอากาศร้อนทำให้เกิดผลประหยัดในด้านการใช้เชื้อเพลิง การติดครีบความหนา 0.1 เซนติเมตร ความสูง 3 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีบสามารถลดการใช้เชื้อเพลิง จาก 0.30 เหลือ 0.22 ต่อกระบวนการโดยเฉลี่ย คิดเป็นผลประหยัดแก๊ส 26.67% ลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการของผลิตภัณฑ์ไส้ขนมเฉลี่ย 9.90 นาที และผลิตภัณฑ์น้ำ 13.10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ส่วนที่ 4 วัดประสิทธิภาพเริ่มต้นของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑเบเกอรี่เพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเริ่มต้นของหม้อกวนไส้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 5.13 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนของน้ำ



รูปที่ 5.14 สัดส่วนปริมาณการใช้ความร้อนของไส้ขนมพายข้าวโพด

การทดลองวัดสัดส่วนการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้จะทำให้ทราบอัตราการใช้ความร้อนเริ่มต้นที่แท้จริงของเครื่องกวนไส้ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องกวนไส้ติดครีบบ้างจำนวนใดๆ และเพื่อพิสูจน์ว่าหม้อทดลองสามารถทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนได้เหมือนเครื่องกวนไส้ในอุตสาหกรรม โดยทำการวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลเหมือนกับหม้อทดลอง คำนวณการถ่ายเทความร้อนในแต่ละส่วนโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้กับหม้อทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบสัดส่วนการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เทียบกับหม้อทอด
 ที่จำลองจากเครื่องกวนไส้ รูปที่ 5.9 กับ 5.13 และรูปที่ 5.11 กับ 5.14 สัดส่วนความร้อนที่ผลิตภัณฑ์
 น้ำใช้ของหม้อทอดคือ 18% เครื่องกวนไส้ 15% ผลิตภัณฑ์ไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ของหม้อทอด
 18% เครื่องกวนไส้ 11% สัดส่วนความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดคือ ความร้อนจากอากาศร้อนเหลือทิ้งกับ
 ความร้อนสูญเสียทางอื่น ผลิตภัณฑ์น้ำของหม้อทอด 76% เครื่องกวนไส้ 75% ผลิตภัณฑ์ไส้ขนม
 เบเกอรี่ของหม้อทอด 76% เครื่องกวนไส้ 79% จะต่างกันมากที่อากาศร้อนเหลือทิ้งเนื่องจาก
 หม้อทอดมีช่องว่างที่เกิดจากการสอดสายเทอโมคัปเปิล วัดอุณหภูมิน้ำมันทำให้ฝาปิดไม่สนิท
 จึงทำให้อากาศไหลออกค่าสัดส่วนอากาศร้อนเหลือทิ้งของหม้อทอดจึงน้อยกว่าเครื่องจริง
 เมื่อเทียบสัดส่วนความร้อนที่เสียไปกับสัดส่วนความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับ ถือว่ามีความใกล้เคียงกัน
 ดังนั้นหม้อทอดจึงสามารถใช้เทียบอัตราส่วนความร้อนของเครื่องกวนไส้ในอุตสาหกรรมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองที่แสดงในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งครีบบความหนา 0.1 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีบบที่ผิวสัมผัสอากาศ เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสขึ้น 3 เท่า ทำการทดลองโดยกำหนดอัตราการไหลของแก๊ส LPG 3 ลิตรต่อนาที ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์สองชนิด คือ น้ำและไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอร์ พบว่าจะใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่กระบวนการน้อยลง อุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น 17.30% และ 16.83% อุณหภูมิแก๊สทั้งต่ำลง 13.40% และ 25.72% ของผลิตภัณฑ์น้ำและไส้ขนมพายข้าวโพดตามลำดับเมื่อเทียบกับไม่ติดครีบบ เนื่องจากครีบบทำให้อากาศร้อนสัมผัสกับพื้นผิวหม้อมากขึ้นทำให้รับความร้อนจากอากาศได้เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าการติดครีบบสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน และก่อให้เกิดผลประหยัดค่าพลังงานเชื้อเพลิงได้ โดยครีบบสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ชั้นน้ำมันได้ 66.67% และ 67.67% ชั้นผลิตภัณฑ์ 44.44% และ 27.78% ของน้ำบริสุทธิ์และไส้ขนมพายข้าวโพดตามลำดับ สามารถลดเวลาในกระบวนการให้ความร้อนแก่น้ำ เฉลี่ย 11.88 นาที ไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอร์ เฉลี่ย 9.20 นาทีคิดเป็นผลประหยัดแก๊ส 26.67 % ผลิตภัณฑ์มีผลกับอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากค่าความร้อนจำเพาะผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความร้อนจำเพาะสูงจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ประหยัดเวลาในกระบวนการให้ความร้อนมากกว่า จากการคำนวณสมการคณิตศาสตร์ครีบบความหนา 0.1 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวน 30 ครีบบ สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับชั้นที่ถูกติดครีบบ 142.54% พบว่าสมการคณิตศาสตร์ให้ค่าที่เป็นแนวโน้มเดียวกับการทดลอง แต่มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากสมการคำนวณอยู่ภายใต้สมมติฐานสถานะอุดมคติ ซึ่งแตกต่างจากการทดลอง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

ในการวิเคราะห์เครื่องจักรที่มีอยู่แล้วนั้นการสร้างแบบจำลองแบบเอมพีริคัล จะเป็นวิธีการวิจัยที่ได้ผลแม่นยำตรงกว่าการใช้แบบจำลองทางทฤษฎี โดยออกแบบการทดลองที่จำนวน และความสูงครีบบต่างๆ เพื่อให้ได้แนวโน้มของผลการทดลอง และนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองทางทฤษฎี เพื่อออกแบบแนวทางการติดตั้งครีบบ และนำมาใช้ในการทดลองจริง เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ในการทำงาน และงบประมาณที่มี

บรรณานุกรม

- จารุภัส แสงวงผล, ชนะ สารสุวรรณ และพิชชาพร ประพินศรี. (2559). “การศึกษาตัวแปรในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาผัดไส้ขนมในอุตสาหกรรมอาหาร.” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประกาศิต ตีล่อม, อภินัฐ ตัณทวนิช, อนุวัต มั่นจิต, อภิสสิทธิ์ ลายทอง และกฤษฎา สาวันตี. (2562). สมบัติทั่วไปของ LPG [online] เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com>
- นวกัทธา หนูนาค และ ทวีพล สีอัสตัย. 2555. การวัดและเครื่องมีวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Bahadori, A. and Vuthaluru, H.B. (2010). “Estimation of energy conservation benefits in excess air controlled gas-fired system.”
- Corcione. (2005). Correlating equations for free convection heat transfer from horizontal isothermal cylinders set in a vertical array. In International Journal, Heat and Mass Transfer, V. 48. pp. 3660-3673
- Elnaggar, M.H.A. (2015). “Heat Transfer Enhancement by Heat Sink Fin Arrangement in Electronic Cooling” Engineering Department, Palestine Technical College-Deir EL-Balah.
- Incropera, F.P. and Dewitt, D.P. (2019). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6th ed SI Version. John Wiley&Son
- Lienhard, J.H. (2008). A heat transfer textbook. 3rd Ed. Cambridge : Phlogiston Press.
- Monsoanto. (1994) Therminol XP Heat Transfer Fluid with FDA/USP/NF status 0 °F to 600 °F. USA : Monsoanto company.
- Boushaki, T., Guessasma, S. and Sautet, J.C. (2010). “Predictive analysis of combined burnur parameter effects on oxy-fuel flame.”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

