

การออกแบบและสร้างฉนวนเพื่อลดการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว

**Design and Fabrication of Insulation for Liquefied Petroleum Gas (LPG)**

**Saving: Case Study Boils Noodles**

นางสาวปิยนุช สุคาเดช

นายพิรุฬห์ สิงห์กวาง

นายสุริยา	ภูนาถอน
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	
วันที่รับ.....	๕ 1 ก.ย. 2552
เลขทะเบียน.....	5200093
เลขเรียกหนังสือ.....	
มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจ	

15074161 e.2  
ร.ร.  
๕/๑๙๓.  
2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจ

ปีการศึกษา 2551



## ใบรับรองโครงการ

หัวข้อ โครงการ : การออกแบบและสร้างฉนวนเพื่อลดการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) สำหรับหม้อต้มถ้วยเดียว

ผู้ดำเนินโครงการ : นางสาวปิยนุช สุคาเดช รหัสสนិត 48363749  
 นายพิรุฬห์ สิงห์กว้าง รหัสสนិត 48363787  
 นายสุริยา ภูนาสอน รหัสสนិត 48364067

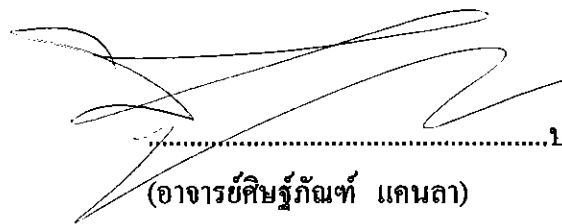
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ศิษย์ภักดิ์ แกนลา

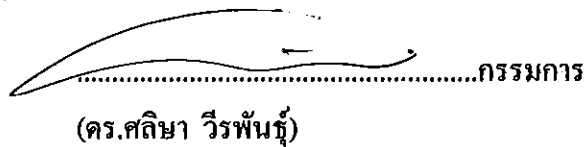
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

  
 .....ประธานกรรมการ  
 (อาจารย์ศิษย์ภักดิ์ แกนลา)

  
 .....กรรมการ  
 (ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

  
 .....กรรมการ  
 (อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงการ	: การออกแบบและสร้างฉนวนเพื่อลดการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) สำหรับหม้อต้มถ้วยเต็ว			
ผู้ดำเนินโครงการ	: นางสาวปิยนุช	สุดาเดช	รหัสนิติ	48363749
	: นายพิรุฬห์	สิงห์กวาง	รหัสนิติ	48363787
	: นายสุริยา	ภูนาสอน	รหัสนิติ	48364067
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	: อาจารย์ศิษย์ภัณฑ์ แคนลา			
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2551			

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอกสำหรับหม้อต้มถ้วยเต็ว เพื่อลดปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ของผู้ประกอบการอาชีพขายถ้วยเต็ว โดยศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซ LPG สามกรณีดังนี้ หม้อต้มถ้วยเต็วที่ไม่สวมฉนวน หม้อต้มถ้วยเต็วที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้วและหม้อต้มถ้วยเต็วทรงกระบอกบรรจุใยแก้วฉนวน โครงสร้างภายนอกของฉนวนทรงกระบอกขึ้นรูปโดยการบัดกรีแผ่นสังกะสี เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกมีขนาด 15 นิ้วและ 17 นิ้วตามลำดับ ผลจากการศึกษาการให้ความร้อนพบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทั้งสามกรณีมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิใน ช่วง 0-40 นาที เฉลี่ย 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาทีและในช่วง 40-60 นาที เฉลี่ย 2.1 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลการศึกษาการกักเก็บความร้อนพบว่า กรณีหม้อต้มถ้วยเต็วที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้วมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิต่ำที่สุด โดยมีการลดลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 10 นาทีเท่ากับ 0.4 องศาเซลเซียสต่อนาที และในช่วง 10-60 นาทีเท่ากับ 0.14 องศาเซลเซียสต่อนาที และผลจากการนำไปทดสอบการใช้งานจริงที่ร้านถ้วยเต็วล็อกที่ 13 อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ของคุณยุพิน ทองอ้อม หม้อต้มถ้วยเต็วที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้วสามารถลดการใช้ก๊าซ LPG เฉลี่ยของผู้ประกอบการได้ประมาณ 1.33 กิโลกรัมต่อวัน (26.15 บาทต่อวัน) มีระยะเวลาดำเนินทุน 1 เดือน 14 วัน ส่วนหม้อต้มที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้วสามารถลดการใช้ก๊าซ LPG เฉลี่ยของผู้ประกอบการได้ประมาณ 1.10 กิโลกรัมต่อวัน (21.62 บาทต่อวัน) มีระยะเวลาดำเนินทุน 1 เดือน 3 วัน

Project Title : Design and Fabrication of Insulation for Liquefied Petroleum Gas (LPG) Saving:  
Case Study Boils Noodles

Project Operators : Miss. Piyanut Sudadet Code 48363749  
Mr. Phiroon Singkwang Code 48363787  
Mr. Suriya Phunason Code 48364067

Project Adviser : Mr. Sitphan Kanla

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2008

---

### Abstract

This project is designing and fabrication of cylinder insulation for a pot boil noodles for decrease using Liquefied Petroleum Gas (LPG) of sale noodles career. By study compare using gas quantity LPG three cases as follows, a pot boils noodles without the insulation, a pot boils noodles with cylinder insulation packs the glass fiber and a pot boils noodles with cylinder insulation packs ashes. Outside structure of cylinder insulation build by soldering tinplate, a diameter within and the outside has size 15 inch and 17 inch respectively. The test heat insertion, indicate expansion rate of water temperature three case is valuable are similar, by have expansion rate of water temperature during 0-40 minute, average 1.5 degree Celsius per minute and during 40-60 minute, average 2.1 degree Celsius per minute. The test keeps the heat, a pot boils noodles with cylinder insulation packs the glass fiber has rate of low temperature most, by decrease of water temperature average during 10 minute is 0.4 degree Celsius per minute and during 10 – 60 minute is 0.14 degree Celsius per minute.

The test apply with noodles shop, a pot boils that with glass fiber insulator can decrease using Liquefied Petroleum Gas (LPG) average 1.33 kilogram per day (save money 26.15 baths per day) and has pays back period 1 month with 14 day. And a pot boils that with ashes insulator can decrease using Liquefied Petroleum Gas (LPG) average 1.10 kilogram per day, (save money 21.62 baths per day) and has pays back period 1 month with 3 day.

**กิตติกรรมประกาศ**  
**(Acknowledgement)**

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านและทุกหน่วยงานที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สามารถประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี อันได้แก่

1. ขอขอบคุณบริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการจัดทำโครงการ จาก การประกวด โครงการนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม ระดับอุดมศึกษา
2. ขอขอบคุณ คุณยุพิน ทองฮ้อม เจ้าของร้านก๋วยเตี๋ยว อาคารเรียนรวมเฉลิมพระเกียรติที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำฉนวนไปทดลองใช้
3. ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเพื่อ สถานที่และอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับทำโครงการ
4. ขอขอบคุณ อาจารย์ศิษย์ภัณฑ์ แคนลา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ในการจัดทำโครงการ และบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการ จัดทำโครงการฉบับนี้
5. ขอกราบขอบพระคุณ บิคา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำโครงการด้วยดีตลอด มา

นางสาวปิยนุช สุคาเดช  
นายพิรุฬห์ สิงห์กวาง  
นายสุริยา ภูนาสอน  
ผู้จัดทำโครงการ

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญกราฟ	ฅ
ลำดับสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7 งบประมาณ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การนำความร้อน	4
2.2 ความหนาวิฤติของฉนวน	7
2.3 การพาความร้อนตามธรรมชาติ	9
2.4 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของหม้อต้มก๊วยเตี้ยว	11
2.5 คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว(LPG)	12
2.6 คุณสมบัติของใยแก้ว	13
2.7 คุณสมบัติของซีเมนต์กลบ	14
2.8 การวิเคราะห์การเงินของโครงการ	14

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการออกแบบและทดสอบ	
3.1 การศึกษาการใช้ก๊าซ LPG และพฤติกรรม ของผู้ประกอบอาชีพการขายก๊าซเดี่ยว	15
3.2 การออกแบบโครงสร้างของฉนวน	15
3.3 ปริมาณซีเมนต์และใยแก้วที่ใช้	17
3.4 การออกแบบการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ	
4.1 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการให้ความร้อน	22
4.2 ผลการทดสอบการกักเก็บความร้อน	23
4.3 ผลการทดสอบการใช้งานจริง	24
4.4 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ	27
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	28
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม	30
ภาคผนวก	31
ภาคผนวก ก ตารางที่ใช้ในการคำนวณ	32
ภาคผนวก ข การคำนวณหาความหนาวิฤติและอัตราการถ่ายเทความร้อน	39
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกผลการทดลอง	51
ภาคผนวก ง การประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม	61
ภาคผนวก จ แบบฉนวนสวมหม้อก๊วยเดี่ยว	74

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าคงที่ $c$ และสัญลักษณ์ $n$	10
ตารางที่ 2.2	ค่าคงที่ $c$ และสัญลักษณ์ $n$ สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติ	11
ตารางที่ 2.3	คุณสมบัติของใยแก้ว	13
ตารางที่ 4.1	ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ	27
ตารางที่ ก.1	สมบัติทางกายภาพของโลหะ	30
ตารางที่ ก.2	สมบัติทางกายภาพของโลหะ (ต่อ)	31
ตารางที่ ก.3	สมบัติทางกายภาพและความร้อนของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ	32
ตารางที่ ก.4	สมบัติของน้ำอิมตัว	33
ตารางที่ ก.5	สมบัติของน้ำอิมตัว (ต่อ)	34
ตารางที่ ก.6	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $h$ ) ของของไหลแต่ละชนิด	35
ตารางที่ ข.1	บันทึกผลการทดลองของการให้ความร้อนหม้อต้มที่ไม่มีฉนวน	47
ตารางที่ ข.2	บันทึกผลการทดลองของการให้ความร้อนหม้อต้มที่สวมฉนวนบรรจุใยแก้ว	48
ตารางที่ ข.3	บันทึกผลการทดลองของการให้ความร้อนหม้อต้มที่สวมฉนวนบรรจุซีเมนต์	49
ตารางที่ ข.4	ผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ไม่มีฉนวน	50
ตารางที่ ข.5	ผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่สวมฉนวนบรรจุใยแก้ว	51
ตารางที่ ข.6	ผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่สวมฉนวนบรรจุซีเมนต์	52
ตารางที่ ข.7	ผลการทดสอบการใช้งานจริงกรณีที่ไม่มีฉนวน	53
ตารางที่ ข.8	ผลการทดสอบการใช้งานจริงกรณีที่หม้อสวมฉนวนบรรจุใยแก้ว	54
ตารางที่ ข.9	ผลการทดสอบการใช้งานจริงกรณีที่หม้อสวมฉนวนบรรจุซีเมนต์	55
ตารางที่ ข.10	ดัชนีการใช้ก๊าซ LPG เทียบกับจำนวนชามถ้วยเต๋วที่ขายได้ในแต่ละวัน	55



## สารบัญรูปภาพ

			หน้า
รูปที่	2.1	การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกของหม้อปกติ	5
รูปที่	2.2	การถ่ายเทความร้อนของหม้อ โดยใส่ฉนวนทรงกระบอก	6
รูปที่	2.3	การพิจารณาความหนาวิกฤตของฉนวนที่ใช้หุ้มท่อ	8
รูปที่	3.1	ขนาดของหม้อต้มถ้วยเดี่ยว	15
รูปที่	3.2	ภาพหน้าตัดการออกแบบวงในของฉนวน	16
รูปที่	3.3	ภาพแสดงความหนาของช่องว่างที่ใช้บรรจุฉนวน	16
รูปที่	3.4	ภาพแสดงฝาปิดฉนวน	17
รูปที่	3.5	การทดลองให้ความร้อนโดยไม่มีฉนวน	19
รูปที่	3.6	การทดลองให้ความร้อน โดยใส่ฉนวนบรรจุใยแก้ว	19
รูปที่	3.7	การทดลองให้ความร้อน โดยใส่ฉนวนบรรจุซีเมนต์	20
รูปที่	3.8	การทดสอบการใช้งานจริง โดยหม้อไม่มีฉนวน	20
รูปที่	3.9	การทดสอบการใช้งานจริง โดยหม้อมีฉนวนใยแก้ว	21
รูปที่	3.10	การทดสอบการใช้งานจริง โดยหม้อมีฉนวนซีเมนต์	21
รูปที่	ง.1	การประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม	66
รูปที่	ง.1	รางวัลชมเชยระดับอุดมศึกษา	67

## สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบการให้ความร้อน	22
กราฟที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบการกักเก็บความร้อน	23
กราฟที่ 4.3 แสดงผลเปรียบเทียบการใช้ก๊าซ LPG ในแต่ละวัน	24
กราฟที่ 4.1 ปริมาณขามกั่วยเคียวที่ขายได้ในแต่ละวัน	25
กราฟที่ 4.1 ดัชนีชี้วัดจำนวนขามกั่วยเคียวที่ขายได้ต่อก๊าซ LPG 1 กิโลกรัม	26

## ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็น	$m^2$
AF	อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิง	kg air/kg fuel
$A_s$	คือ พื้นที่ผิวรอบข้างหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น	$m^2$
$E_b$	ประสิทธิภาพของหม้อ	%
c	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติ	J/kgK
$c_{p, gas}$	ค่าความร้อนจำเพาะ	J/kgK
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อ	
$F = LHV$	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	kJ/kg.
g	ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก	$m^2/s$
Gr	ตัวเลขกราชอฟ	
h	เอนทาลปีของไอน้ำที่หม้อน้ำขณะใช้งาน	kJ/kg.
$h_f$	เอนทาลปีของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำ	kJ/kg.
$h_a$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$h_g$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศไปยังกันหม้อ	$W/m^2 \cdot K$
$h_w$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำร้อน	$W/m^2 \cdot K$
$k_s$	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน	$W/(m.K)$
k	ค่าการนำความร้อน มีหน่วยเป็น	$W/(m.K)$
H	ความสูงของผนัง	(m)
L	ความหนาของสแตนเลส	m
L	ความหนาของฉนวน	m
$Nu_m$	ตัวเลขนัสเซิลท์	
n	สัญลักษณ์	
$m_f$	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้	kg./hr.
$M_s$	อัตราการผลิตไอของหม้อน้ำขณะใช้งาน	kg./hr.
Pr	ตัวเลขแพรนดัล	
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล	
$r_{cr}$	ความหนาวิกฤติของฉนวนใยแก้ว	
$r_1$	รัศมีภายในของผนังทรงกระบอก	(m)
$r_2$	รัศมีภายนอกของผนังทรงกระบอก	(m)

$r_3, r_4$	รัศมีผิวนิ่งภายในและภายนอกจนวนทรงกระบอก ตามลำดับ	(mm)
$R_{tot}$	ค่าความต้านทานความร้อนรวม	K/W
$T_{\infty 1}$	อุณหภูมิของของเหลวร้อนภายในหม้อ	(K)
$T_{\infty 2}$	อุณหภูมิของอากาศ	(K)
$T_{s1}$	อุณหภูมิที่ผิวผิวนิ่งภายในของหม้อ	(K)
$T_{s2}$	อุณหภูมิที่ผิวผิวนิ่งภายนอกของหม้อ	(K)
$\Delta T$	ผลต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น	(K)
$T_{\infty 1}$	อุณหภูมิของของเหลวร้อนภายในหม้อ	(K)
$T_{\infty 4}$	อุณหภูมิของอากาศ	(K)
$T_{s1}, T_{s2}, T_{s3}, T_{s4}$	อุณหภูมิที่ผิวผิวนิ่งภายในและภายนอกของหม้อและจนวน	(K)
$T_h$	อุณหภูมิที่ร้อนกว่า	
$T_c$	อุณหภูมิที่เย็นกว่า	
$T_f$	เรียกว่า อุณหภูมิฟิล์ม (film temperature)	
(Ra)	สมการตัวเลขเรย์เลย์	
$T_{w1}$	อุณหภูมิของผนังกันหม้อ	(K)
$T_{\infty}$	อุณหภูมิของของของไหล	(K)
$\beta$	สัมประสิทธิ์การขยายตัว	$K^{-1}$
$\eta_{comb}$	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	
$\mu$	ความหนืดพลศาสตร์	kg/ms
$\nu$	ความหนืดจลศาสตร์	$m^2/s$
$\rho$	ความหนาแน่น	$kg/m^3$

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากวิกฤตปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบัน ทำให้รัฐบาลต้องประกาศขึ้นราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำของผู้ประกอบอาชีพขายก๋วยเตี๋ยว ส่งผลให้ต้นทุนของผู้ประกอบอาชีพขายก๋วยเตี๋ยวเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผิวหนังนอกของหม้อต้มก๋วยเตี๋ยวมียุณหภูมิตลอดทั้งวันเฉลี่ย 50-70 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศจึงเกิดการสูญเสียความร้อนโดยรอบผิวหม้อต้ม ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองก๊าซ LPG และเกิดปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอกสำหรับหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว โดยโครงสร้างภายนอกทำจากสังกะสีและภายในบรรจุวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนอยู่ภายใน โดยวัสดุที่นำมาเป็นฉนวนเป็นการศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างซีเมนต์และใยแก้วซึ่งมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นการลดการสูญเสียความร้อนของหม้อต้มสู่บรรยากาศ ช่วยลดการใช้พลังงานก๊าซ LPG และเป็น การช่วยลดต้นทุนของผู้ประกอบการอีกด้วย

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอกเพื่อลดการใช้ก๊าซ LPG สำหรับหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว

1.2.2 เปรียบเทียบค่าการลดใช้ก๊าซ LPG ของฉนวนสำหรับหม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่สร้างขึ้นจากซีเมนต์และใยแก้ว

#### 1.3 ขอบเขต

1.3.1 ออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอก โครงสร้างภายนอกทำจากสังกะสี ซึ่งภายในบรรจุซีเมนต์หรือใยแก้วที่มีขนาดความหนา 2 นิ้ว

1.3.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานก๊าซ LPG ของหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว ในกรณีที่

- หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่ไม่ใส่ฉนวนทรงกระบอก
- หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่ใส่ฉนวนทรงกระบอกภายในบรรจุใยแก้ว
- หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่ใส่ฉนวนทรงกระบอกภายในบรรจุซีเมนต์

