

การศึกษาการออกแบบและการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัด  
โดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน

A STUDY ON THE DESIGN AND CONTROL FLUID OF HEAT EXCHANGE IN  
OIL JACKED COOKER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาการออกแบบและการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัด  
โดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน

A STUDY ON THE DESIGN AND CONTROL FLUID OF HEAT EXCHANGE IN  
OIL JACKED COOKER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A STUDY ON THE DESIGN AND CONTROL FLUID OF HEAT EXCHANGE IN  
OIL JACKED COOKER



NATNAREE EIAMLA-OR  
SUPPAVIT PLONG-ON  
AMONKAN JANTARENU

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR PF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการออกแบบและการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัดโดยใช้น้ำมัน  
ถ่ายเทความร้อน

A STUDY ON THE DESIGN AND CONTROL FLUID OF HEAT EXCHANGE IN OIL  
JACKED COOKER

ผู้จัดทำ

- |                   |            |                       |
|-------------------|------------|-----------------------|
| 1. นางสาวณัฐนรี   | เอี่ยมละออ | รหัสนักศึกษา 60010311 |
| 2. นายศุภวิชญ์    | ปลั่งอ่อน  | รหัสนักศึกษา 60011005 |
| 3. นางสาวอมรภานต์ | จันทเรณู   | รหัสนักศึกษา 60011157 |





(ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อโครงการ	การศึกษาการออกแบบและการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัดโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน	
จัดทำโดย	นางสาวณัฐนรี	เอี่ยมละออ
	นายศุภวิชญ์	ปลั่งอ่อน
	นางสาวอมรกานต์	จันทเรณู
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2563	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้นแบบที่เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานแก๊สสูงต้มของเตาแรงดันสูงที่ใช้ในท้องตลาดได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหัวเตาแรงดันสูง โดยทำการทดสอบเตาแรงดันสูงในการประกอบอาหาร 3 ประเภท จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบเตามาคำนวณการใช้พลังงานความร้อนและประสิทธิภาพของเตา และใช้ค่าในการออกชุดการทดลองเตาต้นแบบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วัสดุที่ใช้คือทองแดง โดยมีความยาว 200 มิลลิเมตร ประกอบด้วย 3 ห้อง เพื่อให้อากาศร้อนไหลกลับได้ 3 รอบท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 มิลลิเมตร ความยาว 165 มิลลิเมตร จำนวน 9 ท่อ ความยาว 150 มิลลิเมตร จำนวน 15 ท่อ และท่อทางแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41.4 มิลลิเมตร 1 ท่อ โดยทองแดงมีค่าการนำความร้อน 386 (W/m.K) มีค่าความหนาแน่น 8.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความจุความร้อนจำเพาะของทองแดงเท่ากับ 0.390 (kJ/kg.K) ที่อุณหภูมิห้องและที่ความดันบรรยากาศ จากการออกแบบชุดทดลองต้นแบบสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย ค่าประสิทธิผล 0.17 จึงควรออกแบบให้มีค่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and I cite the document when use.

<b>Project Title</b>	A study on the design and control fluid of heat exchange in Oil Jacked Cooker	
<b>Student</b>	Ms. Natnaree	Eiamla-or
	Mr. Suppavit	Plong-on
	Ms. Amonkan	Jantarenu
<b>Project Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Kiattisak Roonprasang	
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Food Engineering	
<b>Academic Year</b>	2020	

### ABSTRACT

The main objectives of this research were to study the variables and design a prototype of heat exchanger that increases heat transfer efficiency, which can reduce the use of liquefied petroleum gas of high pressure gas stoves in the market. In this research, studies and tests were conducted to analyze the efficiency of high pressure stoves. Three types of cooking high pressure gas stoves were tested and the values that obtained from the testing in stoves were calculated to thermal energy and the efficiency of the stoves. This values is a guideline for designing a prototype stove and heat exchanger. Copper is used to make heat exchanger, with a length of 200 mm, consisting of 3 chambers to allow hot air to flow back in 3 rounds, 9 copper tubes with a diameter of 6.35 mm and a length of 165 mm. Then, 15 copper tubes have a length of 150 mm and a copper tube with a diameter of 4.4 mm. Copper has a thermal conductivity of 386 (W/mK) and the density is 8.96 grams per cubic centimeter. The specific heat capacity of copper is 0.390 (kJ/kg.K) at room temperature and at atmospheric pressure. Heat exchangers effectiveness is 0.17. Therefore, it should be designed to have a lot of heat exchange area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **II** cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์จาก ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ให้คำแนะนำ คำปรึกษา คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับท่านคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาเพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านนำมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพิชชาพร ประพินศิริ และคุณกรกมล เมฆมณฑีร์ ให้คำแนะนำและข้อชี้แนะแนวทางการออกแบบการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัดโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ คุตะคุ ที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนา ผลโพธิ์ ที่จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองโครงงานและจัดทำหนังสือรับรองในการยื่นอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ทุกคนในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและนอกสาขาวิชาที่ให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่องการศึกษาการออกแบบและการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัดโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน ซึ่งได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2563

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำทุกท่านผู้ที่มอบชีวิตการศึกษาและอนาคตที่ดีตลอดจนให้คำปรึกษาความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นักศึกษาผู้ทำโครงงาน

นางสาวณัฐนรี เอี่ยมละออ

นายศุภวิชญ์ ปลั่งอ่อน

นางสาวอมรภานต์ จันทเรณู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัย.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 เตาหุงต้มแบบแรงดันสูง.....	4
2.1.2 แก๊สปิโตรเลียมเหลว.....	4
2.1.3 อุณหภูมิและสีของเปลวไฟ.....	4
2.1.4 การถ่ายเทความร้อน.....	4
2.1.5 ความร้อนเหลือทิ้ง.....	6
2.1.6 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง.....	6
2.1.7 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์.....	6
2.1.8 ความร้อนแฝงของการระเหย.....	6
2.2.9 เครื่องมือและอุปกรณ์การวัด.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 การออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพ.....	13
3.1 การทดลองเบื้องต้น.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 3.3 การทำงานของชุดการทดลองต้นแบบ..... ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ  
ใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การใช้งานชุดทดลองต้นแบบ .....	25
3.5 ทดลองเพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของหัวพันไฟ.....	25
3.6 การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำมัน.....	26
3.7 ทดลองหาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนร้อนในการประกอบอาหาร.....	27
3.8 การทดสอบหาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อน .....	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
4.1 การเก็บข้อมูลจากเตาผัดโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน.....	31
4.2 วิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง .....	32
4.3 ผลการสร้างแบบจำลองการงเพื่อเชื่อมโยงผลของอัตราการไหลกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	35
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	35
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	35
บรรณานุกรม.....	37
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก ก การออกแบบชุดทดลองต้นแบบ .....	40
ภาคผนวก ข รายละเอียดการสร้างชุดทดลองต้นแบบ.....	46
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	47
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณ.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางการนำความร้อนของวัสดุทั่วไป .....	6
2.2 ตารางค่าความร้อนของเชื้อเพลิง .....	7
4.1 การคำนวณการสร้างแบบจำลองเพื่อเชื่อมโยงผลของอัตราการใช้พลังงานกับการถ่ายเทความร้อน.....	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **VI** cite the document when use.

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างเตาหุงต้มแบบแรงดันสูง .....	3
2.2 อุณหภูมิและสีของเปลวไฟ.....	4
2.3 กล้องถ่ายภาพความร้อนแบบพกพา.....	8
2.4 ตัวอย่างรูปภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนแบบพกพา.....	8
2.5 เครื่องมือปรับความดันก๊าซ .....	9
2.6 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปีโตต์.....	10
3.1 ผังแสดงการทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง .....	11
3.2 ไดอะแกรมการทดลองจุดการทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง.....	13
3.3 จุดวัดอุณหภูมิในการทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง .....	13
3.4 ภาพถ่ายความร้อนจากกล้องถ่ายภาพความร้อน .....	14
3.5 จุดวัดอุณหภูมิในการทดลองหัวพ่นไฟ.....	15
3.6 การทดสอบวัดประสิทธิภาพ .....	16
3.7 เกจวัดความดัน.....	18
3.8 หัวพ่นไฟ.....	18
3.9 ป้อนแบบหมุนเหวี่ยง .....	18
3.10 ท่ออย่างซิลิโคนกันความร้อนสูง.....	19
3.11 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	19
3.12 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณตัวถัง.....	20
3.13 ตัวถังที่ได้จากการออกแบบ.....	20
3.14 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณกระทะ 2 ชั้น.....	21
3.15 กระทะ 2 ชั้นที่ได้จากการออกแบบ.....	21
3.16 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณตัวถัง.....	22
3.17 ถังพักที่ได้จากการออกแบบ.....	22
3.18 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน .....	23
3.19 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบ.....	23
3.20 ภาพจำลองชุดทดลองต้นแบบ .....	24
3.21 ไดอะแกรมของชุดทดลองต้นแบบ .....	24
3.22 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองหาอัตราการถ่ายเทความร้อนหัวพ่นไฟ.....	26
3.23 ลักษณะเปลวไฟหัวพ่นไฟ.....	26
3.24 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองอัตราการไหลของน้ำมัน.....	27
3.25 วัดความเร็วรอบของมอเตอร์.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, or VII cite the document when use.

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	30
4.1 วิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง.....	32
4.2 อุณหภูมิและสีของเปลวไฟ.....	31
ก.1 โครงสร้างตัวถัง.....	41
ก.2 โครงสร้างถังพัก.....	42
ก.3 โครงสร้างป้อน.....	43
ก.4 โครงสร้างท่อทองแดงภายในตัวถัง.....	44
ก.5 โครงสร้างกระทะ.....	45
ค.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูงอาหารประเภททอด.....	48
ค.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูงอาหารประเภทตุ๋น.....	48
ค.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูงอาหารประเภทผัด.....	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and VIII cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันอาหารริมทางหรืออาหารบาทวิถี (street foods) ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ได้มากขึ้นในเรื่องราคาไม่แพง และมีความหลากหลาย สะดวกสบายในการรับประทานในประเทศไทยโดยปีพ.ศ. 2559 ประเมินว่ามีร้านอาหารริมทางประมาณ 103,000 ร้านคิดเป็นร้อยละ 69 ของร้านอาหารทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าราว 228 พันล้านบาท เดิมโตเฉลี่ยร้อยละ 5.4 ต่อปี (ยงวุฒิ, 2561) สำนักข่าวซีเอ็นเอ็นจัดอันดับ 23 เมืองที่มีอาหารริมทางหรือที่ตีที่สุดในโลก โดยยกให้กรุงเทพมหานครเมืองหลวงของประเทศไทยเป็นอันดับ 1 ของโลก (Shea, 2016) อาหารไทยถือเป็นอาหารที่มีชื่อเสียงระดับโลก มีเอกลักษณ์และขึ้นชื่อมากในเรื่องรสชาติ ความหลากหลายมีตั้งแต่อาหารเรียกน้ำย่อย อาทิเช่น ลูกชิ้นทอด ไก่ทอด ปาท่องโก๋ หรืออาหารจานหลักอย่างข้าวผัด ผัดไท ก๋วยเตี๋ยว ได้รับความนิยมเป็นที่รู้จักที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปจำนวนมาก เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้เตาแก๊สหุงต้มหัวเตาแบบเตาฟู่ (Conventional Burner) ซึ่งให้ความร้อนสูงกว่าเตาแก๊สที่ใช้ตามครัวเรือนทั่วไป ในการขายอาหารบางประเภท ต้องใช้การให้ความร้อนที่สูงอยู่ตลอดเวลา เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นมีการเผาไหม้ในลักษณะเปิดจึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่เนื่องจากว่าการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพาความร้อนเป็นส่วนใหญ่ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสียโดยการพาความร้อนทำให้การใช้เตาแก๊สในปัจจุบันนั้นใช้เชื้อเพลิงเป็นแก๊สอย่างมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ (วิเชียร, 2541)

งานวิจัยนี้ได้เห็นถึงความต้องการในการศึกษาการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารที่ใช้เตาแก๊สหุงต้มแบบเตาฟู่ การเป็นอุปกรณ์หลักในการประกอบอาหาร โดยการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบในแต่ละครั้งได้ใช้พลังงานความร้อนเป็นปริมาณมาก การจัดการการใช้พลังงานความร้อนจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องทำให้เหมาะสม งานวิจัยนี้คิดขึ้นเพื่อพัฒนาเตาฟู่ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (จารุภัส, 2559) เป็นแบบจำลองในการใช้พลังงานความร้อนซึ่งการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การใช้พลังงานความร้อนโดยตรงและการให้พลังงานความร้อนทางอ้อม การใช้พลังงานความร้อนโดยตรงคือ ความร้อนจากแหล่งกำเนิดจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงและการใช้พลังงานความร้อนโดยอ้อมคือการถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงานโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือตัวกลาง เราควรใช้พลังงานความร้อนนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึง ดังนั้นจึงเกิดแนวทางในการศึกษาประสิทธิภาพของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์เชิงการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องกวนไส้เบอเกอร์ด้วยวิธีการควบคุมไหลของน้ำมันในท่อเพื่อลดการใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้มตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ง่ายต่อการคำนวณและทดลองคืออุณหภูมิน้ำมันปริมาณก๊าซหุงต้มที่ใช้

## 1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 สร้างแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถลดพลังงานแก๊สหุงต้ม

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ระหว่างเตาแก๊สหุงต้มแบบเตาฟู่กับแบบจำลองออกแบบใหม่

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสองชั้น (shell& tube) ในการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน

1.3.2 ใช้ตัวอย่างอาหารการทดลองมีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ การผัด การทอด และการตุ๋น

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 คาดว่าตัวเครื่องที่ออกแบบใหม่จะประหยัดพลังงานกว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบเตาฟู่

1.4.2 ได้แนวทางการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมในการใช้งาน

## 1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 ออกแบบชุดทดลองต้นแบบ

1.5.4 ทำการทดลอง

1.5.5 เก็บผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.6 จำลองการใช้งานชุดทดลองต้นแบบ

