การปรับปรุงเตาหล่อพระเพื่อนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่

(Improvement the Buddha Image Casting Furnace for Paraffin wax reuse)

นายวิทยา จักรเครือ

นายโจ อำไพจิตร

นายสามารถ บุญยิ่ง

นายสุริยา ทองจีน

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ...../...../.....
เลขทะเบียน...520007.0.....
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร

i509818.
วร.
ว491.
2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550

ใบรับรองโครงงานวิจัย

หัวข้อโครงงาน : การปรับปรุงเตาหล่อพระเพื่อนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่

(Improvement the Buddha Image Casting Furnace for Paraffin wax reuse)

ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายวิทยา	จักรเครือ	รหัสนิสิต	47380151
	: นายโจ	อำไพจิตร	รหัสนิสิต	47380173
	: นายสามารถ	บุญยิ่ง	รหัสนิสิต	47380394
	: นายสุริยา	ทองจีน	รหัสนิสิต	47380395

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สิทธิโชค ผูกพันธุ์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์สิทธิโชค ผูกพันธุ์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

หัวข้อโครงงาน	: การปรับปรุงเตาหล่อพระเพื่อนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่			
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายวิทยา	จักรเครือ	รหัสนิสิต	47380151
	: นายโจ	อำไพจิตร	รหัสนิสิต	47380173
	: นายสามารถ	บุญยิ่ง	รหัสนิสิต	47380394
	: นายสุริยา	ทองจีน	รหัสนิสิต	47380395
อาจารย์ที่ปรึกษา	: อาจารย์สิทธิโชค ผูกพันธุ์			
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2550			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างปรับปรุงเตาหล่อพระให้สามารถนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่ โดยได้นำแนวคิดในการนำความร้อนจากไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงๆ กลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้ง และได้ออกแบบให้เตาเผามีลักษณะเป็นเตาคู่โดยหลักการทำงานคือ ให้เตาแรกเป็นเตาเผาหลักใช้เผาแบบหล่อและเตาที่สองเป็นเตาเผารองที่นำความร้อนจากไอเสียของเตาเผาหลักมาใช้เพื่อเป็นการหลอมให้ขี้ผึ้งไหลออกมาจากแบบ

ผลการทดลองเผาแบบหล่อด้วยเตาแบบใหม่พบว่าเตาเผาหลักจะใช้แก๊ส LPG ต่อทองเหลืองที่ใช้หล่อเป็น 0.096 kg/kg (ทองเหลือง) ซึ่งเปรียบเทียบกับเตาแบบเดิมคือ 0.284 kg/kg (ทองเหลือง) สามารถลดปริมาณการใช้แก๊ส LPG ลงได้ 0.188 kg/kg (ทองเหลือง) หรือคิดเป็น 66% และลดเวลาในการเผาลงคือ 3 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้

ส่วนเตาเผารองสามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้ คิดเป็น ค่าน้ำหนักหลังเผาของขี้ผึ้งคือ 2 kg จากขี้ผึ้งทั้งหมด 8.4 kg หรือ 24 %

Project title	**: Improvement the Buddha Image Casting Furnace for Paraffin wax reuse**			
Name	**: Mr. Wittaya**	**Jukkhrua**	**Code**	**47380151**
	: Mr. Joe	**Ampaijit**	**Code**	**47380173**
	: Mr. Samart	**Boonying**	**Code**	**47380394**
	: Mr. Suriya	**Thongjeen**	**Code**	**47380395**
Project Advisor	**: Mr. Sittichoke**	**Pookpunt**		
Major	**: Mechanical Engineering**			
Department	**: Mechanical Engineering**			
Academic Year	**: 2007**			

Abstract

This project was study about design and constructs Buddha Image Casting furnace for Paraffin wax reuse. The concept design was to design the preheat furnace by using exhaust gas from main furnace for paraffin wax reuse. Then the new furnaces have 2 chambers. The first one was pre-heat chamber and the other one was main chamber.

The result found that main furnace used 0.096 kg (LPG)/kg (brass) when compared with 0.284 kg/ kg (brass) of the old furnace. It can decrease LPG by 0.188 kg (LPG)/kg (brass) or 66% and reduced burning time for 3 hrs. But the paraffin wax was burned out.

Preheat furnace drew 2 kg of Paraffin wax form total 8.4 kg. Performance to reuse the paraffin wax was 24 % by weight without energy consumption in preheat furnace.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณบุคคลที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ช่วยเหลือและอนุเคราะห์ในการดำเนินการโครงงานด้วยดีจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างสูง

- พ่อ และแม่ ที่คอยให้กำลังใจ เลี้ยงดูจนเติบใหญ่ และสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา
- อาจารย์สิทธิโชค ผูกพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำปรึกษาดูแล และช่วยเหลือตลอดมา
- อาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ครูช่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่คอยแนะนำและอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงงาน
- คุณวิรัตน์ บุตรดี ผู้บริหารโรงหล่อพระพุทธรัตน ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานด้านต่างๆ
- ลุงชวน พี่เอก พี่สุวรรณ ช่างฝีมือจากโรงหล่อพระพุทธรัตน ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านการก่อสร้างเตาเผาจนสำเร็จ
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินโครงงาน
- เพื่อนๆ ทุกคนสำหรับมิตรภาพและกำลังใจที่ดีตลอดมา

ณ โอกาสนี้จึงขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์จงช่วยเหลือคุ้มครองปกปักรักษาบุคคลเหล่านี้ด้วยเทอญ

วิทยา จักรเครือ
โจ อำไพจิตร
สามารถ บุญยิ่ง
สุริยา ทองจีน

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 กิจกรรมการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาเผา	3
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาหลอม	5
2.4 ขั้นตอนการหล่อองค์พระพุทธรูป	8
2.5 คุณสมบัติของวัสดุ	11
2.6 คุณสมบัติของแก๊สหุงต้มหรือแก๊สปิโตรเลียมเหลว	11
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับปูนปลาสเตอร์	14
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับพาราฟิน	15
บทที่ 3 แนวคิดและการออกแบบ	
3.1 แนวคิดในการออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูป	16
3.2 การทดลองเผาแบบจำลอง	18
3.3 การออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปตามแนวคิด	24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การสร้างเตาเผาแบบใหม่

4.1 การเลือกใช้วัสดุในการสร้างเตาเผาแบบใหม่ 28

4.2 ส่วนประกอบของเตาเผาแบบใหม่ 31

4.3 ลำดับขั้นตอนการสร้างเตาเผาแบบใหม่ 35

4.4 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาเผาแบบใหม่ 39

บทที่ 5 การทดลองเผาแบบหล่อพระพุทธรูปด้วยเตาเผาแบบใหม่และวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ 40

5.2 อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง 40

5.3 วิธีการทดลอง 42

5.4 ขั้นตอนการทดลอง 42

5.5 ผลการทดลอง 45

5.6 วิเคราะห์ผลการทดลองเผา 47

บทที่ 6 บทสรุป

6.1 สรุปผล 48

6.2 ข้อเสนอแนะ 48

เอกสารอ้างอิง 49

ภาคผนวก 50

ภาคผนวก ก รูปแสดงเตาหล่อพระแบบใหม่ 51

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุ 11

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ LPG 12

ตารางที่ 3.1 สถิติการใช้แก๊ส LPG ในการเผาแบบหล่อพระของโรงหล่อพระพุทธรัตน 17

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักทองที่เทเข้าแบบหล่อขนาดต่าง 17

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองเผาแบบจำลอง 20

ตารางที่ 4.1ราคากลางอิฐทนไฟ 28

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลโดยรวมของส่วนประกอบเตา 31

ตารางที่ 4.3 จำนวนอิฐทนไฟที่ใช้ในการก่อผนังแต่ละด้าน 38

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาเผาแบบใหม่ 39

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจากผลการทดลองเผาแบบหล่อพระพุทธรูปด้วยเตาใหม่ 45

ตารางที่ 5.2ข้อมูลเปรียบเทียบน้ำหนักแบบหล่อก่อนเผาและหลังเผา 46

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองเผาด้วยเตาเก่าและเตาใหม่(เตาหลัก) 47

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองเผาด้วยเตาเก่าและเตาใหม่(เตารอง) 47

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เตาหลอมแบบ เตาเบ้า 6
รูปที่ 2.2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการหล่อพระพุทธรูป 10
รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูป 16
รูปที่ 3.2 แสดง เตาถ่านที่คัดแปลงแล้ว,ถังแก๊ส, หัวเผาแก๊สและฝาปิด 18
รูปที่ 3.3 แบบจำลองปูนปลาสเตอร์และบรรจุขี้ผึ้งข้างใน 18
รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ 19
รูปที่ 3.5 ตาชั่ง 19
รูปที่ 3.6ติดตั้งอุปกรณ์ 19
รูปที่ 3.7ทำการเผาแบบจำลอง 19
รูปที่ 3.8แสดงขี้ผึ้งละลายออกมาที่อุณหภูมิ 205-220 องศาเซลเซียส 20
รูปที่ 3.9 วัดอุณหภูมิไอเสียได้ 230-350 องศาเซลเซียส 20
รูปที่ 3.10 นำขี้ผึ้งที่ได้ไปชั่งและเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้ก่อนการทดลอง 20
รูปที่ 3.11 แสดงสมดุลความร้อนของการเผาแบบจำลอง 21
รูปที่ 3.12 แสดงผนังเตาและความร้อนที่ผ่านผนังเตา 23
รูปที่ 3.13 ภาพเตาที่ออกแบบ 25
รูปที่ 3.14 ภาพแสดงรายละเอียดเตา 26
รูปที่ 3.15 ภาพเตาส่วนตรงกลาง 26
รูปที่ 3.16 ภาพพื้นเตา 27
รูปที่ 3.17 ภาพแสดงโครงเหล็ก 27
รูปที่ 4.1 อิฐทนไฟ 28
รูปที่ 4.2 อิฐทนไฟ MOT-30 29
รูปที่ 4.3 ปูนทนไฟ 29
รูปที่ 4.4 เส้นใยไฟเบอร์กลาส 30
รูปที่ 4.5 โครงเหล็ก 32
รูปที่ 4.6 ตัวเตา 32
รูปที่ 4.7 ฝาหน้า 33
รูปที่ 4.8 โครงเหล็กฝาหน้า 33
รูปที่ 4.9 โครงเหล็กฝาบน 33
รูปที่ 4.10 ฝาบน 33
รูปที่ 4.11 พื้นปูนซีเมนต์ 34

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 พื้นเตา 34
รูปที่ 4.13 ฐานเหล็กรองเผา 34
รูปที่ 4.14 ถาดเหล็กรองขี้ผึ้ง 34
รูปที่ 4.15 บานพับ 35
รูปที่ 4.16 เทพื้นด้วยปูนซีเมนต์ 35
รูปที่ 4.17 ติดตั้งหนามเตยที่โครงเหล็กตัวเตา ฝาบนและฝาหน้า 35
รูปที่4.18 ติดตั้งฝาหน้าและบานพับเข้ากับโครงเหล็กตัวเตา 36
รูปที่4.19 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ฝาหน้า ฝาบน และโครงเหล็กตัวเตา 36
รูปที่ 4.20 ก่ออิฐทนไฟที่ฝาหน้า โครงเหล็กตัวเตา และฝาบน 36
รูปที่ 4.21 ประกอบฝาบนเข้ากับตัวเตา 36
รูปที่ 4.22ติดตั้งตัวล็อกฝาหน้า 37
รูปที่ 4.23 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ขอบเตาด้านที่ติดกับฝาหน้า 37
รูปที่ 4.24 ประกอบฐานรองเผาเข้ากับเตา 37
รูปที่ 4.25 เจาะรูหัวเผาและช่องอากาศ 37
รูปที่ 4.26 เตาเผาแบบใหม่ที่สร้างเสร็จพร้อมใช้งาน 38
รูปที่ 5.1 แบบหล่อพระพุทธชินราช 40
รูปที่ 5.2 แก๊ส LPG ถังขนาด 48 กิโลกรัม 41
รูปที่ 5.3 หัวเผา 41
รูปที่ 5.4 ตาชั่งขนาด 500 กิโลกรัม 41
รูปที่ 5.5 ตาชั่งขนาด 60 กิโลกรัม 41
รูปที่ 5.6 AC/DC CLAMP METER 42
รูปที่ 5.7 IR THERMOMETER 42
รูปที่ 5.8 บรรจุชิ้นงานในเตาทั้งสองเตา 42
รูปที่ 5.9 ชั่งน้ำหนักแบบหล่อก่อนเผา 42
รูปที่ 5.10 ชั่งน้ำหนักแก๊ส LPGก่อนเผา 43
รูปที่ 5.11 ติดตั้งหัวเผา 43
รูปที่ 5.12 เผาชิ้นงาน 43
รูปที่ 5.13 วัดอุณหภูมิภายในเตา 43
รูปที่ 5.14 วัดอุณหภูมิไอเสีย 43
รูปที่ 5.15 วัดอุณหภูมิผนัง 43

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.16 ตรวจดูขี้ผึ้ง 44

รูปที่ 5.17 นำถาดรองขี้ผึ้งออกจากเตา 44

รูปที่ 5.18 ปริมาณขี้ผึ้งที่ได้จากการทดลอง 44

รูปที่ 5.19 เก็บขี้ผึ้งออกจากถาดรอง 44

รูปที่ 5.20 ชั่งน้ำหนักขี้ผึ้ง 44

รูปที่ 5.21 นำแบบหล่อไปชั่งหลังเผา 44

มหาวิทยาลัยนเรศวร

คำอธิบายสัญลักษณ์

		หน่วย
A	พื้นที่	m^2
C_p	ค่าความร้อนจำเพาะ	$kJ / kg \cdot K$
HHV	ค่าความร้อนที่สูงกว่า	kJ / kg
	(เมื่อ H_2O ในผลิตภัณฑ์อยู่ในสถานะของเหลว)	
h	ค่าการพาความร้อน	$W / m^2 \cdot K$
k	ค่าการนำความร้อน	$W / m \cdot K$
L	ความยาว	m
m	มวล	kg
Q	ค่าการถ่ายเทความร้อน	kJ
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}C$ or K
ρ	ความหนาแน่น	kg / m^3

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันนี้โรงหล่อพระพุทธรัตน(BUDDHARATANA BUDDHA IMAGE FACTORY) ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก ได้ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการหล่อพระพุทธรูป พระเครื่อง และรูปหล่อทองเหลืองทุกชนิด โดยในกระบวนการผลิตนั้นได้ใช้เตาเผาในการเผาแบบหล่อพระพุทธรูป และใช้ปูนปลาสเตอร์กับขี้ผึ้งในการทำแบบหล่อพระพุทธรูปเป็นหลัก ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเผาแบบหล่อพระพุทธรูปในปัจจุบันก็คือ การเผาในเตาส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงมาก ซึ่งความร้อนในส่วนนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเดือดของขี้ผึ้งที่ใช้ จึงทำให้ขี้ผึ้งเกิดการระเหยไปหมดไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้อีกครั้ง จึงเป็นการสูญเสียขี้ผึ้งอย่างมาก นอกจากนั้นความร้อนที่ใช้ไปนั้นก็ปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ และในปัจจุบันเตาของโรงหล่อพระพุทธรัตนที่ใช้อยู่ยังไม่มีคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีพอ เนื่องจากการเลือกใช้วัสดุและรูปแบบของเตาที่ยังไม่ดี จึงทำให้การเผานั้นเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงและขี้ผึ้งโดยไม่จำเป็น ซึ่ง ณ จุดนี้ทางผู้ประกอบการได้เล็งเห็นการสูญเสียดังที่กล่าวมานี้และเนื่องจากสภาพเตาที่ทรุดโทรมมากแล้ว จึงได้ขอความร่วมมือกับทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อออกแบบสร้างและปรับปรุงเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปแบบใหม่ที่สามารถลดการสูญเสียขี้ผึ้ง เชื้อเพลิงและพลังงานความร้อน

จากปัญหาข้างต้นนั้นทางคณะผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างปรับปรุงเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปแบบใหม่ โดยการนำไอร้อนที่ปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์มาใช้อีกครั้ง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อน ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง และสามารถนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้

1.เพื่อออกแบบและสร้างปรับปรุงเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปให้สามารถลดการสูญเสียขี้ผึ้ง เชื้อเพลิงและพลังงานความร้อน

2.เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปให้สามารถหล่อพระพุทธรูปได้เร็วและได้ปริมาณที่มากขึ้น

1.3 ขอบเขต

ศึกษา ออกแบบและสร้างปรับปรุงเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปให้สามารถนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการนำไอร้อนที่สูญเสียจากการเผาแบบหล่อพระพุทธรูปกลับมาใช้อีกครั้ง

1.4 กิจกรรมการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน - ปี						
	พ.ศ. 2550						
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1.ศึกษาปัญหาและเก็บข้อมูลการหล่อพระพุทธรูป							
2.ศึกษาลักษณะคุณสมบัติต่างๆของเตาเผา							
3.ออกแบบและสร้างปรับปรุงเตาเผา							
4.ทดลองและปรับปรุงแก้ไข							
5.ประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูล							
6.สรุปข้อมูลและเขียนรายงาน							

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 สามารถลดการสูญเสียขี้ผึ้ง และสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

2 สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนได้มากขึ้น

3 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อขี้ผึ้งได้

4 สามารถหล่อพระพุทธรูปได้เร็วขึ้นและได้ปริมาณที่มากขึ้น

5 สามารถพัฒนาเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันในกระบวนการสร้างพระพุทธรูป พระเครื่อง และรูปหล่อทองเหลืองต่างๆนั้น มีวิธีการสร้างและการเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์หลักๆ ที่คล้ายๆกันคือ มีเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูป เตาหลอมทองเหลือง เครื่องมือในการปั้นองค์พระพุทธรูป ปูนปลาสเตอร์ ขี้ผึ้ง ดินเหนียว ทองเหลือง และในการเผาแบบหล่อพระพุทธรูปนั้นก็มีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาหลายชนิดเช่น ก๊าซ LPG หรือใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงในการเผา เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาเผา

เตาเผา (Kilns) เป็นเครื่องมือที่ให้ความร้อน ควบคุมความร้อน การกระจายความร้อนให้กับชิ้นงานต่างๆ ซึ่งสามารถเผาให้อุณหภูมิที่สูงได้ รวมทั้งประหยัดและปลอดภัย ตลอดจนวัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาต้องมีคุณภาพดี เหมาะสม เป็นต้น

หลักการทั่วไปที่ควรคำนึงเกี่ยวกับเตาเผา ควรพิจารณาในหลักการต่างๆคือ เป็นเตาที่สามารถเร่งรัด และสามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูงตามต้องการ เป็นเตาที่สามารถกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา เป็นเตาที่มีความคงทน ต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆภายในเตาได้ดี เป็นเตาที่สามารถควบคุมความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นเตาที่ประหยัดเชื้อเพลิง มีความปลอดภัยสูง เป็นเตาที่ดูแลและบำรุงรักษาง่าย เป็นเตาที่มีอุปกรณ์ เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ เป็นเตาที่บรรจุผลิตภัณฑ์ และการนำออกได้สะดวกคล่องตัว เป็นเตาที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน เป็นเตาที่ใช้ได้สะดวก คล่องตัว เหมาะกับงานทุกประเภท

2.2.1 การแบ่งประเภทของเตา (Classification of Kiln)

เตาที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้มีผู้ออกแบบตลอดจนรูปร่าง ขนาด ให้เหมาะสมกับความต้องการและมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย ควบคุมสะดวก ได้แบ่งประเภทเตาตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