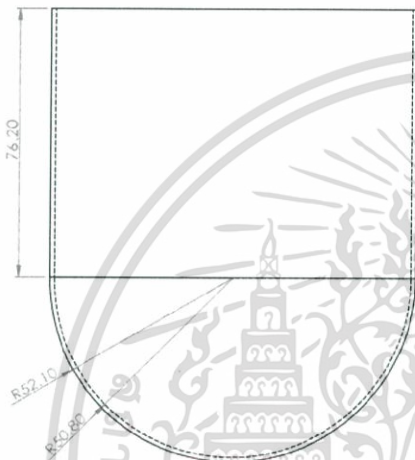
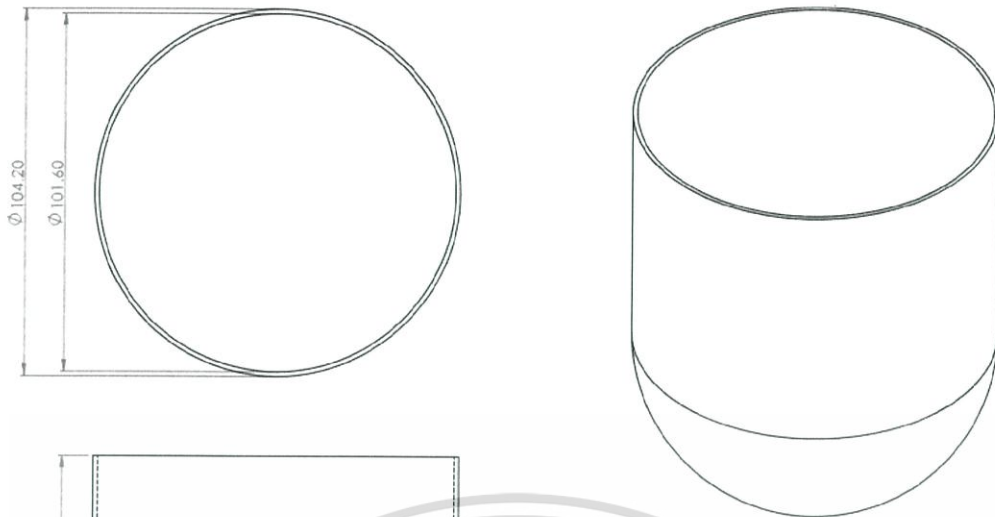
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก แบบภาพการติดตั้งครีบบที่หม้อทอดลอง



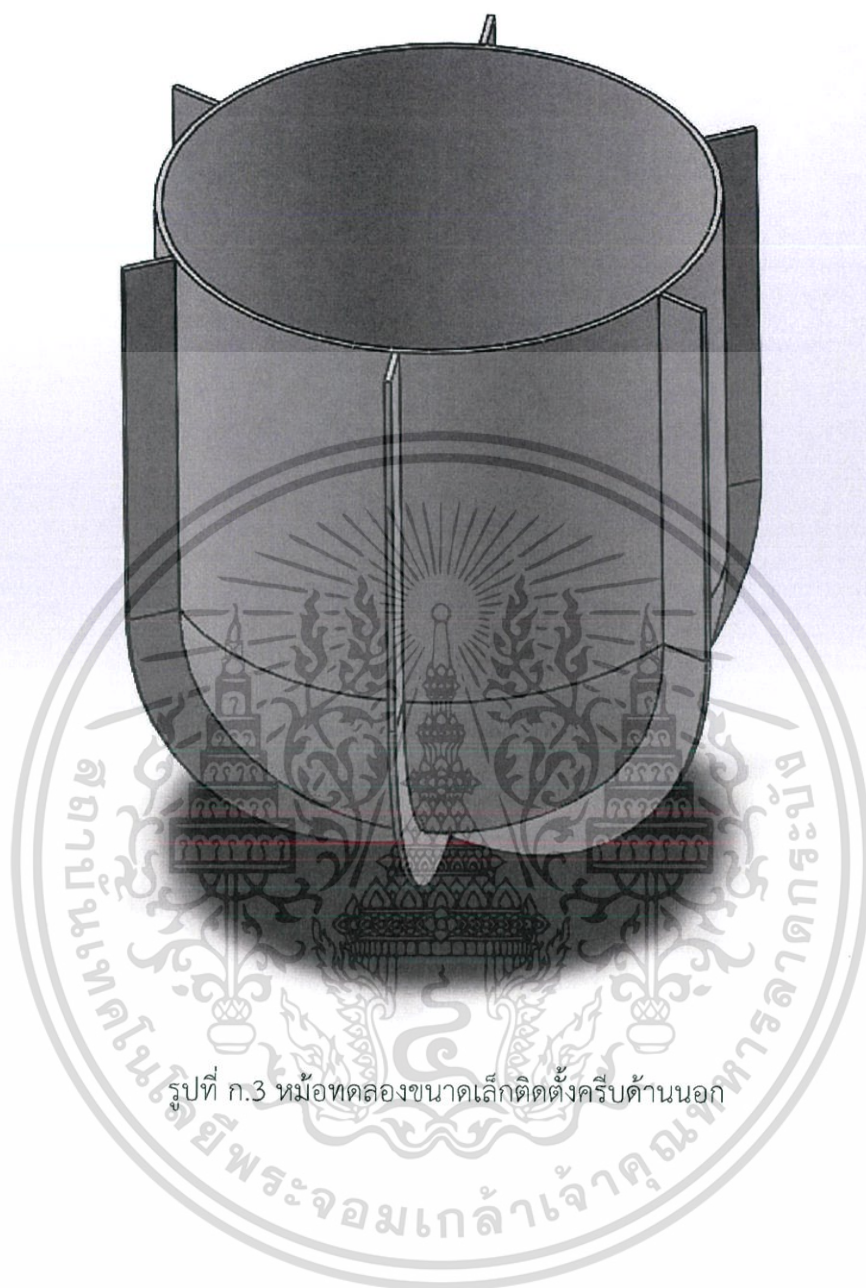
รูปที่ ก.1 หม้อทอดลองขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



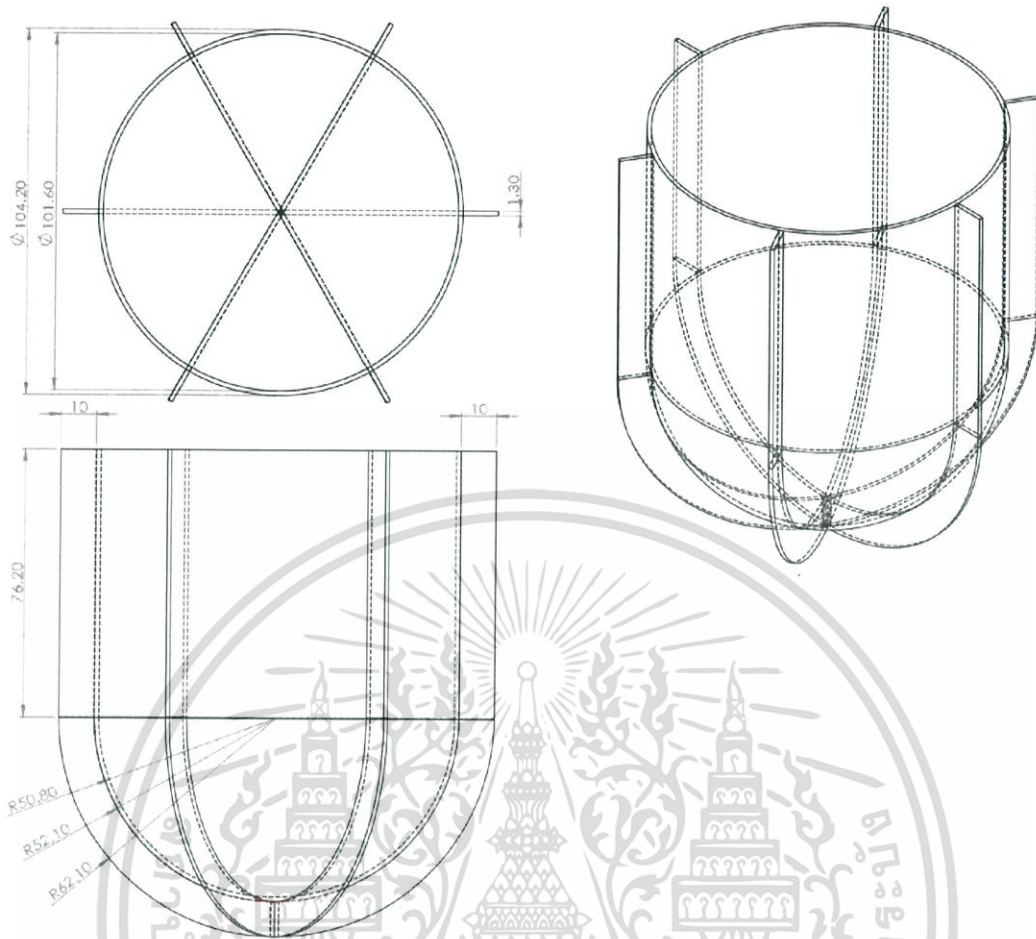
รูปที่ ก.2 หม้อทดลองขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 หม้อทดลองขนาดเล็กติดตั้งครีبد้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