1.3.3 หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.5 นิ้ว ความสูง 14 นิ้ว

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ความเป็นฉนวนของซีเมนต์และใยแก้ว
- 1.4.2 ศึกษาเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ของผู้ประกอบการ
- 1.4.3 คำนวณและวิเคราะห์พลังงานความร้อน
- 1.4.4 ออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอกเพื่อลดการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว
- 1.4.5 ทดสอบเก็บข้อมูลและปรับปรุงแก้ไข
- 1.4.6 สรุปผลการดำเนินงาน

#### 1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

ขั้นการดำเนินงาน	ก.ค.	ธ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาข้อมูลและพฤติกรรมการใช้ก๊าซ LPG ของผู้ประกอบการ	←→							
2. ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน			←→					
3. คำนวณและวิเคราะห์พลังงานความร้อน				←→				
4. ออกแบบและจัดทำอุปกรณ์					←→			
5. ทดสอบเก็บข้อมูลและปรับปรุงแก้ไข							←→	
6. สรุปผลการดำเนินงาน								←→

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ฉนวนทรงกระบอกเพื่อลดการใช้ก๊าซ LPG
- 1.6.2 สามารถลดปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ในอาชีพที่มีการใช้หม้อต้ม เช่น ร้านก๋วยเตี๋ยว ร้านกาแฟโบราณ ร้านน้ำเต้าหู้ เป็นต้น
- 1.6.3 สามารถขยายเป็นธุรกิจการค้าได้

## 1.7 งบประมาณ

## ตารางที่ 1.2 งบประมาณ

รายการ	จำนวน	หน่วยละ	จำนวนเงิน(บาท)
1.7.1 หม้อต้มถ้วยเดี่ยว	1	790	790
1.7.2 สังกะสี	2	190	380
1.7.3 หัวเตาแก๊ส	1	600	600
1.7.4 วาล์วควบคุมอัตราการไหล	1	500	500
1.7.5 ฐานรองเตาแก๊ส	1	390	390
1.7.6 ไยแก้ว	30	15	450
1.7.7 ก๊าซ LPG (ไม่รวมถึง)	-	295	295
1.7.8 ค่าแรง	-	350	350
รวมทั้งสิ้น			3,755

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

การถ่ายเทความร้อนเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาการถ่ายเทพลังงานซึ่งจะพิจารณาค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันในเนื้อวัสดุ

การถ่ายเทความร้อน หมายถึง ความร้อนเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่ง โดยการเคลื่อนที่จะไหลไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อัตราการไหลของความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระดับความร้อนที่จุดทั้งสองมีอยู่ การถ่ายเทความร้อนมี 3 วิธี คือ

- 1) การนำความร้อน (Conduction) คือ การที่ความร้อนถ่ายเทความร้อนผ่านมวลของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่มวลของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยวัตถุนั้นไม่ได้เคลื่อนที่ตามไป
- 2) การพาความร้อน (Convection) คือการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ( ของเหลวและแก๊ส ) การพาความร้อนแยกเป็นสองประเภท คือ การพาความร้อนตามธรรมชาติ และการพาความร้อนโดยบังคับ
- 3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือการถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในรูปแบบของคลื่นความร้อน

ในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะการนำความร้อนและการพาความร้อน (แบบตามธรรมชาติ) เพราะการแผ่รังสีความร้อนมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพา

#### 2.1 การนำความร้อน

อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของตัวกลาง(k) มีหน่วยเป็น W/(m.K) สารที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น โลหะ สารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น สารจำพวกอโลหะ

สมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ คือ

$$Q = \frac{kA}{L} \Delta T \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำตลอดพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็น W

k คือ ค่าการนำความร้อน มีหน่วยเป็น W/(m.K)

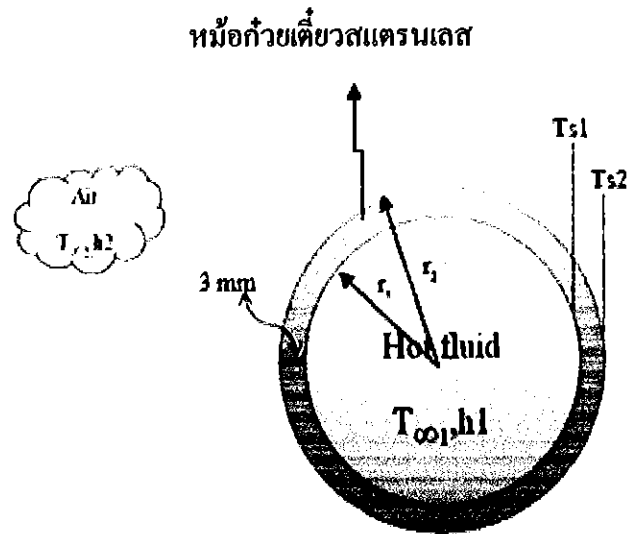
L คือ ความหนาของผนัง มีหน่วยเป็น m

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็น m<sup>2</sup>

$\Delta T$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น K



### 2.1.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกของหม้อปอกติ



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกของหม้อปอกติ

โดยที่	$T_{\infty 1}$	=	อุณหภูมิของของเหลวร้อนภายในหม้อ (K)
	$T_{\infty 2}$	=	อุณหภูมิของอากาศ (K)
	$T_{s1}$	=	อุณหภูมิที่ผิวผนังภายในของหม้อ (K)
	$T_{s2}$	=	อุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอกของหม้อ (K)
	$h$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^2 \cdot K$ )
	$r_1$	=	รัศมีภายในของผนังทรงกระบอก (m)
	$r_2$	=	รัศมีภายนอกของผนังทรงกระบอก (m)
	$k$	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสแตนเลส ( $W/m \cdot K$ )

จากรูป 2.1 สามารถเขียนแผนวงจรตัวต้านทานความร้อนรวม ได้ดังนี้

$$\dot{Q}, \rightarrow \begin{array}{c} T_{\infty 1} \quad T_{s1} \quad T_{s2} \quad T_{\infty 2} \\ \text{---} \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} \text{---} \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} \text{---} \frac{1}{h_2 2\pi r_2 L} \text{---} \end{array}$$

จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนสมการอัตราการถ่ายเทความร้อนได้เป็น

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_1 \pi r_1 L} + \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{h_2 \pi r_2 L}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

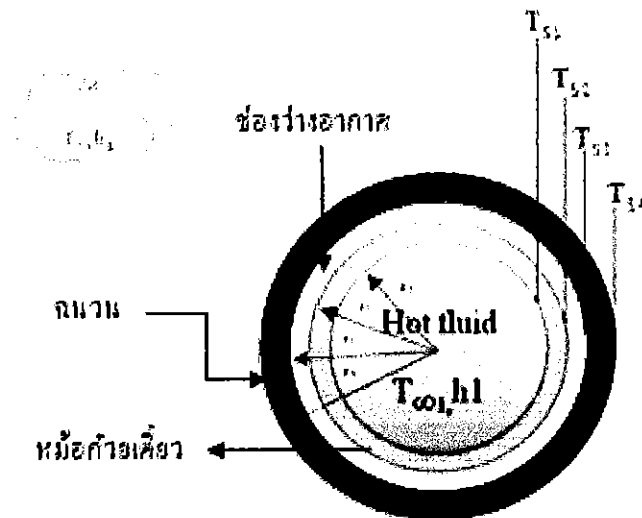
โดยที่  $R_{tot}$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม มีหน่วยเป็น  $K/W$

และ 
$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 \pi r_1 L} + \ln \frac{(r_2/r_1)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_2 \pi r_2 L} \dots\dots\dots (2.3)$$

### 2.1.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของหม้อต้มกัวยเดี่ยวเมื่อมีการสวมฉนวน

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อนร่วมกับการพาความร้อนผ่านชั้นตัวกลางคั่ง

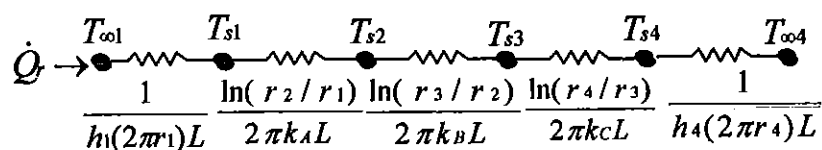
รูปที่ 2.2 โดยไม่คำนึงถึงความต้านทานที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทความร้อนของหม้อ โดยใส่ฉนวนทรงกระบอก

โดย	$T_{\infty 1}$	=	อุณหภูมิของของเหลวร้อนภายในหม้อ (K)
	$T_{\infty 4}$	=	อุณหภูมิของอากาศ (K)
	$T_{s1}, T_{s2}, T_{s3}, T_{s4}$	=	อุณหภูมิที่ผิวผนังภายในและภายนอกของหม้อและฉนวนทรงกระบอก ตามลำดับ (K)
	$r_1, r_2, r_3, r_4$	=	รัศมีผนังภายในและภายนอกของหม้อและฉนวนทรงกระบอกตามลำดับ (mm)
	$h_1, h_2$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำร้อนและอากาศตามลำดับ ( $W/m^2 \cdot K$ )

จากรูป 2.2 สามารถเขียนแผนวงจรตัวต้านทานความร้อนรวม ได้ดังนี้



จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนสมการอัตราการถ่ายเทความร้อนได้เป็น

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{R_{tot}} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

โดยที่  $R_{tot}$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม มีหน่วยเป็น K/W

$$R_{tot} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

พิจารณาในพจน์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{R_{tot}} = U_1 A_1 (T_{\infty 1} - T_{\infty 4}) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

โดยที่  $A_1 = 2\pi r_1 L$  จะได้

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1}{k_A} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{r_1}{k_B} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{r_1}{k_C} \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) + \frac{r_1}{r_4 h_4}} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

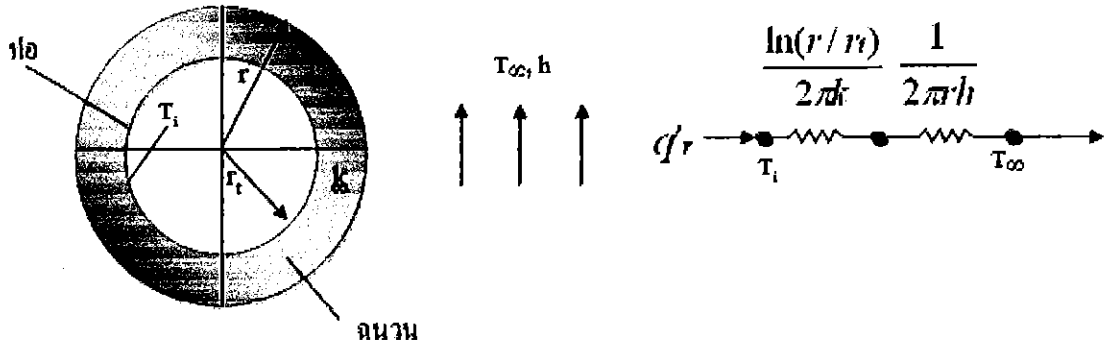
ปกติ  $U_1$  จะอ้างอิงพื้นผิวภายในท่อ  $A_1$  หรือใช้  $U_4$  ซึ่งจะอิงพื้นผิวนอกท่อ  $A_4$  ดังนั้น

$$U_1 A_1 = U_4 A_4 = \frac{1}{R_{tot}} \quad \text{หน่วย W/K} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

## 2.2 ความหนาวิกฤตของฉนวน

ความหนาวิกฤต (critical thickness :  $r_{cr}$ ) คือ ความหนาของฉนวนที่มีความร้อนสูญเสียมีค่าสูงสุด กล่าวคือ หากต้องการลดความร้อนสูญเสียจะต้องมีการหุ้มฉนวนที่ผิวชั้นภายนอก และที่ความหนาวิกฤตของฉนวน ความร้อนสูญเสียจะมีค่าสูงสุด ดังนั้น หากเลือกความหนาของฉนวนมากกว่าความหนาวิกฤตนี้ ความร้อนสูญเสียจะลดลง

พิจารณาผนังกลมบางรัศมี  $r$  มีสภาพการนำความร้อน  $k$  และฉนวนทอรัศมี  $r$  สภาพการนำความร้อน  $k$  (ในที่นี้  $k \ll k_1$ ) สัมผัสกับของไหลภายนอกอุณหภูมิสม่ำเสมอ  $T_\infty$  และมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  $h$



รูปที่ 2.3 การพิจารณาความหนาวิกฤตของฉนวนที่ใช้หุ้มท่อ

สมมติฐาน

- พิจารณาการนำความร้อนภายใต้สภาวะคงตัวใน 1 มิติพิสัย  $r$
- เนื่องจากสภาพการนำความร้อนของท่อโลหะสูงกว่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนมาก ดังนั้น จึงไม่คิดความต้านทานความร้อนของท่อโลหะ
- ไม่คิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างผิวฉนวนด้านนอกกับสิ่งแวดล้อม

ความต้านทานความร้อนรวมต่อหนึ่งหน่วยความยาวท่อ

$$R_{tot} = \frac{\ln(r/r_1)}{2\pi k} + \frac{1}{2\pi h} \quad \text{หน่วยเป็น } m \cdot K/W \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนต่อหนึ่งหน่วยความยาวท่อ

$$\dot{q}_r = \frac{(T_i - T_\infty)}{R_{tot}} \quad \text{หน่วยเป็น } W/m \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

ความหนาวิกฤตพิจารณาที่จุด  $\dot{q}_r = \dot{q}_{MAX}$  หรือ  $R_{tot} = R_{min}$  (ความต้านทานต่ำที่สุด) ดังนั้น จึงกำหนดให้

$$\frac{dR_{tot}}{dr} = 0$$

$$\frac{1}{2\pi kr} - \frac{1}{2\pi r^2 h} = 0$$

ดังนั้น จะให้ความหนาวิกฤต ( $r_{cr}$ ) :  $r_{cr} = \frac{k}{h}$  ..... (2.11)

### 2.3 การพาความร้อนตามธรรมชาติ

การพาความร้อนตามธรรมชาติ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก

สมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการพา คือ

$$Q = h(T_h - T_c) \quad \text{..... (2.12)}$$

โดยที่ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล

H คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$T_h$  คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า

$T_c$  คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า

การพาความร้อนแต่ละแบบยังมีตัวแปรที่สำคัญในแต่ละสมการอีก ด้วยเหตุนี้จึงมีการกำหนดช่วงในการใช้สมการ ซึ่งตัวแปรที่นำมาใช้เลือกช่วงก็คือ ตัวเลขเรย์เลจส์ (Ra) จะบอกได้ว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ หรือแบบปั่นป่วน ในกรณีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนตามธรรมชาติ

สมการตัวเลขเรย์เลจส์ (Ra)

$$Ra = Gr.Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\nu^2} . Pr \quad \text{..... (2.13)}$$

โดยที่ Pr คือ ตัวเลขแพรนดัล สามารถหาได้จาก ภาคผนวก ก ตารางที่ 3

Gr คือ ตัวเลขกราชอฟ

$$Gr_L \equiv \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad \text{..... (2.14)}$$

โดยที่	g	มีค่าเท่ากับ	9.81	m2/s
	L	คือ	ความสูงของผนัง (m)	
	$\beta$	คือ	$1/T_f$ ; ( $T_f$ = อุณหภูมิเฉลี่ย (K) )	
	$T_w$	คือ	อุณหภูมิของผนัง (K)	
	$T_\infty$	คือ	อุณหภูมิของของของไหล (K)	

**2.3.1 การวิเคราะห์ปัญหาการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบ ซึ่งอยู่ในแนวตั้งแบบอณูหุมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ**

การวิเคราะห์ในเรื่องการพาความร้อนตามธรรมชาติสำหรับหม้อต้มถ้วยเดี่ยว เราสามารถพิจารณาได้เป็นสภาวะแบบอณูหุมิพื้นผิวสม่ำเสมอ เขียนความสัมพันธ์ของ

ตัวเลขนัสเซิลท์โดยเฉลี่ยในรูปของสมการ

$$Nu_m = c(Gr_L \cdot Pr)^n \equiv \frac{h_m L}{k} \dots\dots\dots (2.15)$$

โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์ c และ สัญลักษณ์ n สามารถหาได้จากตาราง 2.1 และค่า Gr<sub>L</sub> หาได้จากสมการที่ 2.14

เนื่องจากอณูหุมิของของไหลในชั้นขอบเขตไม่คงที่ คุณสมบัติของของไหลจึงควรจะหาจากอณูหุมิเฉลี่ยของของไหลใน Boundary layer ซึ่งหาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$T_f = \frac{1}{2}(T_w + T_\infty) \dots\dots\dots (2.16)$$

โดยที่ T<sub>f</sub> เรียกว่า อณูหุมิฟิล์ม (film temperature)

**ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ c และสัญลักษณ์ n**

ชนิดของการไหล	ช่วง Gr <sub>L</sub> Pr	c	n
ราบเรียบ (Laminar)	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>9</sup>	0.59	1/4
ปั่นป่วน (Turbulent)	10 <sup>9</sup> - 10 <sup>13</sup>	0.10	1/3

(ที่มา : Heat Transfer, A Basic Approach, M. Necati OZISIK)

**2.3.2 การวิเคราะห์ปัญหาการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบซึ่งอยู่ในแนวนอนแบบอณูหุมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ**

ตัวเลขนัสเซิลท์โดยเฉลี่ยสำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบซึ่งอยู่ในแนวนอน เขียนความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ ดังนี้

$$Nu_m = c(Gr \cdot Pr)^n \dots\dots\dots (2.17)$$

โดยที่ Gr<sub>L</sub> และ Num หาได้จากสมการที่ (2.14) และ (2.15) สำหรับแผ่นผนังที่เป็นวงกลม ให้ใช้ค่า 0.9D แทนค่า L เมื่อ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผนังนั้น

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่  $c$  และสัญลัษณ์  $n$  สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนผนังราบ  
แนวนอนแบบอุณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอ

Orientation of plate	ช่วง $Gr_L Pr$	$c$	$n$	ชนิดของการไหล
Hot surface facing up or Cold surface facing down	$10^5 - 2 \times 10^7$	0.54	1/4	ราบเรียบ
Cold surface facing down	$2 \times 10^7 - 3 \times 10^{10}$	0.14	1/3	ปั่นป่วน
Hot surface facing down or Cold surface facing up	$3 \times 10^{10}$	0.27	1/4	ราบเรียบ

(ที่มา : Heat Transfer, A Basic Approach , M. Necati OZISIK)