1.5.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

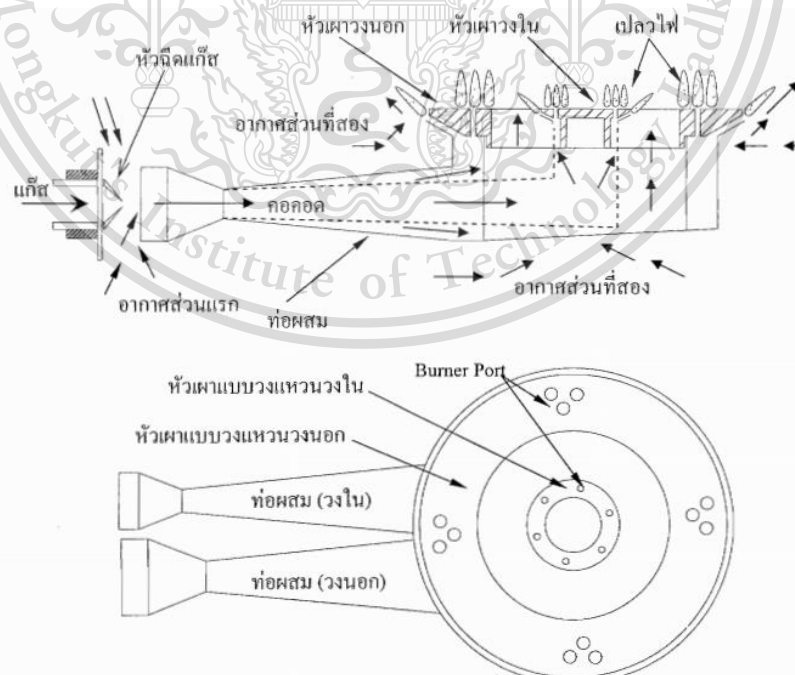
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัย

การศึกษาและการออกแบบงานวิจัย มีตัวแปรที่สำคัญสำหรับกระบวนการออกแบบและควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัดไส้แบบใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และมีการสูญเสียความร้อนน้อยลง และเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อน จึงได้ศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัยและประโยชน์ในการต่อยอดสำหรับงานวิจัย จึงได้การรวบรวมงานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 เตาหุงต้มแบบแรงดันสูง (Conventional Burner)

โครงสร้างเตาหุงต้มแบบแรงดันสูงมาตรฐานประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คือท่อผสม (Mixing Tube) หัวเผา (Burner Head หรือ Cap) และรูพ่นแก๊ส (Injection Orifice) ท่อผสมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อ ได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอขวด (Throat) ใกล้บริเวณทางเข้าของแก๊สและอากาศส่วนแรกเพื่อผลทางด้านอากาศพลศาสตร์ของการไหลในท่อ แสดงในรูป 2.1.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 โครงสร้างเตาหุงต้มแบบแรงดันสูง (ณัฐวุฒิ, 2544)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.2 แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG)

แก๊ส LPG คือ แก๊สที่มีองค์ประกอบหลักเป็นสารไฮโดรคาร์บอนพวกปิโตรเลียม ซึ่งอยู่ในสถานะแก๊สที่อุณหภูมิและความดันปกติแต่เมื่อเพิ่มความดันหรือลดอุณหภูมิจะกลายเป็นของเหลวได้ง่าย โดยทั่วไปจะเป็นแก๊สผสมระหว่างโพรเพนกับบิวเทน ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ มักจะใช้เชื้อเพลิงจากแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตที่ต้องใช้ความร้อน เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและสะดวกต่อการขนส่ง ไม่มีเขม่า ติดไฟง่าย ให้เปลวไฟความร้อนสูง และมีมลพิษน้อย เอทิลเมอร์แคปเทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่ให้พลังงานความร้อนเมื่อเกิดการเผาไหม้และเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็นคล้ายกลิ่นเหม็นของไข่เน่า

### 2.1.3 อุณหภูมิและสีของเปลวไฟ

สีของเปลวไฟแต่ละสีจะให้อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยที่สีของเปลวไฟสามารถบอกถึงลักษณะการเผาไหม้ได้ด้วย เช่น เปลวไฟสีเหลือง เกิดจากเขม่าที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีออกซิเจนไม่เพียงพออากาศเข้าน้อย แก๊สโดยเปลวไฟสีแดง เกิดจากมีแก๊สมากเกินไป แก๊สโดยการให้ลดวาล์วแก๊สลง ส่วนสีน้ำเงินในไฟหมუნบ่งชี้ว่ามีออกซิเจนเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งหมายความว่าไม่มีเขม่าหรือมีเขม่าน้อยมาก ดังนั้นจึงเป็นการเผาไหม้ที่สะอาด



รูปที่ 2.2 อุณหภูมิและสีของเปลวไฟ (จารุภัต, 2015)

### 2.1.4 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลางให้ความร้อน โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.4.1. การนำความร้อน (Conduction)

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากวัตถุซึ่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตัวกลางมีทิศทางที่ไม่แน่นอน

Joseph Fourier (1822) ทำการทดลองได้กฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) ซึ่งเป็นอัตราสำหรับการนำความร้อนใช้สำหรับการคำนวณหาจำนวนพลังงานความร้อนที่ส่งถ่ายต่อหน่วยเวลาซึ่งสมการของฟูเรียร์เป็นดังสมการที่

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2.1)$$

### 2.1.4.2. การพาความร้อน (Convection)

การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในสสารสองสถานะ คือของเหลวและแก๊ส เนื่องจากมีสมบัติการเคลื่อนที่แบบลอยขึ้นเท่านั้น เพราะเมื่อสสารได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นของสสารต่ำลง สสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงเข้ามาแทนที่ด้านล่าง โดยสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาความร้อนเป็นสมการ

$$Q_{\text{conv}} = hA(T_h - T_c) \quad (2.2)$$

### 2.1.4.3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน โดยวัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสีของวัตถุและผิวของวัตถุซึ่งกลไกที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการหุงต้มอาหาร

### 2.1.4.4. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ค่าการนำความร้อน หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Thermal Conductivity, k-value) เป็นค่าคุณสมบัติของวัสดุ ที่แสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน(Conduction) ของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตารางที่ 2.1 ตารางการนำความร้อนของวัสดุทั่วไป

Material	Conductivity(W/MK)
Copper	386
Aluminum	204
Iron	73
Stainless Steel	16.5

ที่มา : From E.R.G. Eckert and R.M. Drake, Analysis of Heat Mass Transfer, McGraw-Hill, New York, 1972

### 2.1.5 ความร้อนเหลือทิ้ง (Waste heat)

ความร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างประโยชน์หรือวัตถุประสงค์ใด ๆ อีกครั้ง ระบบกลไกที่จะนำความร้อนมาใช้ให้ความร้อนเหลือทิ้งนั้นเหลือน้อยที่สุด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแก๊สความร้อนเหลือทิ้งและความคุ้มค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง แก๊สไอเสียร้อนจำนวนมากถูกผลิตจากหม้อไอน้ำ เตาอบแห้ง เตาอบ และเตาเผาต่าง ๆ คุณภาพของความร้อนเหลือทิ้ง การบ่งบอกคุณภาพของความร้อนเหลือทิ้งสามารถใช้อุณหภูมิเป็นตัวบ่งบอกประเภทและคุณภาพ การคำนวณปริมาณของความร้อนเหลือทิ้งแสดงได้ดังสมการ 2.3

$$Q = v \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad (2.3)$$

#### 2.1.5.1 ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพสูง

มีอุณหภูมิในช่วง 600 – 1,600 องศาเซลเซียส มักเป็นความร้อนทิ้งในรูปแบบแก๊สไอเสียจากเตาเผา เหมาะที่จะนำไปใช้กับระบบผลิตกำลัง (Power generation) ระบบผลิตกำลังงานและความร้อนร่วม (Cogeneration) ระบบผลิตความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption chiller) หรือนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรง เช่น อุ่นวัตถุดิบหรืออุ่นอากาศ

### 2.1.6 ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง (Heating Value)

เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เมื่อ เชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ โดยทั่วไปค่าความร้อนมี 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV) ซึ่งได้แสดงค่าความร้อนของแก๊สบางชนิด ดังตารางที่ 2.2

#### 2.1.6.1 ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value, HHV)

เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่วัดได้ในสภาวะของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกควบคุมให้กลั่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งจะทำให้ความร้อนแฝงของการกลั่นตัวออกมาทำให้วัดความร้อนได้มากขึ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.6.2 ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV)

เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ปล่อยให้มีความชื้นเป็นไอ

**ตารางที่ 2.2** ตารางแสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Typical Heating Value of Some Gaseous Fuels at 1 atm, 25 °C )

Fuel	HHV		LHV	
	(MJ/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	MJ/kg	(MJ/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	MJ/kg
Propane	90.8	50.4	83.6	46.4
Butane	117.0	49.5	108.0	45.8

ที่มา Kenneth (2011)

ซึ่งสามารถนำมาหาค่าความร้อนได้จากสมการ

$$Q_{\text{comb}} = \dot{m} \times \text{LHV} \quad (2.4)$$

### 2.1.7 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ (Product heating)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานอื่นได้ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล ความร้อน มีหน่วยเป็นจูล (Joule, J) ในระบบเอสไอ (SI) ความร้อนมี 2 ลักษณะ คือ

#### 2.1.7.1 ความร้อนสัมผัส (Sensible heat)

เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป แต่สถานะยังคงเดิม เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปจนถึง 100 องศาเซลเซียส ความร้อนที่น้ำได้รับจนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เรียกว่า ความร้อนสัมผัส สามารถหาความร้อนได้จากสมการ

$$Q_{\text{sensible}} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (2.5)$$

### 2.1.8 ความร้อนแฝงของการระเหย (Latent heat)

ปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เช่น น้ำมีความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอเท่ากับ 2,257.2 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) หรือ 540 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg) ณ ความดันบรรยากาศหมายความว่า น้ำ 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เปลี่ยนสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ต้องใช้ปริมาณความร้อนเท่ากับ 2,257.2 กิโลจูล สามารถหาความร้อนได้จากสมการ

$$Q_{\text{latent}} = \dot{m} \times h_{fg} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.1.9 เครื่องมือและอุปกรณ์การวัด

### 2.9.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การผลิตพลังงาน อุตสาหกรรมเคมี และ อุตสาหกรรมอาหาร (Kakaç et al, 2012)

### 2.9.1.2 น้ำมันถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Oil)

น้ำมันถ่ายเทความร้อนจะใช้ในการถ่ายเทความร้อนทางอ้อมกับอาหาร โดยน้ำมันถ่ายเทความร้อนจะไม่สัมผัสโดยตรงกับอาหาร น้ำมันถ่ายเทความร้อนที่จะใช้มี्यानการใช้งานอยู่ในช่วง 20 องศาเซลเซียส ถึง 315 องศาเซลเซียสชนิด therminol xp heat transfer fluid by Eastman

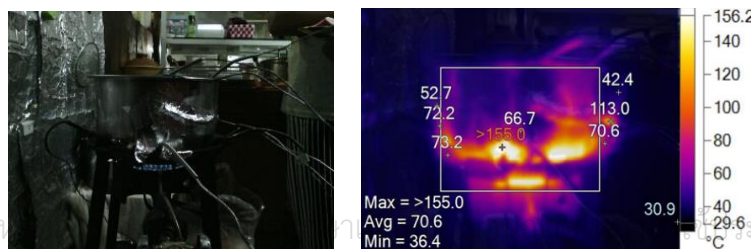
### 2.9.1.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imager)

เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) ออกจากวัตถุ ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุ และเป็นการวัดอุณหภูมิแบบพื้นที่ ส่วนประกอบสำคัญของกล้องถ่ายภาพความร้อน ประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจรับรังสีอินฟราเรด (Infrared detector) หรือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared sensor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic circuit) และส่วนแสดงผล (Display)



รูปที่ 2.3 กล้องถ่ายภาพความร้อนแบบพกพา

(Source : <https://www.fluke-direct.com>)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรูปภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนแบบพกพา

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.9.1.4 เครื่องมือปรับความดันก๊าซ (Pressure Regulator)

เป็นอุปกรณ์ลดแรงดัน (Regulator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับลดแรงดันแก๊ส หม้อต้ม (Regulator) สำหรับแก๊ส LPG หม้อต้มจะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพแก๊สจากของเหลวให้อยู่ในรูปของไอ เพื่อให้เป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมต่อการใช้กับเครื่องยนต์ โดยมีวาล์วควบคุมการไหลเวียนของแก๊สให้สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.5 เครื่องมือปรับความดันก๊าซ

(Source : <https://www.powerstore.co.th/>)

### 2.9.7 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปีโตต์ (Pitot tube)

แปลงความดันเชิงความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันกระทบ (Impact pressure, P.mp) หรือความดันที่จุดหยุดนิ่ง (Stagnation pressure) ท่อปีโตต์ประกอบด้วยท่อทรงกระบอกสองอันสวมกันบริเวณปลายท่อที่อยู่ด้านในเป็นปลายเปิด ซึ่งเป็นจุดที่ของไหลกระทบกับปลายโพรงที่จุดนี้ของไหลมีความเร็วต่ำมากหรือใกล้เคียงศูนย์ (Stagnation point) ส่วนบริเวณปลายท่อด้านนอกเป็นปลายปิดและมีช่องเปิดที่ผนังท่อ 2-3 ช่อง เพื่อให้เกิดความดันสถิต (Static pressure) สามารถวัดความดันแตกต่าง (Differential pressure) ระหว่างความดันสถิตและความดันกระทบได้ด้วยเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปัด

(Source : <https://www.test-meter.co.uk>)

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jugjai, (1996) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนในเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนทั่ว ๆ ไปมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น โดยการทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตามีค่าสูงขึ้น โดยอาศัยการควบคุมให้มีการหมุนเวียนของพลังงานความร้อนจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำกลับมาอุ่น (Preheat) อากาศก่อนที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ โดยอาศัยหลักการของการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพอรู

Prasad Boggavarapu, Baidurja Ray and R.V. Ravikrishna ทำการทดลองพบว่า temperature contours ของเปลวไฟจากการเผาไหม้ อุณหภูมิที่สูงกว่า 2000K อยู่ด้านบนของรูหัวเตาทั้งด้านในและด้านนอก แก๊สร้อนจะสังเกตเห็นว่าจะไหลออกจากขอบเขตด้านบนและอากาศเย็นจากสภาพแวดล้อม แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ถูกเผาไหม้ออกไปยังอากาศอยู่ระหว่าง 950 – 1170K สังเกตว่าศักยภาพในการถ่ายเทความร้อนของแก๊สเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้