1.แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา

2.แบ่งตามประเภททางเดินของลมร้อน

3.แบ่งตามลักษณะของเปลวไฟ

4.แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง

1. แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา

แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ คือ

1.1 เตาเผาที่ไม่ต่อเนื่อง (Un continuous kiln) หมายถึง เตาเผาที่เผาเป็นครั้งคราว โดยเผาไม่ติดต่อกัน ต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อรอให้เตาเย็น จึงจะมีการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาใหม่ เป็นเตาที่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมภายในครอบครัว งานค้นคว้าวิจัย งานทดลองต่างๆ

1.2 เตาเผาชนิดกึ่งการต่อเนื่อง (Simi continuous kiln) เป็นเตาที่สามารถเผาได้เกือบติดต่อกันไป ทำให้เป็นการประหยัดเชื้อเพลิง โดยอาศัยความร้อนส่วนหนึ่งของเตาเผา และควรเป็นเตาชนิดที่ใช้รถบรรจุผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอีกคันหนึ่ง หมุนเวียนสลับกันไป

1.3 เตาเผาชนิดที่เผาต่อเนื่อง (Continuous kiln) เป็นเตาที่ออกแบบให้เผาติดต่อกันได้ตลอดเวลา เป็นเตาที่มีระบบการควบคุมได้ดี ลงทุนสูงใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

2. แบ่งตามประเภททางเดินของลมร้อน

เป็นการออกแบบเตาเผา ที่ให้ความร้อนเดินไปในทิศทางที่ต้องการ และได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งาน แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ คือ

2.1 เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนในแนวนอน (Horizontal draft kiln) เป็นเตาชนิดที่มีรูปร่างยาวขนานกับพื้นดิน หลังคาโค้ง ตลอดจนถึงแนวปล่อง เป็นเตาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง และสามารถเผาได้อุณหภูมิสูง ซึ่งได้แก่ เตาเผาสังคโลกที่มีชื่อเสียงในสมัยสุโขทัย ปัจจุบันเตาแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเนื่องจากต้นทุนสูงในการผลิต และเชื้อเพลิงที่ใช้ก็หายาก

2.2 เตาเผาชนิดทางลมร้อนขึ้น (Up draft kiln) เป็นเตาที่ลงทุนสร้างไม่แพงนัก เป็นเตาที่สร้างง่าย แต่อุณหภูมิเผาได้ไม่สูงมากนัก เป็นเตาเผาเคลือบไฟต่ำได้ดี

2.3 เตาเผาชนิดทางลมร้อนลง (Down draft kiln) เป็นเตาที่สามารถเผาในอุณหภูมิที่สูงได้ เป็นเตาเผาที่ใช้เทคนิคสูง และการลงทุนค่อนข้างแพง โดยเฉพาะวัตถุที่ใช้ในการก่อสร้างเตา ต้องมีคุณภาพดี สามารถทนต่อสภาวะต่างๆได้

3.แบ่งตามลักษณะของเปลวไฟ

เตาที่เผาผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันนี้ เตาบางประเภทมักออกแบบเป็นเตาให้เปลวไฟสัมผัสผลิตภัณฑ์โดยตรงก็มี แต่เตาบางชนิดก็ออกแบบไม่ให้ เปลวไฟสัมผัสผลิตภัณฑ์เลยก็มี ซึ่งการออกแบบเตาเผาต้องมีลักษณะแตกต่างกัน คือ

3.1 เตาเผาชนิดเปลวไฟสัมผัส (Direct firing kiln) เป็นเตาขนาดใหญ่ ใช้เผาผลิตภัฑณ์ประเภทสิ่งก่อสร้าง อิฐ กระเบื้อง ท่อ อิฐทนไฟ เป็นเตาที่ให้อุณหภูมิสูง ส่วนมากใช้ในการเผาผลิตภัฑณ์ที่ไม่เคลือบ

3.2 เตาเผาชนิดกึ่งป้องกันไฟ (Semi muffle kiln) เป็นเตาชนิดที่ออกแบบให้มีกำแพงไฟ (Buffle wall) ให้เปลวไฟสัมผัสกำแพงไฟโดยตรง เตาชนิดนี้ใช้เผาเคลือบได้ดี

3.3 เตาเผาชนิดเตาปิด (Muffle firing kiln) เป็นเตาเผาที่ออกแบบให้มีระบบป้องกันเปลวไฟสัมผัส โดยใช้วัสดุทนไฟสร้างเป็นหีบป้องกันไฟโดยตรง ใช้เผาเคลือบได้ดี

4. แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง

เตาที่เผาผลิตภัณฑ์ จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง ตลอดจนรูปร่างและขนาดของเตาจะต้องดัดแปลงแก้ไขให้เหมาะสมกับงาน รวมทั้งการประหยัดและให้ผลคุ้มค่า กล่าวคือ

4.1 เตาเผาชนิดที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง (Wood Firing kiln) จะต้องออกแบบให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดี และสามารถเผาได้อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะขี้เถ้าจะต้องถ่ายเทได้ได้สะดวก

4.2 เตาเผาที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Coal firing kiln) เป็นเตาที่เผาได้อุณหภูมิสูง แต่การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงจะต้องออกแบบให้เหมาะสม ช่องที่จะใส่เชื้อเพลิง และการระบายขี้เถ้าในเตาต้องสมดุลย์กัน

4.3 เตาเผาชนิดที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (Gas firing kiln) เป็นเตาเผาที่ให้อุณหภูมิสูง สามารถเผาแบบ oxidizing หรือ Reduction

4.4 เตาเผาชนิดที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (Oil Firing kiln) อาจออกแบบให้ใช้น้ำมันประเภทโซล่า หรือน้ำมันเตาก็ได้

4.5 เตาเผาชนิดไฟฟ้า (Electric Firing kiln) เป็นเตาเผาที่ให้อุณหภูมิสูง และสามารถเร่งความเร็วและอุณหภูมิได้ตามต้องการ เป็นเตาเผาแบบ oxidizing เท่านั้น

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับเตาหลอม

เตาหลอมที่ใช้เชื้อเพลิง (fuel-fried furnace) มี 2 แบบ คือ

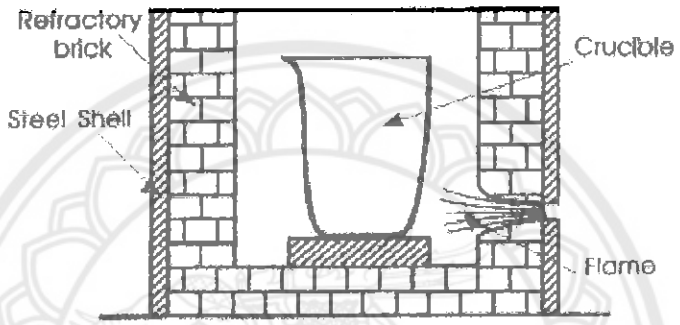
Indirect-flame คือ เปลวไฟที่ไม่ได้พุ่งมากระทบที่โลหะที่จะหลอมโดยตรง เช่น Pot Furnace, electrical resistance furnace

Direct- flame แบบนี้เปลวไฟจากการสันดาป จะพุ่งมากระทบที่เนื้อโลหะที่จะหลอมโดยตรง เช่น reverberatory furnace แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบสร้างเตาบางครั้งก็ทำให้เตาแบบ Pot หรือ Crucible มีลักษณะใกล้เคียงกับ Direct- flame

2.3.1 เตาเบ้า (Crucible Furnace)

เตาเบ้า (Crucible Furnace) เป็นเตาที่หาได้ง่ายผลิตได้ง่าย ราคาทุนต่ำ เลือกใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อนได้สะดวก ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ ได้ดี นิยมใช้ในกระบวนการหลอมพวกโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non Ferrous) เช่นอลูมิเนียม, ทองแดง และทองเหลือง เป็นต้น

ตัวเบ้าที่ใช้ทำมาจากกราไฟท์ผสมกับดินเหนียว (Clay) ผสมผสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถคงทนต่อสภาวะอุณหภูมิสูงได้พอสมควร หรือทำจากกราไฟท์หรือดินเหนียวเพียงอย่างเดียว นิยมใช้น้ำมันโซล่า หรือ น้ำมันดีเซล หรือแก๊สธรรมชาติ (แก๊สหุงต้ม) เป็นเชื้อเพลิงในการหลอมโลหะ หรือในบางทีอาจใช้ถ่ายไม้เป็นเชื้อเพลิงก็ทำได้เช่นกัน เตาหลอมแบบนี้มีความสามารถในการหลอมแต่ละครั้งได้ตามขนาดของเบ้า อีกทั้งยังใช้ได้ง่ายในขบวนการทำงานของเตาไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนักจึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในโรงฝึกงานช่างหล่อโลหะในสถานศึกษาทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน รวมไปถึงตามโรงงานอุตสาหกรรมการหล่อโลหะไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็กหรือขนาดกลาง ก็นิยมใช้เตานี้อยู่เสมอมา



รูปที่ 2.1 เตาหลอมแบบ เตาเบ้า (Crucible Furnace)

ข้อดีของเตาหลอมเบ้า

-สูญเสียเชื้อเพลิงต่ำ (Melting Loss)

-คุณลักษณะทางด้านโลหะวิทยาดี (Metallurgy)

-ต้นทุนต่ำ

-ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

-ติดตั้งและใช้งานได้ง่าย

-ประหยัดค่าใช้จ่ายในค้สนการซ้อมบำรุง

2.3.2 ประเภทของเตาหลอมเบ้า

แบบใช้ตักน้ำโลหะออก (Bail-out)

เตาชนิดนี้เหมาะกับการหลอมโลหะที่มีจุดหลอมละลายไม่สูง เช่น อลูมิเนียมผสม จะใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันก๊าซหรือไฟก็ได้ ถ้าเป็นการไฟฟ้า ก็เป็นระบบเดียวกันกับการใช้ไฟฟ้าในการต้มน้ำ เนื่องจากใช้เบ้าเป็นเหล็ก อาจเป็นเหล็กเหนียวหรือเหล็กหล่อก็ได้ และเตาชนิดนี้จะติดอยู่กับที่

การจะเอาน้ำโลหะออกจึงต้องใช้วิธีตักออกไปเท มีความเหมาะสมกับการหล่อประเภทที่น้ำโลหะไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติมากนัก เบ้าที่ใช้ในการหล่อมักจะใช้วัสดุทนไฟบุไว้ภายในเบ้า

แบบยกเบ้าออกได้ (Lift-out Crucible)

เตาชนิดนี้ต่างกันกับชนิดแรกคือ เบ้าสามารถยกออกได้โดยใช้เครื่องทุ่นแรง ซึ่งเบ้าจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ขึ้นอยู่กับขนาดของเตา มีฝาด้านบนเปิดปิดได้เพื่อให้ยกเบ้าออกและเบ้าทำด้วยกราไฟท์ (Graphite) ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันและก๊าซเป็นเชื้อเพลิง เหมาะกับการหล่ออลูมิเนียมผสมและทองแดงผสม เนื่องจากสามารถเปลี่ยนเบ้าได้ง่าย การหล่อโลหะที่มีส่วนผสมต่างๆกัน จึงทำได้ดี โดยสับเปลี่ยนเบ้าได้ง่าย การใช้เตาชนิดนี้หล่อเปลวไฟสัมผัสกับน้ำโลหะเพื่อป้องกันน้ำโลหะ จึงจำเป็นต้องใช้ฟลักซ์ คุมผิวหน้าน้ำโลหะ

แบบเททั้งเบ้า (Tilting-Crucible)

เตาชนิดนี้มีการทำงานโดยเมื่อหลอมโลหะละลายแล้ว สามารถเอียงเบ้าเทน้ำโลหะออกได้ เหมาะกับการหล่อทองแดงผสม ใช้เบ้าซึ่งทำด้วย Graphite ใช้น้ำมันและก๊าซเป็นเชื้อเพลิง โดยมากเป็นเตาขนาดที่ใช้หลอมโลหะตั้งแต่ 150-1000 กก. ต่อครั้งและเบ้าด้านบนจะโผล่ผิวหน้าขึ้นมาเล็กน้อย

แบบ Immersion Crucible

เตาแบบนี้มีลักษณะพิเศษคือ การให้ความร้อนจะให้จากภายในเบ้า ความร้อนจะกระจายออกรอบๆ เบ้าซึ่งมีโลหะอยู่ ด้านหนึ่งจะเป็นที่เติมโลหะ อีกด้านหนึ่งจะเป็นที่ตักน้ำโลหะออก ใช้น้ำมันและก๊าซเป็นเชื้อเพลิงเหมาะกับการใช้หลอมอลูมิเนียม ใช้เบ้าซึ่งเป็นเหล็ก เตาชนิดนี้สามารถติดต่อกันได้และมีข้อดี คือ ประหยัดเชื้อเพลิงและเบ้าใช้งานคงทน

ข้อคิดในการเลือกใช้เตาเบ้าชนิดใด

-เชื้อเพลิงที่ใช้ (น้ำมัน หรือแก๊ส)

-การนำไปใช้งาน (หลอมอะไร)

-ผลผลิตในแต่ละวัน (โรงงานหล่อหลอม)

-ความต่อเนื่องในการเทน้ำโลหะลงสู่แบบหล่อ

-ขนาดของชิ้นงานหล่อที่ต้องการ

ข้อควรระวังในการใช้เตาเบ้า

การติดตั้งเตาเบ้า ควรจะทำการติดตั้งไว้บริเวณกึ่งกลางของตัวเตา และต้องมีระยะห่าง (Gap) จากผนังของตัวเตาให้เหมาะสมทุกๆด้านของตัวเบ้าหลอม

การเก็บเบ้า ต้องเป็นที่แห้งๆ ปราศจากความชื้นใดๆ

การตรวจสอบเบ้า ตรวจดูรอยร้าวรอยแตกระแหงต่างๆ ของตัวเบ้าก่อนนำไปใช้งานทุกๆครั้ง เพื่อความปลอดภัยแก่ตัวเตาและผู้ปฏิบัติงานหล่อหลอมเบ้าเตา

2.4 ขั้นตอนการหล่อองค์พระพุทธรูป

ขั้นตอนการหล่อพระพุทธรูปโดยสรุปมีดังต่อไปนี้

1.เลือกแบบที่จะนำมาหล่อ
จากนั้นนำมาปั้นองค์ด้วยดินเหนียว

2.นำปูนปลาสเตอร์มาปั้นทับแบบดินเหนียว

3.เมื่อปูนปลาสเตอร์แห้งจึงเอาดินเหนียวออกก็จะได้
แบบปูน

4.นำแบบปูนมาแยกเป็นส่วนๆ จากนั้นนำขี้ผึ้งมาทา
ที่ด้านในของแบบปูนให้หนาพอประมาณ

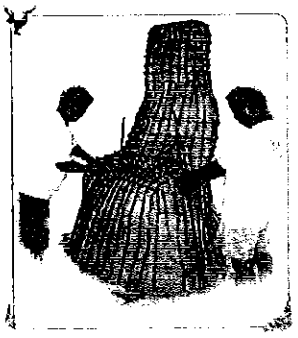
5.เมื่อทาขี้ผึ้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการติดชนวน เพื่อให้น้ำทองไหล

6.เมื่อทาขี้ผึ้งและติดชนวนเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำแบบมาประกบกันจากนั้นจึงเทปูนด้านในของแบบ

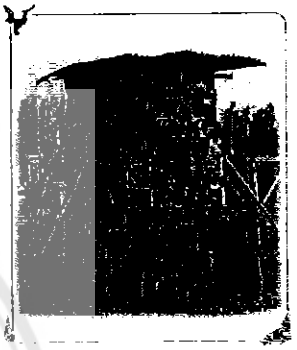
7.นำแบบปูนมาทุบปูนข้างนอกออก จากนั้นจึงตกแต่งหุ่นขี้ผึ้ง

8.เมื่อตกแต่งหุ่นขี้ผึ้งเสร็จแล้ว จึงทำการติดชนวนที่ด้านนอก เพื่อให้น้ำทองไหลสะดวกเวลาเท

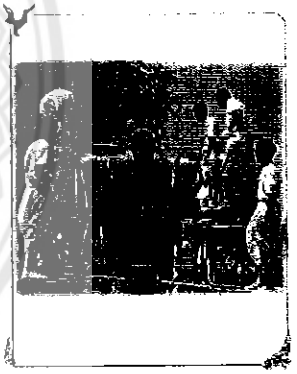
9.นำปูนมาพอกอีกครั้งให้หนาพอประมาณ
จากนั้นจึงเข้าลวดเพื่อป้องกันแบบแตกขณะเผา



10.นำแบบมาเผาในเตาอิฐจนขี้ผึ้งละลายออกมาหมด



11.จากนั้นจึงเททองที่ได้หลอมไว้แล้วลงไปในแบบ
ที่ได้เผาในเตาอิฐจนขี้ผึ้งละลายออกมาหมดแล้ว



12.เมื่อแบบที่เททองเย็นตัวแล้วจึงนำมาทุบปูนออก
แล้วจึงตกแต่งองค์พระให้สวยงาม

รูปที่ 2.2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการหล่อพระพุทธรูป

(http://www.boonluen.com/images/punpra/main-punpra.htm)

2.5 คุณสมบัติของวัสดุ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุ

วัสดุ	อุณหภูมิ K	k $(W/m\cdot K)$	ρ (kg/m^3)	C_p $(J/kg\cdot K)$	Melting point (° C)	Boiling point (° C)
Paraffin Wax	300	0.240	900	2890	48-66	370
ปูน ปลาสเตอร์	293	0.482	1440	837	-	-
Fire clay brick	478 922 1478	1.0 1.5 1.8	2645 2645 2645	960 960 960	-	-
Cement mortar	300	0.72	1860	780	-	-

(ที่มา - Frank P. Incropera & David P. Dewitt, **Fundamentals of Heat and Mass Transfer 5th** , John Wiley & Sons.)