## 2.4 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเดี่ยว

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้จากสมการ

$$Q = \eta_{comb} \cdot m_f \cdot F \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเดี่ยว} = \frac{\text{ความร้อนที่หม้อไอน้ำดูดซึมไว้}}{\text{ความร้อนที่จ่ายเข้าไปในหม้อ}}$$

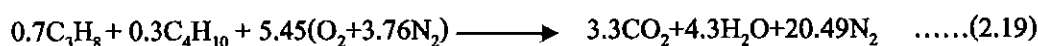
$$E_b = \frac{M_s (h - h_f) \times 100}{m_f \times F} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{m_f \times F} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

เมื่อ	$E_b$	=	ประสิทธิภาพของหม้อ %
	$M_s$	=	อัตราการผลิตไอของหม้อน้ำขณะใช้งาน kg./hr.
	$h$	=	เอนทาลปีของไอน้ำที่หม้อน้ำขณะใช้งาน kJ/kg.
	$h_f$	=	เอนทาลปีของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำ kJ/kg.
	$m_f$	=	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ kg./hr.
	$F$	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง kJ/kg.
	$\eta_{comb}$	=	ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ( สมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 1)

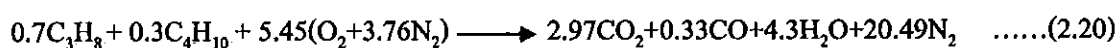
## 2.5 คุณสมบัติก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas: LPG)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน หรือการแยกก๊าซธรรมชาติในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด คือ โพรเพน(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) และ บิวเทน(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) ก๊าซ LPG บริสุทธิ์ จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตก๊าซจึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อเกิดการรั่วซึมของก๊าซ หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีกลิ่นเหม็น เป็นสารพวกเมอร์แคปแทน (mercaptan) ซึ่งมีกลิ่นฉุนคล้ายไข่เน่าลงไป ก๊าซ LPG จะหนักกว่าอากาศ สามารถติดไฟได้ในช่วงของการติดไฟที่ 2-15 % ของปริมาณอากาศ และอุณหภูมิที่สามารถติดไฟได้เอง คือ 400 °C

ในประเทศไทย ก๊าซ LPG ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ โดยใช้อัตราส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทน ประมาณ 70 : 30 ซึ่งจะให้ค่าความร้อนสูง สำหรับสมการเคมีของก๊าซ LPG ที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ จะมีสมการเป็นดังนี้



แต่ในความเป็นจริงนั้น เมื่อก๊าซ LPG เกิดการเผาไหม้แล้ว จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น 10% ดังนั้น สมการที่ (2.19) จะกลายเป็น





## 2.6 คุณสมบัติของใยแก้ว

ใยแก้วเป็นฉนวนที่ผลิตจากการหลอมแก้วแล้วปั้นออกมาเป็นเส้นใยสีขาว จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนเซลล์เปิด มีความหนาแน่นต่างกันตั้งแต่  $16 \text{ kg/m}^3$  ถึงมากกว่า  $32 \text{ kg/m}^3$  อาจผลิตในรูปแบบแผ่นแข็ง แบบม้วน หรือขึ้นเป็นรูปทรงต่างๆกัน ตัวเส้นใยจะถูกเคลือบไว้ด้วยตัวประสาน (Binder) เช่น ฟิโนลิกเรซินซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเส้นใย ที่พบมากจะเป็นฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งจะให้สีเหลืองหลังการผลิต

## ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของใยแก้ว

คุณสมบัติ	ฉนวนใยแก้ว
1. โครงสร้างเซลล์ (Cell Structure)	เซลล์เปิด
2. ความหนาแน่น (Density)	$16\text{-}32 \text{ kg./m}^3$
3. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	$0.0329 \text{ W/m.K}$
4. อุณหภูมิใช้งาน (Temperature)	$-20^\circ\text{C}$ ถึง $200^\circ\text{C}$
5. ความต้านทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)	ดี
6. ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)	สูงมากเนื่องจากเป็นเซลล์เปิดเหมือนฟองน้ำ
7. การติดไฟ (Flammability)	ไม่ติดไฟ
8. การเกิดควันพิษและปริมาณควัน (Toxicity in fire and smoke density)	N.A
9. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสภาพของวัสดุ	เมื่อใช้ระยะหนึ่งเส้นใยจะเริ่มหลุดร่วงและเป็นฝุ่นละอองที่กระจาย เมื่อสัมผัสผิวหนัง จะระคายเคือง เมื่อสูดดมจะเป็นมะเร็งในปอด
10. อายุการใช้งาน (Working-life)	เนื่องจากเป็นฉนวนเซลล์เปิด ความชื้นสามารถสะสมภายในตัวฉนวน ทำให้สารที่ผสมใยแก้วเสื่อมสภาพทำให้ตัวฉนวนที่กระจาย
11. การป้องกันเสียง	ดี

## 2.7 คุณสมบัติซีเมนต์แกลบ

ซีเมนต์แกลบ มีลักษณะเป็นอนุภาคสีเทาดำ ส่วนประกอบหลักของซีเมนต์แกลบคือ ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ที่มีอยู่ถึงร้อยละ 95 เป็นสารประกอบอนินทรีย์ ประกอบด้วยธาตุซิลิกา และออกซิเจน มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ สารประกอบชนิดนี้มีสมบัติเป็นฉนวน ไม่นำไฟฟ้าและความร้อน ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี สามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี และการเผาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาในซีเมนต์แกลบมีทั้งที่เป็น ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) ซิลิกาผลึกสามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิดตามความแตกต่างของรูปร่าง ลักษณะผลึกและความหนาแน่นของซิลิกา รูปร่างของผลึกมีหลายแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์และเส้นยาว และซิลิกาที่มีรูปร่างไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Silica)

## 2.8 การวิเคราะห์การเงินในโครงการ

ระยะเวลาดำเนินทุน คือระยะเวลาที่โครงการใช้ในจ่ายคืนเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการ ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาดำเนินทุน} = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} / \text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิต่อปี} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

โดยที่ \* เงินลงทุนเริ่มต้น ประกอบด้วย ค่าอุปกรณ์ค่าติดตั้ง และค่าบริหาร โครงการ

\*\*ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปีคือค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อปี หลังจากหักค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการและบำรุงรักษาแล้ว (ถ้ามี)

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินโครงการ

#### 3.1 การศึกษาการใช้ก๊าซ LPG และพฤติกรรมของผู้ประกอบอาชีพการขายก๋วยเตี๋ยว

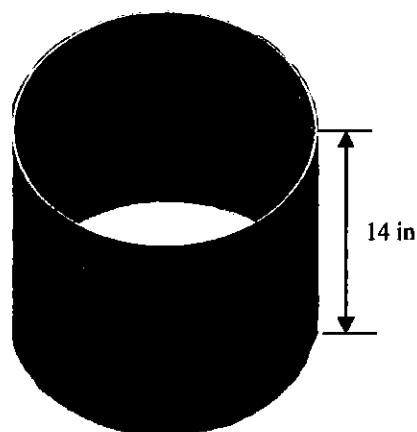
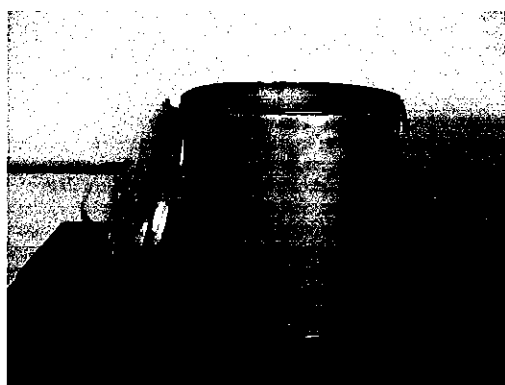
การเก็บข้อมูลจากร้านก๋วยเตี๋ยวลีอกที่ 13 อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์(Q๑) มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 1 สัปดาห์พบว่าปริมาณการใช้ก๊าซ LPG เฉลี่ย 5.7 กิโลกรัมต่อวัน (6.00 – 18.00 น.) อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวอยู่ที่ประมาณ 85-90 °C และผิวหม้อต้มมีอุณหภูมิเฉลี่ย 65-70 °C โดยในการต้มหรืออุ่นน้ำที่ใช้ลวกเส้นก๋วยเตี๋ยวของผู้ประกอบการจะใช้งานสังเกตลักษณะของน้ำและฟังเสียงของแก๊สหลังจากที่เปิดวาล์วแก๊ส

#### 3.2 การออกแบบโครงสร้างของฉนวน

การออกแบบโครงสร้างของฉนวน ออกแบบโดยมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตามรูปทรงของหม้อก๋วยเตี๋ยว แต่จะไม่ยึดติดกับหม้อเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน มีชั้นตอนดังนี้

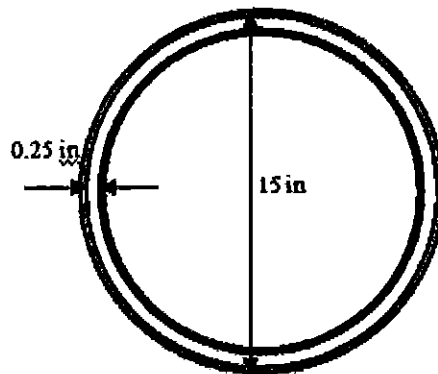
##### 3.2.1 การออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

3.2.1.1 หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่นำมาทำการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.5 นิ้ว และสูง 14 นิ้ว ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดของหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว

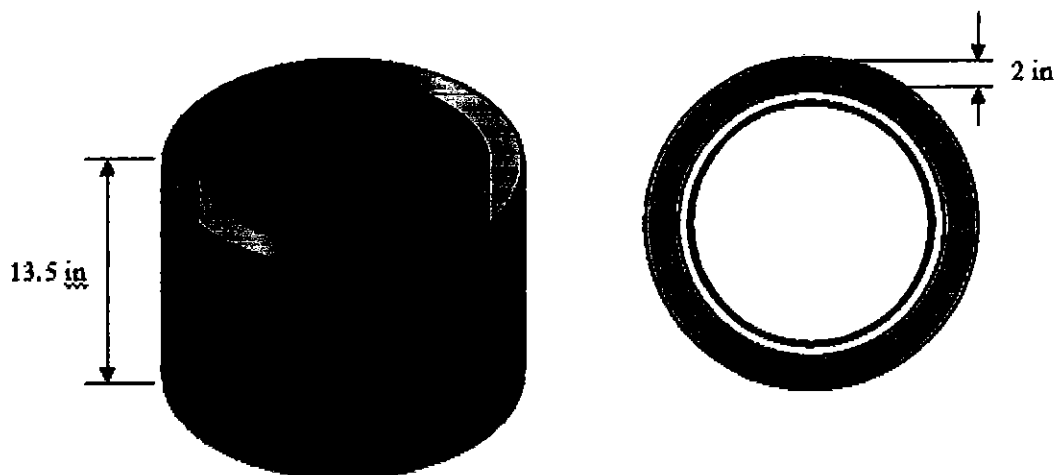
3.2.1.2 ออกแบบ โครงสร้างฉนวน ไม่ให้ยึดติดกับหม้อต้มน้ำ จึงมีการออกแบบให้มีช่องว่าง อากาศระหว่างหม้อต้มน้ำและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ โครงสร้างฉนวนด้านละ 0.25 นิ้ว เพื่อให้การสวมหม้อต้มน้ำลงไปโดยฉนวนทำได้ง่ายขึ้น เพราะฉะนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ โครงสร้างฉนวนจะมีขนาด 15 นิ้ว ส่วนความสูงของโครงสร้างออกแบบให้มีความสูง 13.75 นิ้ว ดังรูป ที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพหน้าตัดการออกแบบวงในของฉนวน

### 3.2.2 การออกแบบความหนาของฉนวน

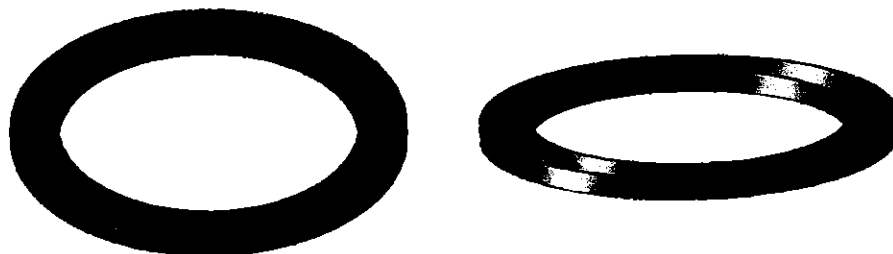
การออกแบบโครงสร้างถังเก็บของฉนวน จะเริ่มจากการคำนวณหาความหนาวิกฤตของฉนวน ที่ใช้ คือ โยแกว และ ซีเมนต์ ทำให้ทราบว่า ความหนาวิกฤตของฉนวนโยแกวและซีเมนต์มีค่า 0.24 และ 0.71 นิ้วตามลำดับ จากทฤษฎีความหนาวิกฤตในบทที่ 2 จึงทำการออกแบบโครงสร้างถังเก็บของ ฉนวนทั้ง 2 ชนิด ให้มีความหนามากกว่าความหนาวิกฤต ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ได้กำหนดให้ โครงสร้างฉนวนถังเก็บมีช่องว่างอากาศหนา 2 นิ้ว ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงความหนาของช่องว่างที่ใช้บรรจุฉนวน

### 3.2.3 การออกแบบฝาปิดของโครงสร้างฉนวนทรงกระบอก

การออกแบบฝาปิดฉนวนออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14.8 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 19.2 นิ้ว สูง 1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงฝาปิดฉนวน

### 3.3 ปริมาณเชื้อเพลิงและใยแก้วที่ใช้บรรจุลงในโครงสร้างฉนวนสังกะสี

ปริมาณเชื้อเพลิงและใยแก้วที่ใช้ในนั้น ใช้วิธีการบรรจุลงในฉนวนให้เต็มและนำมาชั่งน้ำหนัก ผลที่ได้คือ ฉนวนหนา 2 นิ้ว ต้องใช้เชื้อเพลิง 8 กิโลกรัม และต้องใช้ใยแก้ว 3 กิโลกรัม ซึ่งจากการคำนวณหาปริมาตรของช่องว่างอากาศ พบว่ามีปริมาตร  $0.02363 \text{ ft}^3$

### 3.4 การออกแบบการทดลอง

การทดสอบเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มก๊วยเตี๋ย จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณี คือ

- 1) หม้อต้มก๊วยเตี๋ยที่ไม่สวมฉนวน
- 2) หม้อต้มก๊วยเตี๋ยที่สวมฉนวนใยแก้ว
- 3) หม้อต้มก๊วยเตี๋ยที่สวมฉนวนเชื้อเพลิง

ซึ่งในการทดสอบทั้ง 3 กรณี จะแบ่งออกเป็น 2 ตอนด้วยกัน คือ

ตอนที่ 1 การให้ความร้อนแก่น้ำในหม้อต้มก๊วยเตี๋ย

ตอนที่ 2 การกักเก็บความร้อนของหม้อต้มก๊วยเตี๋ย

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

1. หม้อต้มก๊วยเตี๋ยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.5 นิ้ว ความสูง 14 นิ้ว
2. อุปกรณ์การให้ความร้อน ได้แก่ เตาแก๊สขนาดมาตรฐาน และก๊าซ LPG 1 ถัง (15 กิโลกรัม)
3. อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์จำนวน 3 อัน
4. คราซิ่ง

5. นาฬิกาจับเวลา
6. รวสำหรับแวนเทอร์โมมิเตอร์
7. ฉนวนใยแก้วและฉนวนซีเมนต์
8. น้ำ

### 3.4.1 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบ

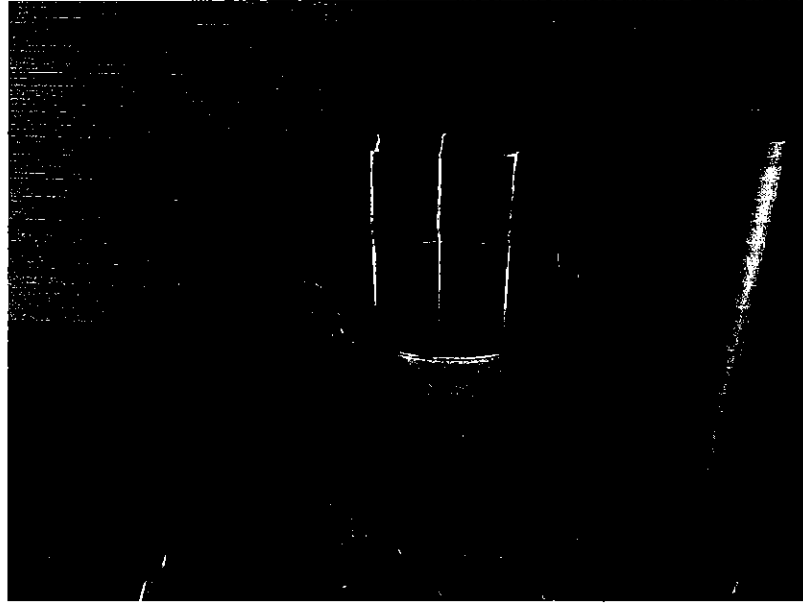
**กรณีที่ 1** หม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่ไม่สวมฉนวน

**ตอนที่ 1** การให้ความร้อนแก่น้ำในหม้อต้มถ้วยเดี่ยว

- 1.1) เติมน้ำลงในหม้อต้มถ้วยเดี่ยวให้มีระดับความสูงจากก้นหม้อ 10 นิ้ว ( ประมาณ 1 ลูกบาศก์ ฟุต)
- 1.2) นำหม้อต้มถ้วยเดี่ยวตั้งบนเตาแก๊ส จากนั้นใช้เทอร์โมมิเตอร์ ทั้ง 3 อัน จุ่มลงในหม้อต้มถ้วยเดี่ยว โดยแวนปลายอีกด้านหนึ่งไว้กับราวแวนที่เตรียมไว้ ให้มีระยะห่าง เท่าๆกัน
- 1.3) เปิดแก๊สเพื่อทำการให้ความร้อนแก่น้ำ โดยหมุนวาล์วแก๊สไป 1½ รอบ ( ที่วาล์ว แก๊ส จะทำสัญลักษณ์บอกตำแหน่งเริ่มต้นไว้ )
- 1.4) บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของผิวหม้อต้มถ้วยเดี่ยว จากเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 3 อันทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 60 นาที