Tamir, (1998) การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยการปรับปรุงจากเตาแบบเดิม (Conventional Burner, CB) เปลี่ยนมาเป็น Swirl Burner (SB) ที่โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแบบเดิมมีค่าประมาณ 52 % แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Swirl Burner ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตามีค่าประมาณ 58 % ซึ่งเป็นผลจากการหมุนวนของเปลวไฟโดยแรงเฉือนนี้จะส่งเสริมปัจจัยต่าง ๆ คือระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิงและอากาศ เวลาในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะ และการดูดซับอากาศส่วนที่สองเพิ่มขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จารุภัต, ชนะ และพิชชาพร (2015) ได้ศึกษาข้อมูลของหม้อจำลองเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ จะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่สภาวะคงที่ที่ใช้ในการอุ่นผลิตภัณฑ์ และปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากระบบส่วนใหญ่คือปริมาณความร้อนที่ให้กับอากาศเพื่อนำไปแลกเปลี่ยนความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

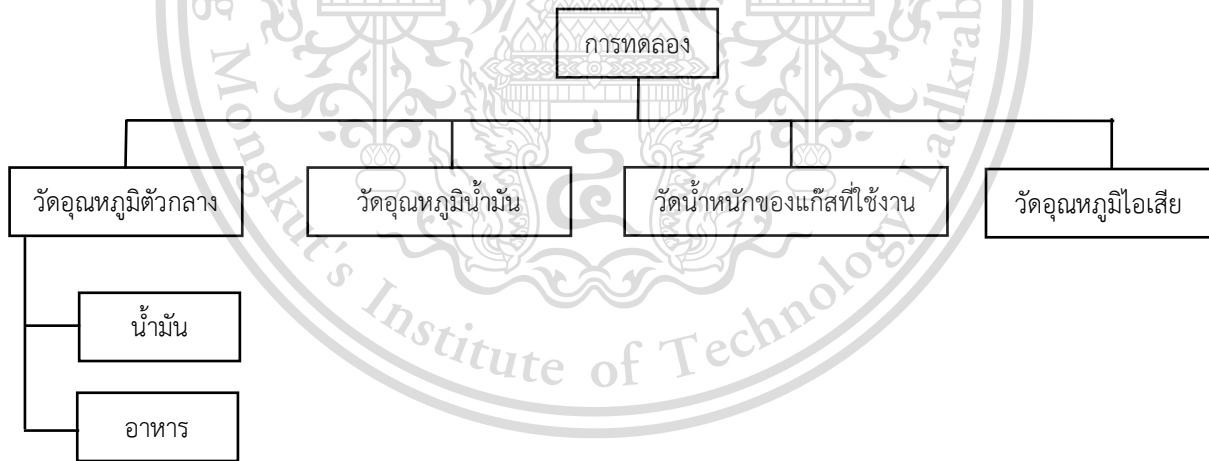
## บทที่ 3

# การออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพ

### 3.1 การทดลองเบื้องต้น

#### 3.1.1 แผนการทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเริ่มต้นโดยทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาแรงดันสูงที่ใช้ โดยทั่วไปตามร้านอาหาร โดยทำการทดลองประกอบอาหารทั้งหมด 3 ประเภท โดยแบ่งเป็น ประเภทผัด ประเภททอด และประเภทตุ๋นหรือต้ม โดยทำการทดลอง ประเภทผัดเป็นข้าวผัด ประเภททอด ได้แก่ ไก่ทอด ปาท่องโก๋ และลูกชิ้นทอด ประเภทตุ๋นหรือต้ม ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว แกงเขียวหวาน ซาหุมพะโล้ หลักการเลือกคือ เป็นอาหารที่สามารถเห็นตามร้านอาหารสตรีทฟู้ดโดยร้านส่วนใหญ่จะใช้แก๊ส LPG ในการให้ความร้อน โดยให้ผู้ประกอบการร้านค้าทำการประกอบอาหาร และทำการวัดค่าต่างๆ ประกอบไปด้วย อัตราการไหลของแก๊ส LPG ความดันของแก๊ส LPG ที่ใช้ในการให้ความร้อน อุณหภูมิทั้งหมด 8 จุด วัดอุณหภูมิเปลวไฟ วัดอุณหภูมิภาชนะประกอบอาหาร วัดอุณหภูมิอาหาร



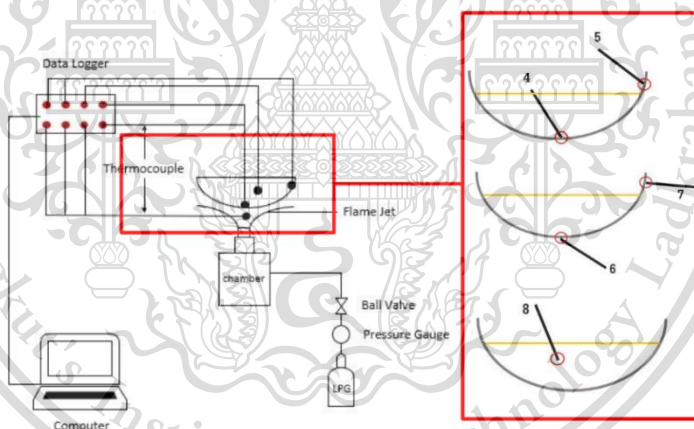
รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองที่ 1 หาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเตาแรงดันสูงในการประกอบอาหารแต่ละประเภท เพื่อนำค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมกับขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการออกแบบการทดลองหาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเตาแรงดันสูง ใช้แก๊ส LPG ในการให้ความร้อน โดยให้ผู้ประกอบการร้านค้าทำการประกอบอาหาร และทำการวัดค่าต่างๆ ประกอบไปด้วย อัตราการไหลของแก๊ส LPG ที่ใช้ในการให้ความร้อนโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก ความดันของแก๊ส LPG ที่ใช้ในการให้ความร้อนด้วย pressure gauge อุณหภูมิทั้งหมด 8 จุด ได้แก่ อุณหภูมิของเปลวไฟที่ให้ความร้อนแก่ภาชนะที่ใช้ประกอบอาหาร ทั้งหมด 3 จุด ผิวภาชนะด้านนอก 1 จุด ผิวภาชนะด้านใน 1 จุด ผิวภาชนะที่ไม่สัมผัสอาหารด้านนอก 1 จุด ผิวภาชนะที่ไม่สัมผัสอาหารด้านใน 1 จุด และอาหาร 1 จุด วัดอุณหภูมิทั้งหมดโดยใช้ data logger ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิล Type K ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและเวลาทุกๆ 1 วินาที ตั้งแต่เริ่มการประกอบอาหารจนกระทั่งประกอบอาหารเสร็จทำการทดลองแบบนี้กับอาหารแต่ละประเภททั้งหมด 3 ประเภท และทำการทดลองเช่นเดียวกันกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเตาแรงดันสูงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรายละเอียดดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

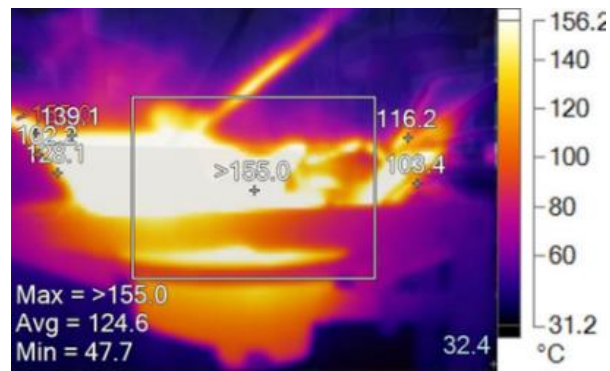


รูปที่ 3.3 จุดวัดอุณหภูมิในการทดลองประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

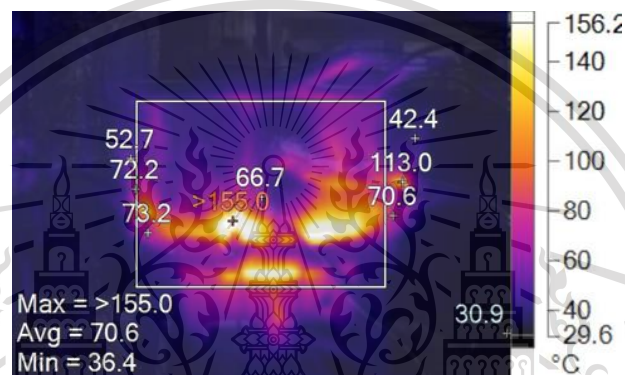
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรูเซงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

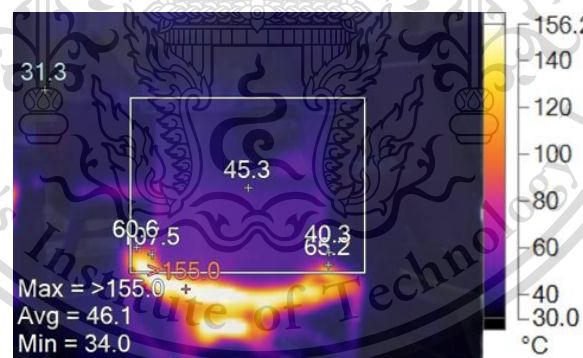
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายความร้อนจากกล้องถ่ายภาพความร้อน

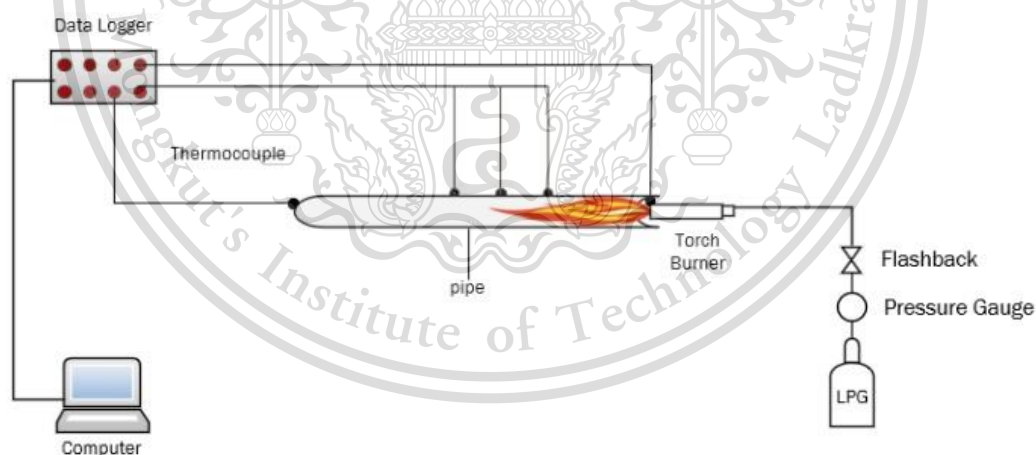
(ก) อาหารประเภทผัด, (ข) อาหารประเภททอด, (ค) อาหารประเภทตุ๋น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของหัวพ่นไฟ (Burner Torch) ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการเผาไหม้และการทำงานของหัวพ่นไฟ (Burner Torch) แนวทางที่นำเข้ามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการทดลอง กำหนดค่าเริ่มต้นอุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปิโตต์ และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลในจุดที่ต้องการเก็บค่าอุณหภูมิทั้งหมด ณ จุดต่อเข้าเครื่องดาต้าล็อกเกอร์ และติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแก๊สย้อนกลับกับตัวเกจวัดความดันที่ต่อเข้ากับตัวถัง LPG ทำการทดสอบยิงหัวพ่นไฟ (Burner Torch) ในท่อเหล็ก โดยติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล type k ทั้งหมด 5 จุด โดย 2 จุดในท่อเหล็ก ความยาว 10 เซนติเมตร, 15 เซนติเมตรและ 20 เซนติเมตร แบ่งออกเป็นสามที่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง ปากท่อและปลายท่อ และ 3 จุดที่ตำแหน่งตรงกลางท่อ โดยบริเวณที่ติดตั้งจะบันทึกค่าอุณหภูมิด้วยเครื่อง Data Logger รุ่น 34970A บันทึกอุณหภูมิแต่ละจุดเป็นเวลา 5 นาที และวัดอัตราการไหลของไอร้อนด้วยอุปกรณ์วัดการไหลชนิดท่อปิโตต์ วัดค่าความดันอุปกรณ์เกจวัดความดัน บันทึกค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเชื้อเพลิง และความดัน ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล type k ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 เทอร์โมคัปเปิลแบบเกลียวล็อก ตำแหน่งที่ 5 และ 6 เทอร์โมคัปเปิลหัวโพรบบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองลงในคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ นำค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดแต่ละหัวข้อใส่ลงไปในโปรแกรม Excel หาค่าเฉลี่ยแสดงผลเป็นกราฟ



รูปที่ 3.5 จุดวัดอุณหภูมิในการทดลองหัวพ่นไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 การทดสอบวัดประสิทธิภาพ

### 3.2 การออกแบบชุดทดลองต้นแบบ

ในการออกแบบชุดทดลองต้นแบบ ในการเขียนแบบจำลอง โดยชุดทดลองต้นแบบ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ตัวถัง, กระทะ 2 ชั้น, ถังพัก และ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน Thermanal XP heat transfer fluid by Eastman ในการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสู่น้ำมันถ่ายเทความร้อน แล้วนำน้ำมันถ่ายเทความร้อนที่ได้ขึ้นไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณก้นกระทะ ซึ่งกระทะจะเป็นกระทะ 2 ชั้น และเมื่อน้ำมันถ่ายเทความร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระทะ 2 ชั้นเสร็จ จะไหลกลับอีกทางหนึ่ง เพื่อนำกลับมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ ความร้อนที่ใช้ได้จากหัวฟืนไฟ Burner Torch ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว

