รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเตาอุณหภูมิสูงแบบท่อ

Design and Construction High Temperature Tube Furnace

คณะผู้วิจัย นายธนากร เกียรติขวัญบุตร
นายสุชาติ จันทรมณีย์
ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินรายได้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2551

Abstract

The purpose of this research is to construction and test a high temperature tube furnace for using in chemical engineering research and laboratory . The furnace consists of upper section and lower section in order of open and shut during section. The outside furnace made of stainless steel connected to ceramic fiber blanket and ceramic fiber board respectively . Inside the furnace consists of to two heater -coils 1.6 millimeter diameter of 3000 w. The ceramic tube of 65 millimeter diameter and 1 meter length is put in side the furnace for supporting the samples. The control temperature and time furnace by digital system which set to increases and decreases 7 levels. Temperature of the furnace measurement by thermocouple type R. Temperature of test the tube furnace at 300, 500, 700, and 850 °C. The result of measured inside temperature the tube furnace equal 307, 504, 703 and 851°C respectively. Deviation of temperature equal 7, 4, 3 and 1 °C respectively. Outside temperature the tube furnace equal 32, 41, 53 and 59 °C respectively. The maximum current of heater-coil equal 12.64 A

Keywords : High Temperature furnace; Tube furnace

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการสร้างและทดสอบการทำงานของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อเพื่อใช้สำหรับงานวิจัยและ การเรียนการสอนทางวิศวกรรมเคมี เตาเผาจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบนและส่วนล่างซึ่งสามารถเปิด-ปิดได้ ส่วนประกอบของเตาเผาประกอบด้วยชั้นนอกสุดทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ชั้นถัดไปเป็นใยแก้วกันความร้อน ชั้นในสุดทำด้วยเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด ภายในเตาติดตั้งขดลวดความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชุด ชุดละ 3,000 วัตต์ เพื่อเป็นแหล่งกำนิดความร้อน มีท่อเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร เป็นตัวรองรับชิ้นงาน การควบคุมอุณหภูมิและเวลาเป็นการควบคุมแบบดิจิตอล เพิ่ม-ลดอุณหภูมิและเวลาได้ 7 ขั้นลำดับ วัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล Type R อุณหภูมิสำหรับการทดสอบเตากระทำที่ 300, 500, 700 และ850°C ตามลำดับ วัดค่าอุณหภูมิภายในเตาได้ 307, 504 , 703 และ 851 °C ตามลำดับ ความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิ 7, 4, 3 และ 1°C ตามลำดับ วัดค่าอุณหภูมิภายนอกเตาได้ 32 , 41, 53 และ 59°C ตามลำดับอัตราการกินกระแสไฟฟ้าสูงสุด 12.64 แอมแปร์

คำสำคัญ : เตาเผาอุณหภูมิสูง ; เตาเผาแบบท่อ

กิตติกรรมประกาศ

การออกแบบและสร้างเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ(Design and construction of high temperature tube furnace) สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความร่วมมือ ช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกันได้แก่ขอขอบคุณฝ่ายวิจัย และบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนในการสร้างเตาในครั้ง ขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เป็นที่ปรึกษาและผู้ให้การสนันสนุนในการให้ใช้สถานที่ อุปกรณ์ โดยดีมาตลอด ขอขอบคุณ คุณวาทิน ทองวุ่น ที่ช่วยเหลือเรื่องระบบไฟฟ้าของเตา ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ปลูกผล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ และคุณสุชาติ จันทรมณีย์ ที่ให้ยืมเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิ

ธนากร เกียรติขวัญบุตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(2)
Abstract	(3)
กิตกรรมประกาศ	(4)
สารบัญเรื่อง	(5)
รายการตาราง	(6)
รายการรูปภาพ	(7)
สัญลักษณ์	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 2 ระเบียบการวิจัย	10
2.1 การกำหนดขนาดขดลวดความร้อน	10
2.2 การกำหนดรูปแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา	12
2.3 การคำนวณการออกแบบสร้างผนังเตา	12
2.4 การประกอบเตาเผาอุณหภูมิแบบท่อ	14
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย	17
3.1 การทดลองอุ่นเตา	17
3.2 ความเที่ยงตรงในการควบคุมอุณหภูมิและเวลา	19
3.3 อัตราการกินกระสไฟฟ้าของขดลวดความร้อน	20
3.4 การตรวจวัดระดับอุณหภูมิที่ผนังเตา	21
บทที่ 4 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	22
4.1 สรุปผลวิจัย	22
4.2 ข้อเสนอแนะ	22
บรรณานุกรม	23
ภาคผนวก	24
ก. คู่มือการใช้เตาเผาอุณหภูมิแบบท่อ	
ข. ภาพเขียนแบบชิ้นส่วนเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ	