**ตอนที่ 2** การกักเก็บความร้อนของหม้อต้มถ้วยเดี่ยว

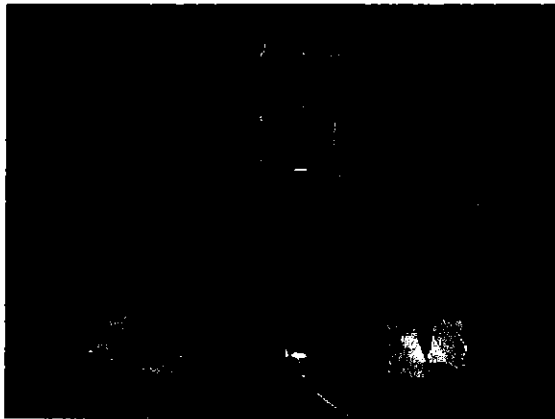
- 2.1) หลังจากหยุดให้ความร้อนแก่น้ำในหม้อต้มถ้วยเดี่ยวแล้ว ให้เริ่มทำการบันทึกค่า อุณหภูมิของน้ำที่ลดลง โดยเริ่มจากนาทีที่ 1 และ นาทีที่ 5
- 2.2) ตั้งแต่นาทีที่ 5 เป็นต้นไป ให้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ลดลงทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งครบ 60 นาที



รูปที่ 3.5 การทดลองให้ความร้อน โดยไม่มีฉนวน

**กรณีที่ 2 หม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่สวมฉนวนใยแก้ว**

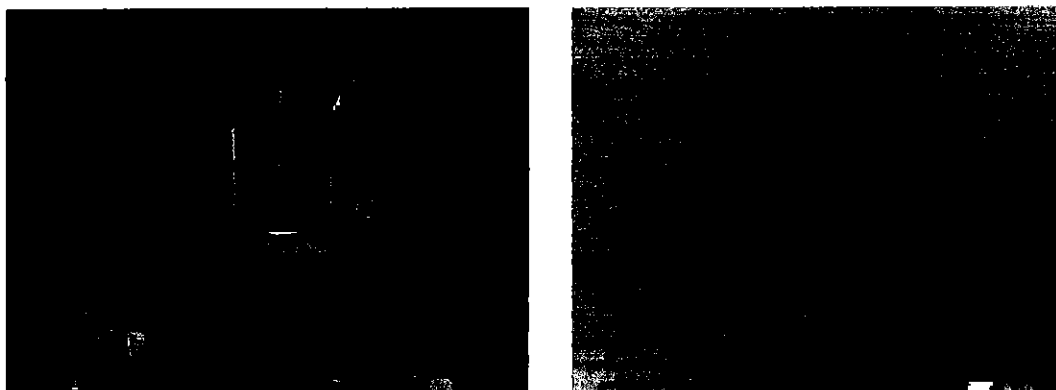
ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 ทั้งตอนที่ 1 และ 2 แต่ในขั้นตอนที่ 1.2 ให้สวมหม้อต้มถ้วยเดี่ยวลงในฉนวนใยแก้ว ก่อนที่จะทำการให้ความร้อน จากนั้น ทำการทดสอบตามปกติ



รูปที่ 3.6 การทดลองให้ความร้อน โดยใส่ฉนวนบรรจุใยแก้ว

### กรณีที่ 3 หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวที่สวมฉนวนซีเมนต์

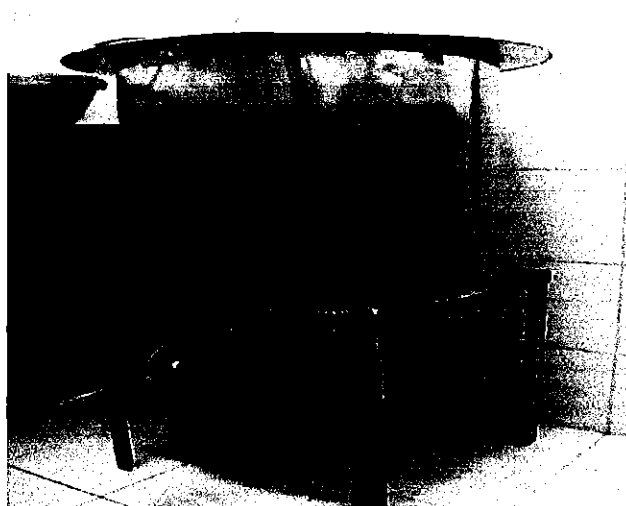
ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 ทั้งตอนที่ 1 และ 2 แต่ในขั้นตอนที่ 1.2 ให้สวมหม้อต้มก๋วยเตี๋ยวลงในฉนวนซีเมนต์ ก่อนที่จะทำการให้ความร้อน จากนั้น ทำการทดสอบตามปกติ



รูปที่ 3.7 การทดลองให้ความร้อน โดยใส่ฉนวนบรรจุซีเมนต์

#### 3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบโดยการนำไปใช้งานจริง

ทำการทดสอบเปรียบเทียบโดยการนำไปใช้งานจริง โดยการนำไปทดลองใช้กับร้านก๋วยเตี๋ยว สี่กที่ 13 อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ (Qs) มหาวิทยาลัยนเรศวร ทั้ง 3 กรณี โดยทำการบันทึกข้อมูลของน้ำหนักถังแก๊สที่ใช้ไปในแต่ละวัน รวมถึงจำนวนของชามก๋วยเตี๋ยวที่ขายได้ โดยร้านก๋วยเตี๋ยวจะเริ่มเปิดร้านตั้งแต่วันที่ 6.00 - 18.00 น. โดยประมาณ การเก็บข้อมูลการใช้งานจริง จะใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์

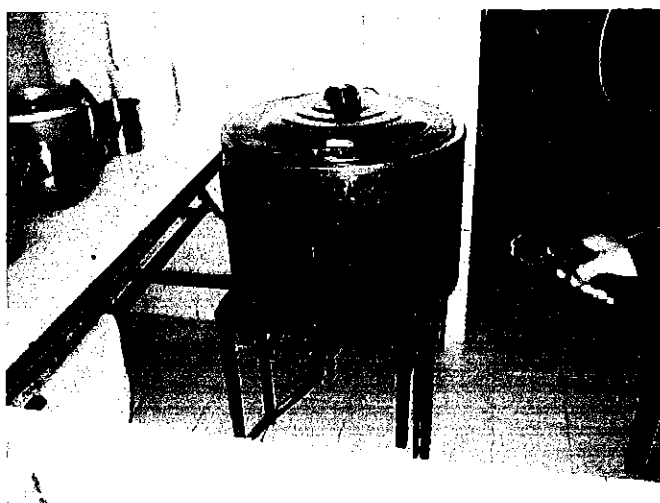


รูปที่ 3.8 การทดสอบการใช้งานจริงโดยหม้อไม่มีฉนวน





รูปที่ 3.9 การทดสอบการใช้งานจริงโดยหม่อมมีฉนวนใยแก้ว



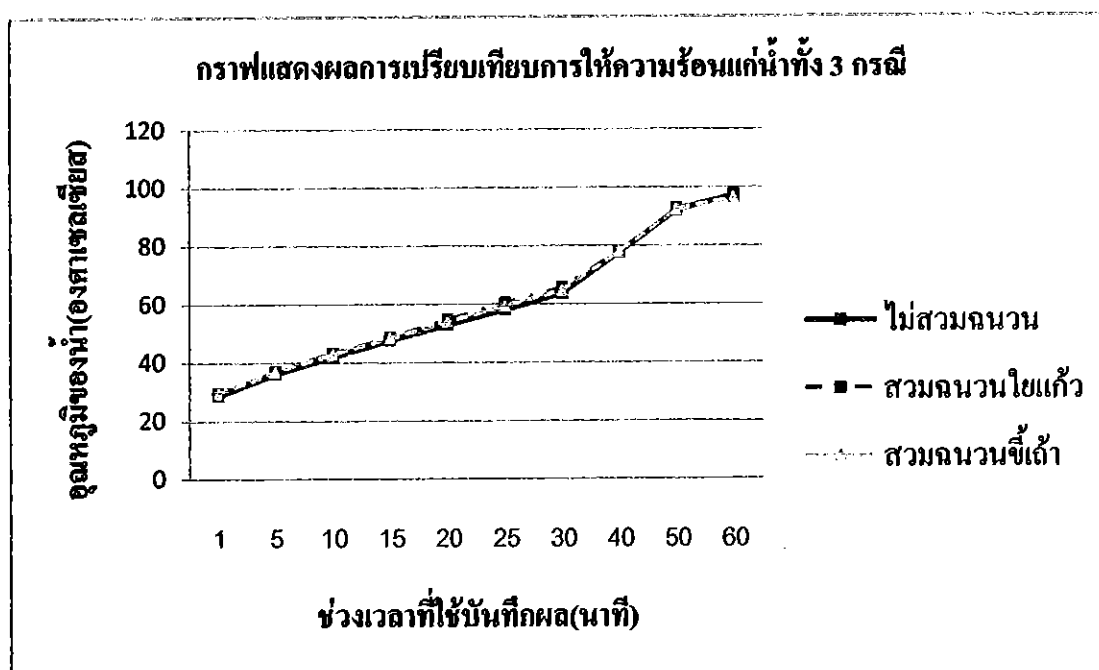
รูปที่ 3.10 การทดสอบการใช้งานจริงโดยหม่อมมีฉนวนซีเมนต์

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินโครงการ

#### 4.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการให้ความร้อนแก่น้ำในหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว

การศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำร้อน เพื่อตรวจสอบว่ากรณีใดมีอัตราการการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่ำกว่ากัน จากการให้ความร้อน ทั้ง 3 กรณี คือ หม้อที่ไม่สวมฉนวน หม้อที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว และหม้อที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุซีเมนต์



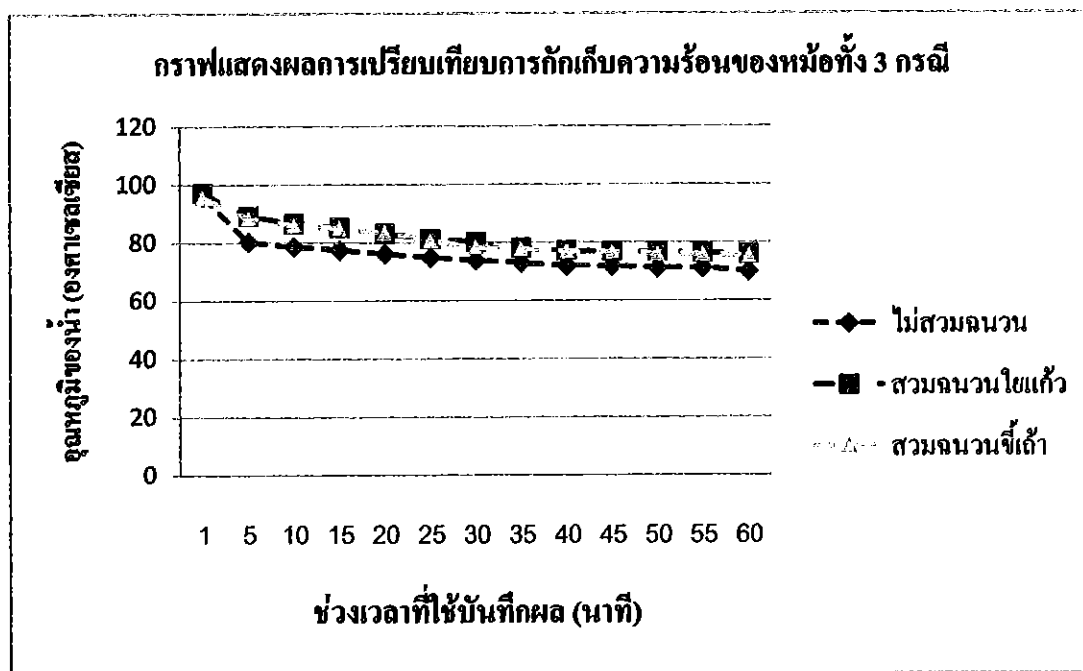
กราฟที่ 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบการให้ความร้อนแก่น้ำทั้ง 3 กรณี

จากกราฟที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว ทั้ง 3 กรณี หลังจากที่มีการให้ความร้อนเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า

- อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทั้ง 3 กรณีพบว่ามีความใกล้เคียงกันมาก ในช่วง 0-40 นาทีแรกทั้งสามกรณีมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และช่วง 40-60 นาที อัตราการเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ส่วนกรณีที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว ช่วง 40-60 นาที มีการเพิ่มขึ้นที่ 2.1 องศาเซลเซียสต่อนาที มีค่ามากกว่าอีกสองกรณีเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าฉนวนไม่มีผลต่อการให้ความร้อนแก่น้ำ

#### 4.2 ผลการทดลองการกักเก็บความร้อน

การทดลองการกักเก็บความร้อนเพื่อตรวจสอบอัตราการสูญเสียความร้อนของทั้งสามกรณี เช่นเดียวกับการทดลองการให้ความร้อนคือการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ไม่สวมฉนวน ทรงกระบอก การกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว และการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุฉีฉ่ำ



กราฟที่ 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบการกักเก็บความร้อนของหม้อทั้ง 3 กรณี

จากกราฟที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบการกักเก็บความร้อนของหม้อคัมก้วยเตี่ยวของทั้ง 3 กรณี หลังจากที่มีการให้ความร้อนแก่น้ำ และปล่อยให้เย็นตัวลงในช่วง 60 นาที จากกราฟแสดงให้เห็นว่า

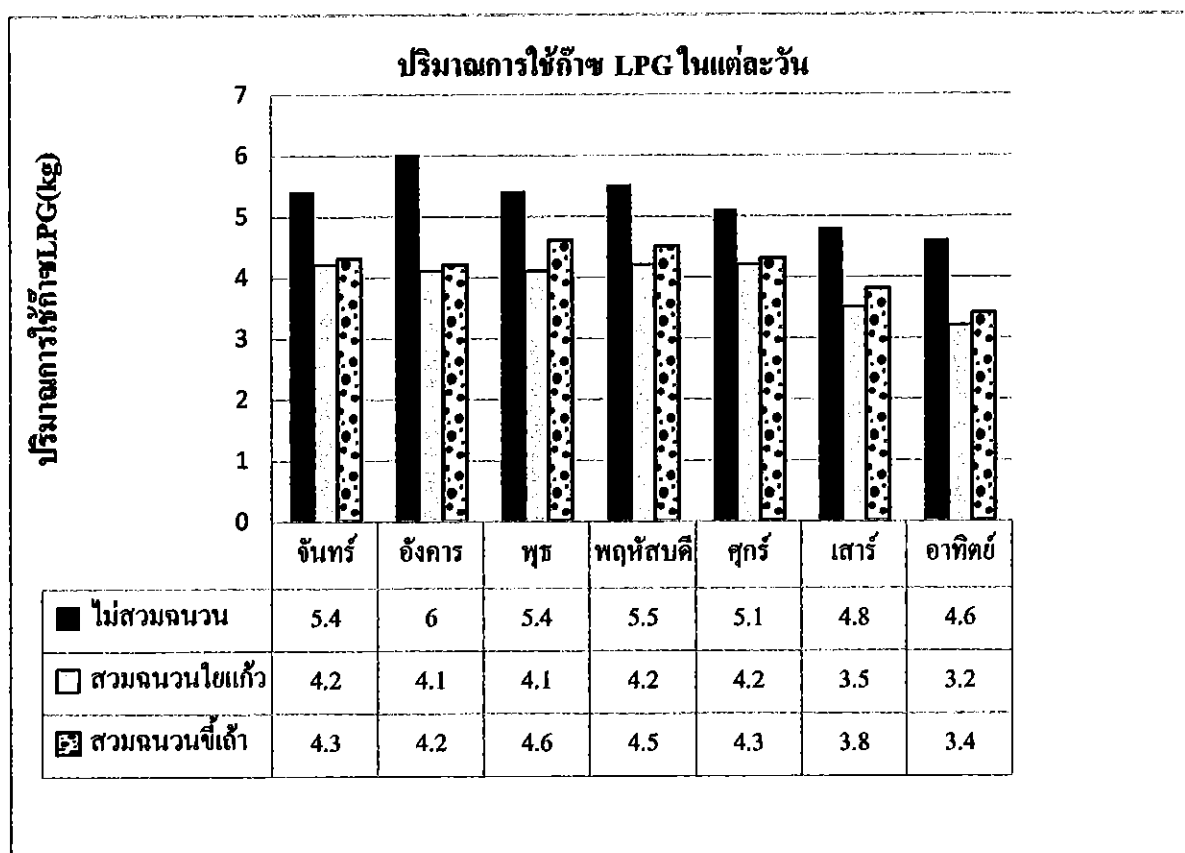
- อัตราการลดลงของอุณหภูมิของน้ำที่ไม่สวมฉนวนทรงกระบอกมีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อหยุดให้ความร้อน โดยอัตราการลดลงในช่วง 10 นาทีแรกมีค่าเท่ากับ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วง 10-60 นาทีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.2 องศาเซลเซียสต่อนาที
- อัตราการลดลงของอุณหภูมิของน้ำที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว มีการลดลงช้ากว่ากรณีไม่สวมฉนวน โดยอัตราการลดลงในช่วง 10 นาทีแรกมีค่าเท่ากับ 0.4 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วง 10-60 นาทีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.14 องศาเซลเซียสต่อนาที
- อัตราการลดลงของอุณหภูมิของน้ำที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุฉีฉ่ำมีการลดลงช้ากว่ากรณีไม่สวมฉนวนและใกล้เคียงกับกรณีบรรจุใยแก้ว โดยอัตราการลดลงในช่วง 10 นาทีแรกมีค่า

เท่ากับ 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาทีในช่วง 10-60 นาทีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.16 องศาเซลเซียสต่อนาที

- จากอัตราการสูญเสียความร้อนของทั้งสามกรณีพบว่ากรณีบรรจุไข่แก้วมีอัตราการสูญเสียความร้อนต่ำที่สุด และกรณีไม่สวมฉนวนมีอัตราการสูญเสียความร้อนมากที่สุด

#### 4.3 ผลการทดสอบจากการใช้งานจริง

จากตารางที่ ข.7 ข.8 และ ข.9 ในภาคผนวก ก ผลการทดลองการใช้งานจริง สามารถแสดงออกมาให้อยู่ในรูปของกราฟได้ ดังกราฟที่ 4.3