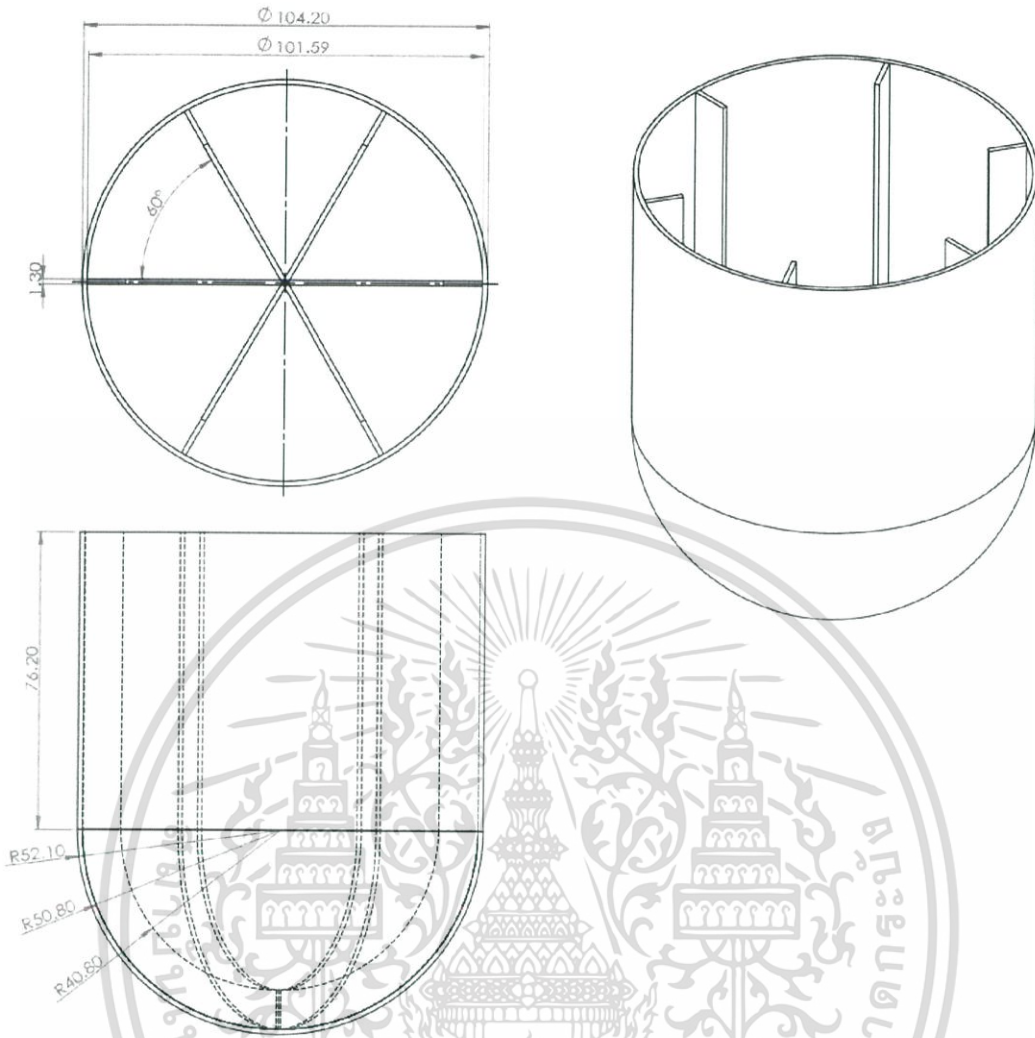
รูปที่ ก.4 หม้อทดลองขนาดเล็กติดตั้งครีبد้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 หม้อทดลองขนาดเล็กติดตั้งครีبد้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



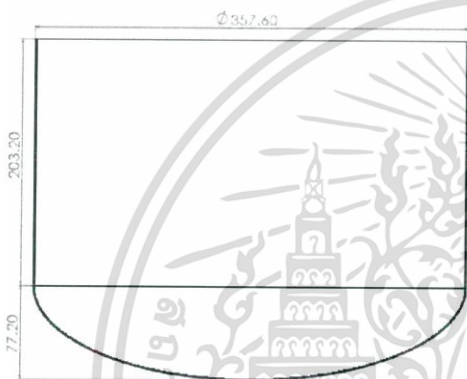
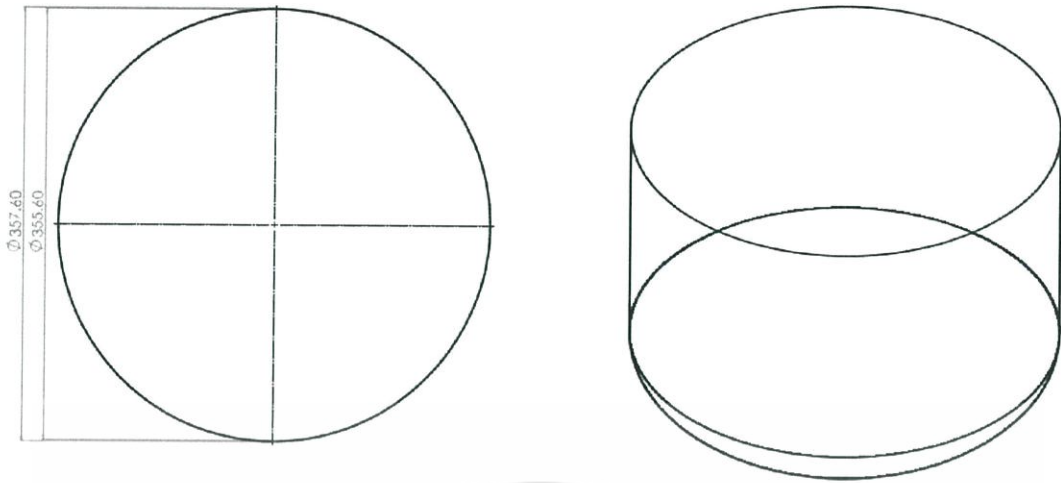
รูปที่ ก.6 หม้อทดลองขนาดเล็กติดตั้งครีbsd้านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



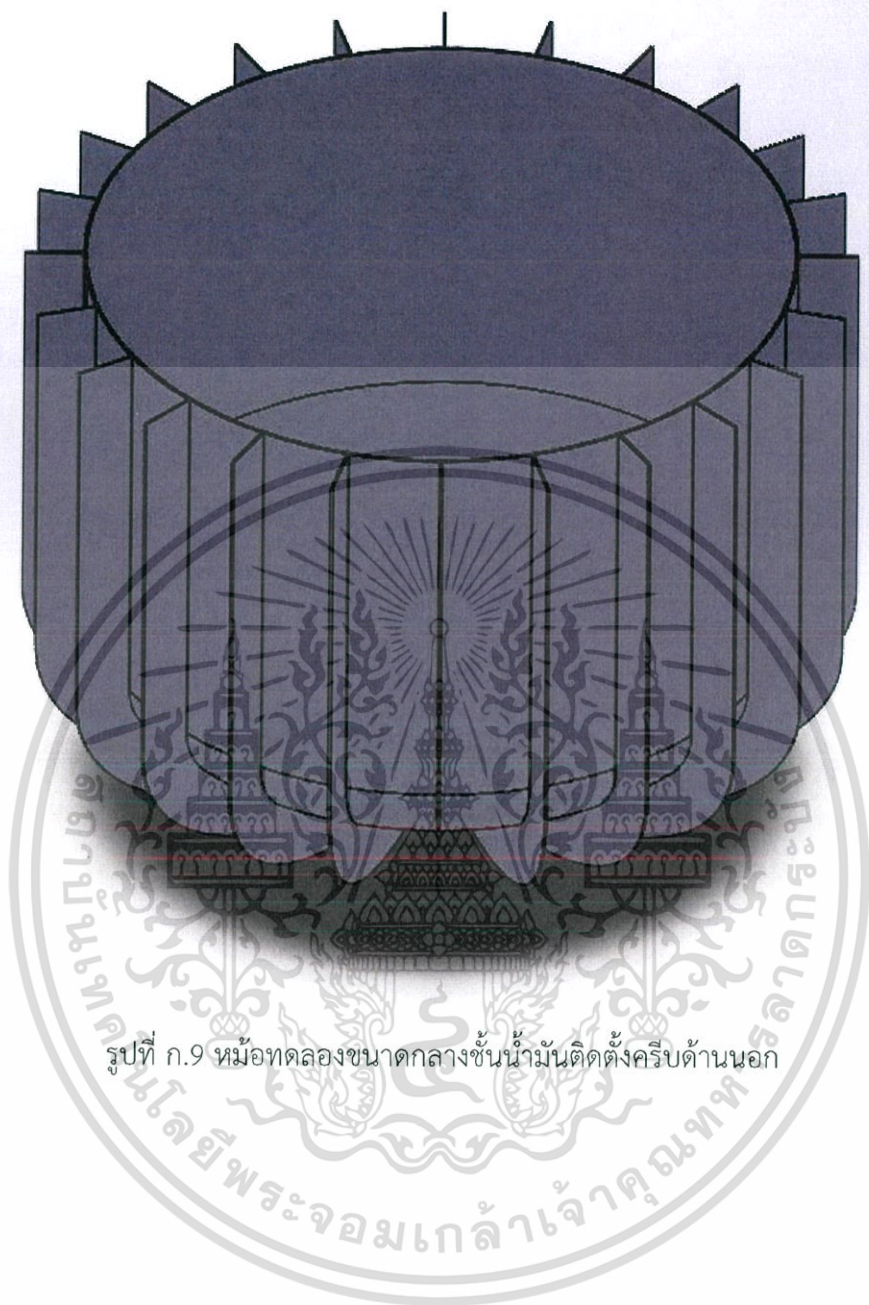
รูปที่ ก.7 หม้อทดลองขนาดกลางชั้นน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