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

บทที่ 1

ตารางที่ 1.1 ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุบางชนิด 4

ตารางที่ 1.2 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล 9

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดมาตรฐานของขดลวด 11

ตารางที่ 2.2 ค่าการนำความร้อนของวัสดุผนังเตา 12

บทที่ 3

ตารางที่ 3.1 ผลต่างของเวลาที่ตั้งค่าไว้ของชุดควบคุมอุณหภูมิกับการจับเวลา 20

ตารางที่ 3.2 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ณ อุณหภูมิต่างๆ 20

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการวัดอุณหภูมิที่ผนังเตาด้านนอก 21

รายการรูปภาพ

รูปที่ หน้า

บทที่1

รูปที่ 1.1 การนำความร้อน 3

รูปที่ 1.2 รูปหน้าตัดทรงกระบอก 5

บทที่2

รูปที่ 2.1 ภาพตัดความหนาส่วนต่างๆภายในเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ 13

รูปที่ 2.2 การประกอบเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อตอนปิด 15

รูปที่ 2.3 การประกอบเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อตอนเปิด 15

รูปที่ 2.4 ภาพประกอบเซรามิกไฟเบอร์บอร์ดเข้ากับโครงเตา 16

รูปที่ 2.5 ภาพเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อเสร็จสมบูรณ์ 16

บทที่3

รูปที่ 3.1 แสดงกราฟการทดลองอุ่นเตาครั้งที่ 1 อุณหภูมิ 300 °C 17

รูปที่ 3.2 แสดงกราฟการทดลองอุ่นเตาครั้งที่ 2 อุณหภูมิ 500 °C 18

รูปที่ 3.3 แสดงกราฟการทดลองอุ่นเตาครั้งที่ 3 อุณหภูมิ 700 °C 18

รูปที่ 3.4 แสดงรูปการตั้งค่าการทำงาน 7 step ของชุดควบคุมอุณหภูมิ 19

สัญลักษณ์

J	ค่าคงที่ของจูล(Mechanical equivalent of heat)
c	ความจุความร้อนจำเพาะ
k	ค่าการนำความร้อน (W/m^2K)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
I	กระแสไฟฟ้า (A)
P	กำลังไฟฟ้า (W)
V	แรงดันไฟฟ้า (V)
R	ความต้านทาน (Ω)
C_t	ค่าแฟคเตอร์ความร้อน
Q	ค่าพลังงานความร้อน(W)
m	มวล (kg)
T	อุณหภูมิ ($^\circ C$)
t	เวลา (s)
A	พื้นที่ (m^2)
L	ระยะความยาว (mm)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (mm)
d	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (mm)