กราฟที่ 4.3 เปรียบเทียบการใช้ก๊าซ LPG ในแต่ละวัน

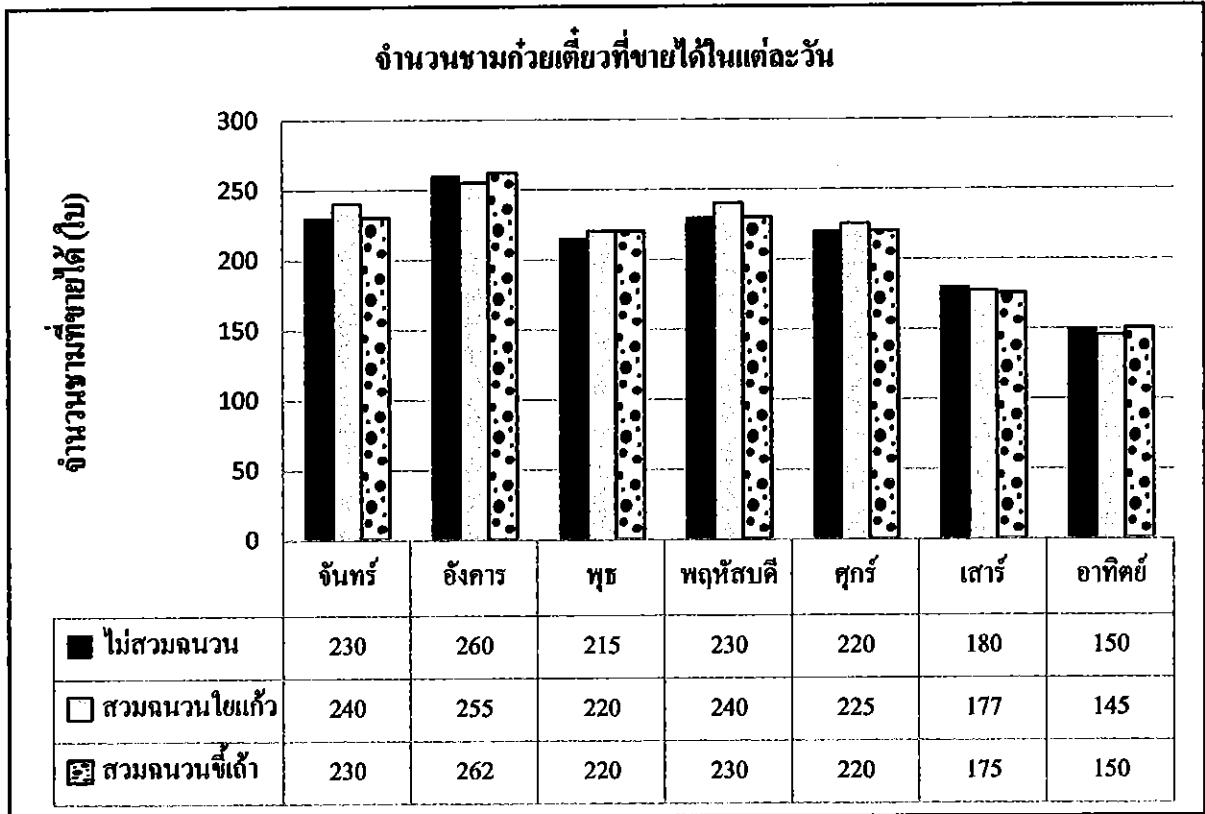
จากกราฟที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณของก๊าซ LPG ที่ถูกใช้ไปในแต่ละวัน ระหว่างหม้อต้มที่ไม่สวมฉนวนและหม้อต้มที่สวมฉนวนไข่แก้วและไข่เต้า หม้อต้มที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุไข่แก้วและหม้อต้มที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุไข่เต้า เพื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้ก๊าซ LPG ในวันเดียวกันของทั้งสามกรณี จากกราฟ 4.3 แสดงให้เห็นว่าหม้อที่ไม่มีการสวมฉนวนมีการใช้ก๊าซ

15094161 e.2

มากที่สุด เมื่อมีการใส่ฉนวนทรงกระบอกให้กับหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว ปริมาณการใช้ก๊าซ LPG จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

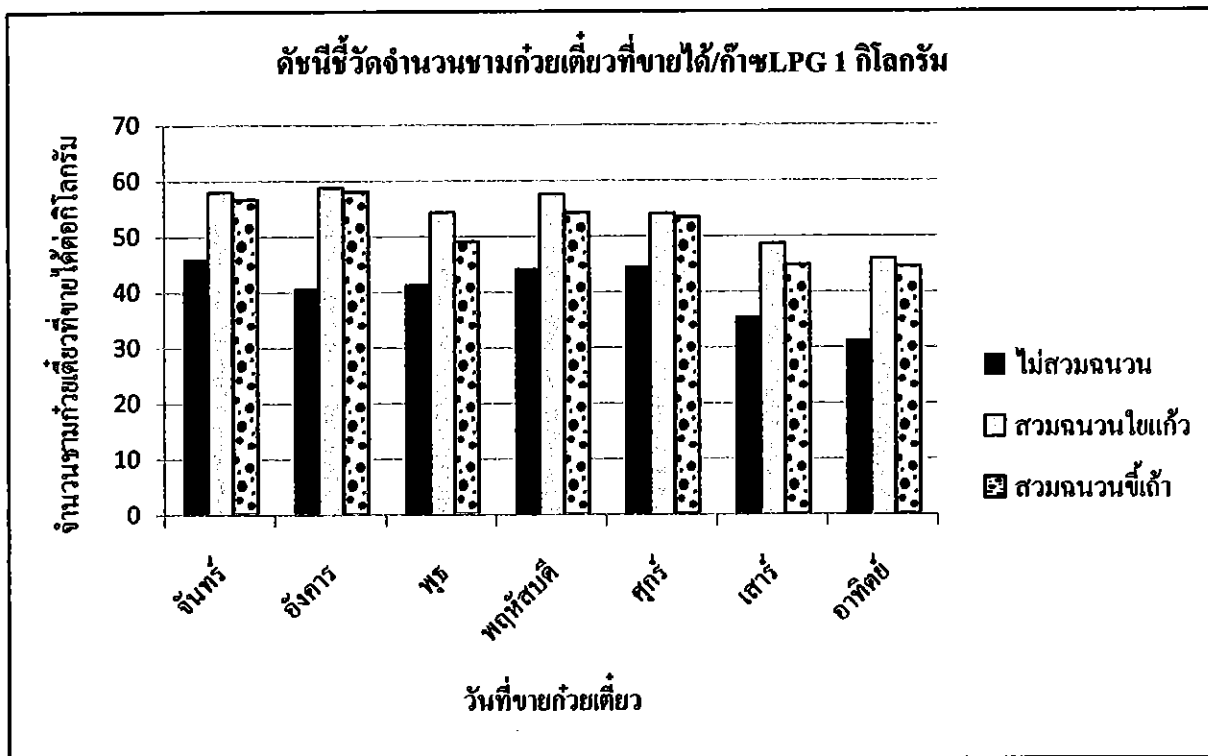
ป.ร.  
ป.ร.ก.  
๒๕๖๑.

5200093



กราฟที่ 4.4 ปริมาณชามก๋วยเตี๋ยวที่ขายได้ในแต่ละวัน

จากกราฟที่ 4.4 จะเห็นว่าปริมาณชามที่ขายได้ต่อวันทั้ง 3 กรณีมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ในจำนวนชามและชั่วโมงการขายที่เท่ากัน กรณีหม้อต้มก๋วยเต๋วสวมฉนวนใยแก้วและสวมฉนวนขนแกะถ้าสามารถลดการใช้ปริมาณก๊าซ LPG ต่อวันของผู้ประกอบการลงได้ โดยหม้อต้มที่สวมฉนวนใยแก้วสามารถลดการใช้ก๊าซ LPG เฉลี่ย 1.33 กิโลกรัมต่อวันและหม้อต้มที่สวมฉนวนขนแกะสามารถลดการใช้ก๊าซ LPG เฉลี่ย 1.26 กิโลกรัมต่อวัน



กราฟที่ 4.5 แสดงดัชนีชี้วัดจำนวนขามกั่วเดียวที่ได้ต่อการใช้พลังงาน 1 กิโลกรัม

กราฟที่ 4.5 แสดงดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานการเปรียบเทียบจำนวนขามกั่วเดียวเฉลี่ยที่ขายได้ในแต่ละวันกับปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ที่ใช้ไป 1 กิโลกรัม

จากผลการทดสอบที่ได้ แสดงออกมาในรูปของกราฟที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าหม้อต้มกั่วเดียวที่มีอัตราจำนวนขามกั่วเดียวเฉลี่ยที่ขายได้ต่อ 1 กิโลกรัมของก๊าซ LPG มากที่สุด จะบ่งบอกถึงปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ลดลงแต่ยังคงมีการขายในจำนวนขามกั่วเดียวเท่าเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้จริง

จากกราฟสรุปได้ว่า ฉนวนใยแก้ว มีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนมากที่สุด โดยที่จำนวนขามกั่วเดียวที่ขายได้เฉลี่ยต่อ 1 กิโลกรัมของก๊าซ LPG ของฉนวนใยแก้ว มีค่าเฉลี่ยตลอดหนึ่งสัปดาห์อยู่ที่ 53.8 ขามต่อกิโลกรัม ส่วนของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยตลอดหนึ่งสัปดาห์อยู่ที่ 51.4 ขามต่อกิโลกรัม ขณะที่หม้อต้มที่ไม่สวมฉนวนมีค่าเฉลี่ยตลอดหนึ่งสัปดาห์อยู่ที่ 40.4 ขามต่อกิโลกรัม

#### 4.4 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุนหาได้จากสมการที่ 2.21 คือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} / \text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิต่อปี}$$

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะเวลาคืนทุนของฉนวนใยแก้วและฉนวนซีเมนต์

รายการ	ราคา ฉนวน (บาท)	ปริมาณLPG ที่ใช้ (กก./วัน)	ค่าใช้จ่าย ก๊าซ LPG (บาท/ปี)	ปริมาณก๊าซ LPG ที่ประหยัดได้ (กก./วัน)	จำนวนเงิน ที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
1. หม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่ ไม่ได้สวมฉนวน	-	5.26	37,745.23	-	-	-
2. หม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่ สวมฉนวนใยแก้ว	1,180	3.93	28,201.3	1.33	9,543.93	0.124
3. หม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่ สวมฉนวนซีเมนต์	730	4.157	29,830.22	1.1	7,915.01	0.0922

หมายเหตุ: ราคาก๊าซ LPG 19.66 บาท / กิโลกรัม, ใช้ก๊าซ LPG 365 วัน / ปี

จากตารางที่ 4.1 พบว่าหม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่สวมฉนวนใยแก้ว มีราคาฉนวน 1,180 บาท สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 9,543.93 ต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 0.124 ปี หรือ 1 เดือน 14 วัน และหม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่สวมฉนวนซีเมนต์มีราคาฉนวน 730 บาท สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 7,915.01 มีระยะเวลาคืนทุน 0.0922 ปี หรือ 1 เดือน 3 วัน

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 จากผลการทดสอบตอนที่ 1 การศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำร้อน เพื่อตรวจสอบว่ากรณีใดมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่ำที่สุด หลังจากที่มีการให้ความร้อนเป็นเวลา 60 นาที จากการให้ความร้อน ทั้ง 3 กรณี คือ การให้ความร้อนกับหม้อต้มโดยไม่สวมฉนวน กับหม้อต้มที่สวมฉนวนใยแก้วและสวมฉนวนซีเมนต์ สามารถสรุปได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทั้ง 3 กรณีพบว่ามีระดับที่ใกล้เคียงกันโดยการพิจารณาในช่วงการเปลี่ยนแปลงของกราฟ ในช่วง 0-40 นาทีแรกทั้งสามกรณีมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอยู่ที่ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที และช่วง 40-60 นาที อัตราการเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ยกเว้นกรณีที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้วช่วง 40-60 นาที มีการเพิ่มขึ้นที่ 2.1 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งมีค่ามากกว่าอีกสองกรณีเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าฉนวนไม่มีผลต่อการให้ความร้อนแก่น้ำ เนื่องจากพื้นที่ในการรับความร้อนคือ บริเวณก้นหม้อ มีค่าเท่ากัน

5.1.2 จากผลการทดสอบตอนที่ 2 การทดลองการสูญเสียความร้อนเพื่อตรวจสอบอัตราการสูญเสียความร้อนของทั้งสามกรณีคือการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ไม่สวมฉนวนทรงกระบอก การกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว และการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุซีเมนต์หลังจากที่มีการให้ความร้อนแก่น้ำ และปล่อยให้เย็นตัวลงในช่วง 60 นาที

- อัตราการลดลงของอุณหภูมิของน้ำหม้อที่ไม่สวมฉนวนทรงกระบอกมีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อหยุดให้ความร้อน โดยอัตราการลดลงในช่วง 10 นาทีแรกมีค่าเท่ากับ 2 องศาเซลเซียสต่อนาทีในช่วง 10-60 นาทีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.2 องศาเซลเซียสต่อนาที

- อัตราการลดลงของอุณหภูมิของน้ำที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว มีการลดลงช้ากว่ากรณีไม่สวมฉนวน โดยอัตราการลดลงในช่วง 10 นาทีแรกมีค่าเท่ากับ 0.4 องศาเซลเซียสต่อนาทีในช่วง 10-60 นาทีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.14 องศาเซลเซียสต่อนาที

- อัตราการลดลงของอุณหภูมิของน้ำที่สวมฉนวนทรงกระบอกบรรจุซีเมนต์มีการลดลงช้ากว่ากรณีไม่สวมฉนวนและใกล้เคียงกับกรณีบรรจุใยแก้ว โดยอัตราการลดลงในช่วง 10 นาทีแรกมีค่าเท่ากับ 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาทีในช่วง 10-60 นาทีอัตราการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.16 องศาเซลเซียสต่อนาที

- สรุปได้ว่า จากอัตราการสูญเสียความร้อนของทั้งสามกรณีพบว่ากรณีบรรจุใยแก้วมีอัตราการสูญเสียความร้อนต่ำที่สุด และกรณีไม่สวมมีอัตราการสูญเสียความร้อนมากที่สุด และพบว่า ฉนวนใยแก้วและฉนวนซีเมนต์สามารถกักเก็บความร้อน โดยสามารถยืดระยะเวลาในการลดลงของอุณหภูมิของน้ำได้ดีกว่าหม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่ไม่ได้สวมฉนวน ซึ่งสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำได้ประมาณ  $8-10^{\circ}\text{C}$  ในระยะเวลาสิบนาที



5.1.3 การทดสอบการใช้งานจริง พบว่าปริมาณการใช้ก๊าซ LPG มีค่าลดลง เมื่อมีการใช้ฉนวนใยแก้วและฉนวนซีเมนต์ โดยที่ฉนวนใยแก้วสามารถลดปริมาณก๊าซ LPG ลงได้ 1.33 กิโลกรัมโดยเฉลี่ย คิดเป็นเงิน 26.15 บาทต่อวัน และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1 เดือน 14 วัน ส่วนฉนวนซีเมนต์สามารถลดปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ได้ 1.1 กิโลกรัมโดยเฉลี่ย คิดเป็นเงิน 21.62 บาทต่อวัน และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1 เดือน 3 วัน นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดการใช้ก๊าซ LPG พบว่า ฉนวนใยแก้วมีค่าดัชนีชี้วัดของจำนวนชั่วโมงต่อกิโลกรัมก๊าซ LPG สูงสุด แสดงว่า ฉนวนใยแก้วสามารถลดปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ได้ดีที่สุดจากผลการทดสอบที่ได้ ดังกราฟที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าหม้อต้มก๊วยเตี๋ยที่มีอัตราจำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่ขายได้ต่อ 1 กิโลกรัมของก๊าซ LPG มากที่สุด จะบ่งบอกถึง ปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ลดลงแต่ยังคงมีการขายในจำนวนชั่วโมงเท่าเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้จริง

จากกราฟสรุปได้ว่า ฉนวนใยแก้ว มีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนมากที่สุด โดยที่ จำนวนชั่วโมงก๊วยเตี๋ยที่ขายได้เฉลี่ยต่อ 1 กิโลกรัมก๊าซ LPG ของฉนวนใยแก้ว มีค่าเฉลี่ยตลอดหนึ่งสัปดาห์อยู่ที่ 53.8 ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ส่วนของซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยตลอดหนึ่งสัปดาห์อยู่ที่ 51.4 ชั่วโมงต่อกิโลกรัม และแบบไม่สวมฉนวนมีค่าเฉลี่ยตลอดหนึ่งสัปดาห์อยู่ที่ 40.4 ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.2.1 จากการทดลองและใช้งานจริงพบว่า ซีเมนต์มีคุณสมบัติเป็นฉนวนสามารถใช้แทนใยแก้วได้ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและมีความปลอดภัยกว่าใยแก้ว แต่ข้อเสียยังมีน้ำหนักมาก หากพัฒนานำวัสดุที่มีโครงสร้างแข็งแรงเช่น สแตนเลส ก็สามารถลดความหนาของฉนวน ก็จะเป็นการลดน้ำหนักของฉนวนลงได้

5.2.2 สามารถเปลี่ยนวัสดุที่นำมาทำฉนวนได้ สามารถนำวัสดุที่ค่าการนำสภาพความร้อนต่ำมาทำเป็นฉนวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนมากขึ้นเช่น โฟมที่ทนความร้อนสูง ฯ

5.2.3 การทดสอบการใช้งานจริงใช้พฤติกรรมของผู้ประกอบการในการดูแลรักษาของน้ำ ในการปรับอัตราการไหลของก๊าซ LPG จึงทำให้เกิดการประหยัดการใช้ก๊าซ LPG ลงได้ เพราะฉะนั้นหากมีการพัฒนาโรงงานนี้โดยมีเซ็นเซอร์จับอุณหภูมิของน้ำและปรับอัตราการไหลของก๊าซ จะทำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแต่ระยะเวลาการคืนทุนก็จะเพิ่มมากขึ้น

### บรรณานุกรม

1. มนตรี พิรุณเกษตร,การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์, สำนักพิมพ์  
วิทย์พัฒน์,2541.
2. OZISIK,M.N., Heat transfer, MaGeeaw-Hill Book Company,1985.
3. Frank P. Incropera , David P. Dewitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fourth  
Edition,

# ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ ก.1. สมบัติทางกายภาพของโลหะ

Composition	Melting Point (K)	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)											
			$c_p$ ( $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ )	$k$ ( $\text{W/m} \cdot \text{K}$ )	$\alpha \cdot 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$k$ ( $\text{W/m} \cdot \text{K}$ )/ $c_p$ ( $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ )												
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500			
Gold	1336	19300	129	317	127	327	323	311	298	284	270	255						
Iridium	2720	22500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126	120	111					
Iron Pure	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1					
Armco (99.75% pure)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4					
Carbon steels Plain carbon (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%) AISI 1010		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0							
		7832	434	63.9	18.8			48.7	559	685	1169							
Carbon-silicon (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			58.7	48.8	39.2	31.3							
Carbon-manganese-silicon (1% < Mn $\leq$ 1.65%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			48.7	559	685	1169							
Chromium (low) steels 1Cr-1Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			42.2	39.7	35.0	27.6							
1Cr-1Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			49.2	575	688	969							
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			42.2	39.7	35.0	27.6							
								49.2	575	688	969							



ตารางที่ ก.3 สมบัติทางกายภาพและความร้อนของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

**TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure<sup>a</sup>**

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
<b>Air</b>							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
<b>Ammonia (NH<sub>3</sub>)</b>							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

ตารางที่ 6.6 Typical values of convection heat transfer coefficient (h)

Type of flow	$h$ , W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<i>Free convection, <math>\Delta T = 25^\circ\text{C}</math></i>	
• 0.25-m vertical plate in:	
Atmospheric air	5
Engine oil	37
Water	440
• 0.02-m-OD* horizontal cylinder in:	
Atmospheric air	8
Engine oil	62
Water	741
• 0.02-m-diameter sphere in:	
Atmospheric air	9
Engine oil	60
Water	606
<i>Forced convection</i>	
• Atmospheric air at 25°C with $U_\infty = 10$ m/s over a flat plate:	
$L = 0.1$ m	39
$L = 0.5$ m	17
• Flow at 5 m/s across 1-cm-OD cylinder of:	
Atmospheric air	85
Engine oil	1,800
• Water at 1 kg/s inside 2.5-cm-ID† tube	10,500
<i>Boiling of water at 1 atm</i>	
• Pool boiling in a container	3,000
• Pool boiling at peak heat flux	35,000
• Film boiling	300
<i>Condensation of steam at 1 atm</i>	
• Film condensation on horizontal tubes	9,000–25,000
• Film condensation on vertical surfaces	4,000–11,000
• Dropwise condensation	60,000–120,000
* OD = outer diameter.	
† ID = inner diameter.	