#### 3.2.1 หลักการในการออกแบบชุดทดลองเตาต้นแบบ

วัสดุที่ใช้ทั้งหมดคือ สแตนเลสเกรด 304 (stainless steel 304) ทองแดง (copper) อะลูมิเนียม (aluminium) และอะลูมิเนียมแผ่นเรียบ (1060 aluminium alloy) โดยการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ตัวถัง กระทะ 2 ชั้น ถังพัก และ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะใช้วัสดุสแตนเลสเกรด 304 (stainless steel 304) สำหรับการทำตัวถัง เพราะเป็นส่วนประกอบที่ทนแรงดัน เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุชนิดนี้สามารถทนแรงดันได้ที่ปริมาณสูงๆ ขึ้นรูปง่าย และสามารถเชื่อมได้โดยการออกแบบตัวถังสำหรับชุดทดลองต้นแบบ ต้องการออกแบบให้ตัวถังมีขนาดเล็กง่ายต่อการทดลอง และน้ำหนักไม่มาก จึงออกแบบหน้ากว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร โดยตัวถังมีความหนา 5 มิลลิเมตร โดยที่เลือกใช้ความหนาเท่านี้เนื่องจากการให้ตัวถังสามารถทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความดันได้เพียงพอสำหรับ 2 บาร์ หรือมากกว่าติดเกจวัดแรงดันด้านบนของตัวถัง เพราะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยหลังการทดลอง

สำหรับกระทะ 2 ชั้น จะใช้เป็นวัสดุอะลูมิเนียม เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาไม่แพง และสามารถเชื่อมได้ง่าย กระทะที่เลือกใช้เป็นกระทะสำเร็จรูป เส้นผ่านศูนย์กลาง 288 มิลลิเมตร โดยนำมาดัดแปลงเพื่อให้ก้นกระทะมีพื้นที่ว่างให้น้ำมันไหลวน โดยทำการต่อเสริมให้มีพื้นที่ว่างลงไป 50 มิลลิเมตร ภายในออกแบบให้น้ำมันที่ไหลขึ้นมาจากถังพัก มีทิศทางไหลวนจากก้นกระทะจนขึ้นมาบริเวณด้านบนของกระทะ เพื่อให้น้ำมันถ่ายเทความร้อนไหลออกและนำกลับไปแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่

ตัวถังพักวัสดุที่ใช้คือ สแตนเลสเกรด 304 (stainless steel 304) ออกแบบเพื่อรองรับน้ำมันที่ไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยมี บั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal pump) หรือบั๊มหอยโข่ง เพื่อปั๊มน้ำมันถ่ายเทความร้อน ขึ้นไปใช้กับกระทะ ตัวถังพักจะมีขนาดเล็ก เนื่องจากต้องการออกแบบเพื่อให้พกพาได้ น้ำหนักไม่เยอะ ได้ขนาดที่เหมาะสมที่สุดคือ 150x150x200 มิลลิเมตร ด้านบนของถังพักสามารถเปิดปิด เพื่อทำการซ่อมแซม และเมื่อปิดอยู่จะสามารถมองเห็นการทำงานข้างในได้โดยเพิ่มตาแมวติดบริเวณด้านบน บั๊มที่ใช้มีขนาด 55x55x25 มิลลิเมตร มีขนาดใบพัด 48 มิลลิเมตร ใบพัดทำมาจากอะลูมิเนียมแผ่นเรียบ (1060 aluminium alloy) เพื่อให้น้ำหนักเบา ง่ายต่อการขับใบพัด

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วัสดุที่ใช้จะใช้คือ ทองแดง (copper) ทั้งหมดโดยมีความยาว 200 มิลลิเมตร ประกอบด้วย 3 ท่อ เพื่อให้อากาศร้อนไหลกลับได้ 3 รอบ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยท่อทองแดงขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 มิลลิเมตร หนา 0.71 มิลลิเมตร แบ่งเป็น 2 ขนาด ขนาดความยาว 168 มิลลิเมตร จำนวน 9 ท่อ และ ขนาดความยาว 154 มิลลิเมตร จำนวน 15 ท่อ และท่อทองแดงขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 41.4 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว) หนา 2 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตรจำนวน 1 ท่อ

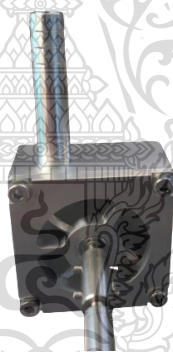
ต่อมาเป็นการเลือกอุปกรณ์เพิ่มเติม ได้แก่ บั๊ม หัวพ่นไฟ เกจวัดความดัน ท่ออย่างซิลิโคนกันความร้อนสูง และมอเตอร์ เริ่มจากท่อลำเลียงน้ำมันถ่ายเทความร้อน จะใช้เป็นท่อซิลิโคนเกรดสำหรับอาหาร ทนความร้อนได้สูงถึง 315 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีความทนทานต่อความร้อนสูงมากเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำมันถ่ายเทความร้อนหลังดูดซับความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะมีอุณหภูมิประมาณ 200 ถึง 260 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.7 บั๊มที่ใช้ เลือกใช้บั๊มที่ทำจากโลหะเพราะอุณหภูมิของน้ำมันถ่ายเทความร้อนสูง และต้องการบั๊มที่มีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ต้องออกแบบและทำบั๊มขึ้นมาเอง ดังรูปที่ 3.8 เกจวัดความดันจะติดตั้งบนตัวถัง เพื่อให้ทราบค่าความดันระหว่างการทดลอง และเพื่อความปลอดภัยของผู้ทดลอง ดังรูปที่ 3.9 หัวใช้

พ่นไฟ (Burner Torch) ที่เลือกมาใช้ในการทดลองสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป จะมีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาด 1, 1 ¼, 1 ½, จนถึงขนาด 2 นิ้ว ในการทดลองจะใช้เพียงขนาดเดียวคือ 1.5 นิ้ว ดังรูปที่ 3.10 มอเตอร์ มีหน้าท่อส่งกำลังให้กับปั๊ม โดยส่งกำลังผ่านเฟลาและเฟืองดอกจอก เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรง ขนาด 12-24V จำนวนรอบ 3,000 ถึง 5,500 rpm ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.7 ท่อยางซิลิโคนทนความร้อนสูง



รูปที่ 3.8 ปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.9 เกจวัดความดัน 10 บาร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 หัวพ่นไฟ (Burner Torch)



รูปที่ 3.11 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor) 12-24V

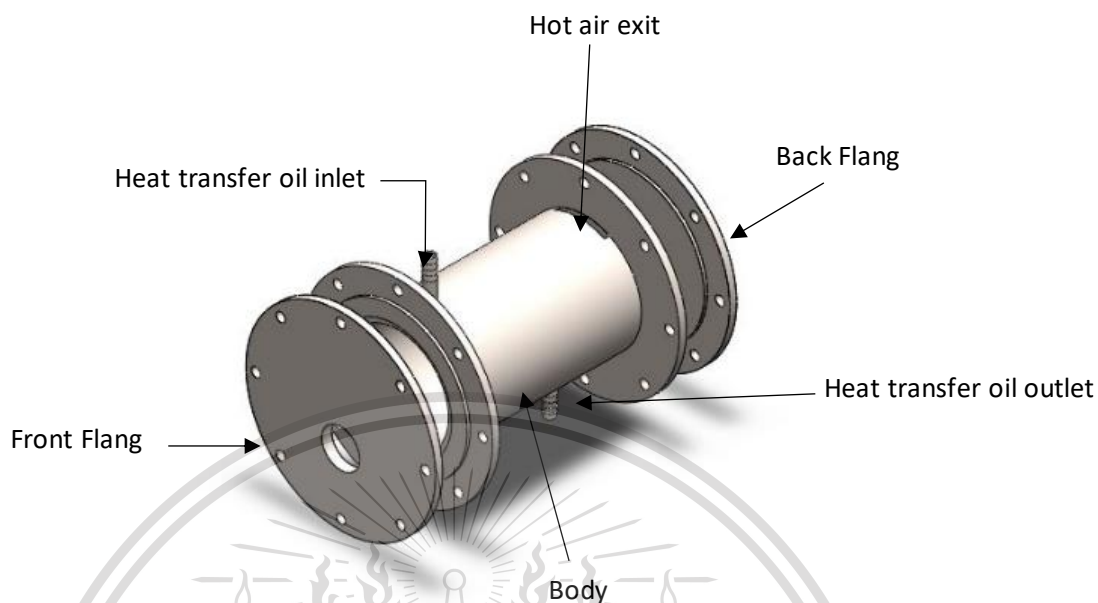
### 3.2.2 ส่วนประกอบของตัวถัง

1. ตัวถังสแตนเลสเกรด 304 (stainless steel 304) เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร
2. ฝาปิดด้านหน้าและด้านหลังของตัวถังสแตนเลสเกรด 304 (stainless steel 304) จำนวน 2 แผ่น เส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร
3. เกจวัดความดัน 10 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณตัวถัง



รูปที่ 3.13 ตัวถังที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2.3 ส่วนประกอบของกระทะ 2 ชั้น

1. กระทะ 2 ชั้น ทำจาก วัสดุอะลูมิเนียม (aluminium) เส้นผ่านศูนย์กลาง 288 มิลลิเมตร ต่อเสริมให้มีพื้นที่ว่างลงไป 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณกระทะ 2 ชั้น



รูปที่ 3.15 กระทะ 2 ชั้นที่ได้จากการออกแบบ

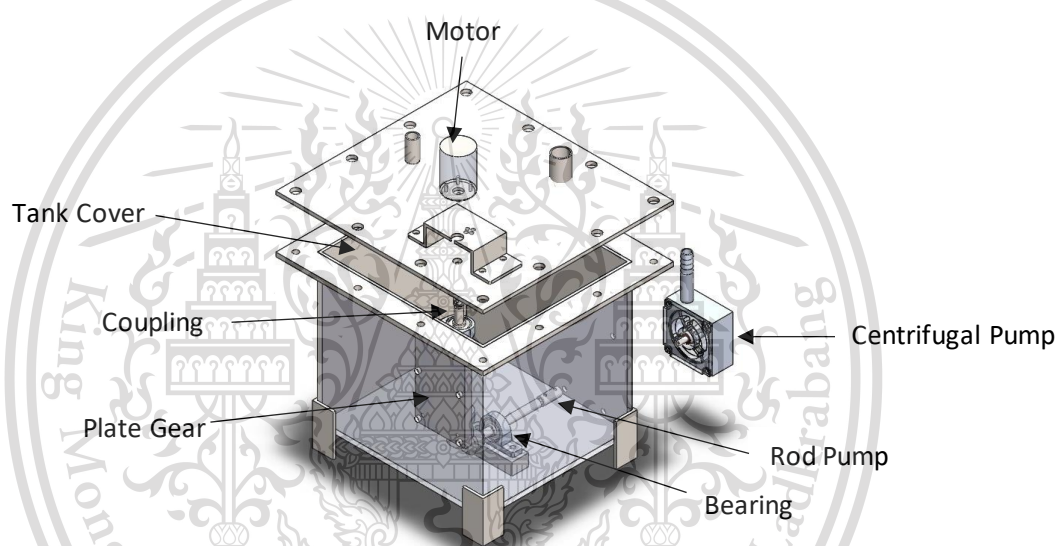
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

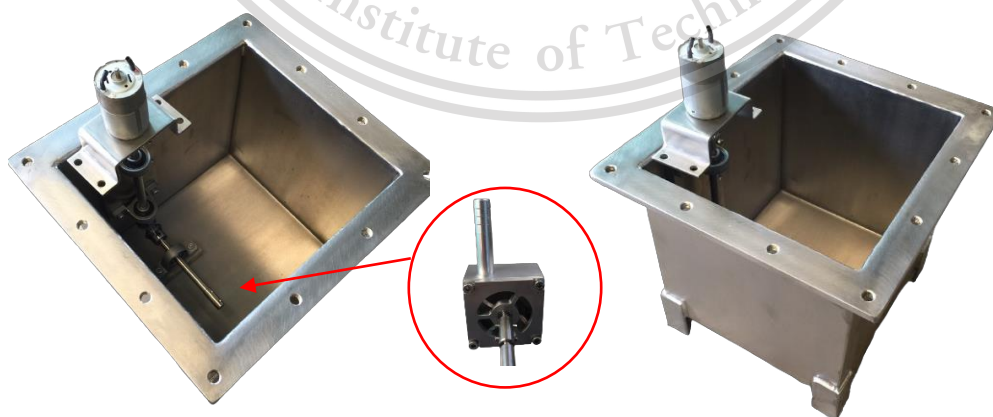
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2.4 ส่วนประกอบของถังพัก

1. ปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal pump) ขนาด 55x55x25 มิลลิเมตร มีขนาดใบพัด 48 มิลลิเมตร
2. แบริ่ง (Bearing) สำหรับเพลานขนาด 8 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor) ความดัน 12-24V
4. เกลาขนาด 8 มิลลิเมตรสำหรับ ปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง 2 ตัว



รูปที่ 3.16 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณตัวถัง



รูปที่ 3.17 ถังพักที่ได้จากการออกแบบ

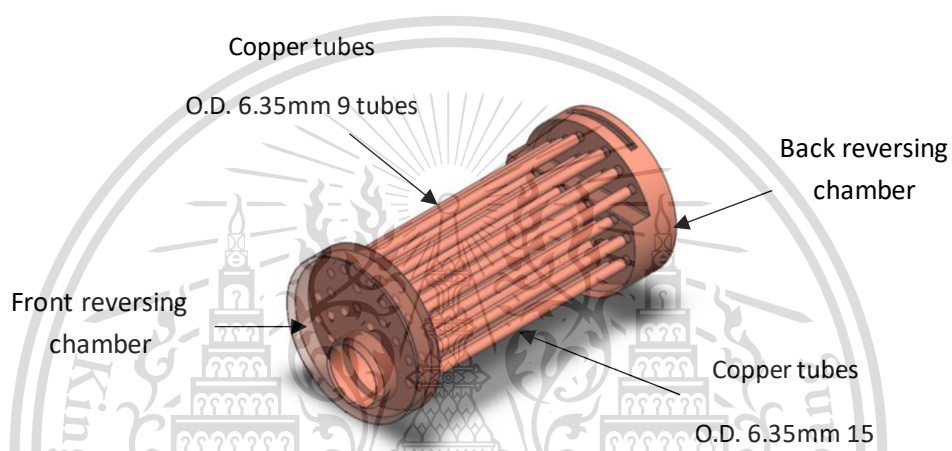
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเท่านั้น โปรดอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2.5 ส่วนประกอบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1. ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 มิลลิเมตร จำนวน 9 ท่อ
2. ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 มิลลิเมตร จำนวน 15 ท่อ
3. ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41.4 มิลลิเมตร จำนวน 1 ท่อ



รูปที่ 3.18 ส่วนประกอบอุปกรณ์บริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