2.6 คุณสมบัติของแก๊สหุงต้มหรือแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas: LPG)

LPG คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีหลายชนิดด้วยกันขึ้นอยู่กับการรวมตัวของคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยแก๊สโพรเพน (Propane) และแก๊สบิวเทน (Butane) เป็นส่วนประกอบหลัก ก๊าซเหล่านี้มีคุณสมบัติพิเศษที่ว่าเมื่อได้รับความเย็น หรือความดันจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้ และจะบรรจุในสภาพเป็นของเหลวโดยการอัดให้มีความดันประมาณ100 - 130 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (หรือ 6.8 – 8.8 บาร์)

ก๊าซ LPG เกิดขึ้นได้ 2 วิธี

1.ผลิตจากกระบวนการกลั่นน้ำมันในโรงกลั่นน้ำมันต่างๆ

2.ผลิตจากกระบวนการแยกแก๊สของแก๊สธรรมชาติ

2.6.1 คุณสมบัติของ LPG

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ LPG

ชื่อ / คุณสมบัติ		PROPANE	N - BUTANE	LPG
สูตรโมเลกุล		C_3H_8	C_4H_{10}	C_3H_8 50% C_4H_{10}50%
จุดเดือด (^{0}C)		-42.7	-0.05	-21.375
ความดันไอ (kg/cm^2, 20 ^{0}C)		8	2	5
ถ.พ.	ของเหลว น้ำ = 1 (15^{0}C)	0.508	0.584	0.546
	ก๊าซ อากาศ = 1(15^{0}C)	1.548	2.071	1.8095
จุดเดือดติดไฟ (^{0}C)		461	441	451
ค่าความร้อน (kcal/kg)		12,034	11,932	11,983
ช่วงการลุกไหม้ (% ในอากาศ)		2.37-9.50	1.86-8.11	2.00-9.00
ความเร็วสูงสุดของเปลวไฟ (m/sec "ในอากาศ")		0.81	0.825	0.8175
ปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปอย่างสมบูรณ์ (kg/kg)		15.71	15.49	15.6
ความร้อนแฝงของการระเหย (kcal/kg)		101.8	62.09	81.945

<u>หมายเหตุ</u> ใช้ LPG ที่ 50% โพเพน และ 50% บิวเทน

(ที่มา http://www.gasforcar.com/lpg.html)

2.6.2 คุณสมบัติพื้นฐานของแก๊ส LPG

ความดันไอ

คือ ความดัน ณ จุดที่ของเหลวได้รับความร้อนกลายเป็นไอจนกระทั่งเกิดการเดือด ส่วน LPG ที่บรรจุอยู่ในถังจะมีโมเลกุลของโพรเพน และบิวเทน เคลื่อนตัวอยู่ และจะไปชนผนังของถัง ความแรงของการชนจะเป็นกิโลกรัมต่อ 1 ตารางเซนติเมตร นั้นคือค่า "ความดันไอของก๊าซ" ซึ่งสามารถถือได้ว่าเป็นความดันของ LPG ในถังได้

ความถ่วงจำเพาะ

LPG มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2 ชนิด คือ ในสภาพที่เป็นของเหลวและก๊าซ ความถ่วงจำเพาะในสภาพของเหลวจะเปรียบเทียบกับน้ำที่ 1 ^{0}C ซึ่งให้มีความถ่วงจำเพาะเป็น 1 ส่วนควาถ่วงจำเพาะในสภาพก๊าซจะเปรียบเทียบกับอากาศที่ 0 ^{0}Cความดัน 1 บรรยากาศซึ่งให้มีความถ่วงจำเพาะเป็น 1

ก. ความถ่วงจำเพาะในสภาวะที่เป็นของเหลว

ความถ่วงจำเพาะในสภาวะที่เป็นของเหลวค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ถ้าสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามอุณหภูมิมีค่ายิ่งสูง ค่าความถ่วงจำเพาะก็ยิ่งลดลง ที่อุณหภูมิปกติ (15^{0}C) โพรเพนเหลวมีความถ่วงจำเพาะเป็น 0.508 ส่วนบิวเทนเหลวมีความจำถ่วงจำเพาะเป็น 0.584

ข. ความถ่วงจำเพาะในสภาวะที่เป็นก๊าซ

ความถ่วงจำเพาะในสภาวะที่เป็นก๊าซของโพรเพนเป็น 1.55 และของบิวเทนเป็น 2.07 ซึ่งหนักเกือบเป็น 2 เท่าของอากาศ ก๊าซที่รั่วออกมาจะสะสมอยู่ในที่ต่ำ

ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Heating Value) เป็นค่าพลังงานความร้อน ของเชื้อเพลิงเมื่อเทียบต่อ 1 หน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของเชื้อเพลิง โดยมีหน่วยเป็น kJ/kg, kcal/kg และค่าความร้อนของ LPG มีประมาณ 12,000 kcal/kg

ช่วงการลุกไหม้

ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียว คือช่วงที่จุดไฟแล้วลุกไหม้เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณพอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ของปริมาตรก๊าซ / อากาศ ส่วนก๊าซ LPG จะลุกไหม้ในช่วงประมาณ 2-9 %ในอากาศ

LPG ที่อุณหภูมิปกติอยู่เหนือจุดวาบไฟเสมอ เมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว แม้จะไม่มีสาเหตุของการติดไฟ เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้ตามธรรมชาติ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่า จุดติดไฟ

2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับปูนปลาสเตอร์

ปูนปลาสเตอร์ทำมาจากแร่ยิปซัม ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต ในโครงผลึกจะมีน้ำ 2 หน่วยต่อแคลเซียมซัลเฟต 1 หน่วย เมื่อนำยิปซัมมาเผาแคลไซน์ น้ำบางส่วนจะระเหยออกไปกลายเป็นปูนปลาสเตอร์ ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต ในโครงผลึกจะมีน้ำเพียง 1 หน่วยต่อแคลเซียมซัลเฟต 2 หน่วย ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นเมื่อเราเติมน้ำให้กับปูนปลาสเตอร์ ปูนปลาสเตอร์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นผลึกรูปเข็มของยิปซัมและกลายเป็นก้อนแข็งอีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวนี้จะกินเวลาประมาณ 20-30 นาที ซึ่งยาวนานพอที่ปูนเหลวจะไหลตัวเต็มตัวในแบบพิมพ์ได้อย่างอิสระ ปูนปลาสเตอร์จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมมาก กับการหล่อแบบให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามต้องการ ปูนปลาสเตอร์ที่เริ่มแข็งตัวใหม่ๆ จะค่อนข้างร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาการเซ็ตตัวของปูนปลาสเตอร์จะคลายความร้อน ออกมาด้วยนั่นเอง

ประโยชน์ของปูนปลาสเตอร์ที่สำคัญคือ ใช้ในการหล่อแบบเป็นชิ้นงาน เช่น หน้ากากตุ๊กตาและสิ่งของประดับบ้าน ทำเฝือกสำหรับคนไข้ที่ประสบอุบัติเหตุ กระดูกแขนหรือขาหัก ใช้พิมพ์รอยมือหรือเท้าสำหรับศึกษาและงานสืบสวน รวมถึงทำแบบพิมพ์สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก การใช้ปูนปลาสเตอร์ทำแบบ สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีข้อดีหลายประการ เนื่องจากปูนปลาสเตอร์มีความแข็งแรงและผิวหน้าเรียบ สามารถเก็บรายละเอียดต่างๆ ของต้นแบบได้ดี รวมถึงมีรูพรุนมาก จึงสามารถดูดน้ำออกจากเนื้อดินได้ ทำให้เนื้อดินแห้งเร็วกว่าการใช้วัสดุอื่นทำแบบ นอกจากนั้นยังมีราคาถูกอีกด้วย ข้อควรระวังในการทำแบบปูนปลาสเตอร์คือ จะต้องกำจัดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนปลาสเตอร์กับน้ำออกให้หมด มิฉะนั้นจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำของแบบที่ได้ เพราะเหตุนี้ทางโรงหล่อจึงได้นำปูนปลาสเตอร์มาผสมกับทรายระเอียดเพื่อที่จะนำมาทำเป็นแบบหล่อพระที่เหมาะสมที่สุด

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับพาราฟิน

ขี้ผึ้งพาราฟินเป็นไขมันที่ได้จากการกลั่นจากปิโตรเลียม ซึ่งจะได้สารเคมีในกลุ่ม Alkane Hydrocarbon โดยมีสูตรโครงสร้างคือ C_{6H2n+2} มีลักษณะใสไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ คล้ายขี้ผึ้งจุดหลอมเหลวที่ 47-64 °C และมีจุดเดือดที่ 370 °C ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ใน Ether, Benzene และ Ester บางชนิด ซึ่งพาราฟินบริสุทธิ์จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมาย และ มีหลายสถานะด้วยกัน

การใช้งานหรือประโยชน์แบ่งตามสถานะได้แก่

-แก๊ส

ใช้เป็นเชื้อเพลิง

-ของเหลว

ใช้เป็นเชื้อเพลิง

ใช้เป็นยารักษาโรค

ใช้ในการทำครัว

-ในรูปขี้ผึ้ง

ใช้ผลิตเทียน

ใช้เคลือบกระดาษบางชนิด

ใช้เคลือบเสื้อผ้า

ใช้เป็นส่วนผสมของขาหม่อง

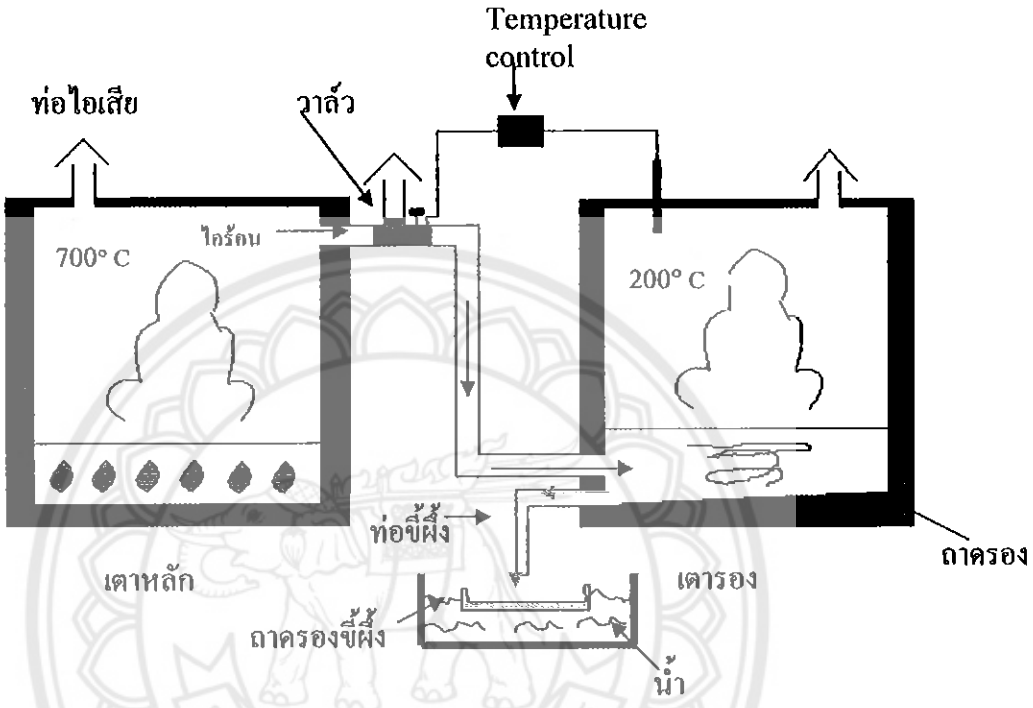
ใช้ทาปาก-ผิวเพื่อลดความหยาบ กร้าน

บทที่ 3

แนวคิดและการออกแบบ

3.1 แนวคิดในการออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูป

จากปัญหาดังกล่าวในตอนต้นจึงคิดปรับปรุงเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูป

แนวคิดนี้จะเป็นการนำไอร้อนที่เตาหลักซึ่งเป็นเตาที่ใช้เผาแบบหล่อพระพุทธรูปมาใช้เป็นตัวให้ความร้อนกับอีกเตาที่ใช้เป็นเตารองหรือเตาหลอมขี้ผึ้ง เพื่อนำขี้ผึ้งออกจากแบบหล่อ โดยต่อท่อเชื่อมกันเพื่อเป็นทางไหลของไอร้อน ซึ่งจะควบคุมด้วยวาล์ว เพื่อที่จะควบคุมอัตราการไหลและอุณหภูมิ

ส่วนภายในเตานั้นด้านล่างหรือพื้นเตาจะใส่ถาดเหล็กลงไปเพื่อรองรับขี้ผึ้งที่ละลายออกจากแบบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถาดนั้นจะลาดเอียงเล็กน้อย เพื่อความสะดวกในการไหลของขี้ผึ้ง จากนั้นจะเจาะรูที่มุมด้านหัวเตาเพื่อให้น้ำขี้ผึ้งไหลออกมา แล้วต่อท่อมายังถาดรองอีกถาดที่จะทำให้ขี้ผึ้งแข็งตัว ในส่วนของฐานวางแบบจะทำเป็นช่องๆคล้ายตระแกรง เพื่อสะดวกที่ขี้ผึ้งจะไหลลงถาดรองได้ง่ายขึ้น และฝาปิดจะทำเป็นฝาปิดเรียบธรรมดา เพื่อสะดวกในการเปิด - ปิด แต่จะมีท่อไอที่ด้านบนหนึ่งท่อ เพื่อไว้ใช้ระบายไอที่มากเกินไป

3.1.1ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำหนักทองเหลืองที่ใช้ในโรงหล่อ

ตารางที่ 3.1 สถิติการใช้แก๊ส LPG ในการเผาแบบหล่อพระของโรงหล่อพระพุทธรัตน

วันที่	น้ำหนักทอง(kg)	น้ำหนักขี้ผึ้ง(kg)	จำนวนแก๊ส ขนาด 48 kg (ถัง)	kg/kg (ทองเหลือง)
29/06/50	130	13	1	0.35
02/07/50	295	29.5	2	0.31
06/07/50	655	65.5	4	0.28
25/07/50*	338	33.8	2	0.27
08/08/50	15	1.5	0.5	1.52
14/08/50	60	6	1	0.76
20/08/50**	90	9	1	0.51
22/08/50	98	9.8	1	0.47
27/11/50	113	11.3	1	0.4
25/01/51	216	21.6	2	0.42
รวม	2010	201	15.5	เฉลี่ย = 0.35

ให้แก๊ส LPG เหลือติดถัง 5% (ที่มา: โรงหล่อพระพุทธรัตน)

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักทองที่เทเข้าแบบหล่อขนาดต่างๆ

ขนาดแบบหล่อ (นิ้ว)	น้ำหนักทองเหลือง (kg)
2	0.5
3	1
3.9	1.5
5	2.5
5.9	3
7	4
7.9	6
9	8
9.9	12
12	15

ขนาดเรือนแก้ว (นิ้ว)	น้ำหนักทองเหลือง(kg)
2	0.5
3	1
3.9	1.5
5	2.5
5.9	4
7	4
7.9	4
9	6
9.9	7
12	8

(ที่มา : โรงหล่อพระพุทธรัตน)

หลักในการคำนวณ คือ คิดจากน้ำหนักทองเหลืองที่ใช้ในการหลอมแล้วเทเข้าไปในแบบเป็น 10 เท่าของน้ำหนักขี้ผึ้ง ซึ่งที่มาเป็นการคิดจากความหนาแน่นของขี้ผึ้งกับทองเหลือง คือ

$\rho_{paraffin} = 900kg/m^3$ และ $\rho_{brass} = 8700kg/m^3$

ซึ่งความหนาแน่นทองเหลืองต่อขี้ผึ้งคือ 8700/900=9.66 โดยโรงหล่อใช้ประมาณ 10 เท่า

3.2 การทดลองเผาแบบจำลอง

เนื่องจากเราไม่ทราบค่าเบื้องต้นต่างๆในการทำการเผาชิ้นงานในการหล่อพระ ดังนั้นเราจึงต้องมีการทำการทดลองเพื่อหาค่าต่างๆ คือ ปริมาตรเชื้อเพลิงที่ใช้ อุณหภูมิในสภาวะต่างๆ เวลาในการเผา ปริมาณขี้ผึ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ และรวมถึงค่าความร้อนต่างๆ โดยได้ทำการสร้างเตาจำลองขึ้นมาจากเตาถ่านทั่วไป และทำชิ้นงานจำลองขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบและเผาเพื่อวัดเก็บค่าและข้อมูลต่างๆ แล้วนำไปใช้ในการออกแบบ

3.2.1อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเผาแบบจำลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเผาแบบจำลองประกอบไปด้วย

1.เตาถ่านที่ดัดแปลงแล้วเพื่อทดลองเผาแบบจำลอง

2.แก๊สหุงต้ม หรือ แก๊ส LPG

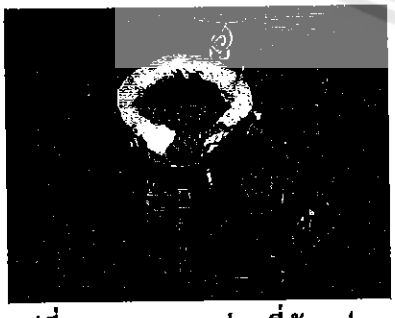
3.หัวเผาแก๊ส

4.ฝาปิดที่ทำจากเหล็กแผ่น

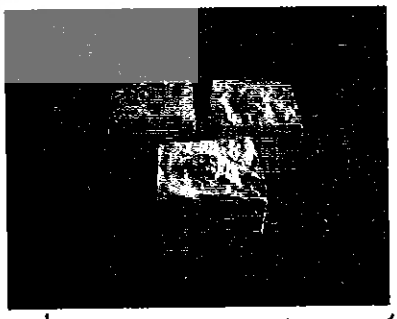
5.แบบจำลองที่ทำจากปูนปลาสเตอร์และขี้ผึ้ง

6.เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

7.ตาชั่ง สำหรับชั่งน้ำหนักแบบจำลองและแก๊ส LPG

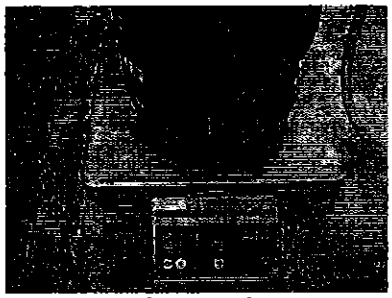


รูปที่ 3.2 แสดง เตาถ่านที่ดัดแปลงแล้ว, ถังแก๊ส, หัวเผาแก๊สและฝาปิด



รูปที่ 3.3 แบบจำลองปูนปลาสเตอร์และบรรจุขี้ผึ้งข้างใน

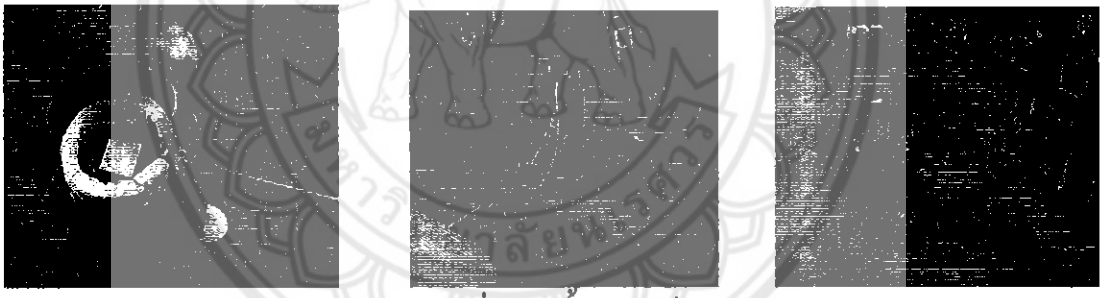
รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.5 ตาชั่ง

3.2.2 วิธีทำการทดลอง

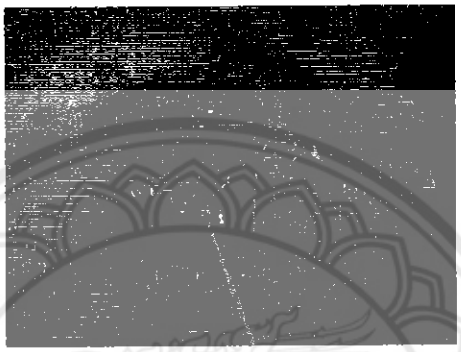
เริ่มต้นจากการติดตั้งอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วย เตาถ่านที่ดัดแปลง, ถังแก๊ส, หัวเผาแก๊ส และฝาปิด เข้าด้วยกันเพื่อเตรียมเผาแบบจำลองแล้วจึงติดเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผนังภายในเตา จากนั้นนำแบบจำลองไปชั่งน้ำหนักก่อนเผาและชั่งน้ำหนักแก๊สก่อนเผา แล้วนำแบบจำลองมาเผาไปเรื่อยๆ จนขี้ผึ้งละลายออกมา โดยระหว่างการเผาแบบจำลองต้องจับเวลาและสังเกตอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและจดบันทึกค่า เมื่อเผาจนแน่ใจว่าขี้ผึ้งละลายหมดแล้วจึงหยุดเผา แล้วนำขี้ผึ้งที่ได้ไปชั่งเปรียบเทียบกับก่อนเผา