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เตาเผาอุณหภูมิสูงในปัจจุบันมีอยู่หลายแบบหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมีด้วยกัน 2 แบบคือ เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ (High temperature tube furnace) กับเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบห้อง (High temperature chamber furnace) ซึ่งทั้ง 2 แบบการใช้งานจะแตกต่างกัน เตาเผาแบบท่อจะเหมาะกับชิ้นงานขนาดเล็ก แต่มีขนาดความยาวมาก มีน้ำหนักน้อย ส่วนเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบห้อง ชิ้นงานจะมีขนาดใหญ่ มีน้ำหนัก ขนาดกระทัดรัดไม่ยาวมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นลักษณะของชิ้นงานในการเลือกใช้งานเตาว่าแบบไหนเหมาะสมสำหรับการเลือกใช้งานเตา ซึ่งในภาควิชาวิศวกรรมเคมีนั้นก็ได้มีการใช้เตาเผาทั้ง 2 แบบ แต่ที่ใช้กันมากคือเตาเผาแบบท่อ งานที่ใช้จะเน้นไปที่งานวิจัยทั้งระดับปริญญาตรี-โท-เอก ซึ่งงานวิจัยที่เคยใช้เตาเผาชนิดนี้เช่น การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยไม้ยางพารา คุณสมบัติการดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา และงานวิจัยที่ดำเนินการอยู่ การกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากอากาศเสียโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากไม้ยางพารา การกำจัดแอมโมเนียโดยใช้ถ่านกัมมันต์ และในรายวิชาโครงงานวิศวกรรมเคมี 1(230-444) โครงงานวิศวกรรมเคมี 2(230-445) ก็มีการใช้เตาเผาชนิดด้วย ซึ่งจะเห็นว่าจากที่กล่าวมาเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อนี้มีความสำคัญมากต่องานวิจัยซึ่งจะส่งผลการสำเร็จของงานวิจัย การเรียน และการใช้งานในด้านอื่นๆ ด้วย ในปัจจุบันเตาเผาอุณหภูมิแบบท่อไม่เพียงพอต่อการใช้งาน และเตาเผารุ่นที่มีอยู่จะมีปัญหาเมื่อท่ออะลูมินาซึ่งเป็นตัวรองรับชิ้นงานแตกจะต้องเปลี่ยนท่อพร้อมชุดขดลวดความร้อนทำให้เกิดความไม่สะดวกและมีราคาแพงเมื่อต้องเปลี่ยนใหม่ คณะวิจัยจึงมีแผนที่จะสร้างเตาเผาแบบท่อเพื่อใช้ทดแทนของเดิมที่ชำรุดเสียหาย โดยเตาเผาแบบใหม่นี้จะสามารถเปลี่ยนท่อได้ง่ายเมื่อเกิดความเสียหาย สามารถให้ความร้อนอุณหภูมิสูงสุด 800 C ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน และช่วยลดต้นทุนการนำเข้าเตาเผาจากต่างประเทศได้โดยใช้งบประมาณในการสร้างประมาณ 100,000 บาท ซึ่งราคานำเข้าเตาของเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อราคาประมาณ 250,000 – 300,000 บาทต่อ 1 ชุด อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์อื่นต่อไปด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่ออุณหภูมิสูงสุด 800 °C มีการควบคุมการทำงานแบบโปรแกรม 7 Step ไม่มีระบบควบคุมบรรยากาศ มีท่อมัลไลต์ (Mallite)เป็นตัวรองรับชิ้นงาน เพื่อใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี เผาชิ้นงานสำหรับงานวิจัย ทดลอง การเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมเคมีและประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ 1 เครื่อง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเผาตัวอย่างชิ้นงาน สำหรับงานวิจัย ทดลอง การเรียนการสอน ทางด้านวิศวกรรมเคมี และรู้ขั้นตอน การออกแบบ และสร้างเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อและเป็นพื้นฐานในการออกแบบและสร้างงานด้านอื่นๆ ต่อไป

1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบเตาเผาต้องคำนึงถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งานเพื่อใช้ประกอบเป็นข้อมูลของกำลังไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพการใช้งานของเตาเพื่อนำไปสู่การออกแบบ โดยมีหลักทฤษฎีและวิธีการนำมาประยุกต์ใช้งานดังนี้

1.4.1 การออกแบบผนังเตาเผาอุณหภูมิสูง

จากที่ต้องการสร้างเตาเผาแบบท่อที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 800° C โดยที่เกิดการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีขั้นตอนการพิจารณาเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังเตาดังนี้

1.4.1.1 กฎระบายความร้อนของนิวตัน (Newton's law of cooling)