ตารางที่ ก.4 สมบัติของน้ำอิ่มตัว

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water<sup>a</sup>

Temperature, $T$ (K)	Pressure, $P$ (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vaporization, $h_{fg}$ (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_s$ · 10 <sup>3</sup> (N/m)	Expansion Coefficient, $\beta_v$ · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	Temperature, $T$ (K)
		$v_f$ · 10 <sup>3</sup>	$v_g$		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f$ · 10 <sup>6</sup>	$\mu_g$ · 10 <sup>6</sup>	$k_f$ · 10 <sup>3</sup>	$k_g$ · 10 <sup>3</sup>	$Pr_f$	$Pr_g$			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

ตารางที่ ก.5 สมบัติของน้ำอิมตัว (ต่อ)

390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1		440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9		450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7		460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5		470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2		480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9		490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6		500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3		510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9		520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5		530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1		540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7		550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3		560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0		570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8		580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5		590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4		600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3		610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5		620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5		625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6		630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5		635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8		640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1		645
647.3°	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0		647.3°

**ภาคผนวก ข**

**การคำนวณหาความหนาวิกฤติและอัตราการถ่ายเทความร้อน**

## 1. การคำนวณหาความหนาวิกฤติ

จากสมการที่ 2.11

$$r_{cr} = \frac{k}{h}$$

ความหนาวิกฤติของฉนวนใยแก้ว

$$\begin{aligned} r_{cr} &= \frac{0.03 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} = 6 \times 10^{-3} \text{ m} \\ &= 0.24 \text{ in} \end{aligned}$$

เมื่อค่า  $k$  ของใยแก้วมีค่าเท่ากับ  $0.03 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  และค่า  $h$  ของอากาศมีค่าเท่ากับ  $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

ความหนาวิกฤติของฉนวนซีเมนต์

$$\begin{aligned} r_{cr} &= \frac{0.09 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} = 0.018 \text{ m} \\ &= 0.71 \text{ in} \end{aligned}$$

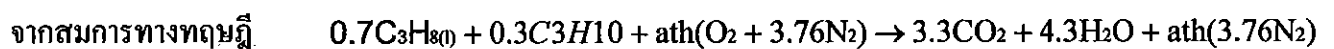
เมื่อค่า  $k$  ของซีเมนต์มีค่าเท่ากับ  $0.09 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  และค่า  $h$  ของอากาศมีค่าเท่ากับ  $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

## 2. การหาความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโพรเพน ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )

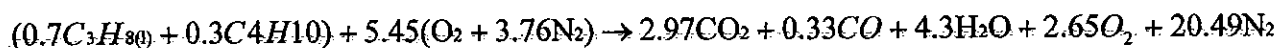
โพรเพนเหลว ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) เผาไหม้ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  ด้วยอัตราการไหลเชิงมวล  $0.0001 \text{ kg/s}$

โพรเพนนี้ถูกผสมเข้ากับอากาศและถูกเผาไหม้ด้วยอากาศนี้ที่มีอากาศเกินพอ 50% โดยที่อากาศเผาไหม้ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  โดยพิจารณาว่าไฮโดรเจนทั้งหมดในเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ไปเป็น  $\text{H}_2\text{O}$  แต่ 90% ของคาร์บอนเท่านั้นที่เผาไหม้ไปเป็น  $\text{CO}_2$  ส่วน 10% ที่เหลือเปลี่ยนไปเป็น  $\text{CO}$

โดยค่าอุณหภูมิของการเผาไหม้ เท่ากับ  $1500 \text{ K}$



สมการที่สมดุลแล้วของกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริง



0.7 โมล    0.3 โมล            5.45 โมล                    2.97 โมล    0.33 โมล    4.3 โมล    2.65 โมล    20.49 โมล

30.8 kg    17.4 kg            739.35 kg                    142.56 kg    9.42 kg    84.8 kg    84.8 kg    901.56 kg

จาก อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิง  $AF = \frac{\text{มวลของอากาศ}}{\text{มวลของเชื้อเพลิง}}$

$$= \frac{m_a}{m_f} = \frac{739.35 \text{ kg}}{48.2 \text{ kg}} = 15.34 \text{ kg air/kg fuel}$$

เพราะฉะนั้น  $m_a = 15.34 m_f = 0.001534 \text{ kg/s}$

สำหรับค่าปริมาณความร้อน  $Q_r$  จากคุณสมบัติของโพรเพนโดยมีค่า  $LHV_{C_3H_8} = 50112.27 \text{ KJ/Kg}$

### 3. การหาอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่สัมผัสกันหม้อไอน้ำเดียว

สามารถหาได้จากสมการ 2.18

$$\text{จาก} \quad \eta_{comb} \times Q_f = m_a \times C_{pC_3H_8} \times (T_{gas} - T_{air})$$

$$\text{โดยที่} \quad m_a = 0.001534 \text{ kg/s} \dots C_{pC_3H_8} = 4.68 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

เพราะฉะนั้น  $\eta_{comb} = 1$  ;  $m_f = 10^{-4} \text{ Kg/s}$

$$T_{gas} = T_{air} + \frac{\eta_{comb} \times m_f \times LHV_{C_3H_8}}{m_a \times C_{pC_3H_8}}$$

$$T_{gas} = 300 + \frac{5011}{4680 \times 1.534 \times 10^{-3}}$$

$$T_{gas} = 998K \approx 1000K$$

เพราะฉะนั้น

#### 4. การหาปริมาณความร้อนที่หม้อต้มก๋วยเตี๋ยวได้รับ ( $Q_{in}$ )

เมื่อเราทราบอุณหภูมิที่ก๊าซร้อนสัมผัสกับก้นหม้อแล้ว เราสามารถหาปริมาณความร้อนสุทธิที่เข้าสู่หม้อก๋วยเตี๋ยว ได้จากสมการที่ 2.12

$$Q_{in} = h_g \cdot A \cdot (T_{gas} - T_{w1})$$

หาค่า  $T_f$  เพื่อเปิดหาค่าคงที่จากตาราง โดยจะสมมติค่า  $T_{w1}$  คืออุณหภูมิของผนังก้นหม้อก๋วยเตี๋ยวมี่ค่าประมาณ 390 K

$$T_f = \frac{T_{gas} + T_{w1}}{2} = \frac{1000 + 390}{2} = 695K$$

เปิดหาค่าสมบัติต่างๆที่  $T_f$  เท่ากับ 695 K จากภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.1 ได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} \rho &= 0.4975 \text{ kg/m}^3 & K &= 52.4 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K} \\ C_p &= 1.075 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K} & Pr &= 0.695 \\ \mu &= 338.8 \times 10^{-7} \text{ (N} \cdot \text{S/m}^2) \\ V &= 68.1 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

โดย  $\beta = 1/T_f = 0.00144$   $A = 0.1032$

$$Lg = \frac{A}{P} = 0.317$$

เมื่อ  $A = (\pi d^2 / 4)$  ;  $P = 0.9d$  ;  $d = 0.3625$  จากสมการที่ 2.17 แผ่นผนังที่เป็นทรงกลม

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{gas} - T_{w1}) \cdot Lg^3}{\nu^2}$$

$$= \frac{(9.81)(0.00144)(1000 - 390)(0.317)^3}{(68.1 \times 10^{-6})^2}$$

$$Gr_L = 59.2 \times 10^6$$

ในกรณีเราพิจารณาที่ก้นหม้อเป็นการพาความร้อนตามธรรมชาติและผนังราบในแนวนอนเป็นแบบอุณหภูมิพื้นผิวผนังสม่ำเสมอและเป็นการไหลแบบราบเรียบ

$$Gr_L \cdot Pr = 41.14 \times 10^6$$

จากตารางที่ 2.1 เราจะได้ค่า  $c = 0.59$  ;  $n = 1/4$  แทนในสมการ

$$NUm = \frac{hgLg}{K} = c \cdot (Gr_L \cdot Pr)^{1/4}$$

$$\frac{hgLg}{K} = 0.59(Gr_L \cdot Pr)^{1/4}$$

$$hg = \left( \frac{52.4 \times 10^{-3}}{0.317} \right) (0.54)(34.9 \times 10^6)^{1/4}$$

$$= 7.8 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

แทนค่า

$$Q_{in} = h_g \cdot A(T_{gas} - T_{w1})$$

$$= (7.8 \times 0.1032)(1000 - 390)$$

$$= 491 \text{ W}$$

หาค่า  $T_{w1}$  จริง

จากสมการที่ 2.4 และ 2.12

$$T_{w1} = Q_{in}(R_{tot}) + T_{water}$$

$$R_{tot} = \frac{L_1}{kA} + \frac{1}{h_s A} \quad \text{แทนค่า} \quad R_{tot} = \frac{0.003}{17.2 \times 0.1032} + \frac{1}{660 \times 0.1032} = 0.032$$

$$T_{w1} = 491(0.032) + 373 = 388 \text{ K ใกล้เคียงกับที่สมมติไว้}$$

$$h_s = 660 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

การหาความร้อนที่สูญเสียไปทางผิวด้านข้างของหม้อก๋วยเตี๋ยว ( $Q_{loss}$ )

จากสมการที่ 2.5 จะได้

$$Q_{loss} = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} = \frac{T_{water} - T_{air}}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} + \frac{1}{2h_s\pi r_1 L} + \frac{1}{2h_m\pi r_2 L}$$

กำหนดให้	$T_{water}$	=	373	K	$d$	=	0.3625	m
	$T_{air}$	=	300	K	$r_1$	=	$d/2$	
	$T_{room}$	=	$T_{air}$			=	0.18125	m
	$L$	=	0.3375	m	$r_2$	=	$r_1 + L_s$	
	$L_s$	=	0.003	m		=	0.18425	m

จาก  $T_f = \frac{T_{water} + T_{room}}{2} = \frac{373 + 300}{2} = 336$  K

จากนั้น เปิดตารางคุณสมบัติของ  $T_f = 336$  K จากตารางที่ ก.3

จะได้  $Pr = 0.7$      $k = 0.029$  W/(m·K)     $\rho = 9.81$  m/s<sup>2</sup>     $\nu = 19.709 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

นำคุณสมบัติที่หาได้จากตาราง มาหาค่าตัวเลขกราชอฟ จากสมการ

โดยหาค่า  $\beta$  จะได้  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{336} = 2.976 \times 10^{-3}$  K<sup>-1</sup>

นำมาแทนในสมการ  $Gr_L = \frac{g\beta(T_{water} - T_{air})L^3}{\nu^2}$

$$= \frac{(9.81)(0.002976)(373 - 300)(0.3375)^3}{(19.709 \times 10^{-6})^2}$$

จะได้  $Gr_L = 2.11 \times 10^8$

และ  $Gr_L Pr = 1.477 \times 10^8$



ในกรณีนี้ เราจะพิจารณาที่ผิวด้านข้างของหม้อคิดเป็น การไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นจากตารางที่ 2.1 เราจะได้ค่า  $c = 0.59$  และ  $n = 1/4$  นำมาแทนในสมการในสมการที่ 2.9 และ 2.9.1 จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$Nu_m = \frac{h_m L}{k} = c(Gr_L \cdot Pr)^n$$

$$h_m = \frac{k}{L} c(Gr_L \cdot Pr)^n$$

ดังนั้น จะได้

$$h_m = \left( \frac{0.029}{0.3375} \right) (0.59)(1.47 \times 10^8)^{1/4}$$

$$= 5.589 \approx 5.6 \quad \text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

แทนค่าใน

$$Q = \frac{T_{\text{water}} - T_{\text{atr}}}{R_{\text{tot}}}$$

โดยที่

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{2\pi(660)(0.18125)} + \frac{\ln(0.18425/0.18125)}{2\pi(17.2)(0.3375)} + \frac{1}{2\pi(5.6)(0.18425)}$$

$$= 0.156$$

จะได้

$$Q_{\text{loss}} = \frac{373 - 300}{0.156} = 467 \text{ W}$$

#

## 5. การวิเคราะห์หม้อก๋วยเตี่ยวกรณีหุ้มฉนวน

### 5.1 กรณีฉนวนเป็นซีเมนต์

ฉนวนมีความสูงเท่ากับ 0.3375 เมตร ความหนาเท่ากับ 0.5 เมตร

จาก

$$Q_{\text{loss}} = \frac{T_{\text{water}} - T_{\text{atr}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{tot}}}$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_s} + \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi r k_A L} + \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_3} \right)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln \left( \frac{r_4}{r_3} \right)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}$$

โดย  $T_{\text{wall}} = 336 \text{ K}$  ,  $T_{\text{air}} = 300 \text{ K}$  ,  $T_{\text{room}} = T_{\text{air}}$  และความหนาของฉนวน  $L_{\text{ash}} = 0.05 \text{ เมตร}$

กำหนด

$$L_{\text{ash}} = 0.05 \text{ m}$$

$$K_A = K_s + 17.2 \text{ W / m} \cdot \text{K}$$

$$K_C = 0.03 \text{ W / m} \cdot \text{K}$$

$$r_1 = d / 2 = 0.18125 \text{ m}$$

$$r_2 = r_1 + L_s = 0.18425 \text{ m}$$

$$r_3 = r_2 + L_a = 0.01905 \text{ m}$$

$$r_4 = r_3 + L_{\text{ash}} = 0.2405 \text{ m}$$

$$h_1 = 5.6 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$K_B = K_{\text{air}} = 0.029 \text{ W / m} \cdot \text{K}$$

$$L_s = 0.003 \text{ m}$$

$$L_a = 0.00625 \text{ m}$$

หา  $T_f$  โดย

$$T_f = \frac{T_{\text{wall}} + T_{\text{room}}}{2} = \frac{336 + 300}{2} = 318 \text{ K}$$

เปิดตาราง

$$V = 18.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$\text{Pr} = 0.704348$$

$$g = 9.087 \text{ m / s}^2$$

$$K = 27.3 \times 10^{-3}$$

จากนั้นแทนค่า

$$\begin{aligned} GrL &= \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{\text{wall}} - T_{\text{room}})}{V^2} L^3 \\ &= \frac{(9.81)(3.142 \times 10^{-3})(336 - 300)(0.3373)^3}{(18.14 \times 10^{-6})^2} \end{aligned}$$

โดย  $\beta = 1/T_f$  ;  $\beta = 3.142 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

จะได้  $GrL = 1.290 \times 10^8$  ;  $GrL \cdot \text{Pr} = 0.913 \times 10^8$

กรณีพิจารณาการไหลแบบราบเรียบ(Lamina Flow)

$$c = 0.59 \quad ; \quad n = 1/4$$

$$\begin{aligned}
 NUm &= c \cdot (GrL \cdot Pr)^n \\
 &= (0.59)(9.13 \times 10^7)^{1/4} \\
 &= 57.67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= NUm \cdot K = \frac{57.67}{0.3375} \times 0.0273 \\
 &= 4.664 W / m^2 \cdot k
 \end{aligned}$$

นำไปแทนในสมการ

$$R_{tot} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_s} + \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi r k_A L} + \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_3} \right)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln \left( \frac{r_4}{r_3} \right)}{2\pi k_c L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
 R_{tot} &= 0.0013 + 4.5 \times 10^{-4} + 0.5424 + 1.2065 + 0.4204 \\
 &= 2.17
 \end{aligned}$$

นำไปแทนในสมการ

$$Q_{loss} = \frac{373 - 300}{2.17} = 33.64 W$$

## 5.2 กรณีฉนวนเป็นใยแก้ว

ฉนวนมีความสูงเท่ากับ 0.3375 เมตร ความหนาเท่ากับ 0.5 เมตร

จาก

$$Q_{loss} = \frac{T_{water} - T_{atr}}{R_{tot}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi r k_A L} + \frac{\ln \left( \frac{r_2}{r_3} \right)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln \left( \frac{r_4}{r_3} \right)}{2\pi k_c L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}$$

โดย  $T_{\text{wall}} = 336 \text{ K}$  ,  $T_{\text{air}} = 300 \text{ K}$  ,  $T_{\text{room}} = T_{\text{air}}$  และความหนาของฉนวน  $L_{\text{ash}} = 0.05$  เมตร