รูปที่3.6ติดตั้งอุปกรณ์

รูปที่3.7ทำการเผาแบบจำลอง

รูปที่3.8แสดงขี้ผึ้งละลายออกมาที่อุณหภูมิ 205-220 องศาเซลเซียส



รูปที่3.9 วัดอุณหภูมิไอเสียได้ 230-350 องศาเซลเซียส

รูปที่3.10 นำขี้ผึ้งที่ได้ไปชั่งและเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้ก่อนการทดลอง

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองเผาแบบจำลอง

	น้ำหนัก แก๊ส+ถัง (kg)	อุณหภูมิใช้ เผาแบบ จำลอง (°C)	อุณหภูมิที่ ขี้ผึ้งไหล (°C)	น้ำหนัก ของขี้ผึ้ง (kg)	อุณหภูมิไอ เสีย (°C)	เวลาในการ เผา (นาที)
ก่อนเผา	31.8	30	30	0.14	30	0
หลังเผา	31.17	220	220	0.14	230-350	50-60

3.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองเผาแบบจำลอง

จากการทดลองเผาแบบจำลองคิดตามสัดส่วนดังนี้

- น้ำหนัก LPG ที่ใช้ = 0.63 kg
- น้ำหนักแบบจำลองที่ใช้ = 1.64 kg
- สัดส่วนของแบบจำลองปูน: ขี้ผึ้ง = 10.7: 1

จากข้อมูล น้ำหนักขี้ผึ้งคือ 0.14 kg ดังนั้นคิดเป็นน้ำหนักขี้ผึ้งต่อน้ำหนักแบบ คือ

(0.14/1.64)x100= 8.5%

ดังนั้น 1 kg (แบบ) มีขี้ผึ้ง 85 g คิดเป็น 0.085 kg และคิดเป็นน้ำหนักทองเหลือง 850 g หรือ 0.85 kg

และ 1 kg (แบบ) ใช้ก๊าซ LPG 0.63/1.64 = 0.384 kg

และ 1 kg (แบบ) ใช้ปูน 1.5/1.64 = 0.91 kg

ดังนั้น 1 kg ทองเหลือง ใช้ LPG คือ 0.384/0.85 = 0.45 kg (LPG)/ kg (ทองเหลือง)

- ดังนั้นต้องใช้ความร้อนในการเผาแบบจำลองทั้งหมด

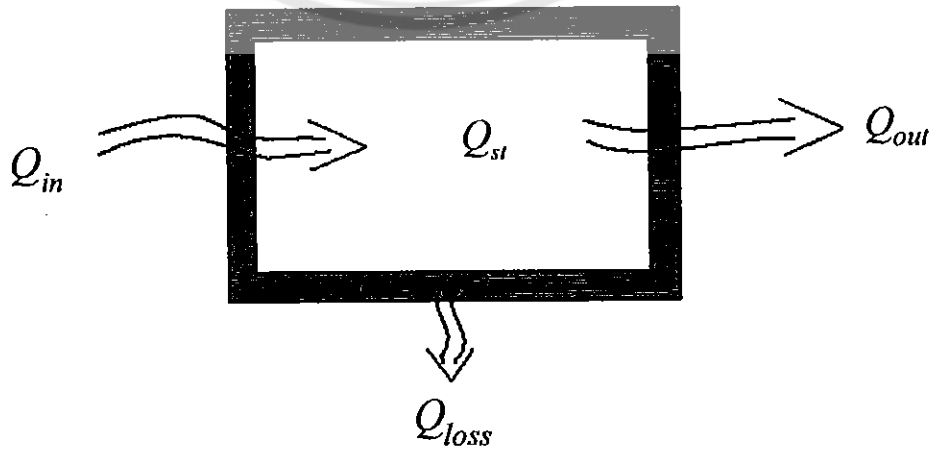
(0.45) × *49,957 = 22,480 kg/ kg (ทองเหลือง)

*จากตาราง B.1 ในหนังสือ An Introduction Combustion ของ Stephen R. Turns

HHV หาได้โดยใช้ โพเพน 50% =50,368 kJ/kg และบิวเทน 50% = 49,546 kJ/kg

ได้ค่า $HHV_{LPG} = 49,957 \frac{kJ}{kg}$

หาค่าความร้อน



รูปที่ 3.11 แสดงสมดุลความร้อนของการเผาแบบจำลอง

สมการสมดุลความร้อนคือ $Q_{in} = Q_{st} + Q_{out} + Q_{loss}$

หา Q_{st} : $Q_{st} = (m_{wax} c_{p,wax} \cdot \Delta T) + (m_{plaster} c_{p,plaster} \cdot \Delta T)$

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

$m_{wax} = 0.085kg$ (แบบ) $m_{plaster} = 0.91kg$ (แบบ)

$C_{P,wax} = 2.89kJ/kg.K$ $C_{P,plaster} = 0.837kJ/kg.K$

$T_i = 25^\circ C$ $T_o = 700^\circ C$

แทนค่าในสมการได้

$$Q_{st} = (0.085)(2.89)(350 - 25) + (0.91)(0.837)(700 - 25)$$

$\therefore$ $Q_{st} = 593.97kJ$ (คิดต่อ 1kg แบบ)

ดังนั้นคิดต่อ 1 kg ทองเหลืองคือ $Q_{st} = 593.97kJ / 0.85kg = 698.8kg/kg$ (ทองเหลือง)

สมมติให้เตาทั้งหมดมีปริมาตร 1 m^3 และบรรจุแบบหล่อที่บรรจุทองเหลืองได้ 300 kg

ดังนั้น $Q_{st} = 698.8\,kg/kg$ (ทองเหลือง) $\times 300\,kg = 209.64\,MJ$

หา Q_{in} : $Q_{in} = \eta_{comb} \cdot m_f \cdot HHV$

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(สมมุติให้ค่า η_{comb} เป็น 50 %)

$m_f = 0.384kJ/kg$ (แบบ)

แทนค่าในสมการได้

$$Q_{in} = (0.5)(0.384)(49{,}957\,\frac{kJ}{kg})$$

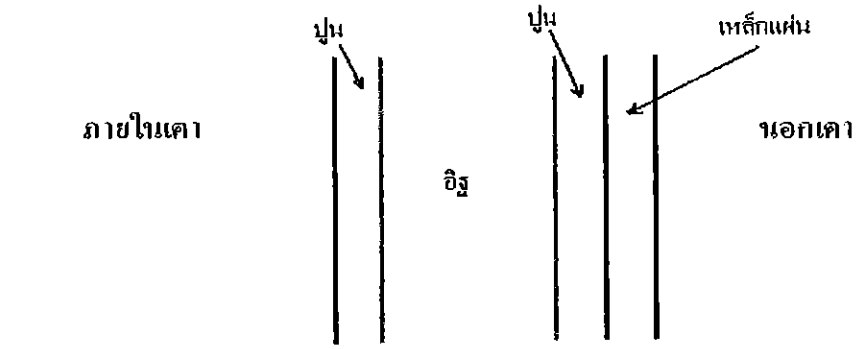
$\therefore Q_{in}$ คือ $Q_{in} = 9.6MJ$ (คิดต่อ 1kg แบบ)

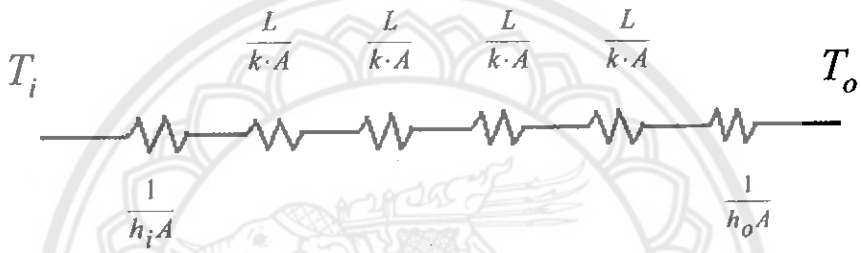
ดังนั้นคิดต่อ 1 kg ทองเหลืองคือ $Q_{in} = 9.6MJ / 0.85kg = 11.3MJ/kg$ (ทองเหลือง)

สมมติใช้ทองเหลือง 300 kg

ดังนั้น $Q_{in} = 11.3 \times 300 = 3390MJ$

หา Q_{loss} :





รูปที่ 3.12 แสดงผนังเตาและความร้อนที่ผ่านผนังเตา

หาได้จากสมการ $$Q_{loss} = \frac{T_i - T_o}{R_{TOT}}$$

จากข้อมูลของวัสดุที่ทำผนังเตา

$$L_{brick} = 0.076m. \quad , L_{mortar} = 0.01m. \quad , L_{steel} = 0.0005m.$$

$$A = 1m^2$$

จากตาราง A.3 หนังสือ Fundamentals of Heat and Mass Transfer ของ Frank P. Incropera & David P. Dewitt ได้ค่า

$$k_{brick} = 1.5\frac{W}{m \cdot K} \quad , k_{mortar} = 0.72\frac{W}{m \cdot K} \quad , k_{steel} = 36\frac{W}{m \cdot K}$$

สมมุติให้ $h_i = 2\frac{W}{m^2 \cdot K}$, $h_o = 25\frac{W}{m^2 \cdot K}$

แทนค่าได้

$$R_{TOT} = \frac{1}{h_i A} + \frac{L_{mortar}}{k_{mortar} \cdot A} + \frac{L_{brick}}{k_{brick} \cdot A} + \frac{L_{mortar}}{k_{mortar} \cdot A} + \frac{L_{steel}}{k_{steel} \cdot A} + \frac{1}{h_o A}$$

$$R_{TOT} = \frac{1}{(2)(1)} + \frac{(0.01)}{(0.72)\cdot(1)} + \frac{(0.076)}{(1.5)\cdot(1)} + \frac{(0.01)}{(0.72)\cdot(1)} + \frac{(0.0005)}{(36)\cdot(1)} + \frac{1}{(25)(1)}$$

$$R_{TOT} = 0.618\frac{W}{K}$$

และ $$Q_{loss} = \frac{T_i - T_O}{R_{TOT}} = \frac{700-35}{0.618} = 1076.05W$$

และเนื่องจากผนังเตามี 6 ด้าน และเผาด้วยเวลา 3600 วินาที

ดังนั้น

$$Q_{loss} = (1076.05W) \times 6 \times 3600\text{sec} = 23,242,680J = 23.243MJ$$

หา Q_{out} : จากสมการ (1) $Q_{in} = Q_{st} + Q_{out} + Q_{loss}$

จะได้ $$Q_{out} = Q_{in} - Q_{st} - Q_{loss}$$

$$Q_{out} = (3390) - (209.64) - (23.243)$$

$$Q_{out} = 3157.12MJ$$

3.3 การออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปตามแนวคิด

ในการออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปตามแนวคิดนั้นมีลำดับขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

1.) ศึกษารายละเอียดต่างๆ ก่อนการออกแบบ

ในการออกแบบนั้นต้องทำการศึกษาหลักทางด้านเทคนิคของเตา เศรษฐศาสตร์ และวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้าง จะต้องสามารถมีขายและสามารถสั่งซื้อได้ในท้องตลาด

2.)กำหนดแนวทางในการออกแบบ

การออกแบบเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปใหม่นี้ต้องมีข้อกำหนดดังนี้

2.1) สะดวกต่อการใช้งาน

2.2) ต้องสามารถนำขี้ผึ้งออกมาได้

2.3) ลดปริมาณการใช้แก๊ส LPG ได้

2.4) ลดเวลาในการเผาลงได้

2.5) ซ่อมบำรุงง่าย

2.6)ราคาไม่แพงมากนัก

3.)ทำการออกแบบ

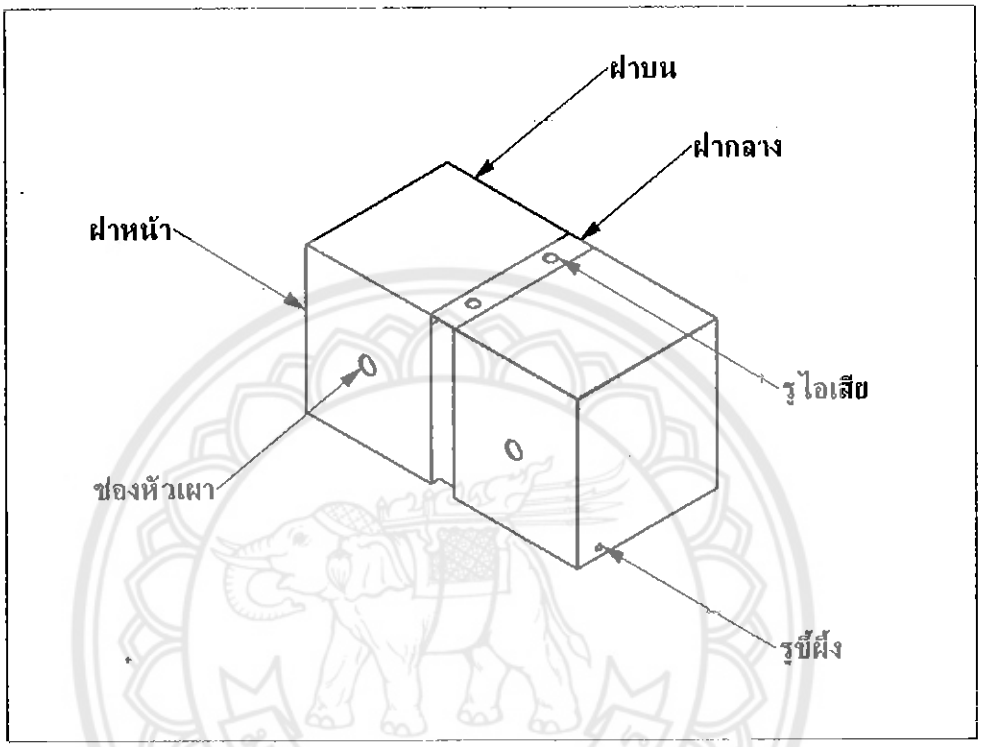
3.1) ออกแบบลักษณะของเตา

ลักษณะของเตาที่จะออกแบบคือ เป็นเตาคู่ที่มีขนาดเท่ากัน เนื่องจากต้องการจะนำความร้อนจากไอเสียมาใช้ใหม่จึงต้องทำเป็นสองเตาและมีรูเชื่อมต่อกันเพื่อให้ไอเสียผ่านมาหาอีกเตาได้

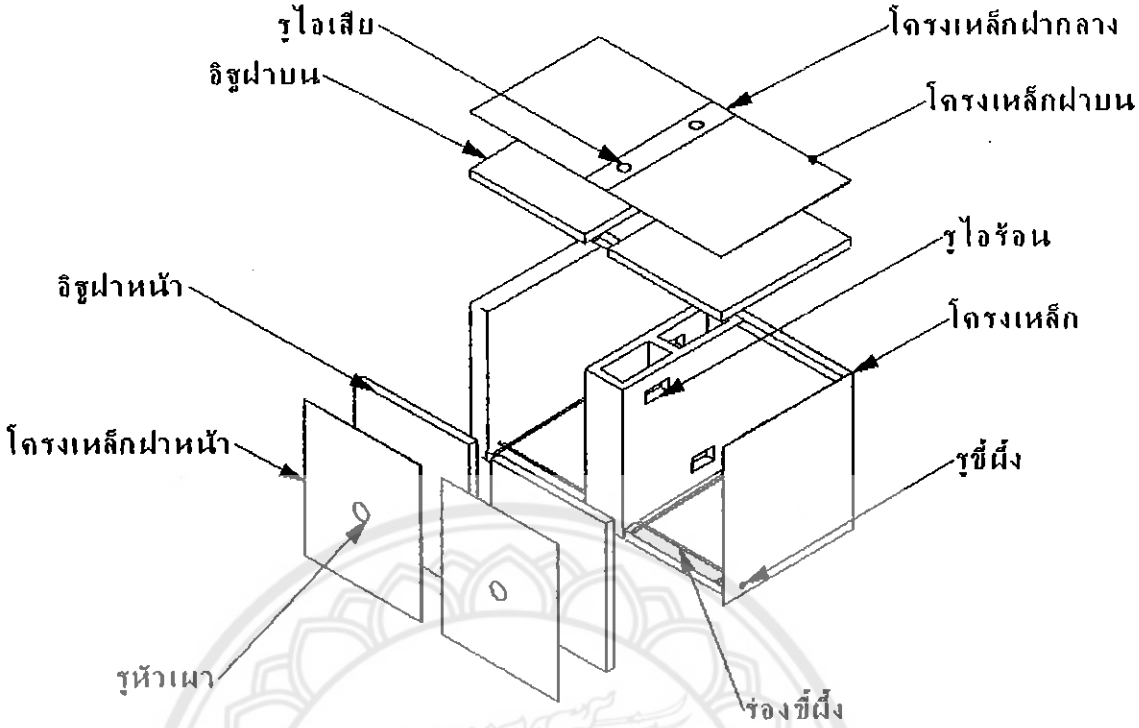
5200070
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
I 5093818.
ว.
ก491.
2559

3.2)ออกแบบหลักการทำงาน

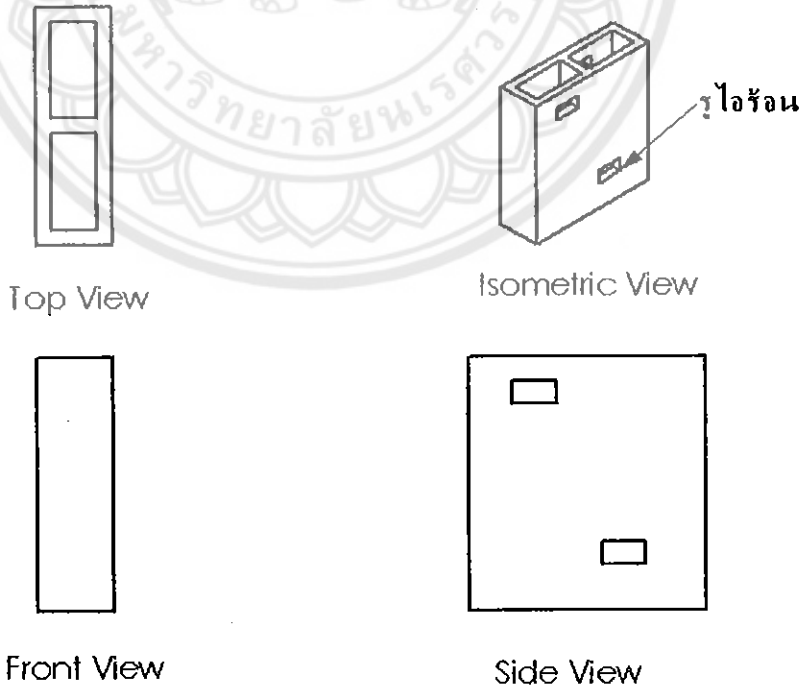
หลักการทำงานจะเป็นการนำไอเสียจากเตาแรกที่เผาแบบหล่อแล้วนำไอเสียนี้ไปหลอมขี้ผึ้งให้หลอมละลายออกมาจากแบบหล่ออีกที