ในการหาค่าการเคลื่อนที่ของความร้อน ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านของไหลแล้วผ่านผนังซึ่งเป็นของแข็งและผ่านไปยังของไหลอีกครั้งหนึ่ง การที่จะรู้ว่าความร้อนเคลื่อนที่จากผนังซึ่งเป็นของแข็งไปสู่ของเหลวได้อย่างไร กรณีเช่นนี้ใช้กฎการระบายความร้อนของนิวตันหาได้ โดยใช้สูตรที่มีปริมาณความร้อนเคลื่อนที่ผ่านของแข็งที่มีพื้นที่หน้าตัด A อุณหภูมิ T_w ไปยังของเหลวที่มีอุณหภูมิ T ได้ดังนี้

$$Q = hA(T_w - T) \qquad (1)$$

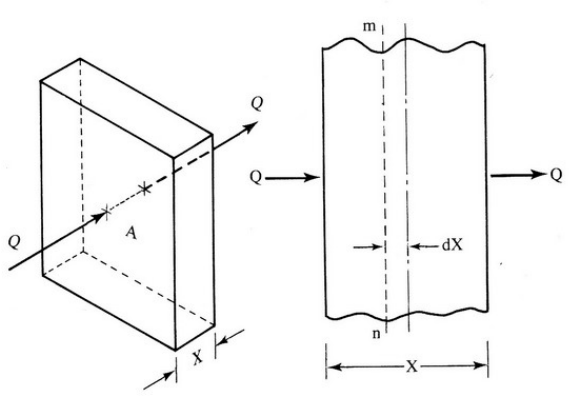
เมื่อ h = สัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) (W/m^2k)

หรือ $$h = \frac{k}{x}$$

1.4.1.2 การเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำความร้อน (Heat conduction)

การนำความร้อนคือ การเคลื่อนที่ของความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำในวัตถุ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ทั้งในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ แต่ความร้อนจะถูกส่งผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ดีที่สุด และโลหะจะนำความร้อนได้

ดีกว่า จากกฎการนำความร้อนของฟูริเยร์ (Fourier 's Law of conduction) อัตราการไหลของความร้อนเมื่อผ่านของแข็งที่มีโมเลกุลเกาะกันอย่างสม่ำเสมอ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกันกับพื้นที่หน้าตัดซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและเป็นปฏิภาคโดยตรงกันกับความแตกต่างของอุณหภูมิของระยะทางที่ความร้อนไหลผ่านซึ่งสามารถเขียนเป็นรูปอธิบายได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การนำความร้อน (ประเสริฐและคณะ)

$A =$ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

$dx =$ ความหนา (m)

$(T - dT) =$ อุณหภูมิสุดท้าย (K)

$T =$ อุณหภูมิเริ่มแรก (K)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิเริ่มแรกกับอุณหภูมิสุดท้ายคือ

$$(T - dT) - T = -dT$$

จากกฎของฟูริเยร์เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q \propto A$$

และ $$Q \propto \frac{dT}{dx}$$

ดังนั้น $$Q = kA\frac{dT}{dx} \qquad (2)$$

เมื่อ $Q =$ ที่มีการเคลื่อนที่ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ (W)

$k =$ ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ (Thermal conductivity of material) (W/mK)

$A =$ พื้นที่ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน (m^2)

$\frac{dT}{dx} =$ ความแตกต่างของอุณหภูมิต่อหน่วยความหนา (K/m)

เมื่อพิจารณารูปที่ 1.1 ความร้อนไหลผ่านชิ้นส่วนของวัตถุที่ภาคตัด m-n และพิจารณาจากสมการที่ 2

$$Q = -kA\frac{dT}{dx}$$

หรือ $$Qdx = kAdT$$

ดังนั้น $$\int_0^x Qdx = -\int_{T_1}^{T_2} kAdT$$

$$Qx = -kA(T_2 - T_1)$$

$$Q = -kA\frac{(T_2 - T_1)}{x}$$

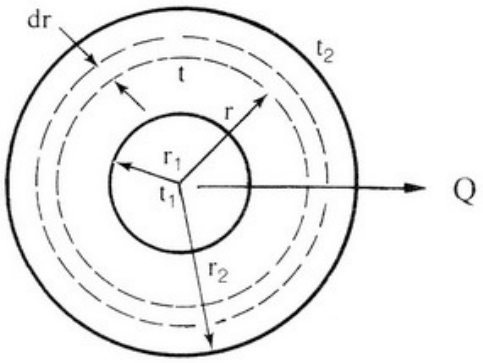
$$Q = \frac{kA(T_2 - T_1)}{x} \qquad (3)$$