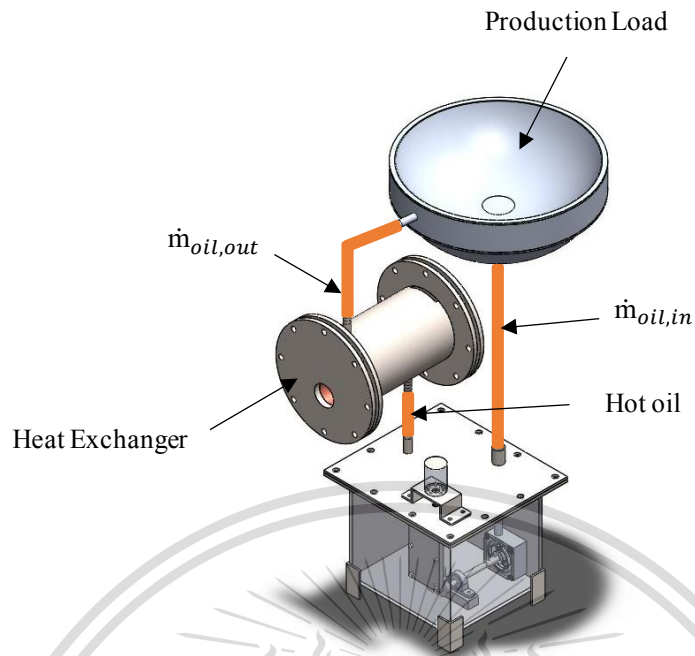


รูปที่ 3.19 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

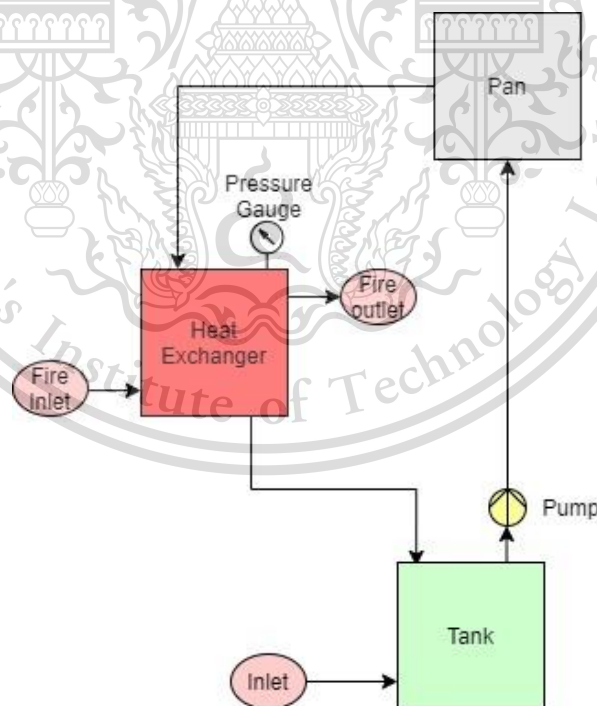
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.20 ภาพจำลองชุดทดลองต้นแบบ

### 3.3 การทำงานของชุดการทดลองต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมของชุดทดลองต้นแบบ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การใช้งานชุดทดลองต้นแบบเริ่มต้นจากการเติมน้ำมันถ่ายเทความร้อนเข้าทาง inlet จากนั้นจะถูกปั๊มขึ้นไปผ่านปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump) ไหลผ่านท่อซิลิโคนทนความร้อนสูงไปยังกันกระแทก เมื่อเข้าไปในกันกระแทกจะไหลวนอยู่ด้านใน จนเจอออกมาทางขาออก ทางขาออกจะถูกต่อด้วยท่อซิลิโคนทนความร้อนสูงเพื่อให้น้ำมันถ่ายเทความร้อนไหลลงสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะมีท่อทองแดงขนาดเล็ก จำนวน 24 ท่อ และท่อทองแดงขนาดใหญ่ จำนวน 1 ท่อ อยู่ภายในเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อน้ำมันถ่ายเทความร้อนไหลผ่านจะได้รับความร้อน และจะไหลลงผ่านท่อซิลิโคนทนความร้อนเพื่อไปยังถังพักต่อ หลังจากนั้นก็จะทำงานวนกลับไปจุดเริ่มต้น

### 3.4 การใช้ทดสอบชุดทดลองต้นแบบ

ในการใช้ทดสอบชุดทดลองต้นแบบ มีวิธีการดังนี้

1. เติมน้ำมันถ่ายเทความร้อนลงในถังพัก 3 ลิตร
2. ปิดฝาถังพักให้สนิท และทำการเปิดใช้งานปั๊ม
3. จุดหัวฟันทไฟที่ต่อกับถังแก๊ส LPG ปรับระดับไฟที่ต้องการ และนำไปใส่ที่ทางเข้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

### 3.5 การทดลองเพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของหัวฟันทไฟ

ทำการทดลองเพื่อหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงเพื่อนำค่าอัตราการไหลไปคำนวณหาประสิทธิภาพของชุดทดลองต้นแบบ โดยทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดลอง โดยปรับแรงดันแก๊สขาออกเท่ากับ 2 bar เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยของความดันของออกของแก๊สที่ไปทดลองกับผู้ประกอบการร้านอาหารเพื่อได้เงื่อนไขที่ใกล้เคียงในการศึกษาทดลอง โดยทำการปรับระดับแก๊สให้ได้อัตราการไหลทั้งหมด 3 ระดับ เพื่อศึกษาอัตราการไหลของแก๊สที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.22 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองหาอัตราการถ่ายเทความร้อนหัวพ่นไฟ



รูปที่ 3.23 ลักษณะเปลวไฟหัวพ่นไฟ

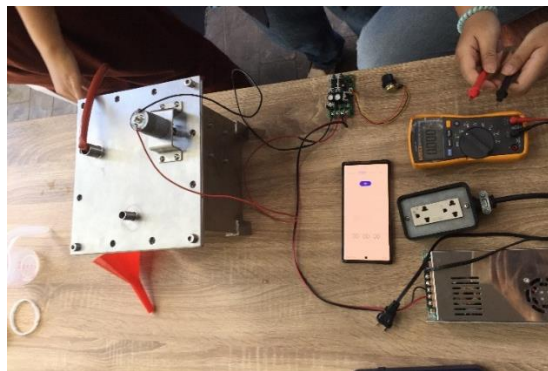
### 3.6 การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำมัน

ทำการทดสอบอัตราการไหลที่ปั๊มทำได้ ทั้งหมด 5 ระดับ ทำการทดลองโดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย 12V-40V 10A DC Motor Speed Controller (PWM) แล้ววัดอัตราการไหลด้วยวิธีวัดปริมาตรในเวลา 5 นาที ที่ปั๊มทำงาน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ของแต่ละระดับอัตราการไหล

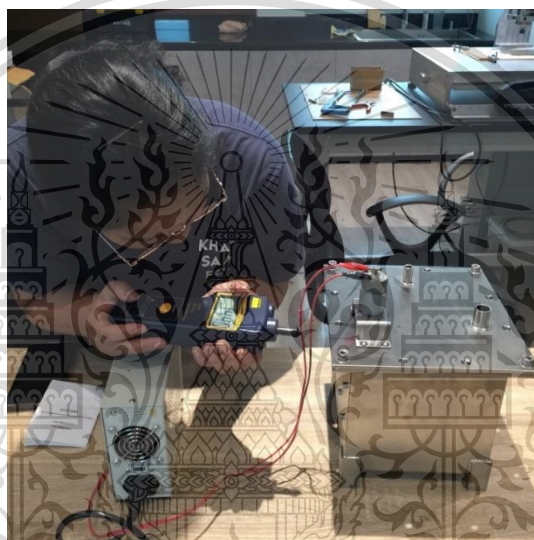
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.24 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองอัตราการไหลของน้ำมัน



รูปที่ 3.25 วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ 12V-40V

### 3.7 ทดลองหาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนร้อน ในการประกอบอาหาร

ทำการทดลองทดลองหาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนร้อน ทำการกำหนดค่าอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง ทั้งหมด 3 ระดับ แต่ละค่าทำการทดลองกับอัตราการไหลของน้ำมันทั้งหมด 3 ระดับ ระดับละ 5 นาที และ กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำมันทั้งหมด 5 ระดับ โดยแต่ละค่าทำการทดลองกับค่าอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง 3 ระดับ ระดับละ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.8 การทดสอบหาประสิทธิภาพและหาอัตราการถ่ายเทความร้อน

ทำการทดสอบกับอาหาร คือ ลูกชิ้นทอดโดยทำการทดลองกับอัตราการไหลของแก๊ส LPG ทั้ง 3 อัตราการไหล ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์จนกระทั่งประกอบอาหารเสร็จ โดยอุณหภูมิของน้ำมันที่นำอาหารลงคือ 180 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K บันทึกผลอุณหภูมิด้วยดาต้าล็อกเกอร์ wisco AI20 เก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ทำการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำสำหรับการคำนวณ

จุดคำนวณข้อมูลที่ 1 ปล่องระบายอากาศ ใช้ pitot tube manometer Testo 435 Series วัดอุณหภูมิ และความดันตกคร่อมของแก๊สร้อนเหลือทิ้งที่ปล่องระบายอากาศเพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วของไอเสียร้อนด้วย สมการ (3.1) หาอัตราการไหลเชิงปริมาตรด้วยสมการ (3.2) และคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากแก๊สร้อนเหลือทิ้งด้วยสมการ (3.3)

$$V = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}} \quad (3.1)$$

$$Q_f = AV \quad (3.2)$$

$$Q_{ex} = M_f C_{pf} (T_2 - T_1) \quad (3.3)$$

จุดคำนวณข้อมูลที่ 2 บริเวณชั้นน้ำมัน วัดอุณหภูมิน้ำมันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการนำอุณหภูมิไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่น้ำมันได้รับด้วยสมการ (3.4)

$$Q_{oil} = mc_p \Delta T \quad (3.4)$$

จุดคำนวณข้อมูลที่ 3 บริเวณชั้นใส่ผลิตภัณฑ์ วัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ เพื่อนำไปคำนวณปริมาณความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับด้วยสมการ (3.5)

$$Q_{product} = mc_p \Delta T \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จุดคำนวณข้อมูลที่ 4 ชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG เริ่มต้นและจบของกระบวนการให้ความร้อน เพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงในสมการ (3.6) ความคุมแรงดันแก๊สขาออกให้เหมือนกับแรงดันแก๊สที่ผู้ประกอบการใช้ประกอบอาหาร 3 bar ด้วย pressure regulator

$$Q_{\text{combustion}} = \dot{m}_f \times \text{LHV} \quad (3.6)$$

นำค่าพลังงานความร้อนที่คำนวณแต่ละส่วนมาแทนในสมการ (3.7) เพื่อหา  $Q_{\text{loss}}$  จากนั้นนำผลเตาแรงดันสูงและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาเพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อน

$$Q_{\text{combustion}} = Q_{\text{product}} + Q_{\text{oil}} + Q_{\text{ex}} + Q_{\text{loss}} \quad (3.7)$$

### 3.9 การสร้างแบบจำลองเพื่อเชื่อมโยงผลของอัตราการไหลกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

#### 3.9.1 การคำนวณหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบ Log-Mean (The log mean temperature difference : LMTD)

การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ต้องคำนวณหาโดยการอินทิเกรตจากอัตราการถ่ายเทความร้อน ที่ไหลผ่านพื้นที่ A ที่ใช้ ในการถ่ายเทความร้อนตลอดความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการที่ 3.8

$$Q = UA_s \Delta T_m \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (3.9)$$

#### 3.9.2 การคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถหาได้จากผลคูณระหว่างความแตกต่างอุณหภูมิมากที่สุดระหว่างอุณหภูมิของไหลร้อนขาเข้าและอุณหภูมิของไหลเย็นขาเข้าและอัตราความจุความร้อนน้อยสุด โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$q_{\text{max}} = c_{\text{min}}(T_{\text{h,inlet}} - T_{\text{c,inlet}}) \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

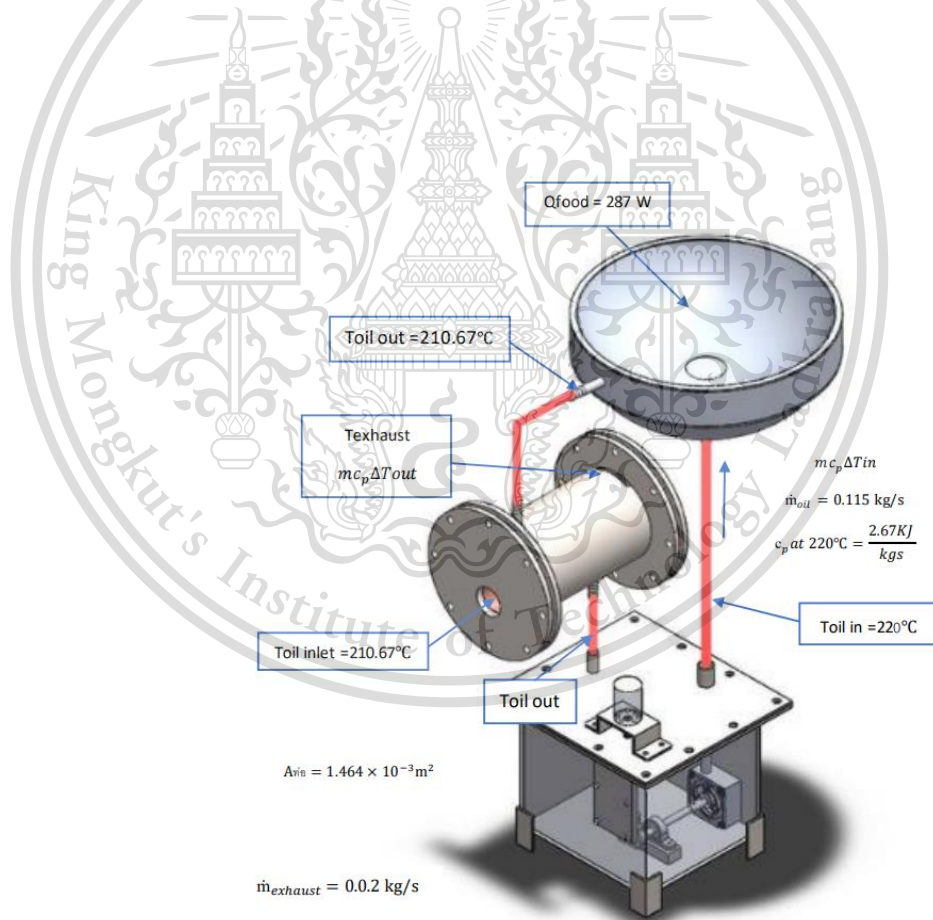
### 3.9.3 การคำนวณค่าประสิทธิภาพ (Effectiveness)