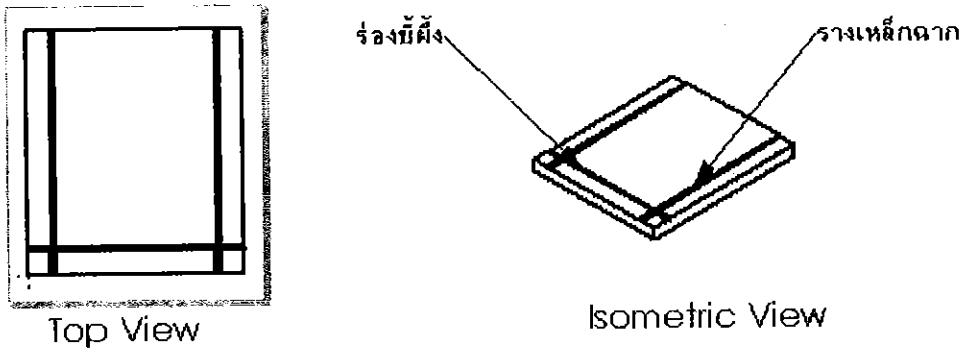
รูปที่ 3.13 ภาพเตาที่ออกแบบ



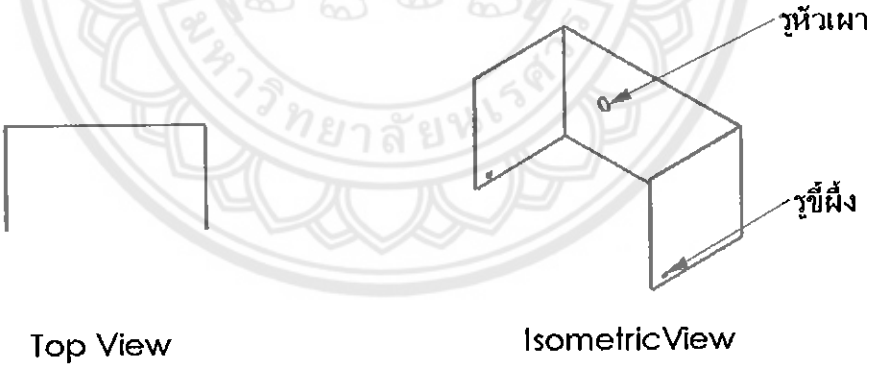
รูปที่ 3.14 ภาพแสดงรายละเอียดเตา



รูปที่ 3.15 ภาพเตาส่วนตรงกลาง



รูปที่ 3.16 ภาพพื้นเตา



รูปที่ 3.17 ภาพแสดงโครงเหล็ก

บทที่ 4

การสร้างเตาเผาแบบใหม่

4.1 การเลือกใช้วัสดุในการสร้างเตาเผาแบบใหม่

การเลือกใช้วัสดุในการสร้างเตาเผาแบบใหม่นี้ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติ ความเหมาะสม และราคาที่ไม่ควรจะแพงมากนัก ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาสร้างเตาควรจะพิจารณาดังนี้

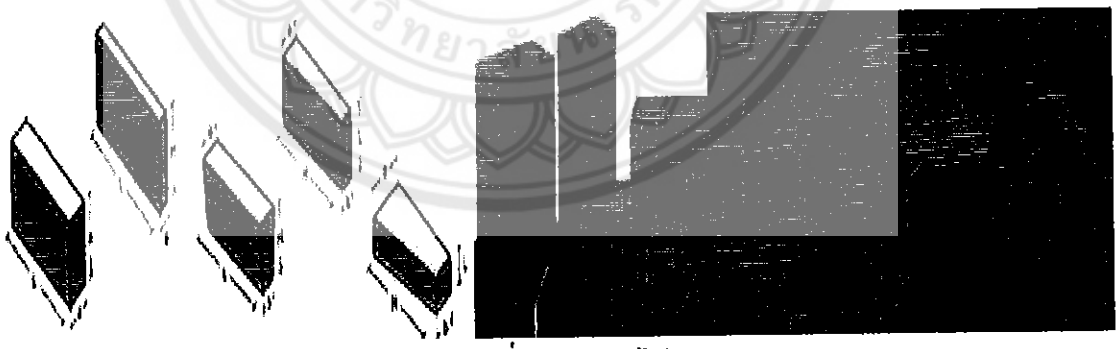
1. อุณหภูมิสูงสุดในการใช้งาน
2. การรับน้ำหนักของโครงสร้าง น้ำหนักจากชิ้นงาน
3. น้ำหนักจากชิ้นงาน
4. จำนวนชิ้นงานที่นำมาเผา

4.1.1วัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างเตา

1.อิฐทนไฟ (Refractory Brick)

. มีลักษณะเป็นก้อน รูปร่างของอิฐทนไฟ จะมี อิฐตรง(Straight; ST), อิฐสี่เหลี่ยมบาง (Split; SP), อิฐกลีบส้ม (Side Arch; SA) อิฐหัวขวาน (End Arch; EA) และ อิฐหน้าวัว (Key; Ke) การใช้งานส่วนมากจะนำไปใช้ในงานก่อ เช่น ในการสร้างเตาเผา เป็นต้น

อิฐทนไฟเป็นวัสดุทนไฟประเภทที่สามารถรักษาขนาดสัณฐานเดิมเมื่อผ่านการใช้งาน และมีคุณสมบัติต่างๆ ดีกว่าวัสดุทนไฟประเภทอื่นๆ ดังนั้นงานส่วนมากจะใช้อิฐทนไฟเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 4.1 อิฐทนไฟ

ตารางที่4.1ราคากลางอิฐทนไฟ

ขนาด	รุ่น	ราคา(บาท)
11.5 x 23 x 7.6 ซม.	(MOT-30)	10
11.5 x 23 x 7.6 ซม.	(SK-30)	35

(http://www.thaicons.com)

หลักการเลือกใช้อิฐทนไฟ

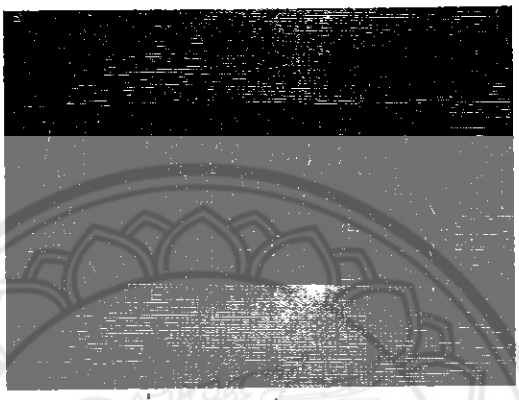
1.อุณหภูมิในการใช้งานต้องมากกว่า 1000 องศาเซลเซียส

2.ต้องมีความแข็งแรง ไม่แตกหรือหักง่าย

3.สามารถเกาะติดกับปูนทนไฟได้ดีเวลาก่อ

4.ราคาถูก

อิฐทนไฟที่เลือกใช้ คือ MOT-30 เพราะมีราคาถูกกว่า SK-30



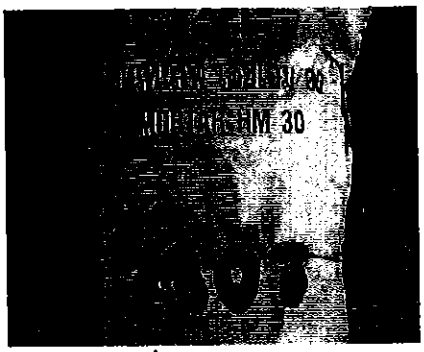
รูปที่ 4.2 อิฐทนไฟ MOT-30

2.ปูนทนไฟ (Refractory Mortar)

เป็นวัสดุทนไฟชนิดพิเศษ เนื้อละเอียดใช้ในการก่ออิฐทนไฟ ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอิฐและป้องกันการแทรกซึมของก๊าซหรือของเหลวซึมออกจากรอยต่อระหว่างอิฐ โดยจะใช้ก่อหนาเพียง 1-2 มม. เท่านั้นมีคุณสมบัติทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ เช่นเดียวกับวัสดุทนไฟชนิดอื่นๆ ปูนทนไฟโดยทั่วไปแบ่งตามลักษณะผลิตภัณฑ์เป็น 2 ประเภทคือ

1. ปูนทนไฟที่ต้องให้ความร้อนจึงจะแข็งตัว (ปกติประมาณ 1000 C ขึ้นไป) เรียกว่า Heat Setting Mortar (HM)

2. ปูนทนไฟที่เมื่อทิ้งไว้จะแข็งตัวเองที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า Air Setting Mortar (AM)



รูปที่ 4.3 ปูนทนไฟ

หลักการเลือกใช้ปูนทนไฟ

1.พิจารณาว่าอุณหภูมิการใช้งานสูงถึง 1000 องศาเซลเซียส หรือไม่ หากไม่ถึงควรใช้ปูนทนไฟชนิดให้ความแข็งแรงที่อุณหภูมิห้อง

2.พิจารณาว่าบริเวณตำแหน่งที่นำปูนทนไฟไปใช้งานต้องรับน้ำหนักเคลื่อนไหวหรือไม่ กรณีที่รับน้ำหนักเคลื่อนไหวควรใช้ปูนทนไฟชนิดให้ความแข็งแรงที่อุณหภูมิห้อง

3.ควรเลือกปูนทนไฟให้เหมาะสมกับคุณภาพของอิฐทนไฟ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการใช้งานเป็นหลัก

4.พิจารณาความสะดวกในการทำงาน ซึ่งปูนทนไฟชนิดเปียกจะให้ความสะดวกและประหยัดเวลาในการเตรียมมากกว่า

3.เส้นใยไฟเบอร์กลาส

เส้นใยไฟเบอร์กลาส เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีระหว่าง Silica Sand + Limestone + Boric Acid + Clay + Fluorspar ผสมกันแล้วหลอมละลายที่อุณหภูมิที่ 1,260องศาเซลเซียส มีลักษณะคล้ายเส้นใยไหม สามารถทำเป็นผืน เป็นเส้นยาวหรือบดละเอียดได้ มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะคือไม่ติดไฟ เป็นฉนวนกันความร้อน ถูกใช้เป็นฉนวนในเตา ตู้เย็น หรือวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น

รูปที่ 4.4 เส้นใยไฟเบอร์กลาส

หลักการเลือกใช้เส้นใยไฟเบอร์กลาส

1.ต้องทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงๆ

2.สามารถยืดหยุ่นได้เมื่ออิฐมีการขยายตัวจากการได้รับความร้อน

3.เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

4.1.2 วัสดุที่เลือกใช้ในการสร้างเตา

ในการสร้างเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปแบบใหม่นี้ ได้มีการเลือกใช้วัสดุดังนี้

1.อิฐทนไฟ ยี่ห้อ MOT 30

2.ปูนทนไฟ HM 30 ยี่ห้อ MOT ใช้ก่อเตา

3.เหล็กแผ่นหนา 3 mm ทำโครงกรอบเตา

4.ไฟเบอร์กลาส หนา 25 mm

5.ปูนซีเมนต์ ทำพื้นรองรับเตา

6.ท่อเหล็กดำ ทำฐานรองแบบ

4.2 ส่วนประกอบของเตาเผาแบบใหม่

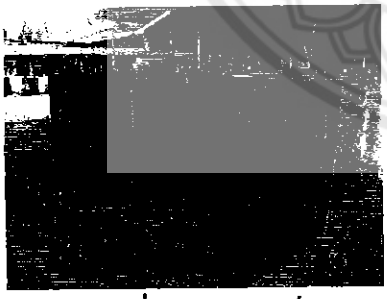
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลโดยรวมของส่วนประกอบเตา

ส่วนประกอบเตา	วัสดุ
1.โครงสร้างและตัวเตา	1.เหล็กแผ่นหนา 3 มม ด้านข้างความกว้าง 133.5 ซม และสูง 140 ซม ด้านหลังมีความยาว 260 ซมและสูง 140 ซม 2.ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดหนา 25 มม 3.อิฐทนไฟMOT 30 4.ปูนทนไฟ HM 30
2.ฝาหน้า	1.เหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 119 ซม และสูง 140 ซม 2.ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดหนา 25 มม 3.อิฐทนไฟMOT 30 4.ปูนทนไฟ HM 30
3.ฝาบน	1.เหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 133.5 ซม และยาว 130 ซม 2.ไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดหนา 25 มม 3.อิฐทนไฟMOT 30 4.ปูนทนไฟ HM 30
4.พื้นเตา	1.เทด้วยปูนซีเมนต์มีขนาดกว้าง 143.5 ซม ยาว 270 ซม และหนา 5 ซม 2.อิฐทนไฟMOT 30

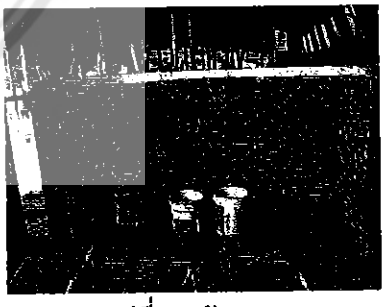
5.ฐานรองเผา	1.ท่อเหล็กดำเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 100 ซม 2.เหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว ตัดเป็นท่อนๆ ยาว 100 ซม
6.ถาดรองขี้ผึ้ง	1.เหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 100 ซม และ ยาว 100 ซม
7.บานพับ	1.ท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว 2.เหล็กกล่องขนาด 4 คูณ 2 นิ้ว 3.เหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 นิ้ว

4.2.1 โครงสร้างและตัวเตา

โครงสร้างของตัวเตาใช้เหล็กแผ่นหนา 3 มม ตัดและเชื่อมติดกันเป็นโครงเหล็กรูปตัวซี โดยด้านข้างมีความกว้าง 133.5 ซม และสูง 140 ซม ซึ่งเท่ากันทั้งสองด้านและด้านหลังมีความยาว 260 ซม และสูง 140 ซม ทำเป็นตัวโครงเพื่อคอยยึดอิฐทนไฟให้อยู่ทรงตัวตามแบบที่ออกแบบไว้และระหว่างอิฐทนไฟกับโครงเหล็กแผ่นได้มีการปูไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดหนา 25 มม และทนความร้อนได้ 1260 °C เพื่อป้องกันความร้อนไม่ให้ผ่านไปสัมผัสเหล็กมากนักซึ่งจะทำให้เหล็กเกิดการบิดตัวได้ขณะเผาและยังป้องกันการแตกร้าวของอิฐทนไฟได้เมื่ออิฐทนไฟเกิดการขยายตัวเนื่องจากความร้อนเพราะเส้นใยไฟเบอร์กลาสมีความยืดหยุ่นอยู่ในตัว ส่วนการก่ออิฐได้ใช้อิฐทนไฟMOT 30ที่มีขนาด 11.5 x 23 x 7.6 ซม. ก่อเรียงกันขึ้นไปโดยใช้ปูนทนไฟ HM 30 เป็นตัวประสาน และได้ใช้หนามเตยที่ตัดจากเหล็กแผ่นหนา 3 มม กว้าง 3 ซม ยาว14 ซม เชื่อมติดกับโครงเหล็กเพื่อเป็นตัวยึดติดระหว่างโครงเหล็กกับอิฐและรับน้ำหนักอิฐในแนวดิ่งทำให้ผนังที่ก่อจากอิฐไม่ทรุดตัวลงมา



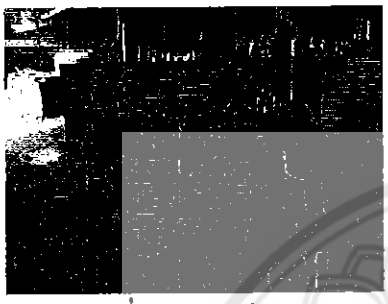
รูปที่ 4.5 โครงเหล็ก



รูปที่4.6 ตัวเตา

4.2.2 ฝาหน้า

ฝาหน้าใช้เหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 119 ซม และสูง 140 ซม เชื่อมขอบทำเป็นกระบะด้วยเหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 10 ซม โดยเชื่อมรอบทั้งสี่ด้าน ติดหนามเตยที่มีขนาดกว้าง 3 ซม ยาว 10 ซม งอตรงปลาย เชื่อมติดกับฝาเหล็กเพื่อรับน้ำหนักอิฐในแนวดิ่งทำให้ผนังที่ก่อจากอิฐไม่ทรุดตัวลงมา และก่ออิฐโดยใช้อิฐทนไฟMOT 30ที่มีขนาด 11.5 x 23 x 7.6 ซม ก่อเรียงกันขึ้นไปโดยใช้ปูนทนไฟ HM 30 เป็นตัวประสาน โดยช่องว่างระหว่างอิฐทนไฟกับโครงเหล็กแผ่นปูด้วยไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดหนา 25 มม

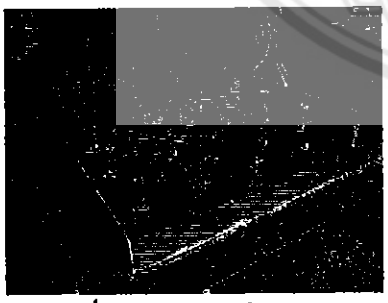


รูปที่ 4.7 ฝาหน้า

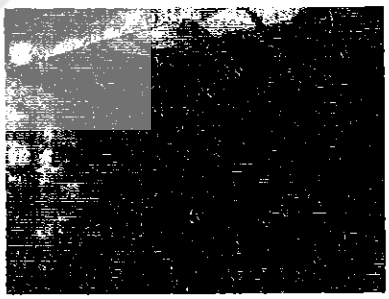
รูปที่ 4.8 โครงเหล็กฝาหน้า

4.2.3 ฝาบน

ฝาบนใช้เหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 133.5 ซม และยาว 130 ซม เชื่อมขอบทำเป็นกระบะด้วยเหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 10 ซม โดยเชื่อมรอบทั้งสี่ด้านและมีขนาดกระบะคือกว้าง ยาวเท่ากับขอบอิฐภายในของตัวเตา และติดหนามเตยที่มีขนาดกว้าง 3 ซม ยาว 10 ซม งอครงปลาย เชื่อมติดกับฝาเหล็กเพื่อรับน้ำหนักอิฐในแนวดิ่งทำให้ผนังที่ก่อจากอิฐไม่ทรุดตัวลงมา และก่ออิฐโดยใช้อิฐทนไฟMOT 30ที่มีขนาด 11.5 x 23 x 7.6 ซม ก่อเรียงกันโดยใช้ปูนทนไฟ HM 30 เป็นตัวประสาน โดยช่องว่างระหว่างอิฐทนไฟกับโครงเหล็กแผ่นปูด้วยไฟเบอร์กลาสที่มีขนาดหนา 25 มม



รูปที่ 4.9 โครงเหล็กฝาบน

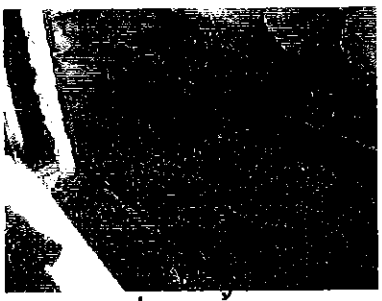


รูปที่ 4.10 ฝาบน

4.2.4 พื้นเตา

พื้นเตาเทด้วยปูนซีเมนต์มีขนาดกว้าง 143.5 ซม ยาว 270 ซม และหนา 5 ซม เพื่อรองรับโครงสร้างของเตาทั้งหมด และภายในเตาปูด้วยอิฐทนไฟอีกชั้นเพื่อป้องกันพื้นปูนซีเมนต์แตกจากความร้อนขณะทำการเผา

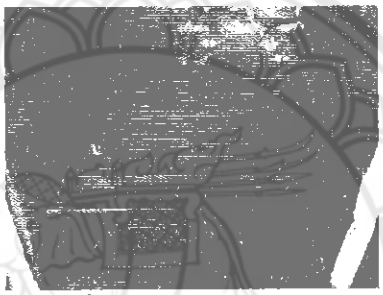
รูปที่ 4.11 พื้นปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.12 พื้นเตา