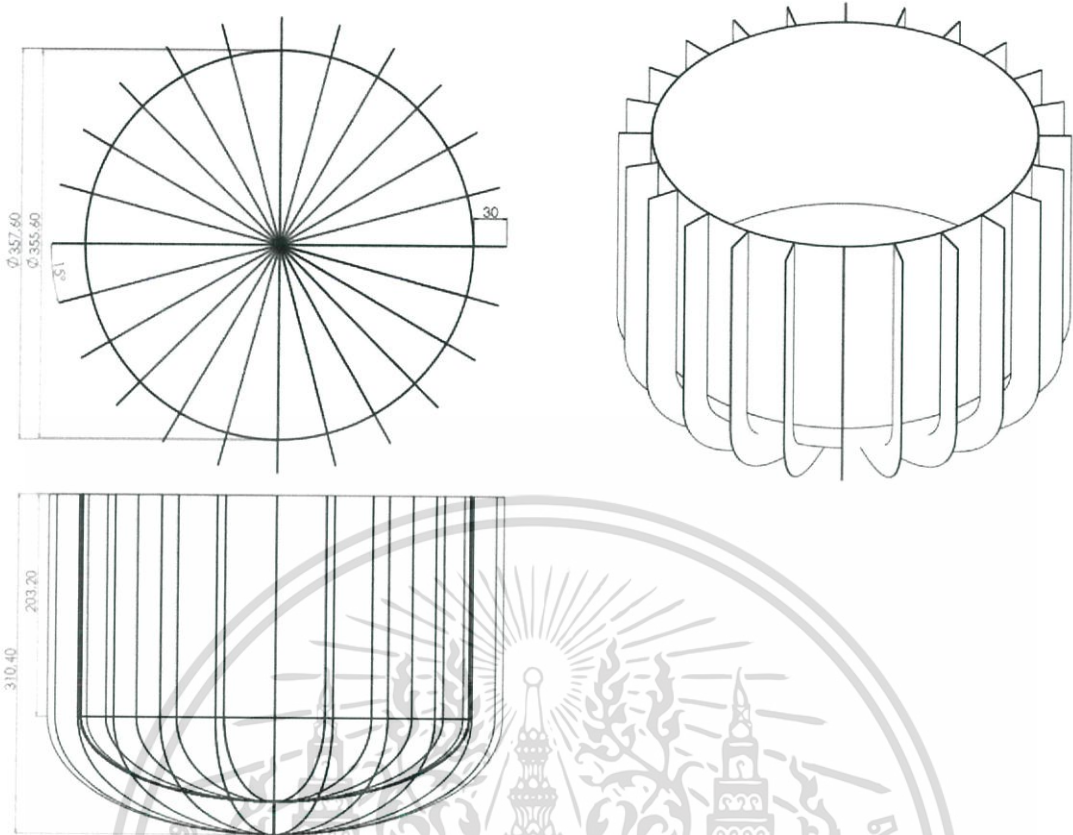
รูปที่ ก.8 หม้อทดลองขนาดกลางชั้นน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 หม้อทดลองขนาดกลางชั้นน้ำมันติดตั้งครีบด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 หม้อทอดขนาดกลางชั้นน้ำมันติดตั้งครีbsd้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ตารางและกราฟแสดงผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ค่าความร้อนในแต่ละการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในหม้อขนาดเล็กที่ไม่ติดตั้งครีบริบ ติดตั้งครีบริบด้านใน และติดตั้งครีบริบด้านนอก

ตาราง ข.1 ค่าความร้อนในแต่ละส่วนของหม้อขนาดเล็กที่ไม่ติดตั้งครีบริบ

การทดลองที่	ค่าความร้อนในแต่ละส่วน (J)			
	Q_{sensible}	Q_{latent}	$Q_{\text{ex+loss}}$	Q_{comb}
1	177450.43	178.22	1005843.34	1183472.00
2	174423.30	207.55	917699.15	1092330.00
3	175417.45	130.85	963955.70	1139504.00
4	169229.40	111.00	778719.60	948060.00
5	174430.00	114.60	855955.40	1030500.00
6	159265.87	121.60	926072.54	1085460.00
7	164439.80	135.13	920885.06	1085460.00
8	174575.21	121.37	782523.41	957220.00
9	169508.03	133.56	819638.42	989280.00
10	154024.93	124.31	789330.76	943480.00

ตาราง ข. 2 ค่าความร้อนในแต่ละส่วนของหม้อขนาดเล็กที่ติดตั้งครีบริบด้านใน

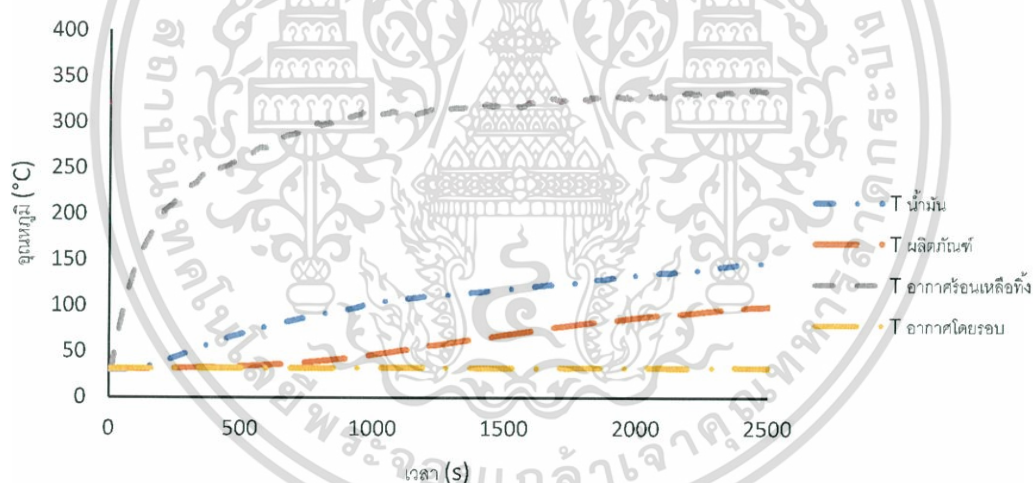
การทดลองที่	ค่าความร้อนในแต่ละส่วน (J)			
	Q_{sensible}	Q_{latent}	$Q_{\text{ex+loss}}$	Q_{comb}
1	177098.3	110.544	574,827.14	752,036.00
2	176806.6	126.336	576,019.10	752,952.00
3	175056	101.52	546,650.48	721,808.00
4	175114.4	97.008	548,428.64	723,640.00
5	175085.2	107.6112	539,287.21	714,480.00
6	165162.8	111.4464	530,885.72	696,160.00
7	175260.2	95.6544	571,184.11	746,540.00
8	175406.1	114.8304	580,179.06	755,700.00
9	172814	100.6176	518,665.35	691,580.00
10	175318.6	100.6176	516,160.80	691,580.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข. 3 ค่าความร้อนในแต่ละส่วนของหม้อเล็กที่ติดตั้งครีบบ้านนอก