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการถ่ายเทความร้อนที่ให้ได้ด้วยปริมาณของความร้อน ด้วยการเปรียบเทียบระหว่างสองประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่ มักใช้เป็นเหตุผลของการเลือกประเภทที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการถ่ายเทความร้อน

จากสมการประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะได้ในสมการที่ 3.11

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} = \frac{\text{Actual heat transfer rate}}{\text{Maximum possible heat transfer rate}} \quad (3.11)$$

การถ่ายเทความร้อนที่ได้จริงอาจคำนวณได้ทั้งการคำนวณพลังงานที่สูญเสียโดยออกจากของไหลร้อนหรือ ค่าของพลังงานโดยของไหลเย็นที่ได้รับความร้อนเพิ่ม พิจารณาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานกันและ แบบไหลตัดกันสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไหลขนานกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.26 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การเก็บข้อมูลจากเตาผัดโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน

เมื่อได้เตาต้นแบบแล้ว ทำการทดลองด้วยอาหาร 3 ประเภท คือ ผัด ทอด ตุ่น ทำการเก็บข้อมูล อุณหภูมิ 8 จุดในหัวข้อที่ 3.2.2 และนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานและหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

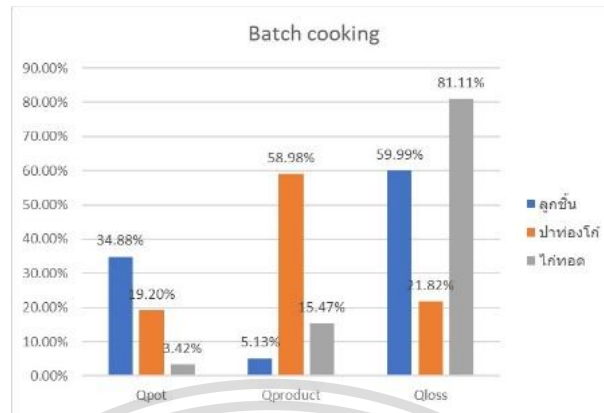
#### 4.2 วิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

การแยกประเภทของอาหารแบ่งตามลักษณะการประกอบอาหารโดยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ 1. การทอด (Batch cooking) การทำอาหารเป็นครั้ง ๆ 2. การผัด (Rapid cooking) การให้ความร้อน กระทั่งกัน 3. การตุ๋น (Continuous cooking) เป็นการทำอาหารเป็นครั้ง ๆ การให้ความร้อนแบบ กระทั่งกัน คือการประกอบอาหารโดยใช้เวลาไม่มาก ใช้ไฟแรงทำให้เกิดความความร้อนสูญเสียมาก การ ให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง การทำอาหารเป็นครั้ง ๆ เช่น ประเภทการทอดมีการใช้ไฟแรงเพื่ออุ่นน้ำมันให้ เดือดจากนั้นใช้ไฟกลางหรือไฟเบาในการประกอบอาหารมีการเพิ่มหรือลดน้ำหนักรวมของอาหารที่ใส่เข้าไป และการทำอาหารแบบให้ความร้อนต่อเนื่อง เป็นการให้ความร้อนเพื่อคงอุณหภูมิไว้ตามที่ต้องการ มักจะ ใช้ไฟเบาในการรักษาอุณหภูมิของอาหาร จากการทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง ทำให้เราทราบค่า พลังงานต่าง ๆ ของแต่ละประเภทการประกอบอาหาร ประเภทอาหาร ให้ความร้อนกระทั่งกันหรือการ ผัด รานข้าวผัดป. ข้าวผัดป่าหลอด ข้าวผัดโรงสี มีค่า  $Q_{\text{combustion}}$  คือ 5.25 kW, 8.67 kW, 6.57 kW ประเภทการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องหรือการตุ๋นก๋วยเตี๋ยว แกงเขียวหวาน มีค่า  $Q_{\text{combustion}}$  คือ 6.93 kW, 3.13 kW การทำอาหารเป็นครั้ง ๆ หรือการทอด ลูกชิ้นทอด ปาท่องโก๋ ไข่ทอด มีค่า  $Q_{\text{combustion}}$  คือ 5.61 kW, 6.49 kW, 12.61 kW ดังรูปที่ 4.1 จากการทดสอบเรานำค่า  $Q_{\text{combustion}}$  ของการทอดลูกชิ้นมาออกแบบเตาต้นแบบของเราเนื่องจากการทอดต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่ น้ำมันซึ่งเหมาะกับเตาต้นแบบที่เราต้องการออกแบบและการประกอบอาหารประเภทลูกชิ้นทอด เหมาะสมกับขนาดเครื่องและพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องมากที่สุด

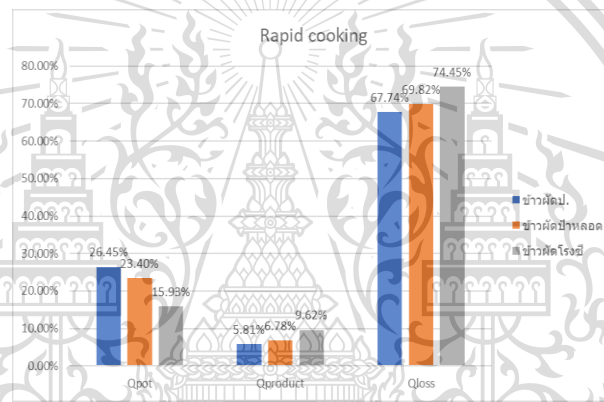
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

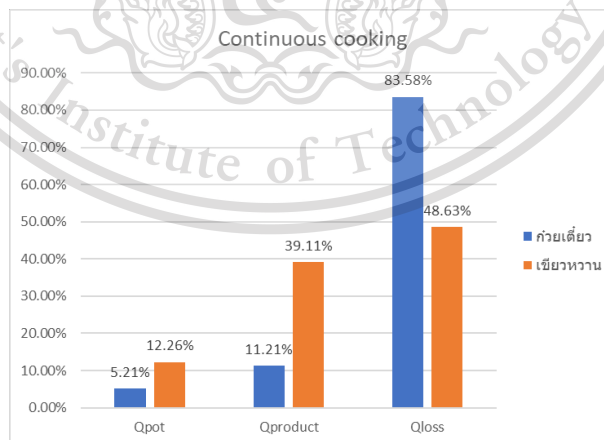
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)



(ค)

#### รูปที่ 4.1 วิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดที่องค์กรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ก) อาหารประเภททอด, (ข) อาหารประเภทผัด, (ค) อาหารประเภทต้ม ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

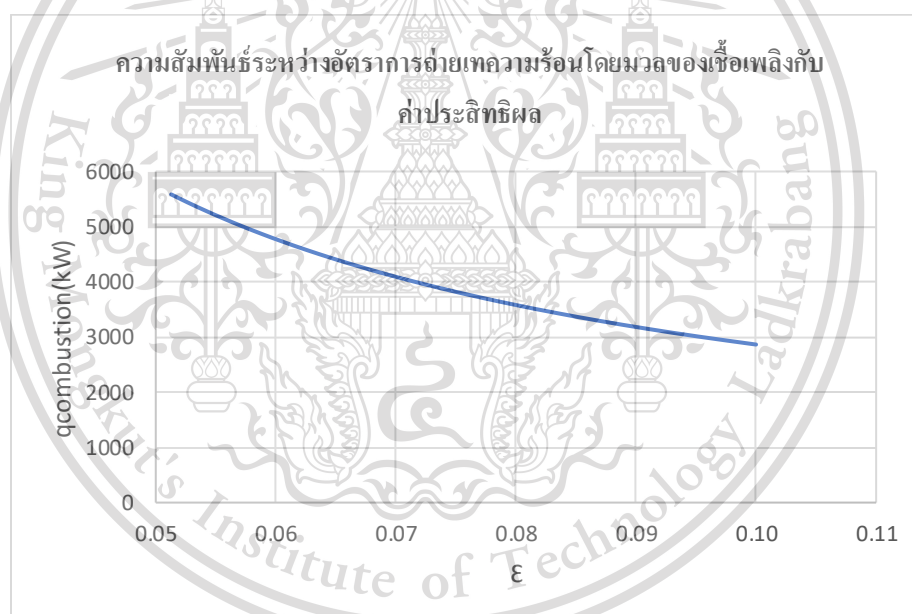
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.2.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูง

ทำการทดสอบกับอาหารทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ การทอด การผัด การตุ๋น โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน และชั่งน้ำหนักถังแก๊สเพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊สในการทดลอง ติดตั้งอุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด 8 จุด เพื่อทำการวัดอุณหภูมิไฟ 3 จุด วัดอุณหภูมิผิวกันกระแทกด้านนอกและด้านใน วัดอุณหภูมิผิวบนกระแทกด้านนอกและด้านใน และอุณหภูมิอาหาร 1 จุดโดยการทดสอบอาหารแต่ละประเภทพบว่ามีการใช้ไฟที่แตกต่างกัน ยิ่งใช้ไฟแรงประสิทธิภาพของเตาแรงดันสูงยิ่งมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมาขึ้นระยะเวลาที่ไฟสัมผัสกับกระแทกยิ่งน้อยลง

#### 4.3 ผลการสร้างแบบจำลองการเชื่อมต่อโยงผลของอัตราการไหลกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยมวลของเชื้อเพลิงกับค่าประสิทธิผล

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองของชุดการทดสอบต้นแบบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยมวลของเชื้อเพลิงส่งผลต่อค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถ้ามีการใช้เชื้อเพลิงในการประกอบอาหารมากประสิทธิผลก็มีค่าน้อยลงชุดการทดลองต้นแบบมีอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยมวลที่น้อยที่สุด คือ 0.286 kW ในการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อนกับ

ไม่ว่ากรณีนี้ 0.286 kW อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** การคำนวณการสร้างแบบจำลองเพื่อเชื่อมโยงผลของอัตราการไหลกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

qmin(W)	qmax(W)	$\Delta T_2$	$T_{h,o}$	$\dot{m}$ ของLPG	$\epsilon$
286.40	1718.40	10.70	221.30	0.000037	0.17
286.40	1861.60	14.90	225.50	0.000040	0.15
286.40	2004.80	19.88	230.48	0.000043	0.14
286.40	2148.00	25.65	236.25	0.000046	0.13
286.40	2291.20	32.20	242.80	0.000049	0.13
286.40	2434.40	39.50	250.10	0.000052	0.12
286.40	2577.60	47.55	258.15	0.000055	0.11
286.40	2720.80	56.31	266.91	0.000058	0.11
286.40	2864.00	65.77	276.37	0.000061	0.10
286.40	3007.20	75.91	286.51	0.000065	0.10
286.40	3150.40	86.71	297.31	0.000068	0.09
286.40	3293.60	98.14	308.74	0.000071	0.09
286.40	3436.80	110.18	320.78	0.000074	0.08
286.40	3580.00	122.82	333.42	0.000077	0.08
286.40	3723.20	136.04	346.64	0.000080	0.08
286.40	3866.40	149.81	360.41	0.000083	0.07
286.40	4009.60	164.13	374.73	0.000086	0.07
286.40	4152.80	178.97	389.57	0.000089	0.07
286.40	4296.00	194.32	404.92	0.000092	0.07
286.40	4439.20	210.16	420.76	0.000095	0.06
286.40	4582.40	226.49	437.09	0.000098	0.06
286.40	4725.60	243.27	453.87	0.000101	0.06
286.40	4868.80	260.52	471.12	0.000104	0.06
286.40	5012.00	278.20	488.80	0.000108	0.06
286.40	5155.20	296.31	506.91	0.000111	0.06
286.40	5298.40	314.84	525.44	0.000114	0.05
286.40	5441.60	333.77	544.37	0.000117	0.05
286.40	5584.80	353.11	563.71	0.000120	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบชุดทดลองต้นแบบ การศึกษาการออกแบบและการควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเตาผัดโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีการออกแบบชุดทดลองต้นแบบเพื่อทำการทดลอง เก็บผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยจะทราบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จึงรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนาชุดทดลองต้นแบบต่อไป

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกไปทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของเตาแรงดันสูงในห้องตลาดจากผู้ประกอบการ พบว่าเตาแรงดันสูงมีประสิทธิภาพต่ำ จากการอ้างอิงเตาแรงดันสูงมีประสิทธิภาพประมาณ 35 % ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ และจากการทดลองวัดประสิทธิภาพของเตาแรงดันสูง ในการประกอบอาหารทั้ง 3 ประเภท โดยแบ่งเป็น ประเภททอด ประเภทผัด และประเภทตุ๋น โดยประเภททอด ได้แก่ ไก่ทอด ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อน 1.95 kW ในการทอดไก่ ลูกชิ้นทอด 0.286 kW ปาท่องโก๋ 0.42 kW ประเภทผัด ข้าวผัดโดยเฉลี่ยต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อน 0.51 kW ประเภทตุ๋น ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว ต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อน 0.78 kW เชี่ยวหวาน 1.22 kW

จากการทดลองพบว่าการทอดลูกชิ้นมีความต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อนเพียง 0.286 kW แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยมวลของเชื้อเพลิงสูงถึง 5.61 kW จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า หากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอัตราการถ่ายเทความร้อน 0.286 kW มีอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยมวลของเชื้อเพลิงน้อยที่สุดที่เป็นไปได้เท่ากับ 2.864 kW ในสภาวะคงที่ของการประกอบอาหารจากการออกแบบ จากการออกแบบสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย Effectiveness 0.17 จึงควรออกแบบให้มีค่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับชุดทดลองต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบชุดทดลองต้นแบบ การออกแบบช่องทางออกของไอเสียมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อย จึงควรออกแบบให้กว้างมากขึ้นให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของไอเสียมากขึ้น เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของชุดทดลองต้นแบบ การเลือกใช้มอเตอร์ในการบีมน้ำมัน ตัวหม้อแปลงไฟฟ้าจ่าย

แรงดันให้กับมอเตอร์ไม่เต็มประสิทธิภาพจึงควรแก้ไขโดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์เพื่อให้รอบการหมุนสามารถปรับเปลี่ยนได้หลากหลายยิ่งขึ้น โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้า การออกแบบควรออกแบบค่าความถี่ให้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการผลิตชุดทดลองต้นแบบขึ้น เกิดช่องว่างระหว่างชุดท่อทองแดง ส่งผลให้เกิดการรั่วของน้ำมันเมื่อเกิดการขยายตัวจากความร้อน เมื่อชุดทดลองต้นแบบทำงานจะเกิดความร้อนบริเวณผิวของชุดทดลองต้นแบบ ควรที่จะมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมและป้องกันอันตรายเมื่อสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน. 2549. **กระทรวงพลังงาน ด้านความร้อน**. กรุงเทพฯ : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

กระทรวงพลังงาน. 2555. **ปริมาณการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิง**. กรุงเทพฯ : กรมธุรกิจพลังงาน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทยใช้ก๊าซหุงต้มให้ปลอดภัย. [Online]. เข้าได้จาก :[http://](http://www.vcharkam.com/vaticle/40964)

[www.vcharkam.com/vaticle/40964](http://www.vcharkam.com/vaticle/40964)

กฤษณะ กวีศรา และ ณัฐนันท์. 2561. “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความร้อนของเครื่องกวนไส้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จารุภัส ชนะและพิชชาพร. 2559. “การศึกษาตัวแปรในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาผัดไส้ขนมในอุตสาหกรรมอาหาร.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นภา ภัทรฐรินทร์. 2555. “การออกแบบกรไหลวนของน้ำมันสำหรับกระบวนการทอดแบบต่อเนื่อง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นวกัทราน หนูนาค และทวีพล ชื่อสัตย์. 2555. การวัดและเครื่องมือวัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มีนเซอร์วิส ซัพพลาย.