กำหนด

$$\begin{aligned} L_{\text{ash}} &= 0.05 \text{ m} & r_4 &= r_3 + L_{\text{ash}} = 0.2405 \text{ m} \\ K_A &= K_s = 17.2 \text{ W / m} \cdot \text{K} & h_1 &= 5.6 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)} \\ K_C &= 0.03 \text{ W / m} \cdot \text{K} & K_B &= K_{\text{air}} = 0.029 \text{ W / m} \cdot \text{K} \\ r_1 &= d / 2 = 0.18125 \text{ m} & L_s &= 0.003 \text{ m} \\ r_2 &= r_1 + L_s = 0.18425 \text{ m} & L_a &= 0.00625 \text{ m} \\ r_3 &= r_2 + L_a = 0.01905 \text{ m} \end{aligned}$$

หา  $T_f$  โดย 
$$T_f = \frac{T_{\text{wall}} + T_{\text{room}}}{2} = \frac{336 + 300}{2} = 318 \text{ K}$$

เปิดตารางภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.1

$$\begin{aligned} V &= 18.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s} \\ \text{Pr} &= 0.704348 \\ g &= 9.087 \text{ m / s}^2 \\ K &= 27.3 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

จากนั้นแทนค่า

$$\begin{aligned} GrL &= \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{\text{wall}} - T_{\text{room}}) L^3}{V^2} \\ &= \frac{(9.81)(3.142 \times 10^{-3})(336 - 300)(0.3373)^3}{(18.14 \times 10^{-6})^2} \end{aligned}$$

โดย  $\beta = 1/T_f$  ;  $\beta = 3.142 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

จะได้  $GrL = 1.290 \times 10^8$  ;  $GrL \cdot \text{Pr} = 0.913 \times 10^8$

กรณีพิจารณาการไหลแบบราบเรียบ(Lamina Flow)

$$c = 0.59 \quad ; \quad n = 1/4$$

$$\begin{aligned} NUm &= c \cdot (GrL \cdot Pr)^{1/4} \\ &= (0.59)(9.13 \times 10^7)^{1/4} \\ &= 57.67 \\ h &= NUm \cdot K = \frac{57.67}{0.3375} \times 0.0273 \\ &= 4.664W / m^2 \cdot k \end{aligned}$$

นำไปแทนในสมการ 2.8

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad R_{tot} &= 4.5 \times 10^{-4} + 0.5424 + 3.79 + 0.4204 \\ &= 4.75 \end{aligned}$$

นำไปแทนในสมการ 2.7 จะได้

$$Q_{loss} = \frac{373 - 300}{4.75} = 15.36W$$

สามารถหาประสิทธิภาพของหม้อกัวเดียวได้จากสมการที่ 2.19 ในกรณีหม้อปกติ โดย  $M_s = 1.5 \text{ kg/hr}$  ได้จากการวัดปริมาณน้ำที่ลดลงในหนึ่งชั่วโมง ค่า  $h = 2676 \text{ kJ/kg}$  และ  $h_f = 420 \text{ kJ/kg}$  หาได้ภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.8

$$\begin{aligned} \eta_p = E_b &= \frac{M_s (h - h_f)}{m_f \times F} \times 100 \\ &= \frac{1.5 \text{ kg/hr} \times (2676 - 420)}{0.36 \text{ kg/hr} \times 50112} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้

$$\eta_p = 18.75 \%$$

สุดท้ายเราจะได้ ประสิทธิภาพของหม้อกัวเดียวแบบที่ไม่ใส่ฉนวนได้เป็น 18.75 %

สามารถหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้จากสมการที่ 2.19 ในกรณีหม้อไอน้ำจำนวน  
โดย  $M_s = 1.85 \text{ kg/hr}$  ได้จากการวัดปริมาณน้ำที่ตกลงในหนึ่งชั่วโมง

$$\eta_p = E_b = \frac{M_s (h - h_f)}{m_f \times F} \times 100$$

$$= \frac{1.85 \text{ kg/hr} \times (2676 - 420)}{0.36 \text{ kg/hr} \times 50112}$$

ดังนั้น จะได้

$$\eta_p = 23.125 \%$$

สุดท้ายเราจะได้ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแบบที่ไม่ใส่ฉนวนได้เป็น 18.75 %

ภาคผนวก ค.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

### 1. การให้ความร้อน

#### 1.1 หม้อที่ไม่ใส่ฉนวนหุ้ม

สามารถแสดงผลการทดลองอย่างย่อได้ ดังตารางที่ 4.1 ได้

ตารางที่ ข.1 บันทึกผลการทดลองอย่างย่อของการให้ความร้อนหม้อต้มที่ไม่มีฉนวน

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ(°C)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>avg</sub>
1	29	29	28	28.7
5	36.5	36.5	35.5	36.2
10	42.5	42.5	41	42
15	48	48.5	47	47.83
20	53.5	53	52.5	53
25	58.5	58.5	57.5	58.16
30	64.5	64	63	63.83
40	79	78	76.5	77.83
50	93	92.5	91.5	92.33
60	97.5	97.5	97	97.33



## 1.2 หม้อต้มที่ใส่จำนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว

สามารถแสดงผลการทดลองอย่างย่อได้ ดังตารางที่ 4.2 ได้

ตารางที่ ข.2 บันทึกผลการทดลองอย่างย่อของการให้ความร้อนหม้อต้มที่ใส่จำนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ(°C)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>avg</sub>
1	30	30	29	29.66
5	37.5	37.5	36	37
10	44	43.5	42.5	43.33
15	49	49	48	48.66
20	55.5	55	54	54.83
25	61.5	61	59	60.5
30	66	66	65	65.66
40	79.5	78	77	78.16
50	93.5	93	92	92.83
60	98	98	97	97.66

### 1.3 หม้อต้มที่ใช้ฉนวนทรงกระบอกบรรจุไอน้ำ

สามารถแสดงผลการทดลองอย่างย่อได้ ดังตารางที่ 4.3 ได้

ตารางที่ ข.3 บันทึกผลการทดลองอย่างย่อของการให้ความร้อนหม้อต้มที่ใช้ฉนวนทรงกระบอกบรรจุไอน้ำ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ(°C)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>avg</sub>
1	30	30	29	29.66
5	37.5	37	36	36.83
10	43.5	43	42.5	43
15	49	48.5	48	48.5
20	55	54	53	54
25	60.5	60	58	59.5
30	65.5	65	64	64.83
40	78	77.5	76	78.16
50	93	92.5	92	92.5
60	97	97	96	96.66

## 2 ผลการทดลองการกักเก็บความร้อน

ผลการทดลองการสูญเสียความร้อนแบ่งเป็น 3 กรณีเช่นเดียวกับการทดลองการให้ความร้อนคือ การกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ไม่ใส่ฉนวนทรงกระบอก การกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ใส่ฉนวนทรงกระบอกบรรจุไขแก้ว และการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ใส่ฉนวนทรงกระบอกบรรจุขี้เถ้า

### 2.1 บันทึกผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ไม่ใส่ฉนวนทรงกระบอก

ตารางที่ ข.4 ผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ไม่ใส่ฉนวนทรงกระบอก

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ			
	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{avg}$
1	96	96	95.5	95.83
5	80.5	80.5	80	80.33
10	79	79	78	78.66
15	77.5	78	77	77.5
20	76	76.5	76	76.16
25	74.5	75	75	74.83
30	73.5	74	74	73.83
35	73	73	73	73
40	72	72	72	72
45	72	72	71.5	71.83
50	71	71	71.5	71.16
55	71	71	71.7	71.23
60	70	70	70	70

## 2.2 บันทึกผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ใส่ถนนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว

ตารางที่ ข.5 ผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ใส่ถนนวนทรงกระบอกบรรจุใยแก้ว

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>avg</sub>
1	97.5	97.5	96.5	97.17
5	90	89	89	89.33
10	87	87	86	86.66
15	85	86	85	85.33
20	83.5	83	83	83.166
25	81	81	82	81.33
30	80	80	81	80.33
35	78	78.5	78	78.16
40	77	77.5	77	77.16
45	77	77	76.5	76.83
50	77	77	76.5	76.83
55	76	77	76.5	76.5
60	76	76	76	76

### 2.3 บันทึกผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ใส่จำนวนทรงกระบอกบรรจุซีเมนต์

ตารางที่ ข.6 ผลการกักเก็บความร้อนกรณีหม้อที่ใส่จำนวนทรงกระบอกบรรจุซีเมนต์

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>avg</sub>
1	96	96	95	95.66
5	89	89	88	88.66
10	86	86.5	86	86.16
15	85	85	85	85
20	83	84	83.5	83.5
25	80	81	81	80.66
30	78	79	78	78.33
35	78	78	77.5	77.83
40	77	77	77	77
45	77	76.5	76.5	76.66
50	76	76	76.5	76.16
55	76	75.5	76.5	76
60	75	75.5	76	75.5

### 3 ผลการทดสอบการใช้งานจริง

จากการทดสอบการใช้งานจริงที่ร้านก๋วยเตี๋ยวสีก๊ากที่ 13 อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์(Qs) มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ผลการทดสอบดังนี้

#### 3.1 ผลการทดสอบกรณีหม้อต้มไม่มีถ่าน

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบการใช้งานจริงกรณีหม้อต้มไม่สวมถ่าน

วันที่	เวลา	เวลาที่ใช้		ปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้(kg)			จำนวนซามที่ขายได้
		ชั่วโมง	นาที	ก่อนใช้	หลังใช้	สุทธิ	
19/1/2552	6.00-18.00	12	0	32	26.6	5.4	230
20/1/2552	6.00-18.30	12	30	26.6	20.4	6.0	260
21/1/2552	6.00-18.00	12	0	20.4	17.0	3.4	
				32	30.0	2.0	
					รวม	5.4	215
22/1/2552	6.00-17.30	11	30	30.0	24.5	5.5	230
23/1/2552	6.00-18.00	12	0	24.5	19.4	5.1	220
24/1/2552	6.00-17.00	11	0	19.4	17.0	2.4	
				32	29.6	2.4	
					รวม	4.8	180
25/1/2552	6.00-17.00	11	60	29.6	25.0	4.6	150
จำนวนชั่วโมงที่ใช้แก๊ส		82					
รวม						36.8	1485

### 3.2 ผลการทดสอบกรณีที่มีข้อผิดพลาดของระบบการจ่ายแก๊ว

ตารางที่ ๗.8 ผลการทดสอบการใช้งานจริงกรณีที่มีข้อผิดพลาดของระบบการจ่ายแก๊ว

วันที่	เวลา	เวลาที่ใช้		ปริมาณแก๊ว LPG ที่ใช้ (kg)			จำนวนชมที่ ขายได้
		ชั่วโมง	นาที	ก่อนใช้	หลังใช้	สุทธิ	
26/1/2552	6.00-18.00	12	0	26.6	22.4	4.2	240
27/1/2552	6.00-18.00	12	0	22.4	18.3	4.1	255
28/1/2552	6.00-18.20	12	20	18.3	17	1.3	
				32	29.2	2.8	
					รวม	4.1	220
29/1/2552	6.00-18.40	12	40	29.2	25	4.2	240
30/1/2552	6.00-18.00	12	0	25	20.8	4.2	225
31/1/2552	6.00-17.30	11	30	20.8	17.3	3.5	177
1/2/2552	6.00-17.00	11	0	32	28.8	3.2	145
รวมจำนวนชั่วโมงที่ใช้แก๊ส		83	30				
รวม						27.5	1502

### 3.3. ผลการทดสอบกรณีที่มีข้อผิดพลาดของระบบบรรจุถัง

ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบการใช้งานจริงกรณีที่มีข้อผิดพลาดของระบบบรรจุถัง

วันที่	เวลา	เวลาที่ใช้		ปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้(kg)			จำนวนชามที่ขายได้
		ชั่วโมง	นาที	ก่อนใช้	หลังใช้	สุทธิ	
9/2/2552	6.00-18.00	12	0	32	27.7	4.3	230
10/2/2552	6.00-18.00	12	0	27.7	23.5	4.2	262
11/2/2552	6.00-18.30	12	30	23.5	18.9	4.6	220
12/2/2552	6.00-18.30	12	30	18.9	17	1.9	
				32	29.4	2.6	
					รวม	4.5	230
13/2/2552	6.00-18.00	12	0	29.4	25.1	4.3	220
14/2/2552	6.00-17.30	11	30	25.1	21.3	3.8	175
15/2/2552	6.00-17.00	11	0	21.3	17.7	3.4	150
รวมจำนวนชั่วโมงที่ใช้แก๊ส		83	30				
รวม						29.1	1487

ตารางที่ ข.10 คำนีการใช้ก๊าซ LPG เทียบกับจำนวนชามถ้วยเดี่ยวที่ขายได้ในแต่ละวัน

วัน	ไม่มีถนวน	ถนวนโยแก้ว	ถนวนซีเต้า
จันทร์	42.59	59.52	53.5
อังคาร	43.33	58.54	52.38
พุธ	38.89	53.66	52.17
พฤหัสบดี	41.82	61.9	51.11
ศุกร์	43.14	57.14	51.16
เสาร์	37.5	45.71	44.74
อาทิตย์	32.61	43.75	44.12



ภาคผนวก ง

ภาพการประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม

## การประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ เพื่อสิ่งแวดล้อม

### โครงการ PTT CHEMICAL GREEN INNOVATION AWARD 2008

โดยบริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัดมหาชน ณ ศูนย์การค้าจามจุรีสแควร์ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์

บริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัด (มหาชน) ร่วมกับ กระทรวงศึกษาธิการ และกระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ขอเชิญนักเรียน นักศึกษา ร่วมการประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อ สิ่งแวดล้อม ในโครงการ "PTT CHEMICAL GREEN INNOVATION AWARD"

#### เจือใจและกตติกาการประกวด

##### หลักการ

วิกฤตการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน นับวันจะมีความรุนแรงเพิ่มมากยิ่งขึ้น หากทุกฝ่ายไม่ร่วมมือ กันบรรเทาหรือแก้ไข ก็จะมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอนาคต ทางบริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัด (มหาชน) จึงได้ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ควบคู่ไปกับการดำเนินธุรกิจ ซึ่ง ได้จัดให้มีการประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม กับโครงการ "PTT CHEMICAL GREEN INNOVATION AWARD" ขึ้น เพื่อส่งเสริมให้สังคมโดยเฉพาะเยาวชนให้เห็นถึงความสำคัญของการฟื้นฟู สิ่งแวดล้อมรอบๆข้างให้ดีขึ้น

การประกวดนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม กับโครงการ "PTTCHEMICAL GREEN INNOVATION AWARD" นี้เป็นโครงการที่บริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัด (มหาชน) ได้ร่วมกับกระทรวงศึกษาธิการ และ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จัดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

##### กรอบแนวคิดหลัก

สร้างความรู้ความเข้าใจและส่งเสริมให้สังคมตระหนักถึงความสำคัญของการรักษาสิ่งแวดล้อม โดย มุ่งเน้นในเรื่องการให้ความสำคัญ และการกระตุ้นให้สังคมเห็นถึงความสำคัญของ "นวัตกรรมเพื่อ สิ่งแวดล้อม"

##### วัตถุประสงค์

1. เพื่อกระตุ้นให้เยาวชนเกิดการคิดค้น และพัฒนาโครงการบริหารจัดการการผลิตหรือเคมีภัณฑ์เพื่อ สิ่งแวดล้อม
2. เพื่อให้ บริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัด (มหาชน) เป็นที่รู้จักในด้านการเป็นองค์กรแห่งนวัตกรรม และ ส่งเสริมนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อให้เยาวชนตระหนักในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม

ผู้มีสิทธิ์ส่งผลงานเข้าประกวด แบ่งออกเป็น 2 ระดับ

1. นักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับมัธยมศึกษา อาชีวศึกษา (ปวช.) ( 1 ทีม 1 โรงเรียน 3 คน )
2. นักศึกษาที่กำลังศึกษาในระดับอุดมศึกษา ( 1 ทีม 1 มหาวิทยาลัย 3 คน )

ระยะเวลาเปิดรับสมัคร ตั้งแต่บัดนี้ - 6 ตุลาคม 2551

#### หลักเกณฑ์การประกวด

1. ทีมที่สมัครเข้าประกวด คณะกรรมการจะทำการคัดเลือกรอบแรกจำนวน 10 ทีม
  - ระดับมัธยมศึกษา อาชีวศึกษา (ปวช.) 5 ทีม
  - นักศึกษาที่กำลังศึกษาในระดับอุดมศึกษา 5 ทีม
 ทั้ง 10 ทีมจะได้รับทุนสนับสนุนการเข้าร่วมโครงการประกวดฯ ทีมละ 5,000 บาท
2. ทีมที่เข้ารอบทั้งหมด จำนวน 10 ทีม
  - ต้องเข้า Work Shop กับทางบริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ในการอบรมผลิตนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม กับผู้เชี่ยวชาญ วันที่ 20 ตุลาคม 2551
  - นำนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม จำนวน 1 ชิ้น เพื่อให้คณะกรรมการตัดสินรอบสุดท้าย ในวันที่ 1 ธันวาคม 2551 กรุงเทพมหานคร (สถานที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง)

#### ขอบเขตของนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม

1. ประเภทของสิ่งประดิษฐ์
2. สอดคล้องกับแนวความคิด Shaping an innovative society หรือ การสร้างการเติบโตของสังคมนวัตกรรมที่ยั่งยืน
3. มีส่วนประกอบที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ หรือ กระบวนการผลิตของ บริษัท ปตท. เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ดังนี้
  - 3.1 Olefins - ผลิตภัณฑ์ต้นน้ำที่เป็นวัตถุดิบต้นทางในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก
  - 3.2 Polymers – ผลิตภัณฑ์พลาสติกขั้นปลายเพื่อนำไปผลิตเป็นสินค้าพลาสติก เช่น ถุงช้อปปิ้ง ถุงกับข้าวขวดน้ำมันเครื่องถ้วยจานชามสายไฟแหวนเป็นต้น
  - 3.3 EO-based – ผลิตภัณฑ์ขั้นกลางเพื่อนำไปผลิตเป็นสินค้าขั้นปลาย เช่น ขวดน้ำพลาสติกใส่เสื้อผ้า เป็นต้น
  - 3.4 Oleochemicals – เคมีภัณฑ์จากธรรมชาติ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้า เช่น แชมพู สบู่ ยาสีฟัน ครีมนวด ครีมรองพื้น น้ำมันไบโอดีเซล อุตสาหกรรมยา เป็นต้น

4. เป็นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ที่ไม่ผ่านการรับรางวัลจากสถาบัน และองค์กรใดมาก่อน
5. เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถทดลองใช้งานได้จริง