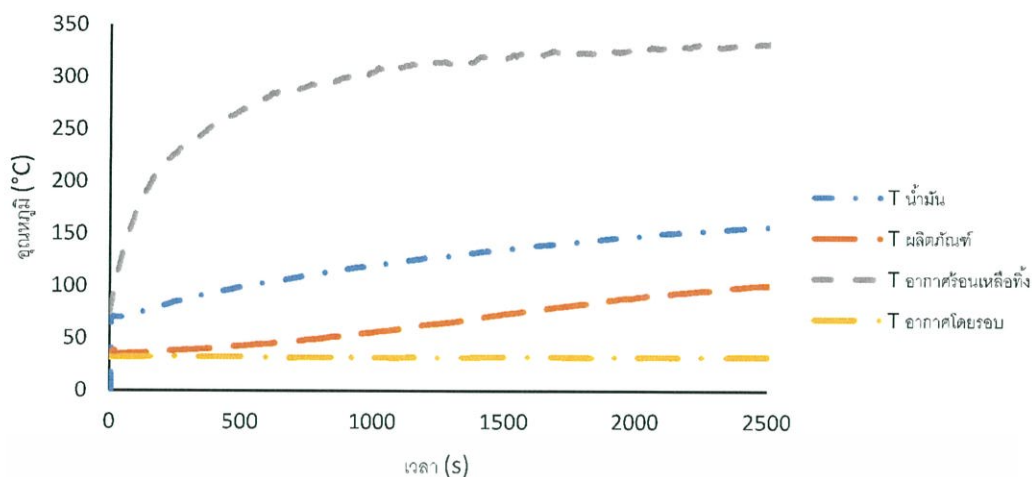
การทดลองที่	ค่าความร้อนในแต่ละส่วน (J)			
	Q_{sensible}	Q_{latent}	$Q_{\text{ex+loss}}$	Q_{comb}
1	174855.9	117.312	809,268.75	984,242.00
2	173418	153.408	801,510.62	975,082.00
3	172555.2	151.152	917,791.65	1,090,498.00
4	160157.9	117.312	815,264.79	975,540.00
5	172670.2	131.0736	885,178.69	1,057,980.00
6	172555.2	110.3184	826,690.48	999,356.00
7	172842.8	145.0608	935,372.15	1,108,360.00
8	162985.5	152.0544	981,862.47	1,145,000.00
9	172555.2	130.848	839,493.95	1,012,180.00
10	162579.1	117.0864	780,783.82	943,480.00

การทดลองที่ 2 การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำ ในหม้อทดลองขนาดกลางที่ไม่ติดตั้งครีบบ้านนอก

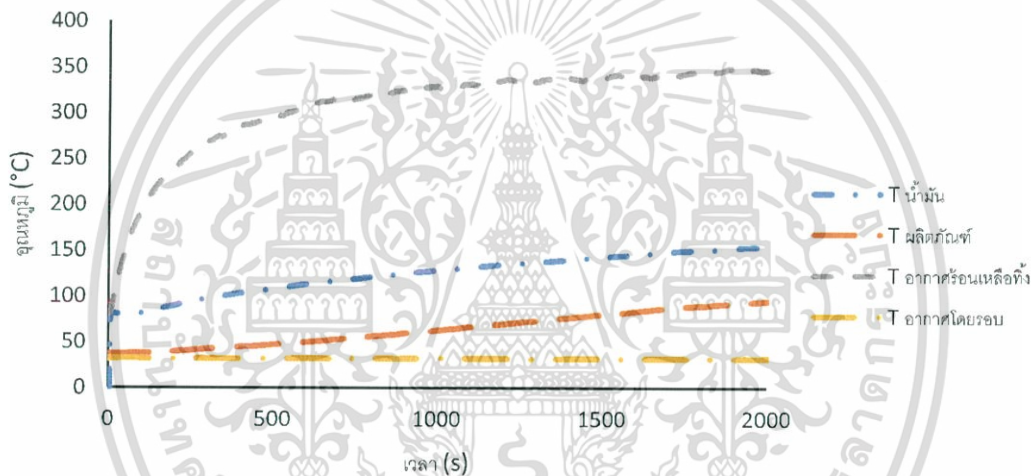


รูปที่ ข. 1 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 1

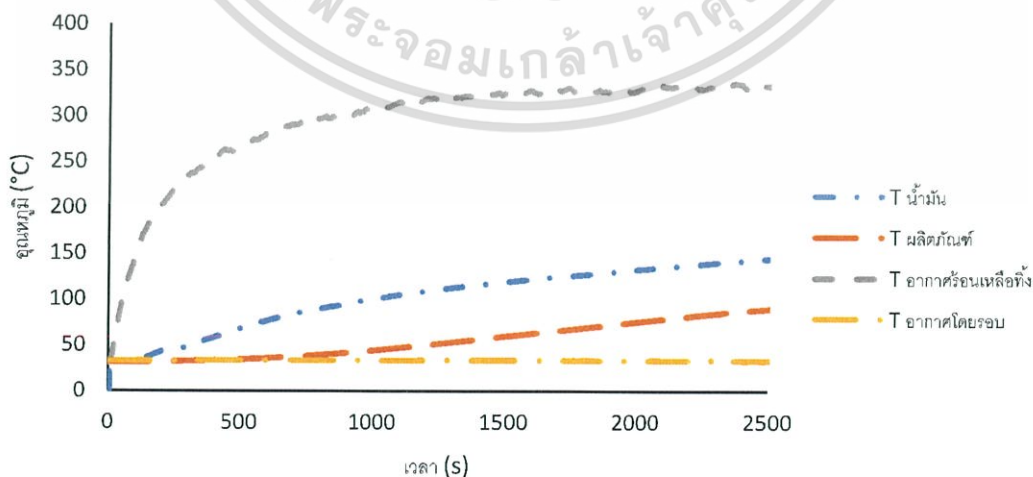
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 2 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 2

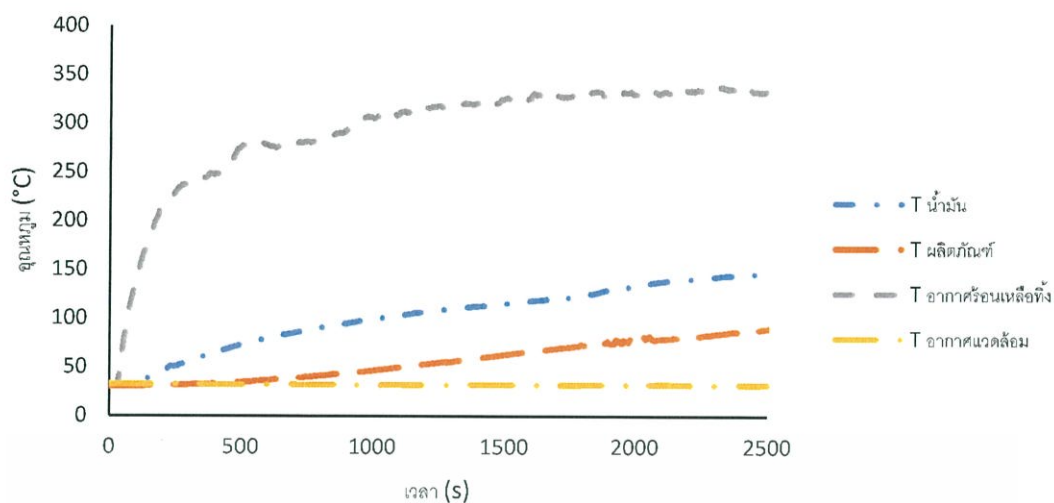


รูปที่ ข. 3 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 3

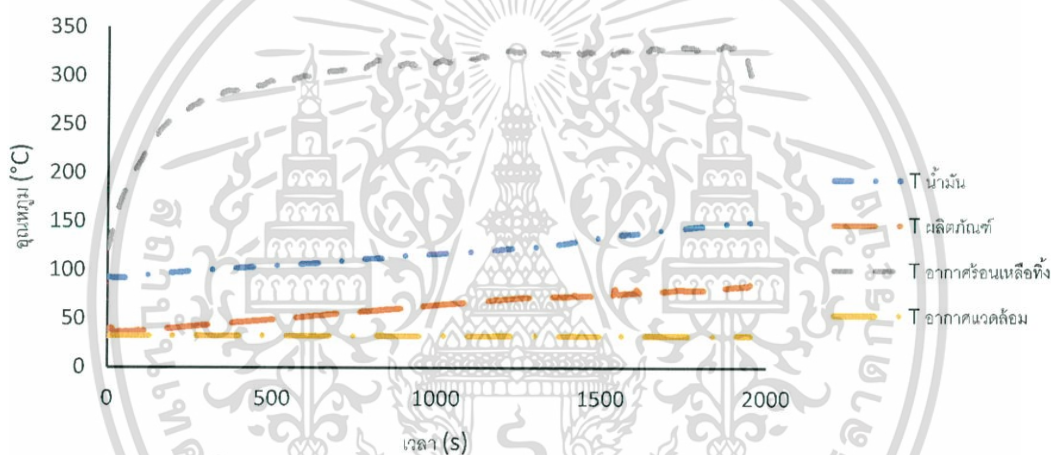


รูปที่ ข. 4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 4

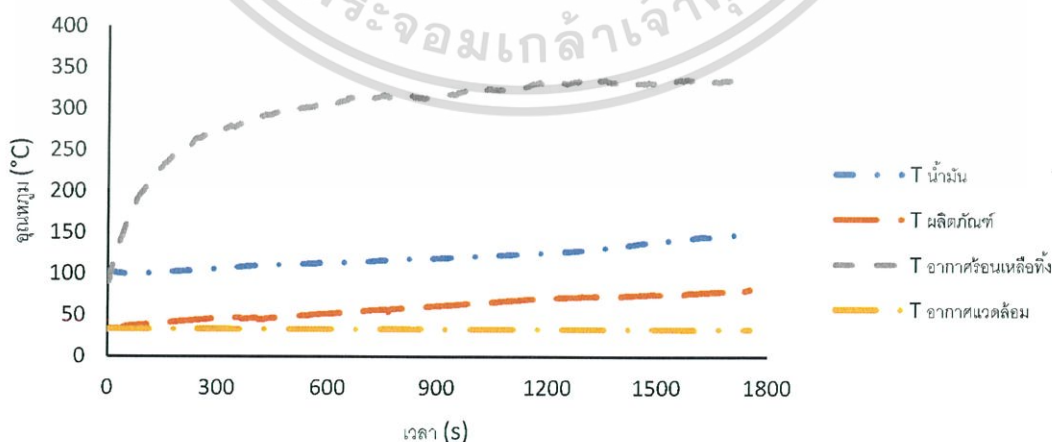
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 5 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 1