การนำความร้อนของวัตถุบางชนิดหาได้จากตารางที่ 1.1 ความสามารถในการนำความร้อนนี้ จะบอกคุณลักษณะว่าวัตถุใดที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูง จะเป็นตัวนำความร้อนได้ดี ในทำนองเดียวกัน วัตถุใดมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำจะเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี แต่เป็นฉนวนกั้นความร้อนดี

ตารางที่ 1.1 ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุบางชนิด (สุชาติ เย็นวิเศษ)

วัตถุ	ความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity) : K
อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Al)	229
แผ่นใยแก้ว (Asbestos slab)	0.052
แก้วหรือกระจก (Glass)	1.04
เหล็กอ่อน (Mild steel)	48.5
อิฐก่อสร้าง (Building brick)	0.35-0.7
ไม้โอ๊ก (Wood oak)	0.15-0.2
ยาง (Rubber)	0.15
อิฐฉนวนกลุ่ม C (Insulation brick)	0.3-0.38
เซรามิกไฟเบอร์ชนิดแผ่น (Blanket) 600° C	0.08
800° C	0.170
1000° C	0.215

1.4.1.3 การเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านท่อทรงกระบอก(Heat conduction through a cylinder)



รูปที่ 1.2 รูปหน้าตัดทรงกระบอก

เมื่อพิจารณาทรงกระบอกที่ระยะ r หนา dr อุณหภูมิ T จากสมการ 2

$$Q = -kA\frac{dT}{dx} = -k(2\pi r \times 1)\frac{dT}{dr}$$

$$\text{หรือ } Q\frac{dr}{r} = -2\pi k dT$$

เนื่องจากค่า Q และค่า k เป็นค่าคงที่ ดังนั้น

$$Q\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = -2\pi k\int_{T1}^{T_2} dT$$

$$\text{หรือ} \quad QIn\frac{r_2}{r_1} = -2\pi k(T_1 - T_2) = 2\pi k(T_1 - T_2)$$

$$\text{หรือ } \boldsymbol{Q = \frac{2\pi k(T_1 - T_2)}{In\frac{r_2}{r_1}}} \qquad (4)$$

จากสมการที่ 3 $\boldsymbol{Q = \frac{kA}{X}(T_1 - T_2)}$

ถ้าให้พื้นที่เฉลี่ยของทรงกระบอกคือ A_m และความหนาของทรงกระบอกคือ $X = r_2 - r_1$

ดังนั้น $$Q = \frac{kA_m(T_1 - T_2)}{r_2 - r_1}$$

เปรียบเทียบกับสมการ 4 ดังนั้น

$$Q = \frac{kA_m(T_1 - T_2)}{r_2 - r_1} = \frac{2\pi k(T_1 - T_2)}{In\frac{r_2}{r_1}}$$

เพราะฉะนั้น $$\frac{A_m}{r_2 - r_1} = \frac{2\pi}{In\frac{r_2}{r_1}}$$

หรือ $$A_m = \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{In\frac{r_2}{r_1}} = \frac{A_2 - A_1}{In\frac{r_2}{r_1}} \qquad (5)$$

เรียก A_m ว่า ลอการิทึมของพื้นที่เฉลี่ย (Logarithmic mean area) ถ้าใช้ค่า A_m แทนในสมการที่ 3 และแทนค่า A_m ด้วย r_m ซึ่งเรียก r_m ว่า ลอการลิทึมของรัศมีเฉลี่ย (logarithmic mean radius)

ดังนั้น $$r_m = \frac{r_2 - r_1}{In\,r_2 / r_1} \qquad (6)$$

ในกรณีผนังของทรงกระบอกประกอบด้วยผนังที่ทำด้วยวัสดุต่างกันหลายๆ ชั้น

$$R = \frac{X}{kA_m}$$

เมื่อ X ปีนความหนาของผนัง. A_m เป็นลอการิทึมของพื้นที่เฉลี่ย และของไหลอยู่รอบๆ ท่อตรงกระบอก จะได้ว่า

$$R_{outside} = R_o = \frac{1}{h_o A_o}$$

โดยที่ R_o คือความต้านทานของของไหลรอบๆ ท่อ

h_o คือ สัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของของไหลรอบๆ ท่อ(Heat transfer coefficient)