### หลักเกณฑ์การพิจารณาสิ่งประดิษฐ์

1. ข้อกำหนด/คุณสมบัติของสิ่งประดิษฐ์
  - ประดิษฐ์หรือพัฒนาขึ้นใหม่
  - สามารถพัฒนาต่อยอดในเชิงนวัตกรรมได้
  - สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์
2. ความเหมาะสมของสิ่งประดิษฐ์ในด้านการออกแบบ
  - รูปแบบเหมาะสม
  - เทคนิคการออกแบบระบบการทำงาน
  - ความชาญฉลาดในการประดิษฐ์
  - ความปลอดภัย
- 3 การใช้วัสดุผลิต
  - เหมาะสมกับงาน
  - มีคุณภาพ
- 4 คุณค่าของสิ่งประดิษฐ์
  - ประโยชน์การใช้งานพัฒนาคุณภาพชีวิตได้
  - ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
  - ประสิทธิภาพ และประสิทธิผล
  - สามารถพัฒนาไปสู่เชิงพาณิชย์
- 5 การนำเสนอผลงาน
  - ความพร้อมในการนำเสนอและการสาธิตและบุคลิกภาพ
  - ความชัดเจนในการบรรยาย
- 6 เอกสารประกอบการนำเสนอผลงาน
  - ความสมบูรณ์ของข้อมูล/รายละเอียดตามโครงร่าง
  - ความชัดเจนถูกต้องของข้อมูล/รายละเอียด

รายละเอียดที่ต้องส่งมาให้คณะกรรมการพิจารณา เพื่อคัดเลือกรอบแรก

เอกสารนำเสนอสิ่งประดิษฐ์ 1 ชุด

- ข้อมูลและประวัตินักเรียน และนักศึกษา
- ข้อมูลเกี่ยวกับนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม (อย่างละเอียด)
- รูปภาพประกอบ

สถานที่ส่งใบสมัคร

ส่งด้วยตัวเองหรือทางไปรษณีย์มาที่

บริษัท แมกซิม่า สตูดิโอ จำกัด เลขที่ 634/6 ซอยรามคำแหง 39 (เทพศิลา1) ถนนรามคำแหง เขตวังทองหลาง กทม. 10310 (วงเล็บมุมซองโครงการ "PTTCHEMICAL GREEN INNOVATION AWARD")

ในกรณีส่งทางไปรษณีย์ถือวันที่ประทับตราบนไปรษณีย์กรเป็นหลัก

รางวัลสำหรับผู้ชนะเลิศประกวด

ในการตัดสินคณะกรรมการจะคัดเลือกผู้ชนะเลิศ โดยแบ่งเป็นระดับละ 3 รางวัล ได้แก่

ระดับมัธยมศึกษาและอาชีวศึกษา

- รางวัลชนะเลิศ จำนวน 1 รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 100,000 บาท
- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 จำนวน 1 รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 50,000 บาท
- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 จำนวน 1 รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 30,000 บาท
- รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 10,000 บาท

ระดับอุดมศึกษา

- รางวัลชนะเลิศ จำนวน 1 รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 100,000 บาท
- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 จำนวน 1 รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 50,000 บาท
- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 จำนวน 1 รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 30,000 บาท
- รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัล ได้รับทุนการศึกษา 10,000 บาท

## การออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอก เพื่อลดการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว(LPG)

กรณีศึกษา : หม้อต้มก๋วยเตี๋ยว

### อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

อาจารย์ศิษย์ภักดิ์ แคนลา

### ผู้จัดทำโครงการ

2.1 รหัสประจำตัว 48363749	ชื่อ-นามสกุล นางสาวปิยนุช	สุดาเดช
2.1 รหัสประจำตัว 48363787	ชื่อ-นามสกุล นายพิรุฬห์	สิงห์กว้าง
2.1 รหัสประจำตัว 48364067	ชื่อ-นามสกุล นายสุริยา	ภูนาสอน

### 1.บทคัดย่อ

จากวิกฤตปัญหาด้านพลังงานทำให้รัฐบาลต้องประกาศขึ้นราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลว(LPG) ส่งผลให้ต้นทุนของผู้ประกอบอาชีพขายก๋วยเตี๋ยวเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าผิวภายนอกของหม้อต้มก๋วยเต๋อมีอุณหภูมิตลอดทั้งวันเฉลี่ย 50-70 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศจึงเกิดการสูญเสียความร้อนโดยรอบผิวหม้อต้ม ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองก๊าซ LPG และเกิดปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น

จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีการศึกษา ออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอกสำหรับหม้อต้มก๋วยเตี๋ยว โดยโครงสร้างภายนอกทำจากสังกะสีและใช้ซีเมนต์ฉนวน โยแก้ว และโฟมป้องกันการกระแทกหนา 2 นิ้วเป็นฉนวนบรรจุอยู่ภายใน ผลจากการทดลองใช้กับร้านก๋วยเต๋อที่ 13 อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่าฉนวนซีเมนต์ฉนวนและโยแก้วสามารถลดการใช้ก๊าซ LPG ได้ใกล้เคียงกันเฉลี่ยประมาณ 1.5 กิโลกรัมต่อวัน ส่งผลให้ต้นทุนลดลงประมาณ 28.35 บาท/วัน โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 เดือน

## 2.วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาออกแบบและสร้างฉนวนทรงกระบอกเพื่อลดการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลวสำหรับหม้อต้มถ้วยเดี่ยว

2.2 เปรียบเทียบค่าการลดใช้ก๊าซ LPG ของฉนวนสำหรับหม้อต้มถ้วยเดี่ยวที่สร้างขึ้นจากซีเมนต์และใยแก้ว

## 3.ประโยชน์ที่ได้รับ

3.1 ลดปริมาณการใช้ก๊าซ LPG เพื่อลดต้นทุนของผู้ประกอบการ

3.2 ลดภาวะโลกร้อนเนื่องจากปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ลดลง

3.3 เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ที่มีในท้องถิ่น

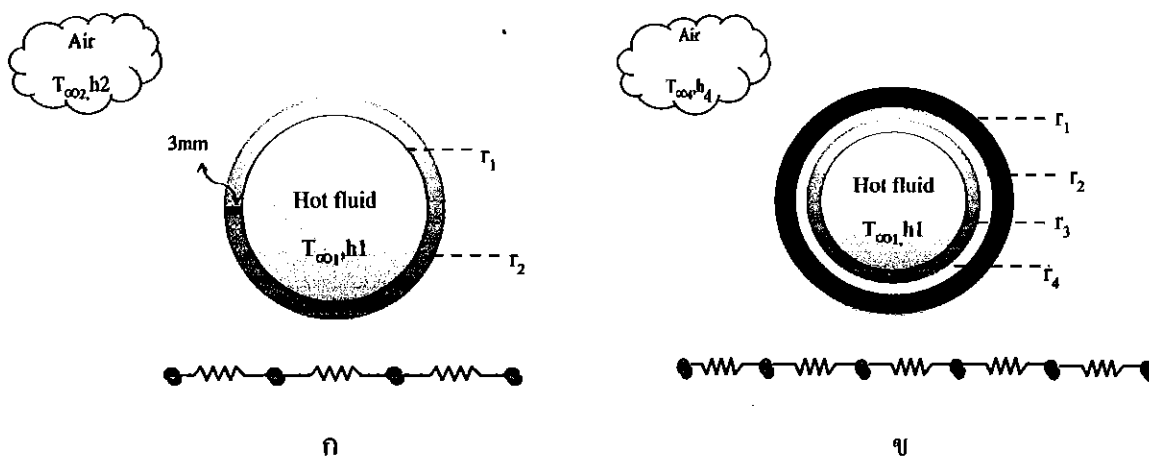
3.4 เป็นแนวทางในการสร้างอาชีพหรือการหารายได้เสริมให้กับชุมชน

## 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก

การศึกษานำและการพาความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก เพื่อศึกษาหาอัตราการสูญเสียความร้อนของหม้อต้มกับบรรยากาศ เปรียบเทียบระหว่างมีฉนวนและไม่มีฉนวน โดยพิจารณาภายใต้ข้อสมมุติฐาน

- การนำความร้อนภายใต้สภาวะคงตัวใน 1 มิติ
- ไม่คิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างผิวฉนวนกับบรรยากาศ



รูปที่ 4.1 แสดงภาพตัดของหม้อต้มขณะไม่มีฉนวน(ก) และมีฉนวน(ข)

สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อน(Q)ได้ ดังสมการต่อไปนี้

จากรูปที่ 4.1 ก. และวงจรรตัวต้านทานความร้อนรวม จะได้

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_1 \pi r_1 L} + \ln \frac{(r_2/r_1)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_2 \pi r_2 L}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

จากรูปที่ 4.1 ข และวงจรรตัวต้านทานความร้อนรวม จะได้

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{R_{tot}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

โดย

$$R_{tot} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_a L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_b L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_c L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}$$

เมื่อ Q คืออัตราการถ่ายเทความร้อน

$T_{\infty 1}, T_{\infty 2}, T_{\infty 4}$  คืออุณหภูมิของของไหลและอากาศตามลำดับ

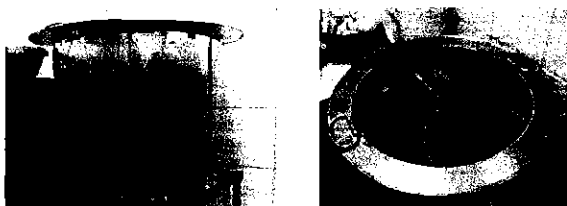
$h_1, h_2, h_4$  คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลและอากาศ

$r_1, r_2, r_3, r_4$  คือรัศมีภายในและภายนอกหม้อก๋วยเตี๋ยว



## 5. การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองด้วยการใช้หม้อก๋วยเตี๋ยวของร้านคุณยุพิน ทองซ้อม (ล็อกที่ 13 อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร) เป็นกรณีศึกษา โดยทดลองเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซ LPG กับสภาพการใช้งานจริงตั้งแต่เวลา 06.00 น. – 18.00 น. ของหม้อต้มไม่มีฉนวน และหม้อต้มที่ติดตั้งฉนวนซีเมนต์และใยแก้ว



รูปที่ 5.1 การทดสอบโดยหม้อไม่ได้ติดตั้งฉนวน



รูปที่ 5.2 การทดสอบการใช้งานโดยวัสดุทำฉนวนคือใยแก้ว



รูปที่ 5.3 การทดสอบการใช้งานโดยวัสดุทำฉนวนคือซีเมนต์



รูปที่ 5.4 การทดสอบการใช้งานโดยวัสดุทำฉนวนคือโฟมกันกระแทก



รูปที่ 5.5 การชั่งน้ำหนักถังแก๊ส

## 6. ผลการทดลอง

ผลทดลองเปรียบเทียบปริมาณการใช้ก๊าซ LPG กับสภาพการใช้งานจริงของหม้อต้มไม่มีฉนวน และหม้อต้มที่ติดตั้งฉนวนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบ

รายละเอียดการทดลอง	จำนวนถ้วยเดี่ยวที่ขายได้(ชาม)	มวลของก๊าซ LPG ที่ใช้ (kg)	ดัชนีการใช้พลังงาน (kg/ชาม)	ปริมาณก๊าซ LPG ที่ประหยัด (kg*)	ต้นทุนของผู้ประกอบการที่ลดลง (บาท**)
1. ไม่มีฉนวน	340	7	0.0205	-	-
2. ฉนวนใยแก้ว	342	5.4	0.0157	1.6	30.24
3. ฉนวนซีเมนต์	330	5.5	0.0166	1.5	28.35

หมายเหตุ : \* ปริมาณก๊าซ LPG ที่ประหยัดเทียบกับหม้อต้มไม่มีฉนวน

\*\* ก๊าซ LPG ราคา 18.90 บาท/กิโลกรัม ( ณ. วันที่ 30 ม.ค. 2551 )

## 7. บทสรุป

7.1 ฉนวนใยแก้วและฉนวนซีเมนต์สามารถลดการใช้ก๊าซ LPG ได้เฉลี่ยประมาณ 1.5 กิโลกรัมต่อวัน มีผลช่วยให้ต้นทุนของผู้ประกอบการลดลง

7.2 ฉนวนใยแก้วและฉนวนซีเมนต์ช่วยลดภาวะโลกร้อนเนื่องจากปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ลดลง

7.3 ฉนวนทรงกระบอกไม่ได้ยึดติดกับหม้อต้มเตี้ยทำให้ผู้ประกอบการไม่ต้องลงทุนซื้อหม้อใหม่ แต่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนของฉนวน ใยแก้วและฉนวนซีเมนต์ ซึ่งมีราคา 860 บาท และ 560 บาท ตามลำดับ

## 8. อภิปราย

1. กรณีใช้ใยแก้วเป็นฉนวนนั้นควรต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากหากฉนวนเกิดการชำรุด ใยแก้วอาจก่อให้เกิดอันตรายได้

2. อุปกรณ์ชิ้นนี้สามารถขยายเป็นธุรกิจใหม่ สร้างรายได้ให้แก่ชุมชนได้ เนื่องจากมีการลงทุนต่ำ สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาอันสั้น

## กิตติกรรมประกาศ

1. ขอขอบคุณบริษัท ปตท.เคมีคอล จำกัด (มหาชน) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการจัดทำโครงการนวัตกรรมในครั้งนี้

2. ขอขอบคุณ คุณยุพิน ทองฮ่อม เจ้าของร้านก๊วยเตี้ยวที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำฉนวนไปทดลองใช้

3. ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับทำโครงการ

4. ขอขอบคุณ อ.ศิษย์ภักดิ์ แคนลา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการจัดทำโครงการ

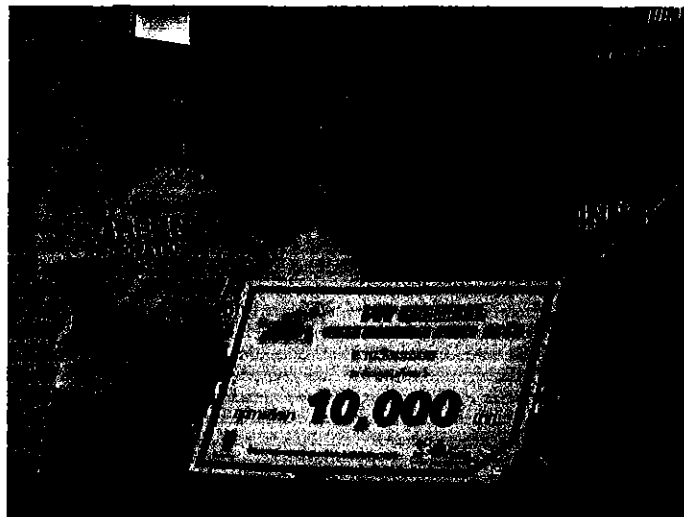
การประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ เพื่อสิ่งแวดล้อม

โครงการ PTT CHEMICAL GREEN INNOVATION AWARD 2008

โดยบริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัดมหาชน ณ ศูนย์การค้าจามจุรีแสดคว มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์



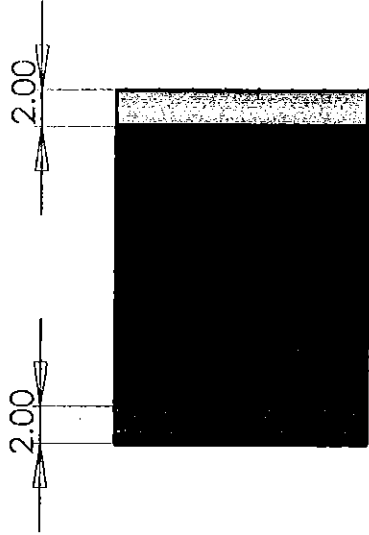
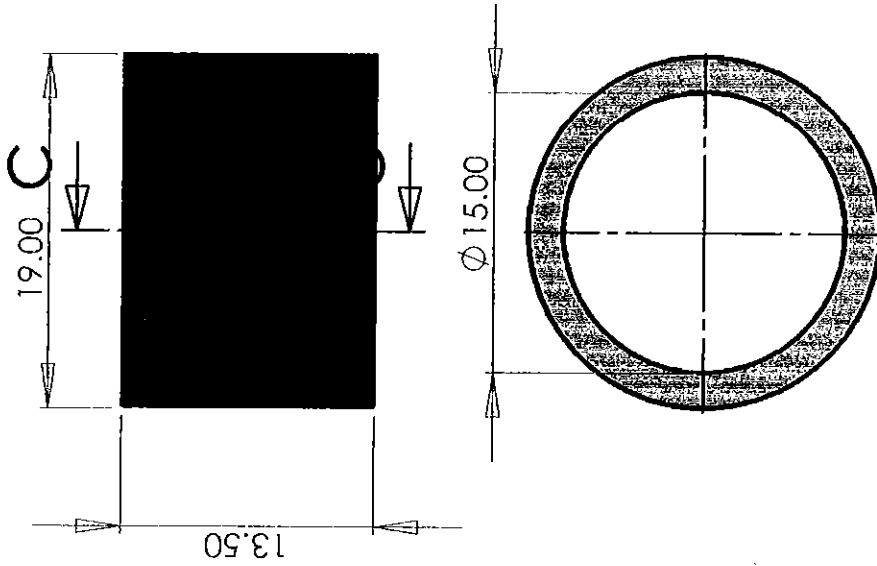
รูปที่ ง.1 การประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์เพื่อสิ่งแวดล้อม



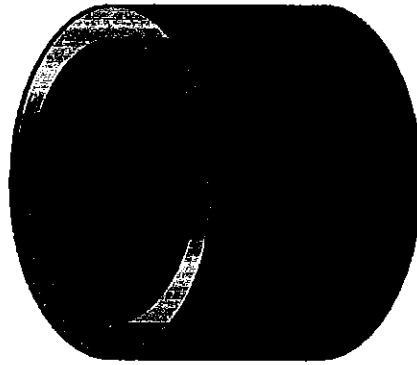
รูปที่ ง.2 รางวัลชมเชยระดับอุดมศึกษา

ภาคผนวก จ

แบบฉนวนสวมหม้อต้มถ้วยเดี่ยว



SECTION C-C



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 FINISH: \_\_\_\_\_  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH: \_\_\_\_\_  
 TOLERANCES:  
 LINEAR: \_\_\_\_\_  
 ANGULAR: \_\_\_\_\_

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE

SIGNATURE

DATE

NAME

DRAWN

CHECKED

APPROVED

MFG

Q.A

MATERIAL

DWG NO.

นนวนความหนา 2 นิ้ว A4

WEIGHT

SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1