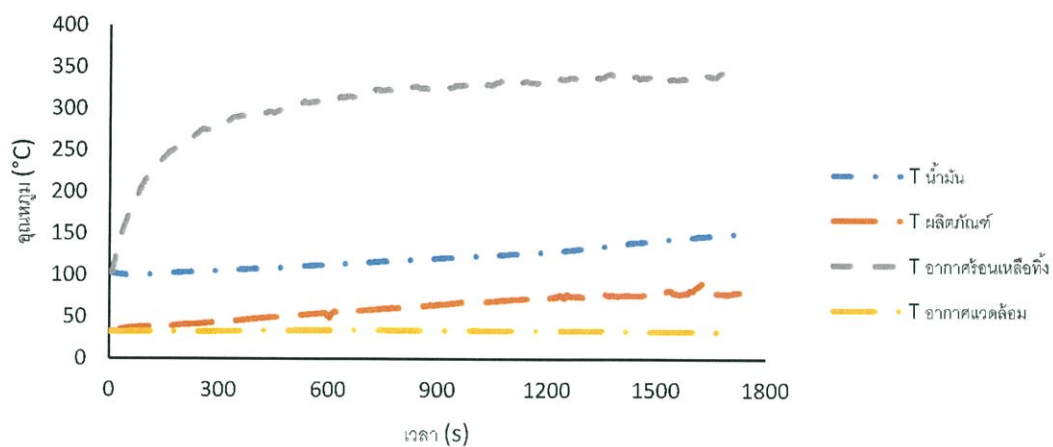


รูปที่ ข. 6 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 2



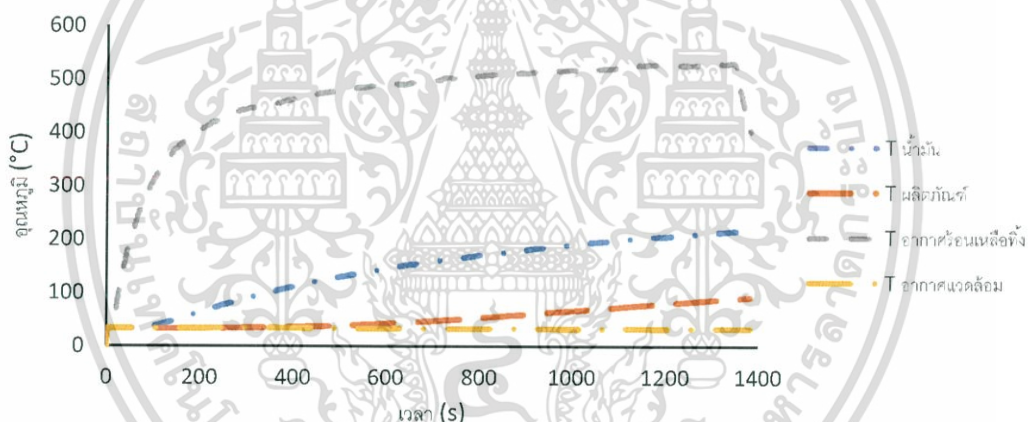
รูปที่ ข. 7 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

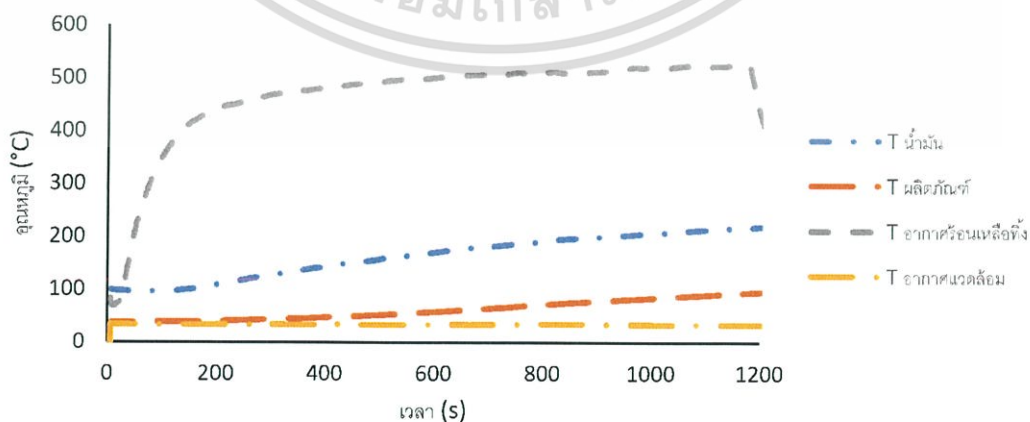


รูปที่ ข. 8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ไอน้ำพวยข้าวโพดครั้งที่ 4

การทดลองที่ 3 การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำ ในหม้อหม้อกวนไอน้ำในอุตสาหกรรมที่ไม่ติดตั้งครีบ