บริษัท คอมพลีท เอ็นจิเนียริง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด. 2020. **เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat exchangers)**. [Online]. เข้าได้จาก :

[http://www.completesengineering.com/style/article\\_heat%20exchanger1.pdf](http://www.completesengineering.com/style/article_heat%20exchanger1.pdf)

วิเชียร ตรีเวชอักษร. 2541. “การปรับปรุงประสิทธิภาพเตาหุงต้มแอลพีจีมาตรฐาน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วอร์คเกอร์, จี. **อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี, 2542 370 หน้า1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน. พงษ์ธร จรรย์นากรณ์, ผู้แปล. ชื่อเรื่อง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Bahadori, A., & Vuthaluru, H. B. 2010. Estimation of energy conservation benefits in excess air controlled gas-fired systems. *Fuel*
- Dulău, M., Karoly, M., & Dulău, T.-M. (2018). Fluid temperature control using heat exchanger. *Procedia Manufacturing* ,22,498–505.
- Eastman, 2019. “THERMINAL XP heat transfer fluid”. [Online]. Available from: [https://www.therminol.com/sites/therminol/files/documents/TF-8694\\_Therminol\\_XP\\_Technical\\_Bulletin.pdf](https://www.therminol.com/sites/therminol/files/documents/TF-8694_Therminol_XP_Technical_Bulletin.pdf)
- Ishaque, S., Siddiqui, M. I. H., 2020. “Effect of Heatexchanger design on seasonal performance of heat pump systems. International”. *Journal Of Heat and MassTransfer*,151, 11940,.doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer
- Jafari, S. M., Saramnejad, F., & Dehnad, D. 2017. “Designing and application of a shell and tube heat exchanger for nanofluid thermal processing of liquid food products”. *Journal of Food Process Engineering*.
- Jugjai, S. and Sanijai, S., 1996, "Parametric Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) : A Design Concept for the Future Burner'
- Sadik, K., Hongtan, L. and Anchasa, P. 2012. “HEAT EXCHANGER Section”. Rating. and Thermal Design. 3<sup>rd</sup> ed. Florida : CRC Press
- Tamir, A., Elperin, I. and Yotzer, S. 1992, “Performance Characteristics of A Gas Burner with A Swirl Central Flame”, *Energy*, Vol. 14, No. 5, Pp. 347-362.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การออกแบบชุดทดลองต้นแบบ

ภาคผนวก ข รายละเอียดการสร้างชุดทดลองต้นแบบ

ภาคผนวก ค ผลการทดลอง

ภาคผนวก ง การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

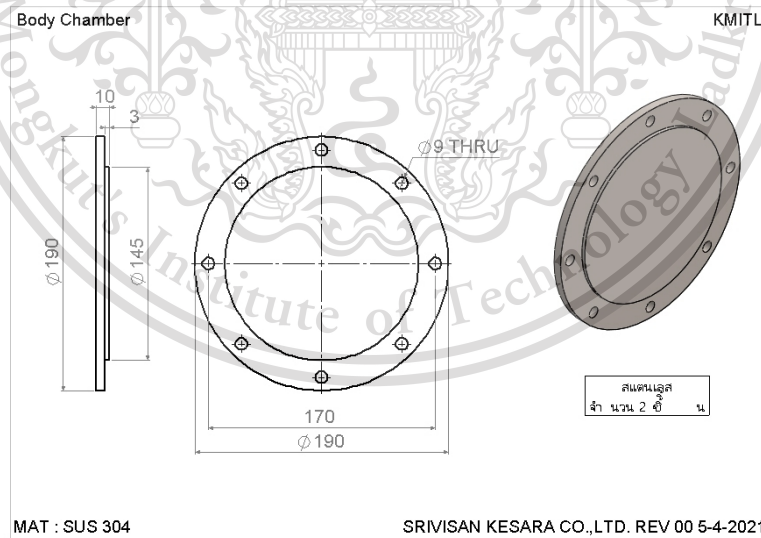
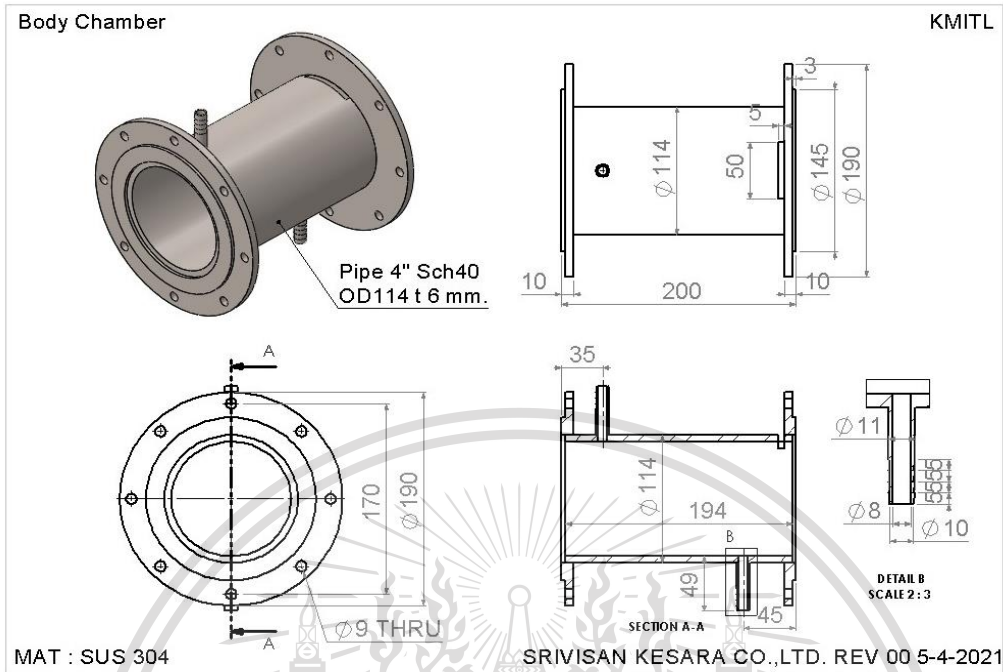
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

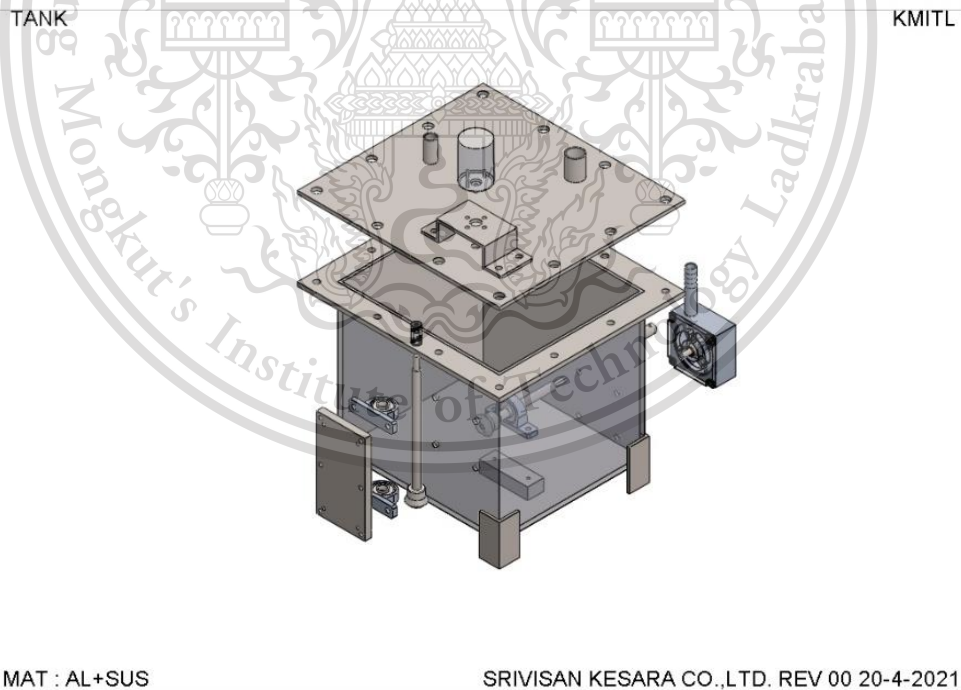
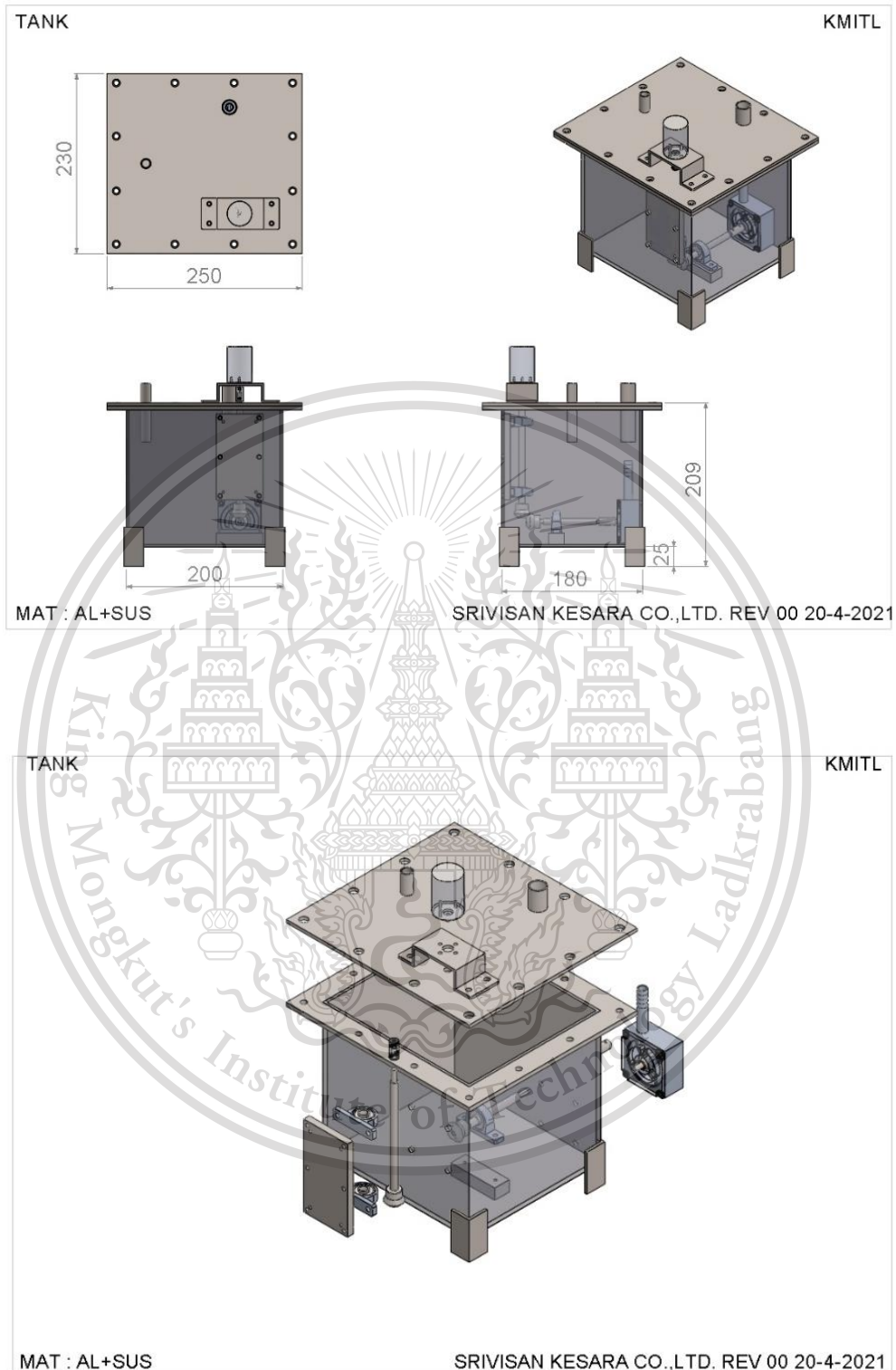
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **รูปที่ ก.1 โครงสร้างตัวถัง** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