4.2.5 ฐานรองเผา

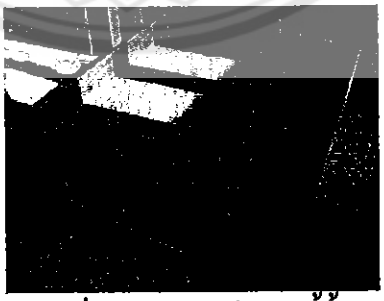
ฐานรองเผาชิ้นงานทำจากท่อเหล็กดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และเหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว ตัดเป็นท่อนๆ ยาว 100 ซม โดยเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นฐานที่มีขนาดกว้าง 100 ซม ยาว 100 ซม และสูง 30 ซม เพื่อรองรับชิ้นงานเวลาทำการเผา



รูปที่ 4.13 ฐานเหล็กรองเผา

4.2.6 ถาดรองขี้ผึ้ง

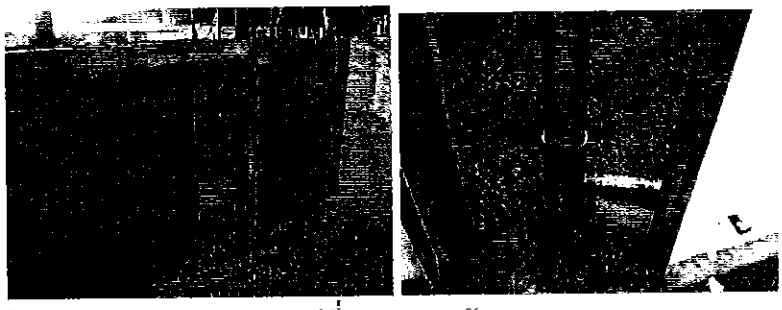
ถาดรองขี้ผึ้งทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 100 ซม และยาว 100 ซม เชื่อมขอบทำเป็นกระบะ ด้วยเหล็กแผ่นหนา 3 มม ขนาดกว้าง 10 ซม โดยเชื่อมรอบทั้งสี่ด้าน เพื่อรองรับขี้ผึ้งขณะเผา



รูปที่ 4.14 ถาดเหล็กรองขี้ผึ้ง

4.2.7 บานพับ

บานพับทำจากท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เชื่อมติดกับฝาหน้าด้วยเหล็กกล่องขนาด 4 คูณ 2 นิ้ว และยึดติดกับตัวเตาด้วยเสาเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 นิ้ว

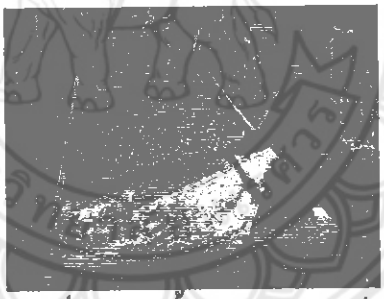


รูปที่ 4.15 บานพับ

4.3 ลำดับขั้นตอนการสร้างเตาเผาแบบใหม่

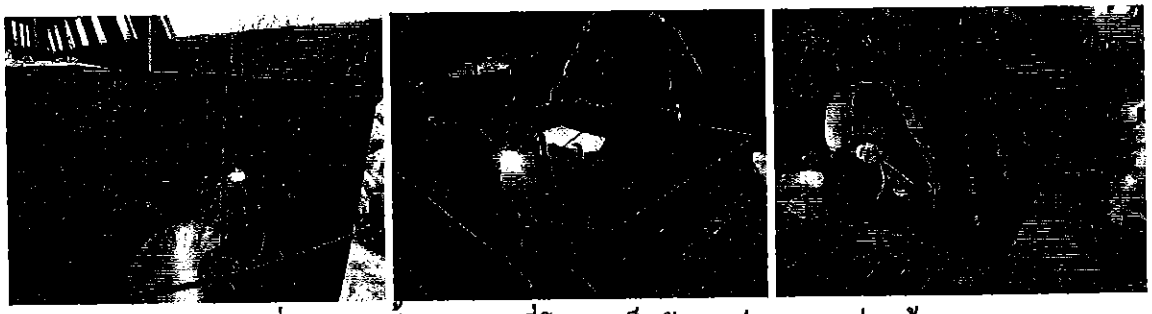
ในการสร้างเตาเผาแบบใหม่นี้ ต้องคำนึงถึงความสะดวกและความปลอดภัยในการก่อสร้างด้วย โดยมีลำดับขั้นตอนการสร้างดังนี้

1.เทพื้นด้วยปูนซีเมนต์



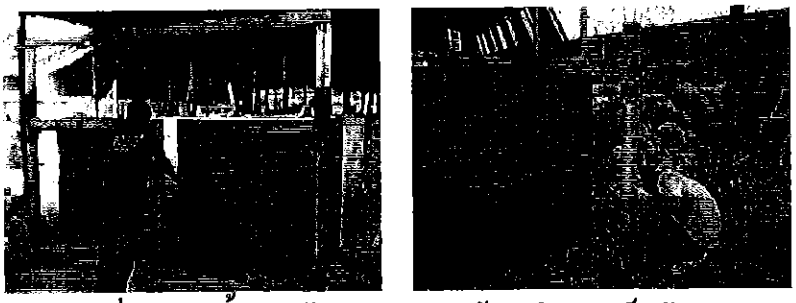
รูปที่ 4.16 เทพื้นด้วยปูนซีเมนต์

2.ติดตั้งหนามเตยที่โครงเหล็กตัวเตา ฝาบนและฝาหน้า



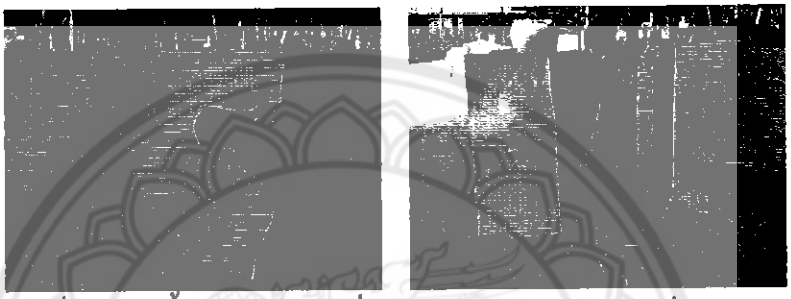
รูปที่ 4.17 ติดตั้งหนามเตยที่โครงเหล็กตัวเตา ฝาบนและฝาหน้า

3.ติดตั้งฝาหน้าและบานพับเข้ากับโครงเหล็กตัวเตา



รูปที่4.18 ติดตั้งฝาหน้าและบานพับเข้ากับโครงเหล็กตัวเตา

4.ติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ฝาหน้า ฝาบน และโครงเหล็กตัวเตา

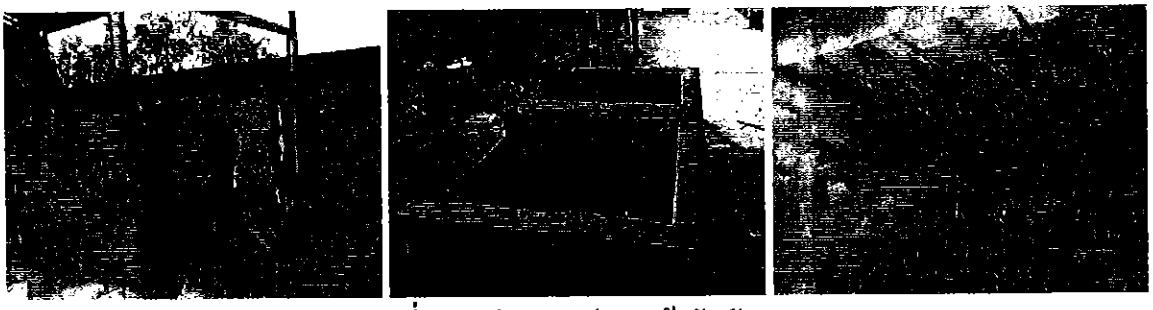


รูปที่4.19 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ฝาหน้า ฝาบน และโครงเหล็กตัวเตา

5.ก่ออิฐทนไฟที่ฝาหน้า ฝาบนและโครงเหล็กตัวเตา

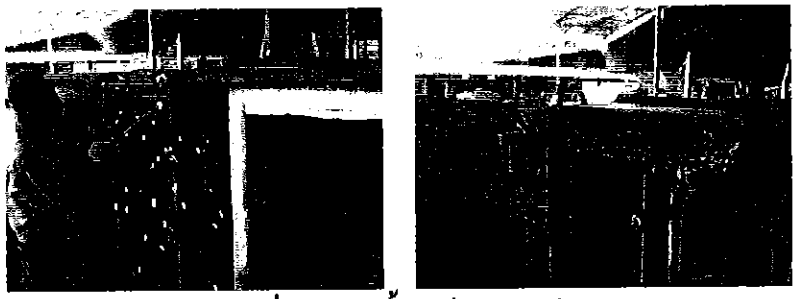
รูปที่ 4.20 ก่ออิฐทนไฟที่ฝาหน้า โครงเหล็กตัวเตา และฝาบน

6.ประกอบฝาบนเข้ากับตัวเตา



รูปที่ 4.21 ประกอบฝาบนเข้ากับตัวเตา

7.ติดตั้งตัวล็อกฝาหน้า



รูปที่ 4.22 ติดตั้งตัวล็อกฝาหน้า

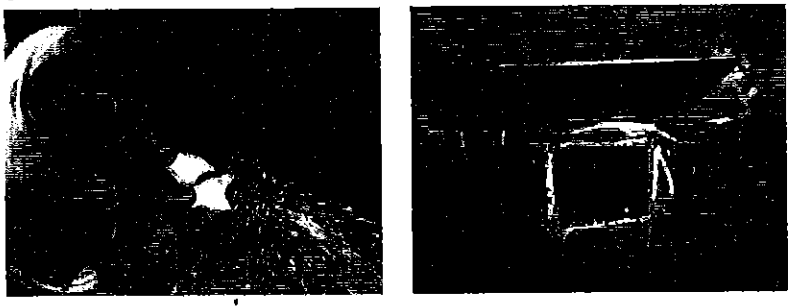
8.ติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ขอบเตาด้านที่ติดกับฝาหน้า

รูปที่ 4.23 ติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ขอบเตาด้านที่ติดกับฝาหน้า

9.ประกอบฐานรองเผาเข้ากับเตา

รูปที่ 4.24 ประกอบฐานรองเผาเข้ากับเตา

10.เจาะรูหัวเผาและช่องอากาศ



รูปที่ 4.25 เจาะรูหัวเผาและช่องอากาศ

รูปที่ 4.26 เตาเผาแบบใหม่ที่สร้างเสร็จพร้อมใช้งาน

4.3.1จำนวนอิฐทนไฟที่ใช้ในการก่อสร้างเตา

จำนวนอิฐทนไฟทั้งหมดที่ใช้ในการสร้างเตาแต่ละส่วนมีดังนี้

ตารางที่ 4.3 จำนวนอิฐทนไฟที่ใช้ในการก่อผนังแต่ละด้าน

ผนังแต่ละด้าน	จำนวนอิฐ (ก้อน)
ตัวเตาด้านข้างทั้ง 2 ด้าน	170
ตัวเตาด้านหลัง	200
ตัวเตาตรงกลาง	152
ฝาหน้าทั้ง 2 ฝา	120
ฝาบนทั้ง 2 ฝา	80
พื้น	80
รวม	802

4.4 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาเผาแบบใหม่

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาเผาแบบใหม่

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1.	อิฐทนไฟ ยี่ห้อ MOT 30	802 ก้อน	10	8,020
2.	ปูนทนไฟ HM 30 ยี่ห้อ MOT	12 ถุง	350	4,200
3.	เหล็กแผ่นหนา 3 mm 5X10ฟุต	4 แผ่น	2,800	11,200
4.	ไฟเบอร์กลาส หนา 25 mm	4 ม้วน	1,550	6,200
5.	ท่อเหล็กดำ 2นิ้วX1.8มม. ยาว 6 ม.	5 เส้น	495	2,475
6.	ท่อเหล็กดำ 1 1/4นิ้วX1.2มม. ยาว 6 ม.	2 เส้น	245	490
7.	เหล็กฉาก1 1/2นิ้วX1 1/2นิ้วX3มม.	3 เส้น	370	1,110
8.	ค่าตัดเหล็ก	1	170	170
9.	ค่าเชื่อมทำฐานรองเผา	1	2,500	2,500
10.	ค่าขนส่งอิฐ	1	5,000	5,000
11.	ค่าแรงในการสร้าง	1 คน	350 (15 วัน)	5,250
	รวม			46,615

บทที่ 5

การทดลองเผาแบบหล่อพระพุทธรูปด้วยเตาเผาแบบใหม่ และวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

การทดลองเผาแบบหล่อพระพุทธรูปด้วยเตาเผาแบบใหม่นี้ ได้ทำการทดลองด้วยการเผาชิ้นงานจริง โดยบรรจุแบบหล่อในเตาทั้ง 2 เตา คือ บรรจุในเตาหลัก และเตารอง และใช้เตาหลักเป็นเตาเผาโดยการป้อนเชื้อเพลิง LPG เข้าสู้เตาหลักและส่งไอเสียหรือไอร้อนผ่านช่องถ่ายไอเสียไปยังเตารองที่ทำหน้าที่หลอมขี้ผึ้งให้ละลายไหลออกจากแบบหล่อไปสู่ถาดที่รองรับอยู่ข้างล่าง ซึ่งผลการทดลองเผาจะสามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้มากน้อยเพียงใด ต้องทำการทดลองเผาและดูจากผลการทดลอง

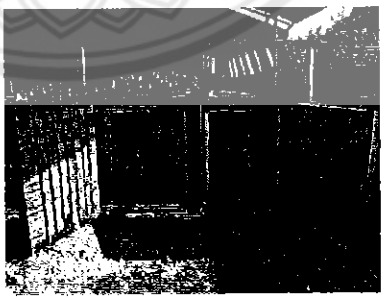
5.2 อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง

1.แบบหล่อพระพุทธชินราช

ขนาดพระพุทธชินราชที่เผาในเตาหลัก คือ 9 นิ้ว จำนวน 30 องค์
4 นิ้ว จำนวน 49 องค์
2 นิ้ว จำนวน 30 องค์

ขนาดพระพุทธชินราชที่เผาในเตารอง คือ 2 นิ้ว จำนวน 30 องค์
12 นิ้ว จำนวน 3 องค์

เรือนแก้ว คือ 12 นิ้ว จำนวน 3 อัน

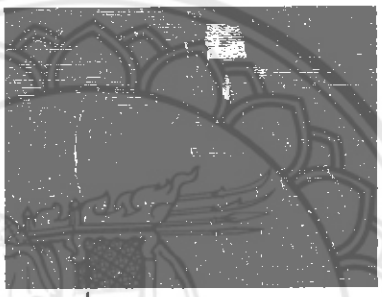


รูปที่ 5.1 แบบหล่อพระพุทธชินราชในเตาเผาหลักและเตาเผารอง

2.แก๊ส LPG ถังขนาด 48 กิโลกรัม จำนวน 1 ถัง

รูปที่ 5.2 แก๊ส LPG ถังขนาด 48 กิโลกรัม

3.หัวเผาจำนวน 1อัน



รูปที่ 5.3 หัวเผา

4.ตาชั่งขนาด 500 กิโลกรัม จำนวน 1ตัว

รูปที่ 5.4 ตาชั่งขนาด 500 กิโลกรัม

5.ตาชั่งขนาด 60 กิโลกรัมจำนวน 1ตัว

รูปที่ 5.5 ตาชั่งขนาด 60 กิโลกรัม

6.เครื่องวัดอุณหภูมิ AC/DC CLAMP METER TYPE K Range -40 - 750 °C

รูปที่ 5.6 AC/DC CLAMP METER

7.เครื่องวัดอุณหภูมิ IR THERMOMETER MODEL UT301A Range -18 - 350 °C

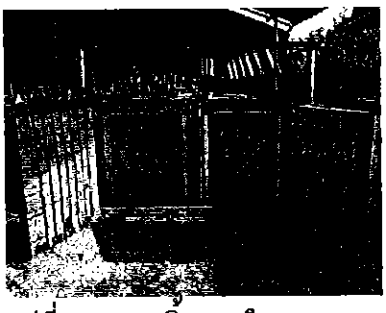
รูปที่ 5.7 IR THERMOMETERS

5.3 วิธีการทดลอง

เริ่มต้นจากนำแบบหล่อพระพุทธรูปทั้งหมดเข้าไปวางในเตาทั้งสองเตา จากนั้นสุ่มนำแบบหล่อทั้งสองเตามาชั่งน้ำหนักก่อนเผาและบันทึกค่าไว้ จากนั้นชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG และบันทึกค่าไว้ แล้วจึงติดตั้งหัวเผาเข้าไปที่ช่องหัวเผาของเตาหลัก จากนั้นเริ่มต้นให้ความร้อนโดยตรงสู่เตาเผาหลักโดยทำการเปิดแก๊สและเผาไปเรื่อยๆ จับเวลาการเผาทั้งหมดจนแบบหล่อสุกหรือแห้งไม่มีน้ำและขี้ผึ้งเหลือในแบบหล่อ โดยในขณะเผาต้องจดบันทึกค่าอุณหภูมิต่างๆทุกช่วงการเผา บันทึกค่าน้ำหนักของแก๊ส LPG จับเวลาการใช้แก๊ส LPG ต่อ1 kg และเมื่อเผาชิ้นงานเสร็จทำการชั่งชิ้นงานที่สุ่มตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักของแก๊ส LPG ที่เหลือ แล้ววิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