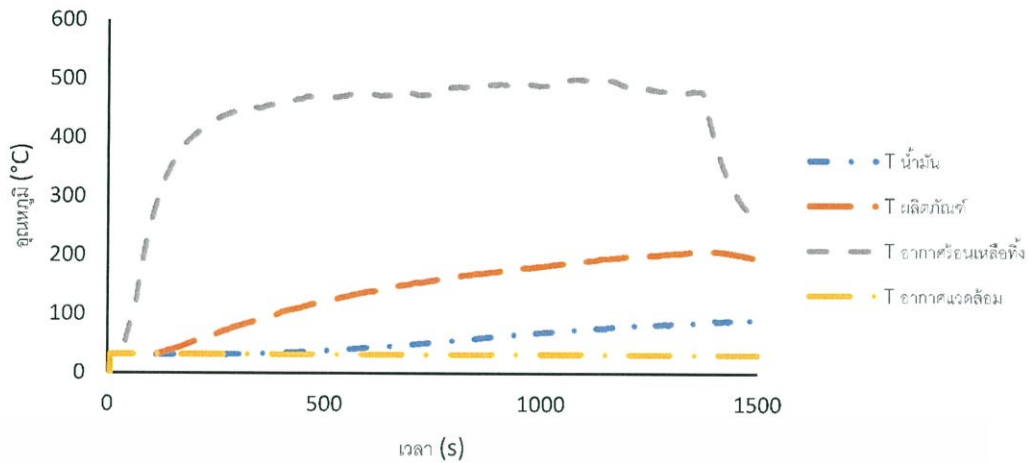


รูปที่ ข. 9 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 1

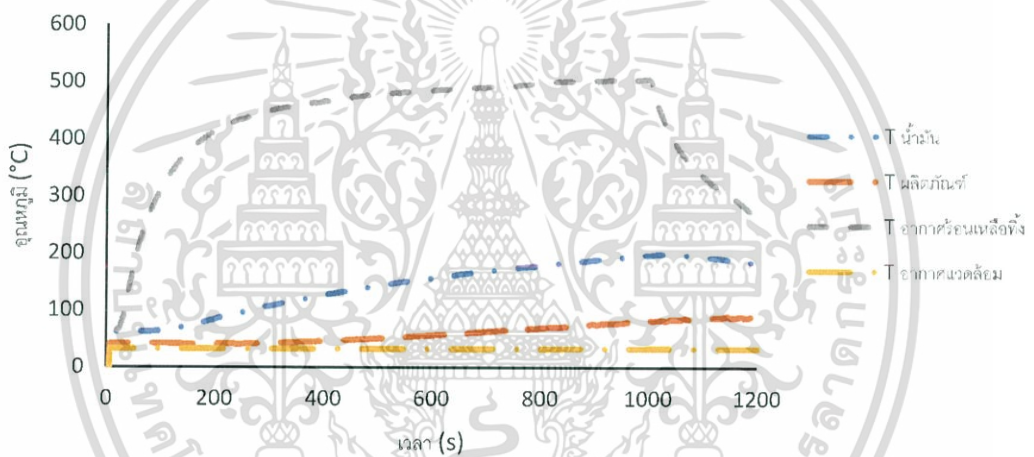


รูปที่ ข. 10 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 2

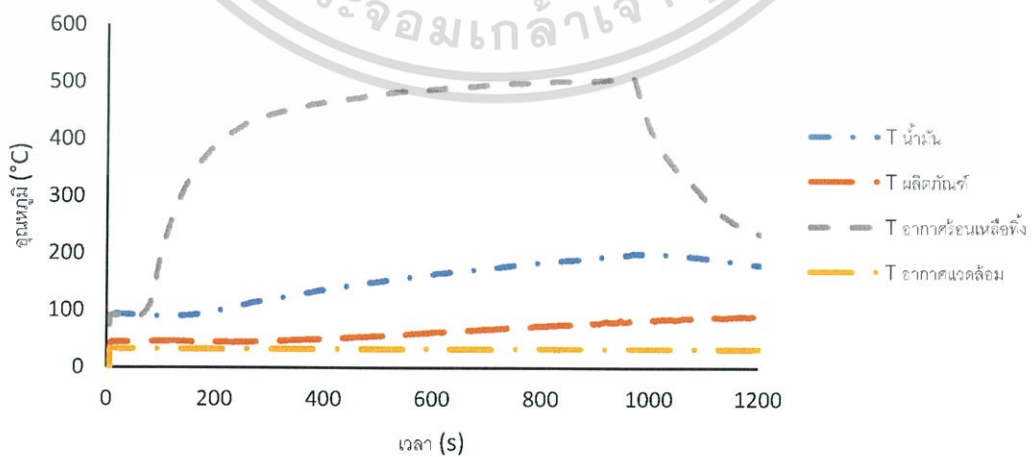
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 11 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 1

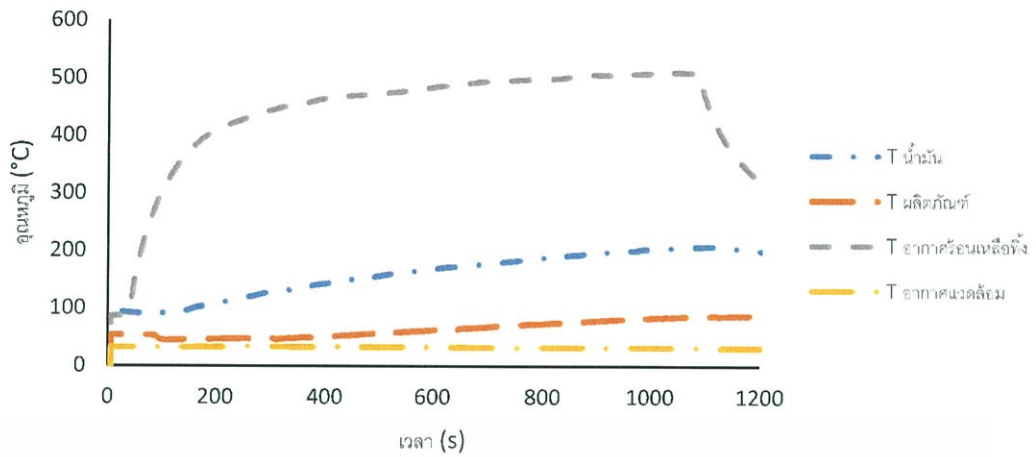


รูปที่ ข. 12 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 2



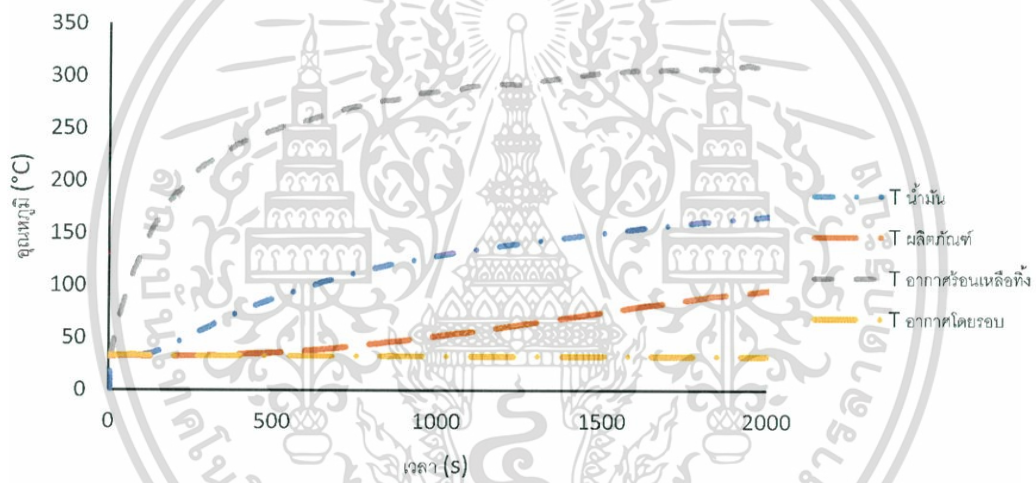
รูปที่ ข. 13 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



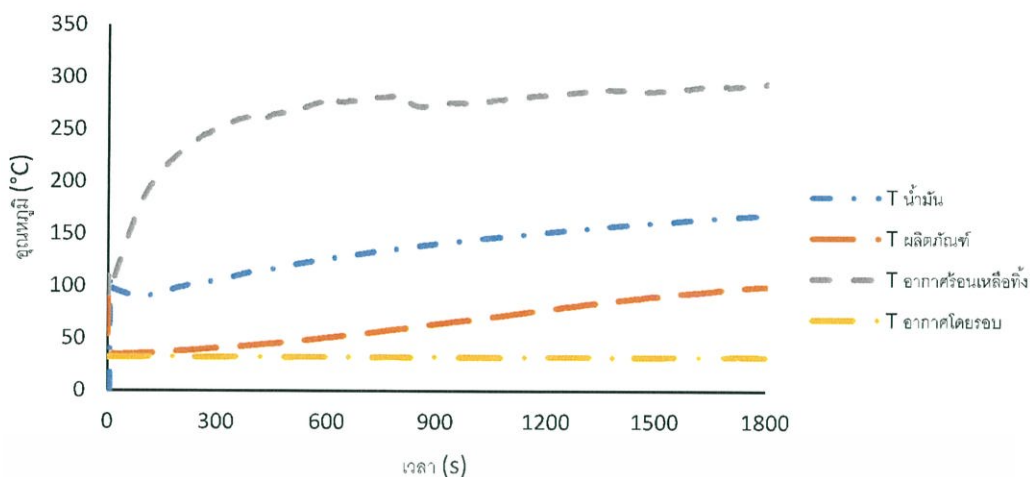
รูปที่ ข. 14 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 4

การทดลองที่ 4 การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำ ในหม้อทดลองขนาดกลางที่ติดตั้งครบ