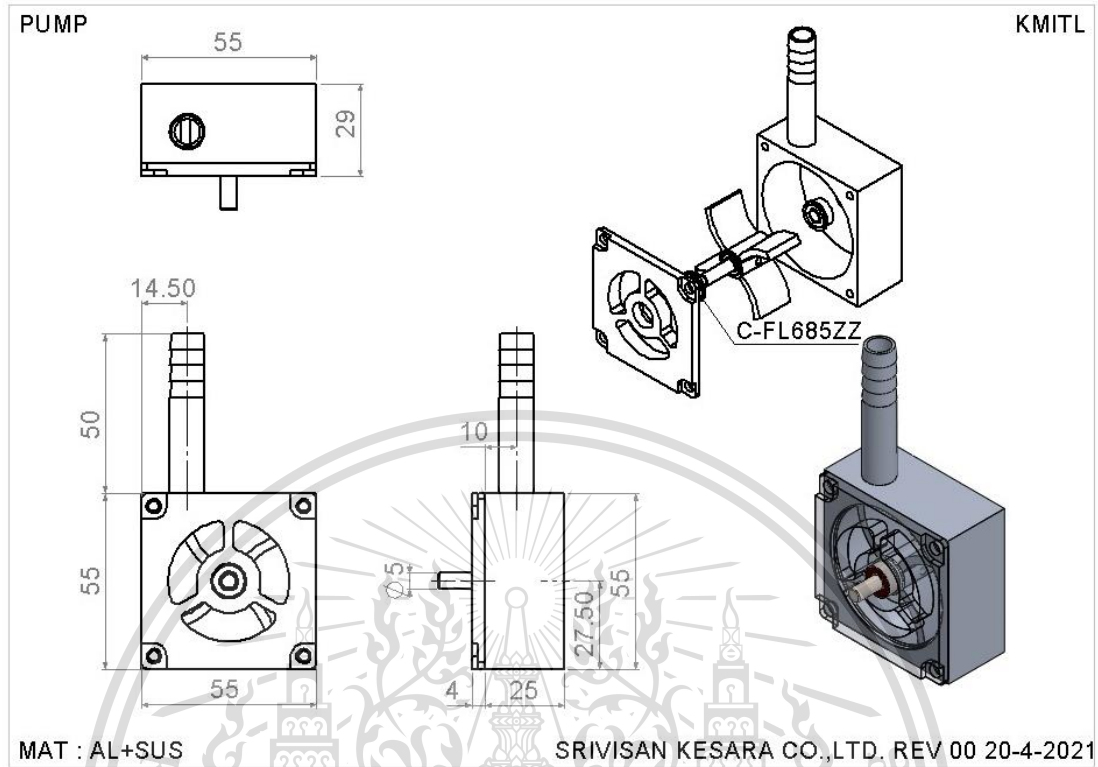


### รูปที่ ก.2 โครงสร้างถังพัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



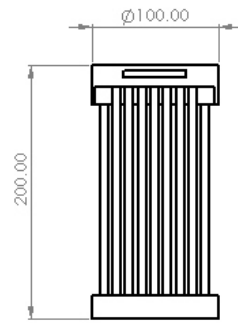
รูปที่ ก.3 โครงสร้างปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

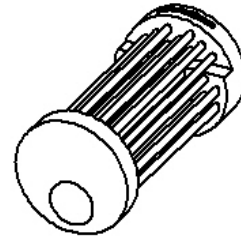
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TUBES



KMITL



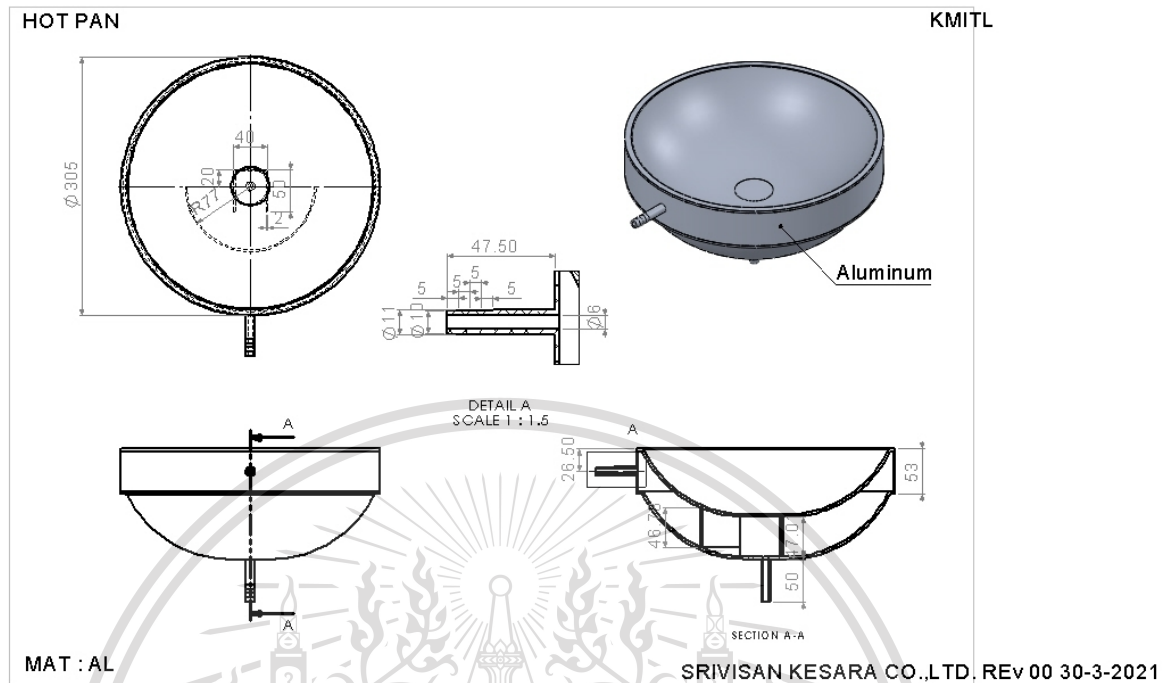
MAT : COPPER+SUS

รูปที่ ก.4 โครงสร้างท่อทองแดงภายในตัวถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ก.5 โครงสร้างกระทะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

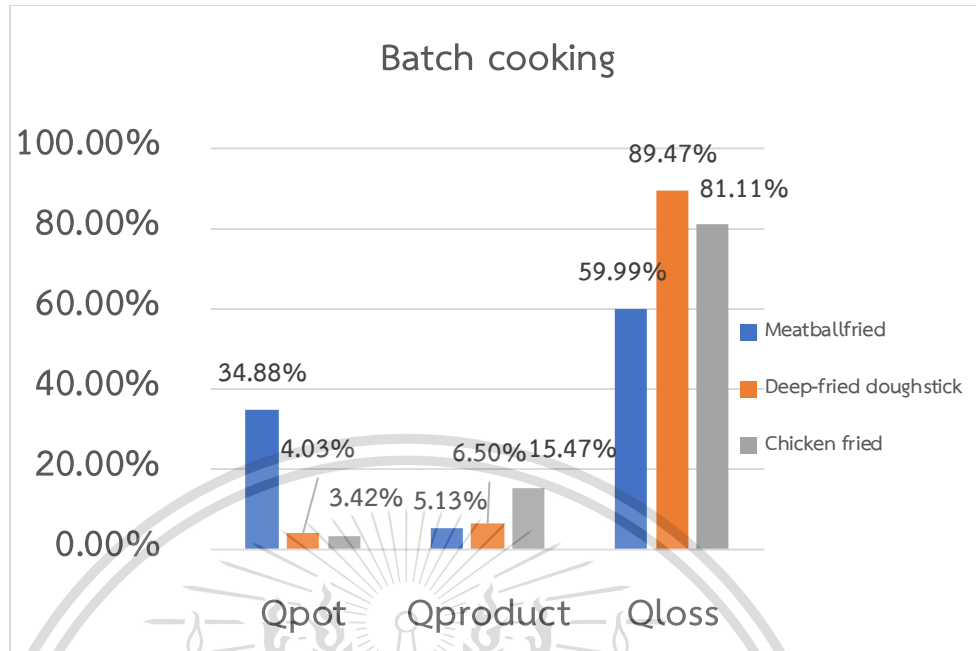
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



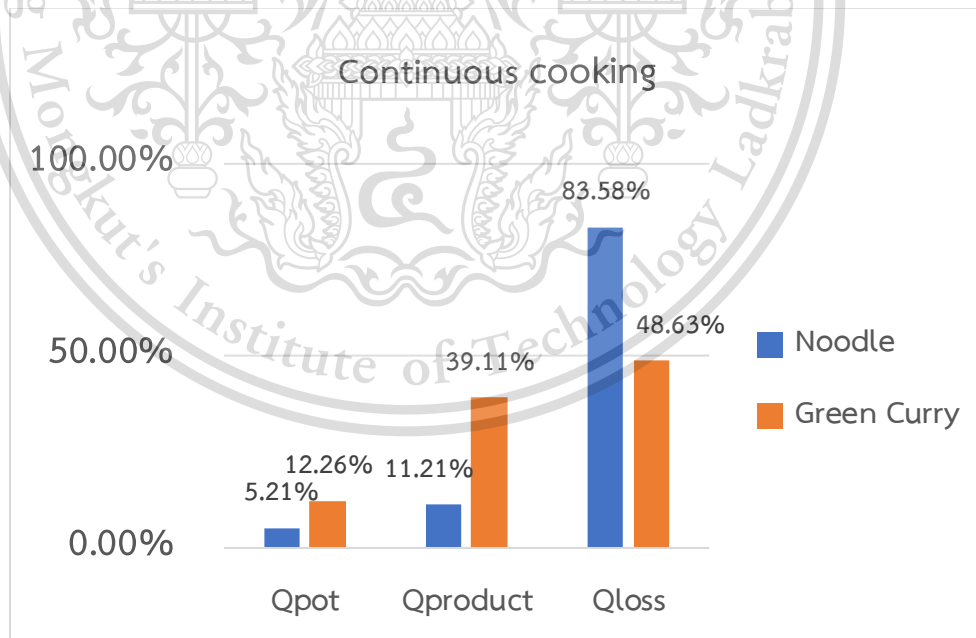
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



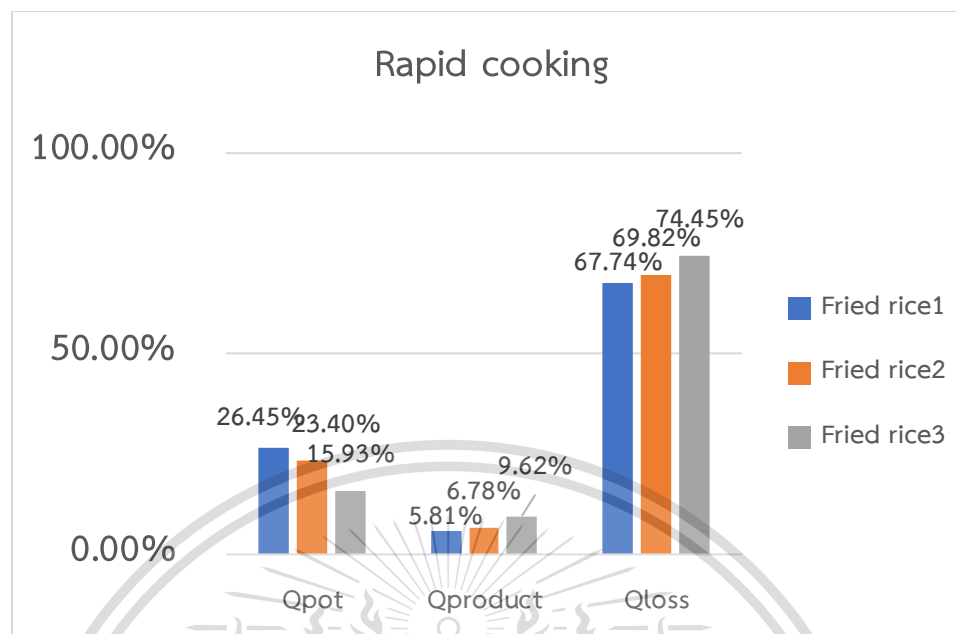
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูงอาหารประเภททอด



เอกสารนี้เป็นเอกสาร 5รูปที่ ค.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูงอาหารประเภทตุ๋น  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ค.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพเตาแรงดันสูงอาหารประเภทผัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

พื้นที่ผิวด้านนอกท่อแลกเปลี่ยนความร้อน  $A_o = 0.082 \text{ m}^2$  , พื้นที่ผิวด้านในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน  $A_i = 0.062 \text{ m}^2$  , สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำมัน  $h_{oil} = 880.131 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  , สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศร้อน  $h_{gas} = 250 \text{ W/m}^2$  , ค่าการนำความร้อนของทองแดง  $k = 386 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  , ความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน  $L = 164 \times 10^{-3} \text{ m}$  , เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน  $D_o = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}$  , เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน  $D_i = 4.35 \times 10^{-3} \text{ m}$

อุณหภูมิน้ำมันขาเข้า  $T_{ci} = 210.6 \text{ }^\circ\text{C}$  , อุณหภูมิน้ำมันขาออก  $T_{co} = 220 \text{ }^\circ\text{C}$  , อุณหภูมิแก๊สร้อนขาเข้า  $T_{hi} = 767 \text{ }^\circ\text{C}$  , อุณหภูมิแก๊สร้อนออก  $T_{ho} = 276.37 \text{ }^\circ\text{C}$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$Q = UA\Delta T_{lm}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{\Delta T_{lm}}{\frac{1}{h_o A_o} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

$$= \frac{\frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1})}}{\frac{1}{h_o A_o} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

$$= \frac{\frac{(T_{ho} - T_{ci}) - (T_{hi} - T_{co})}{\ln(\frac{T_{ho} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{co}})}}{\frac{1}{h_o A_o} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}}$$

$$= \frac{\frac{(767^\circ\text{C} - 276.37^\circ\text{C}) - (767^\circ\text{C} - 220^\circ\text{C})}{\ln(\frac{767^\circ\text{C} - 276.37^\circ\text{C}}{767^\circ\text{C} - 220^\circ\text{C})}}{\frac{1}{(505 \text{ W/m}^2)(0.062 \text{ m}^2)} + \frac{\ln(\frac{0.035 \times 10^{-3} \text{ m}}{4.35 \times 10^{-3} \text{ m}})}{2\pi(386 \text{ W/m} \cdot \text{k})164 \times 10^{-3} \text{ m}} + \frac{1}{(880.131 \text{ W/m} \cdot \text{k})(0.082 \text{ m}^2)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\varepsilon = \frac{q_{\min}}{q}$$

$$\varepsilon = \frac{0.286}{2.2864 \text{ kW}}$$

$$\varepsilon = 0.1250$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.