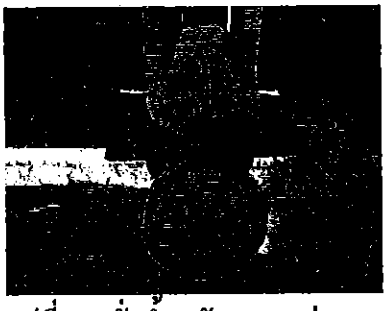
5.4 ขั้นตอนการทดลอง

1.วางแบบหล่อในเตาทั้งสองเตา



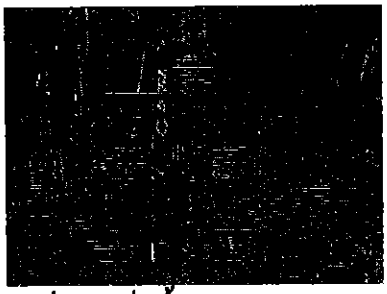
รูปที่5.8 บรรจุชิ้นงานในเตา

2.สุ่มชั่งน้ำหนักแบบหล่อก่อนเผา



รูปที่ 5.9 ชั่งน้ำหนักแบบหล่อก่อนเผา

3. ชั่งน้ำหนักแก๊ส LPGก่อนเผา



รูปที่ 5.10 ชั่งน้ำหนักแก๊ส LPGก่อนเผา

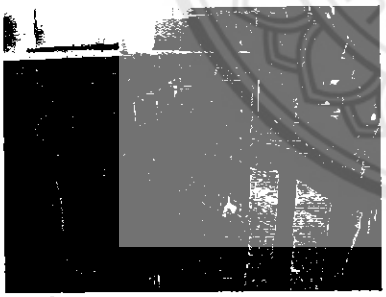
4.ติดตั้งหัวเผาที่เตาหลัก

รูปที่ 5.11 ติดตั้งหัวเผา

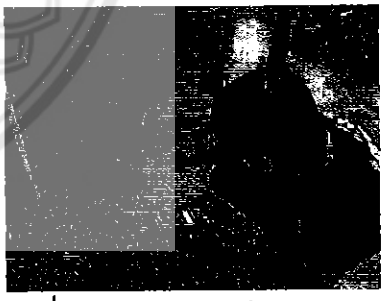
5.ทำการเผาชิ้นงาน

รูปที่ 5.12 เผาชิ้นงาน

6.วัดอุณหภูมิต่างๆ ขณะเผา



รูปที่ 5.13 วัดอุณหภูมิภายในเตา



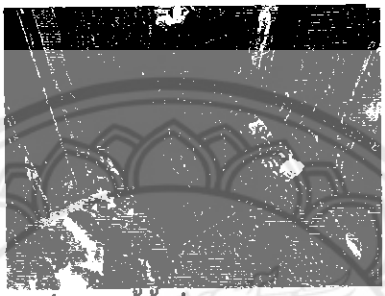
รูปที่ 5.14 วัดอุณหภูมิไอเสีย

รูปที่ 5.15 วัดอุณหภูมิผนัง

7.ตรวจเช็คขี้ผึ้งและนำถาดออกมา

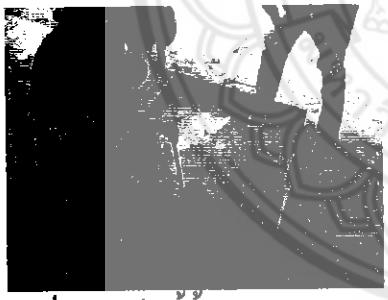
รูปที่ 5.16 ตรวจเช็คปริมาณขี้ผึ้ง

รูปที่ 5.17 นำถาดรองออก

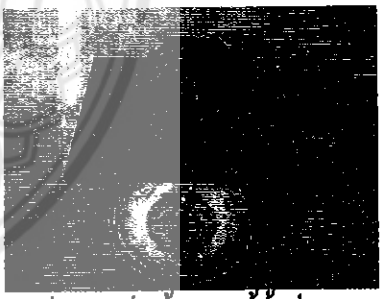


รูปที่ 5.18 ขี้ผึ้งที่ได้จากการทดลอง

8.เก็บขี้ผึ้งและชั่งน้ำหนัก

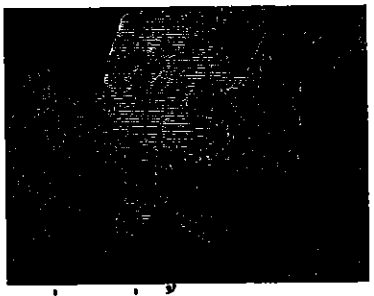


รูปที่ 5.19 เก็บขี้ผึ้งออกจากถาดรอง



รูปที่ 5.20 ชั่งน้ำหนักขี้ผึ้งที่ได้

9.ชั่งน้ำหนักแบบหล่อและแก๊ส LPG หลังเผา



รูปที่ 5.21 ชั่งน้ำหนักแบบหลัง

5.5 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจากผลการทดลองเผาแบบหล่อพระพุทธรูปด้วยเตาใหม่

ค่าที่วัด	เวลาในการเผา				
	ก่อนเผา	เผาช่วงที่ 1	เผาช่วงที่ 2	เผาช่วงที่ 3	หลังเผา
น้ำหนัก LPG รวมถัง(kg)	83.6	-	-	-	52
เวลาในการเผา	10.00 น.	12.00 น.	14.00 น.	16.00 น.	19.00 น.(ดับไฟ)
อุณหภูมิผนัง(°C)					หลังเผา 15 hr
1.ด้านข้าง	27 (27)	30 (30)	60 (45.8)	77.6 (53.4)	53.2 (49.8)
2.ด้านหลัง	27 (27)	31 (31)	61.2 (45.4)	83.8 (47)	51 (50)
3.ฝาหน้า	27 (27)	44 (35)	70 (54.2)	71 (60)	54 (52.6)
4.ฝาบน	27 (27)	34 (34)	55.6 (53)	60 (55.8)	50.3 (48)
อุณหภูมิภายในเตา(°C)	25 (25)	225 (165)	315 (213)	450 (253)	179 (145)
อุณหภูมิไอเสีย(°C)	-	210 (62)	310 (73)	435 (78)	-
เวลาที่ใช้ต่อน้ำหนัก LPG 1 kg (นาที)	-	17.2	17.33	11.3*	-

หมายเหตุ เตาหลัก 1 เตารอง (1)

* เผาช่วงที่ 3 มีการเร่งอัตราการใช้แก๊ส เนื่องจากขี้ผึ้งออกจากแบบหมดแล้วจึงเร่งให้เสร็จเร็วขึ้น

จากผลการทดลองจะเห็นว่าอุณหภูมิภายในเตารองจะมีอุณหภูมิสูงสุด 253 °C ซึ่งน้อยกว่าจุดเดือดของขี้ผึ้งที่ 370 °C จึงทำให้สามารถหลอมละลายเอาขี้ผึ้งออกมาได้ และหลังจากการเผาไปแล้ว 15 ชั่วโมง พบว่าอุณหภูมิในเตายังมีค่าสูง จึงเป็นผลดีต่อการใช้เวลาในการเผาครั้งต่อไปลดน้อยลงได้

ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ตลอดการเผามีค่า, 83.6-52 = 31.6 kg

เปรียบเทียบกับการใช้ LPG 1 kg ต่อเวลาที่ใช้ (นาที) สามารถหาได้จาก

เวลาที่ใช้เผาทั้งหมด(นาที) / เวลาที่ใช้ LPG ต่อ 1 kg

$$(120/17.2) + (120/17.33) + (180/11.3) = 30 \text{ kg}$$

ซึ่งจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก LPG รวมหลังการเผา

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบน้ำหนักแบบหล่อก่อนเผาและหลังเผา

ค่าที่วัด	เตาหลัก	เตารอง		
		ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3
น้ำหนักก่อนเผา (kg)	8.8	4.4	4	4
น้ำหนักหลังเผา (kg)	8.3	4	3.8	3.75
น้ำหนักขี้ผึ้งที่ออกจากแบบหล่อ (kg)	0.5	0.4	0.2	0.25

จากผลการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนักขี้ผึ้งที่ไหลออกมาต่อน้ำหนักแบบหล่อจะได้ค่าคือ

เตาหลักมีค่า (0.5/8.8) x100 = 5.68%

เตารองคือ (0.85/12.4) x100 = 6.85%

ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันและเป็นไปได้ว่าขี้ผึ้งจะไหลออกจากแบบหล่อได้หมดทั้ง 2 เตา

5.5.1 การคำนวณปริมาณขี้ผึ้งในแบบหล่อพระพุทธรูป

หลักในการคำนวณ คือ คิดจากน้ำหนักทองเหลืองที่ใช้ในการหลอมแล้วเทเข้าไปในแบบเป็น 10 เท่าของน้ำหนักขี้ผึ้ง ซึ่งที่มาเป็นการคิดจากความหนาแน่นของขี้ผึ้งกับทองเหลือง คือ

$\rho_{paraffin} = 900kg/m^3$ และ $\rho_{bass} = 8700kg/m^3$

ซึ่งความหนาแน่นทองเหลืองต่อขี้ผึ้งคือ 8700/900=9.66 โดยโรงหล่อใช้ประมาณ 10 เท่าอ้างอิงค่าน้ำหนักทองเหลืองที่ใช้ต่อขนาดของแบบหล่อจากตารางที่ 3.2

คำนวณปริมาณขี้ผึ้งที่ใช้ในการทดลองเผาของเตาหลัก

ขนาดพระที่เผาในเตาหลัก คือ 9 นิ้ว จำนวน 30 องค์ ใช้ทองเหลือง 8 X 30 = 240 kg

4 นิ้ว จำนวน 49 องค์ ใช้ทองเหลือง 1.5 X 49 = 73.5 kg

2 นิ้ว จำนวน 30 องค์ ใช้ทองเหลือง 0.5 X 30 = 15 kg

รวมใช้ทองเหลืองทั้งหมด คือ 240+73.5+15 = 328.5 kg

ดังนั้นน้ำหนักขี้ผึ้งทั้งหมดที่ใช้ คือ 32.85 kg

คำนวณปริมาณขี้ผึ้งที่ใช้ในการทดลองเผาของเตารอง

ขนาดพระที่เผาในเตารอง คือ 2 นิ้ว จำนวน 30 องค์ ใช้ทองเหลือง 0.5 X 30 = 15 kg

12 นิ้ว จำนวน 3 องค์ ใช้ทองเหลือง 15 X 3 = 45 kg

ขนาดเรือนแก้ว คือ 12 นิ้ว จำนวน 3 อัน ใช้ทองเหลือง 8 X 3 = 24 kg

รวมใช้ทองเหลืองทั้งหมด คือ 15+45+24 = 84 kg

ดังนั้นน้ำหนักขี้ผึ้งทั้งหมดที่ใช้ คือ 8.4* kg

5.6 วิเคราะห์ผลการทดลองเผา

5.5.1 เปรียบเทียบผลการทดลองเผาระหว่างเตาเก่าและใหม่

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองเผาด้วยเตาเก่าและเตาใหม่ (เตาหลัก)

ค่าที่ตรวจวัด	เตาเผาแบบเก่า*	เตาเผาแบบใหม่
1.น้ำหนักขี้ผึ้งก่อนเผา (kg)	33.8	32.85
2.น้ำหนักขี้ผึ้งหลังเผา (kg)	0	0
3.น้ำหนักแก๊ส LPG ที่ใช้ (kg)	96	31.6
4.เวลาในการเผา (hr)	12	9

จากตารางการเปรียบเทียบผลการทดลองเผาด้วยเตาเก่าและเตาใหม่ของเตาหลักจะได้ว่า

- ไม่สามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้ทั้งสองเตา
- ค่าน้ำหนักของแก๊ส LPG ที่ใช้ไป คือ 31.6 หรือคิดเป็น 31.6/328.5 = 0.096 kg/kg (ทองเหลือง) ซึ่งเปรียบเทียบกับเตาเก่าคือ 96/338 = 0.284 kg/kg (ทองเหลือง) สามารถลดปริมาณการใช้แก๊ส LPG ลงได้ 0.188 kg/kg (ทองเหลือง) หรือคิดเป็น 66%
- เวลาในการเผาคือ 12-9 = 3 hr ซึ่งแสดงว่าสามารถลดเวลาการเผา ลงได้

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองเผาด้วยเตาเก่าและเตาใหม่ (เตารอง)

ค่าที่ตรวจวัด	เตาเผาแบบเก่า**	เตาเผาแบบใหม่
1.น้ำหนักขี้ผึ้งก่อนเผา (kg)	9	8.4
2.น้ำหนักขี้ผึ้งหลังเผา (kg)	0	2
3.น้ำหนักแก๊ส LPG ที่ใช้ (kg)	48	0
4.เวลาในการเผา (hr)	12	-

*,**หมายเหตุ ใช้ค่าจากตาราง 3.1 ในการเปรียบเทียบ

จากตารางการเปรียบเทียบผลการทดลองเผาด้วยเตาเก่าและเตาใหม่ของเตารองจะได้ว่า

- น้ำหนักหลังเผาของขี้ผึ้งคือ 2 kg ซึ่งแสดงว่าสามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้ 24 %
- ค่าน้ำหนักของแก๊ส LPG ที่ใช้ไป 0 kg ซึ่งแสดงว่าเตารองไม่ต้องใช้แก๊ส LPG ในการเผา จึงสามารถลดปริมาณการใช้แก๊ส LPG ลงได้
- เวลาในการเผาของเตาเก่าคือ 12 hr และเตาใหม่ไม่ต้องใช้เวลาในการเผา และถ้าทำการเผาชิ้นงานที่เตารองต่อ จะสามารถเผาได้ไวขึ้นเนื่องจากภายในเตายังมีอุณหภูมิที่สูง

บทที่ 6
บทสรุป

6.1 สรุปผล

จากการที่ได้ออกแบบและดำเนินการสร้างเตาเผาแบบหล่อพระพุทธรูปเพื่อนำขี้ผึ้งกลับมาใช้ใหม่นี้จนสำเร็จ ซึ่งเป็นการออกแบบเพื่อปรับปรุงเตาเผาเดิมที่มีการสูญเสียขี้ผึ้งที่ใช้ทำแบบหล่อ และสูญเสียพลังงานความร้อนเป็นจำนวนมากในการเผาแบบหล่อพระพุทธรูปในแต่ละครั้ง ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ไปพอสมควร โดยเตาเผาแบบใหม่นี้ได้นำแนวคิดในการที่จะนำความร้อนจากไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงๆ กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง โดยได้ออกแบบให้เตาเผามีลักษณะเป็นเตาคู่โดยให้เตาหลักเป็นเตาเผาแบบและเตารองเป็นเตาที่นำความร้อนจากไอเสียจากเตาหลักมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการหลอมให้ขี้ผึ้งไหลออกมาจากแบบ

พบว่าเตาหลักจะใช้แก๊ส LPG คือ 31.6 หรือคิดเป็น 0.096 kg/kg (ทองเหลือง) ซึ่งเปรียบเทียบกับเตาแบบเก่าคือ 0.284 kg/kg (ทองเหลือง) สามารถลดปริมาณการใช้แก๊ส LPG ลงได้ 0.188 kg/kg (ทองเหลือง) หรือคิดเป็น 66% และลดเวลาในการเผาลงคือ 3 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้

ส่วนเตารองจะได้ค่าน้ำหนักหลังเผาของขี้ผึ้งคือ 2 kg จากขี้ผึ้งทั้งหมด 8.4 kg ซึ่งแสดงว่าสามารถนำขี้ผึ้งกลับมาได้ 24 %

6.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการปรับปรุงข้อบกพร่องบางประการ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของเตาเผา ให้มีข้อบกพร่องน้อยลงและสะดวกแก่การใช้งานมากขึ้น ดังนี้

1.) ปรับปรุงถาครองขี้ผึ้งใหม่โดยให้ขี้ผึ้งสามารถไหลออกมาภายนอกเตาได้ เพื่อป้องกันการระเหยไปบางส่วนกับไอเสีย ซึ่งจะทำให้ได้ขี้ผึ้งที่มากขึ้น

2.) ปรับปรุงฐานรองเผาให้ดีขึ้น โดยการเลือกวัสดุที่จะนำมาทำฐานรองเผาควรมีความสามารถในการทนไฟและการเผาไหม้ที่ดีขึ้นกว่าเดิม

3.) ปรับปรุงฐานรองเผาให้ดีและสะดวกในการใช้งานให้มากขึ้น โดยอาจทำเป็นรางหรือใส่ล้อให้สามารถเลื่อนเข้าออกจากเตาได้ง่ายขึ้น ทำให้ประหยัดเวลาในการยกชิ้นงานออกจากเตาได้ มากกว่าเดิม

4.) ควรเลือกใช้วัสดุในการสร้างเตาให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเตาสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

ทวี พรหมพฤกษ์, เตาและการเผา, เอกสารการนิเทศการศึกษา ฉบับที่ 245 ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู , 2525.

รองศาสตราจารย์ มนตรี พิรุณเกษตร, การถ่ายเทความร้อน, กรุงเทพ: วิทยพัฒน์, 2548.

Frank P. Incropera & David P. Dewitt, **Fundamentals of Heat and Mass Transfer 5th**, John Wiley & Sons.

http://www.boonluen.com/images/punpra/main-punpra.htm

http://arcbs.bsru.ac.th/rLocal/print.php?story=03/07/02/5786653

http://concise.britannica.com/ebc/article-9058378/paraffin-wax

http://www.uq.edu.au/ohs/pdfs/alert-paraffin.pdf

http://www.nature.com/nature/journal/v179/n4571/abs/1791187a0.html

http://www.ceramicsrus.co.th/ourProductCategory.php?hId=16

http://www.gasforcar.com/lpg.html

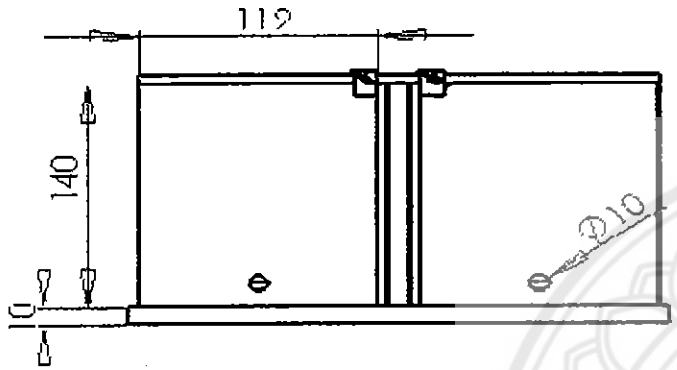
http://www.thaicons.com

http://www.siamfiberglass.com/index.htm

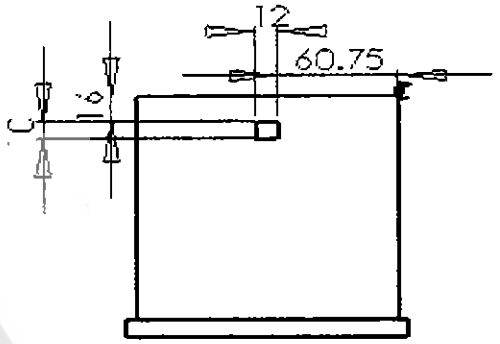
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

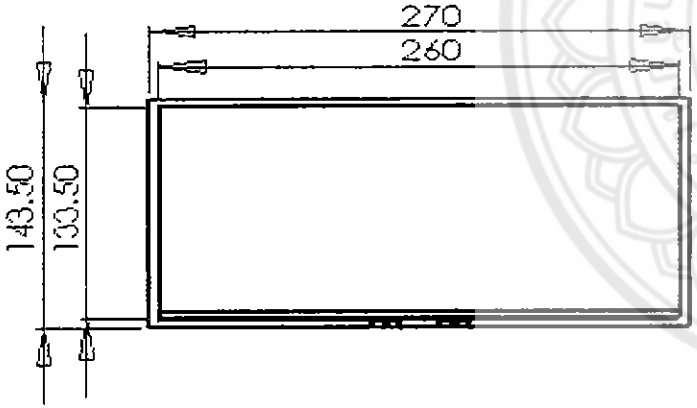
รูปแสดงเตาหล่อพระแบบใหม่



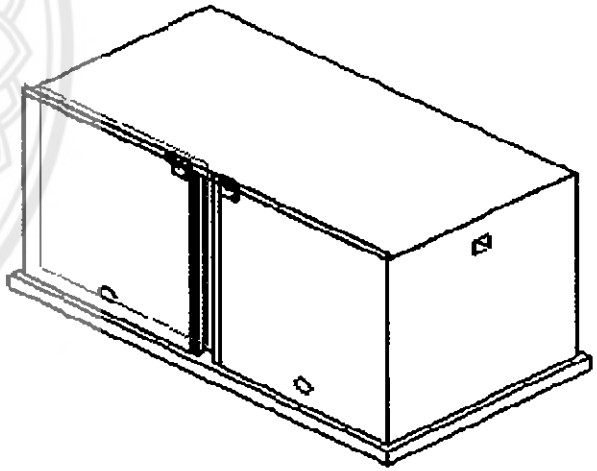
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW