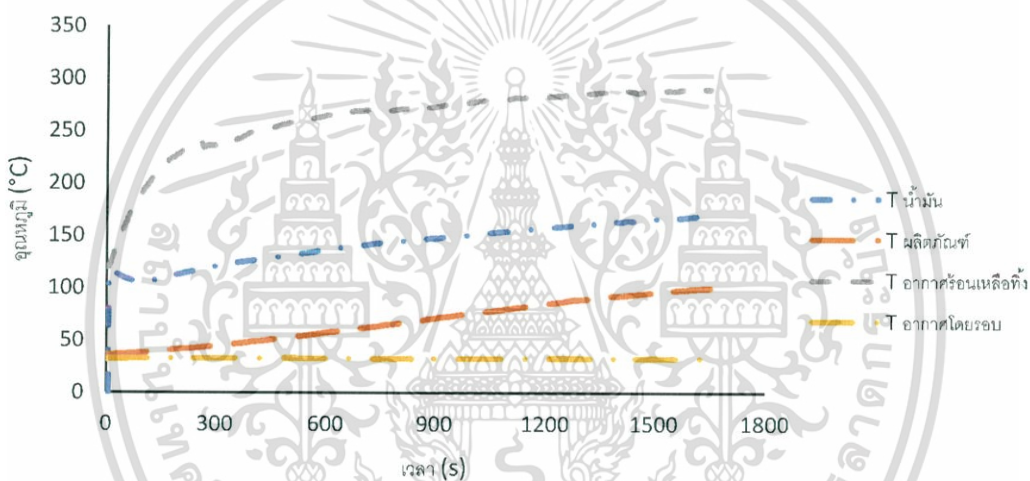


รูปที่ ข. 15 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 1

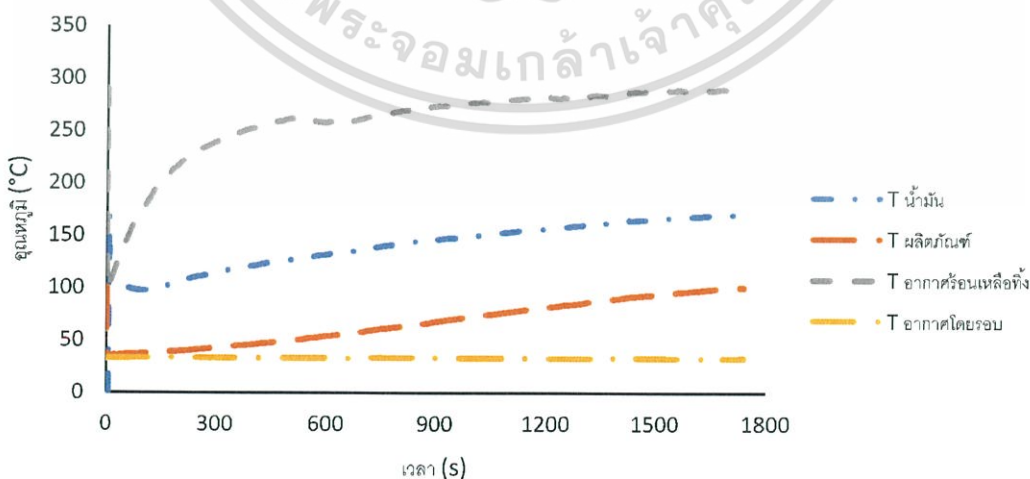
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 16 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 2

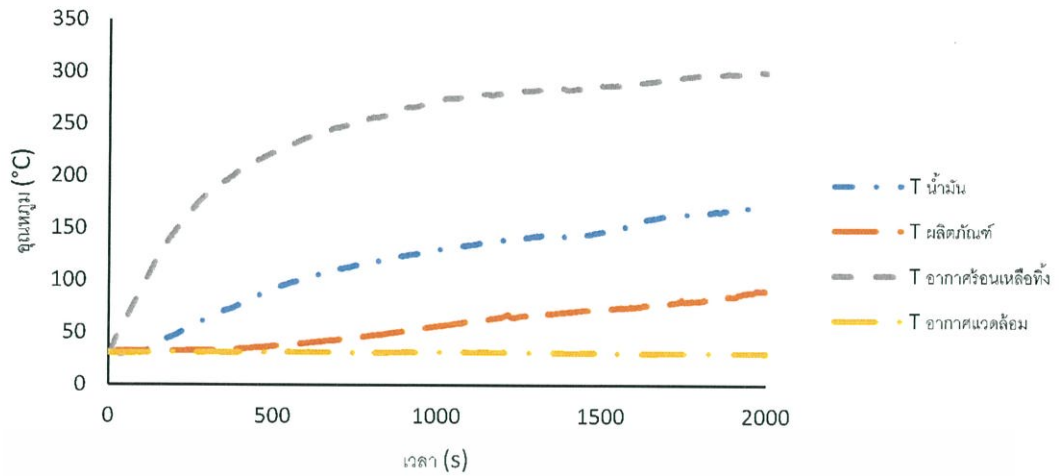


รูปที่ ข. 17 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 3

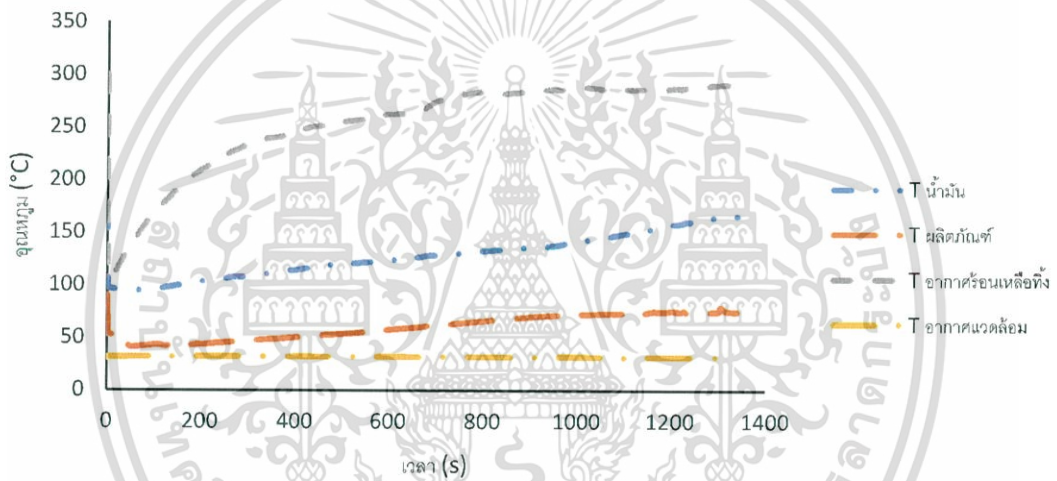


รูปที่ ข. 18 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดครั้งที่ 4

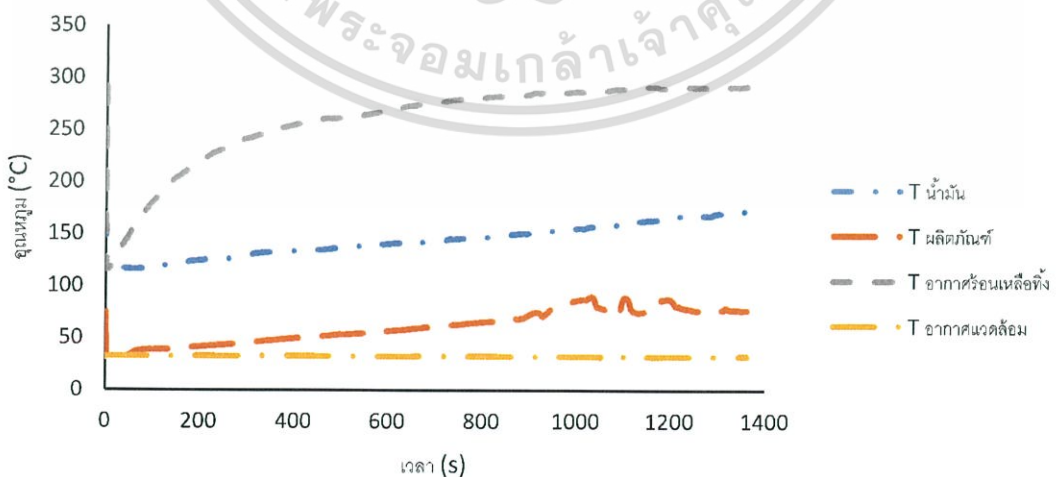
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 19 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 1

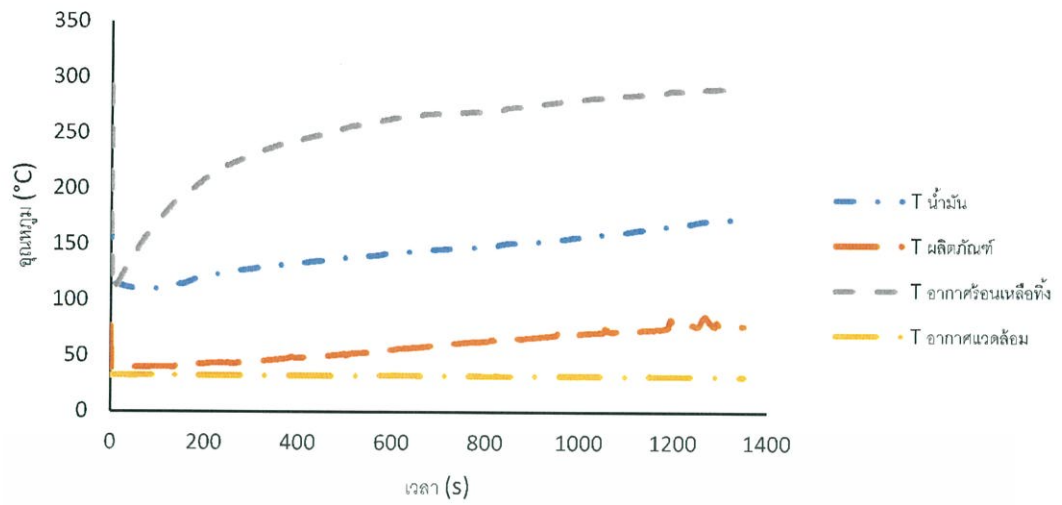


รูปที่ ข. 20 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 2



รูปที่ ข. 21 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ไส้ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 22 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนภายในชั้นต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ใส่ขนมพายข้าวโพดครั้งที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้