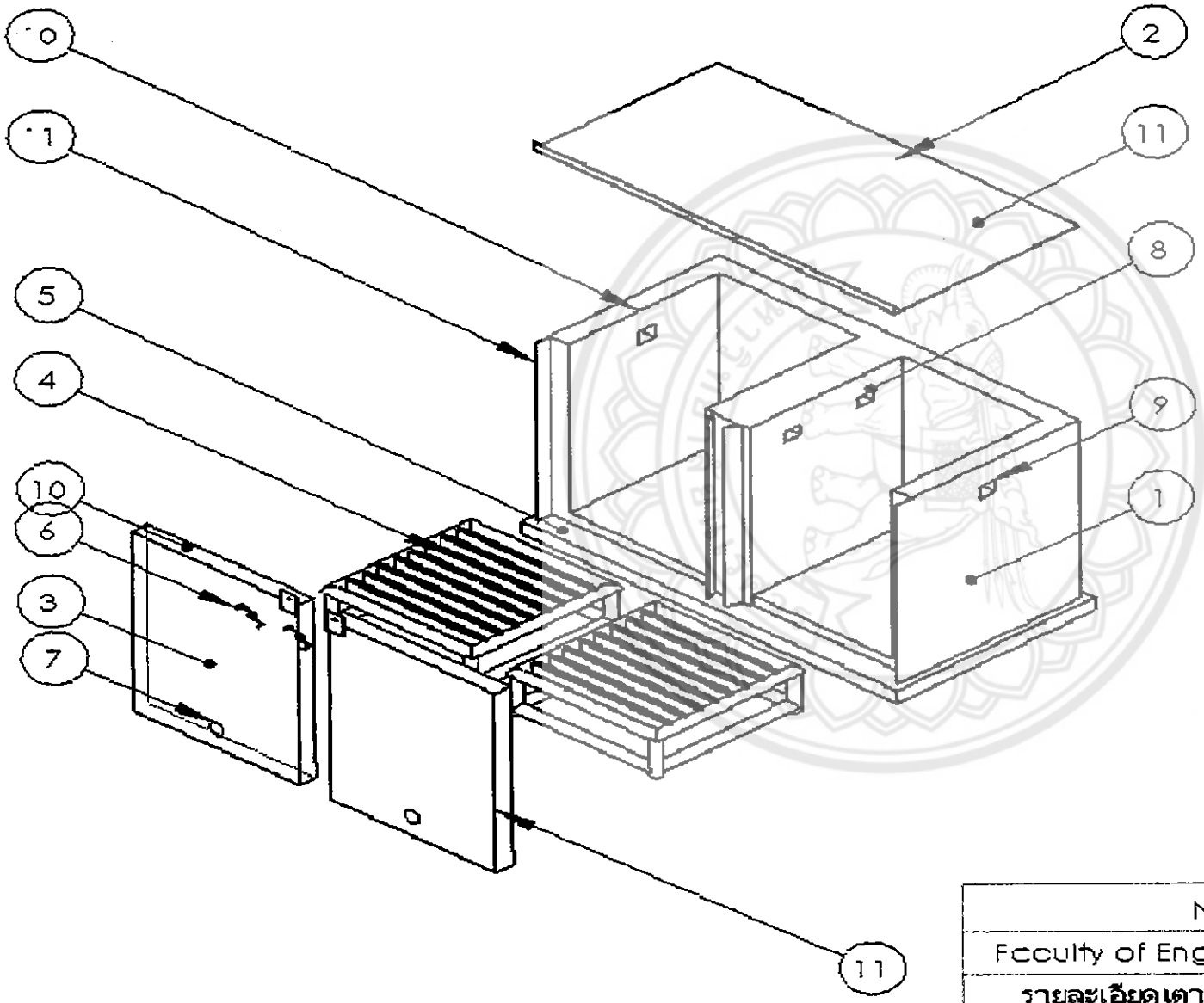


ISOMETRIC VIEW

NARESUAN UNIVERSITY		
Faculty of Engineering	Mechanical Engineering	
เตาหลอมรูปแบบใหม่	Scale	No.
All dimention are in centmeter	1: 40	1/7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

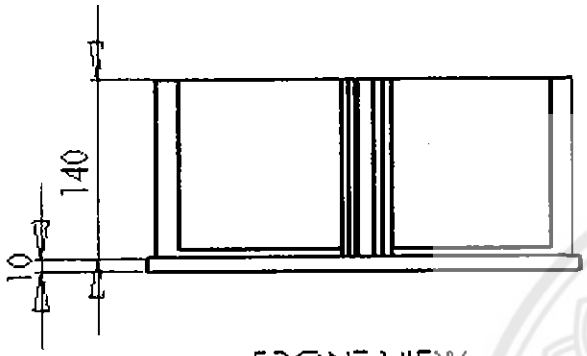
5 4 3 2 1



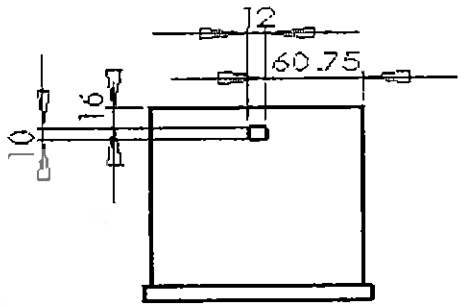
No.	Name
1	ตัวเตา
2	ฝาบน
3	ฝาหน้า
4	ฐานรองเผา
5	พื้นเตา
6	ตัวล็อคฝาหน้า
7	รูหัวเผา
8	รูไอร้อน
9	ช่องอากาศ
10	อิฐทนไฟ
11	โครงเหล็กแผ่น

NARESUAN UNIVERSITY		
Fcculty of Engineering	Mechanical Engineering	
รายละเอียดเตาแบบใหม่	Scale	No.
All dimenton are in centimeter	1:35	2/7

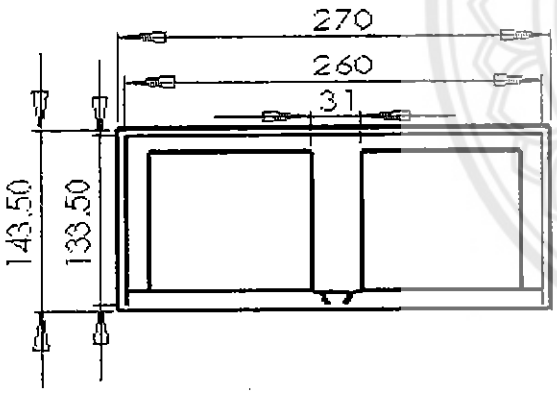
5 4 3 2 1



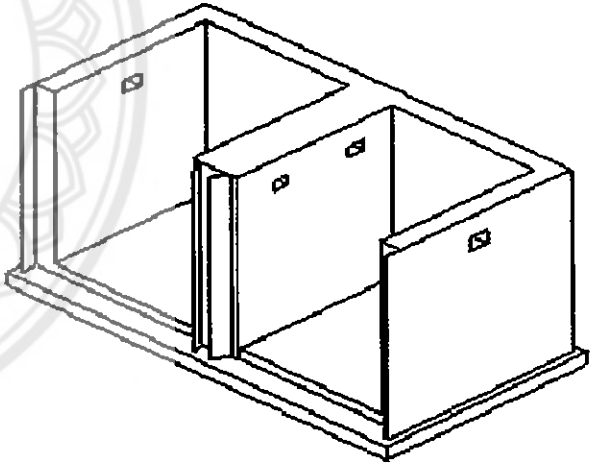
FRONT VIEW



SIDE VIEW



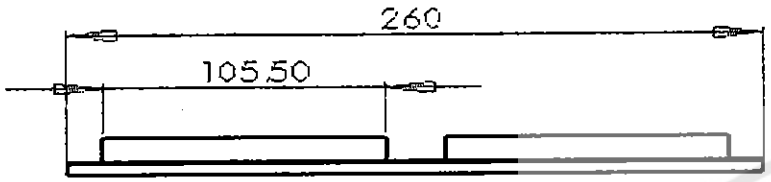
TOP VIEW



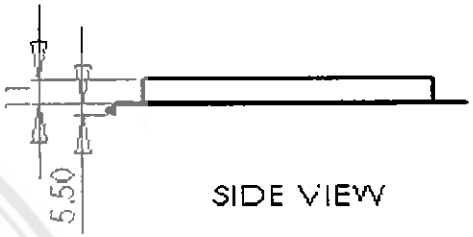
ISOMETRIC VIEW

NARESUAN UNIVERSITY		
Faculty of Engineering	Mechanical Engneering	
เตาหล่อพระแบบใหม่	Scale	No.
All dimention are in centimeter	1 : 40	3/7

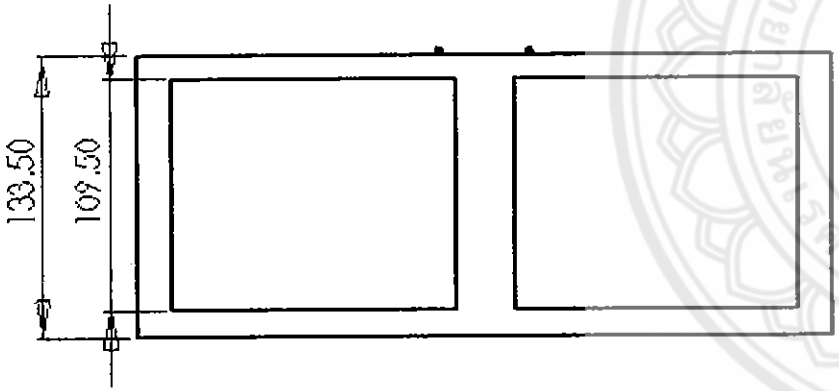
5 4 3 2 1



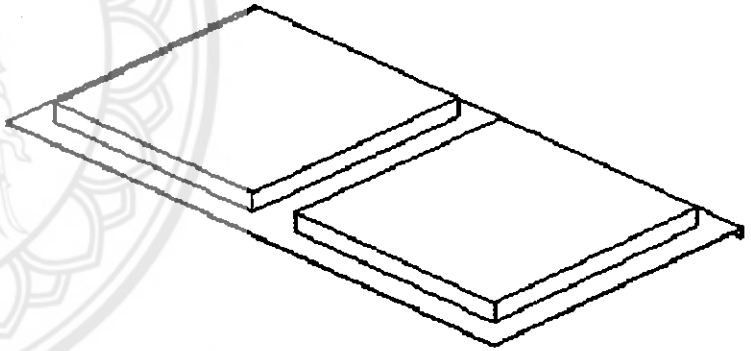
FRONT VIEW



SIDE VIEW



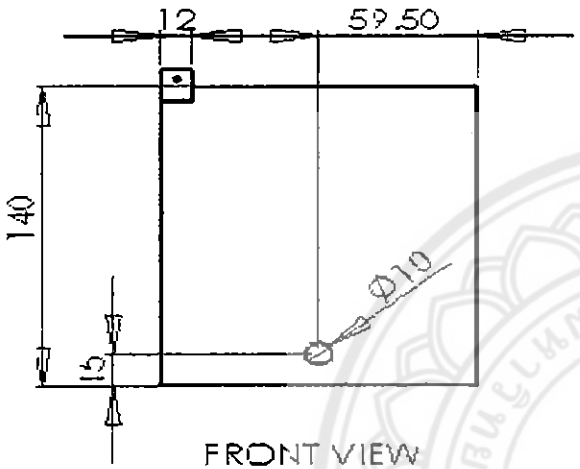
TOP VIEW



ISOMETRIC VIEW

NARESUAN JNIVERSITY		
Faculty of Engineering	Mechanical Engineering	
ฝาบน	Scale	No.
All dimention are in centimeter	1:30	4/7

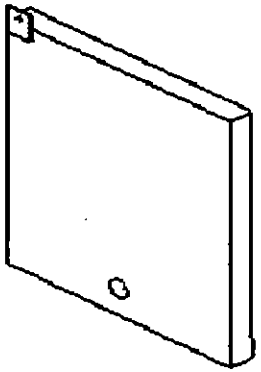
5 4 3 2 1



FRONT VIEW

SIDE VIEW

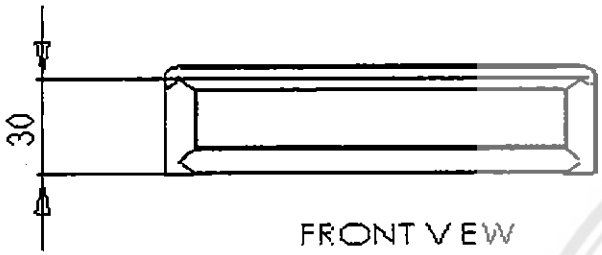
TOP VIEW



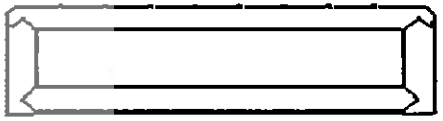
ISOMETRIC VIEW

NARESUAN UNIVERSITY		
Faculty of Engineering	Mechanical Engineering	
ฝาหน้า	Scale	No.
All dimention are in centimeter	1:30	5/7

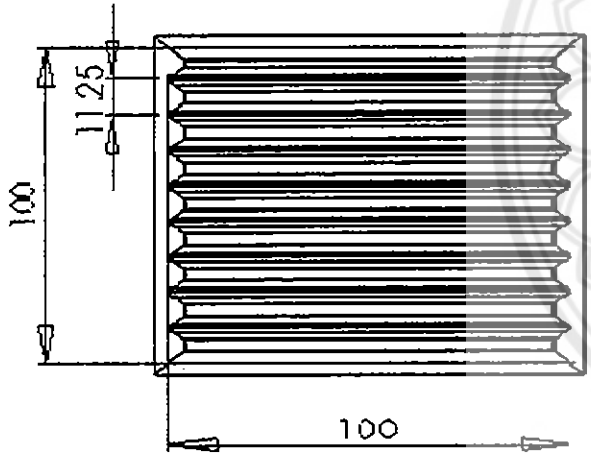
5 4 3 2 1



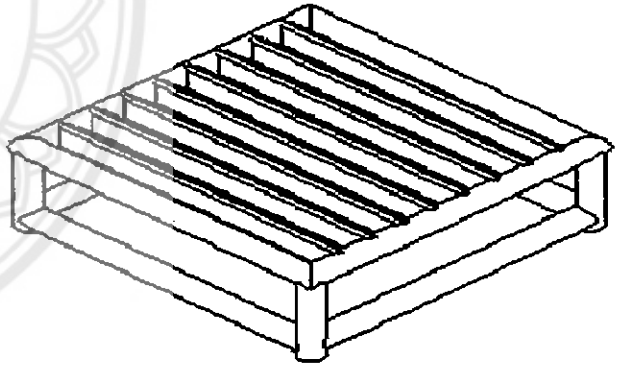
FRONT VIEW



SIDE VIEW



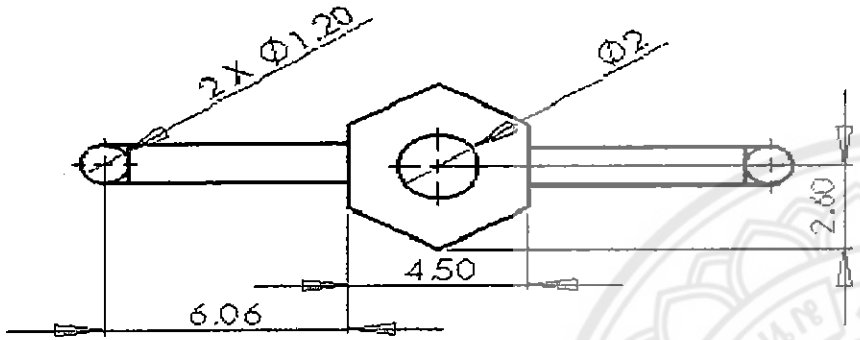
TOP VIEW



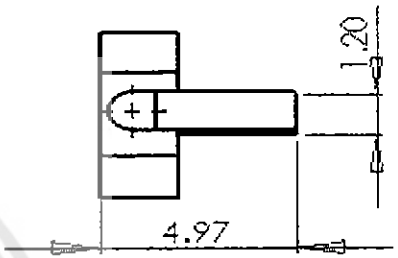
ISOMETRIC VIEW

NARESUAN UNIVERSITY		
Faculty of Engineering	Mechanical Engineering	
ชื่อเรื่อง/แบบ	Scale	No.
All dimention are in centimeter	1:20	6/7

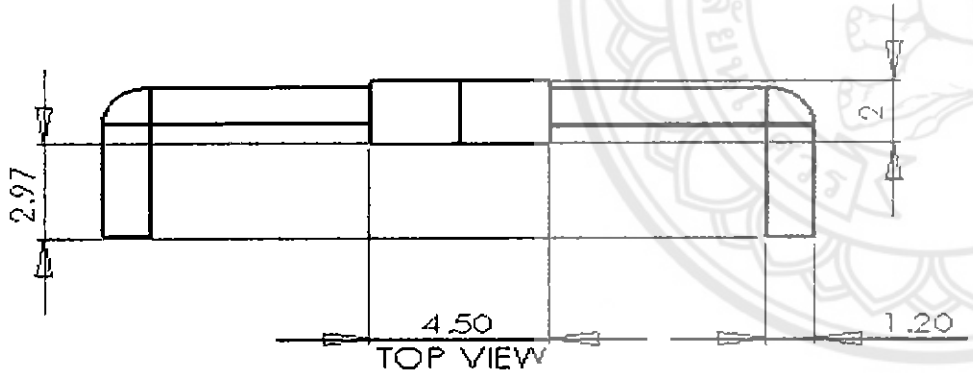
5 4 3 2 1



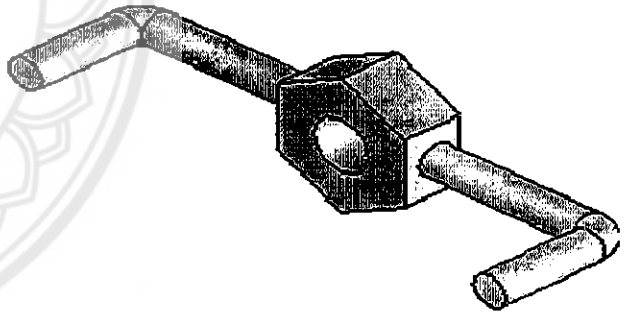
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



ISOMETRIC VIEW

NARESUAN UNIVERSITY		
Faculty of Engineering	Mechanical Engineering	
ตัวล็อคฝาหน้า	Scale	No.
All dmention are in centimeter	1:2	7/7

5 4 3 2 1

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

นายวิทยา จักรเครือ

1. ประวัติส่วนตัว

เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน 2528

ที่อยู่ 196 หมู่ 4 ต.พิชัย อ. เมือง จ.ลำปาง 52000

E-mail honda_c90s@hotmail.com โทรศัพท์ 084-236-2129

2. ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนพงษ์สวัสดิ์วิทยานุเคราะห์ อ.เมือง จ.ลำปาง

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเขลางค์นคร อ.เมือง จ.ลำปาง

นายโจ อำไพจิตร

1. ประวัติส่วนตัว

เกิดวันที่ 24 มิถุนายน 2528

ที่อยู่ 232 หมู่ 7 ต.บ้านหนุน อ.สอง จ.แพร่ 54120

E-mail j.ampaijit@hotmail.com โทรศัพท์ 084-368-2335

2. ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสองพิทยาคม อ.สอง จ.แพร่

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสองพิทยาคม อ.สอง จ.แพร่

นายสามารถ บุญยิ่ง

1. ประวัติส่วนตัว

เกิดวันที่ 5 มีนาคม 2529

ที่อยู่ 79 หมู่ 8 ต.ตาคลี อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ 60140

E-mail tormechanical@hotmail.com โทรศัพท์ 086-932-5463

2. ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนวัดหนองจิกรี อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์

นายสุริยา ทองจีน

1. ประวัติส่วนตัว

เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2528

ที่อยู่ 110 หมู่ 9 ต.หินฮาว อ. หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์ 67120

E-mail su_sura@hotmail.com โทรศัพท์ 089-434-7985

2. ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนหล่มเก่าพิทยาคม อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหล่มเก่าพิทยาคม อ. หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์