A_o คือ พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อ $= 2\pi r_2$

ในทำนองเดียวกัน $$R_{inside} = Ri = \frac{1}{h_i A_i}$$

เมื่อ R_i คือ ความต้านทานของของไหลรอบๆ ภายในท่อ

h_i คือ สัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของของไหลภายในท่อ

A_i คือ พื้นที่ผิวภายในของท่อ $= 2\pi r_1$

จากสมการที่ 4 $$Q = \frac{2\pi k(T_1 - T_2)}{In\,r_2/r_1}$$

จะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของความร้อนไม่ได้ขึ้นอยู่กับผลต่างของรัศมีภายในและภายนอก $(r_2 - r_1)$ แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของรัศมีภายนอกต่อรัศมีภายใน (r_2 / r_1) ดังนั้นถ้าอัตราส่วนของรัศมีภายนอกและภายในน้อย (r_2 / r_1 มีค่าน้อย) อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะมากกว่าอัตราส่วนของรัศมีภายนอกต่อรัศมีภายในที่มีค่ามาก (r_2 / r_1 มีค่ามาก) ในช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากัน ในการทดลองหาอัตราส่วนของท่อที่เหมาะสมพบว่า อัตราส่วนของรัศมีภายนอกต่อภายในมีค่าใกล้ 1 ($r_2 / r_1 \approx 1$) นั่นก็คือความหนาของท่อมีน้อย ในกรณีเช่นนี้รัศมีเฉลี่ยที่ใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของความร้อนผลต่างเฉลี่ยทางเลขคณิต (Arithmetic mean radius) แทนดังนี้

$$r_m = \frac{r_2 + r_1}{2}$$

เมื่อ r_m คือรัศมีเฉลี่ยทางเลขคณิตของท่อ

r_2 คือรัศมีภายนอกของท่อ

r_3 คือรัศมีภายในของท่อ

ถ้าใช้ค่ารัศมีเฉลี่ยทางเลขคณิตในการคำนวณการเคลื่อนที่ของความร้อน จะพบว่ามีการความคลาดเคลื่อนมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ $r_2 / r_1 = 2$ แต่โดยทั่วไปและจากการทดลองพบว่า การวัดความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ของความร้อนจะมีประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าน้อยกว่านี้ยังไม่สามารถควบคุมได้ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่า $r_2 / r_1 < 2$ โดยที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ของความร้อนไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์

1.5 การหาเส้นผ่านศูนย์กลางขดลวดความร้อนที่เหมาะสม (สุชาติ เย็นวิเศษ)

$$d = \frac{1}{2.91}\sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 \times \frac{\varsigma C_1}{\rho}} \qquad (7)$$

$d =$ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดความร้อน (mm)

$P =$ กำลังไฟฟ้า (W)

$V =$ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

$\varsigma =$ Resistivity

$C_t =$ ค่าแฟคเตอร์ความร้อน

$\rho =$ ภาวะความร้อนที่ผิว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดความร้อน จะนำมาพิจารณาสมบัติในการทนกระแสสูงสุดของขดลวดความร้อนว่าจะสามารถรับกระแสสูงสุดได้เท่าไร โดยพิจารณาค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวดความร้อน และหาความต้านทานของขดลวดได้จากสมการ

$$R = \frac{V^2}{(P)(C_t)} \qquad (8)$$

$R =$ ค่าความต้านทาน

$V =$ แรงดันไฟฟ้า

$P =$ กำลังไฟฟ้า

$C_t =$ ค่าแฟคเตอร์ความร้อน

ซึ่งเมื่อใช้กับกำลังไฟฟ้าที่กำหนดจะสามารถหากระแสที่ไหลจริงในขดลวดความร้อนได้จากสมการ

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \qquad (9)$$

I = กระแสไฟฟ้า
P = กำลังไฟฟ้า
R = ค่าความต้านทาน

หากขดลวดความร้อนที่ออกแบบสามารถทนกระแสที่ไหลจริงได้ก็สามารถเลือกนำมาใช้งานได้ โดยพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าที่เลือกใช้ว่าเป็น 3 เฟส หรือ 1 เฟส โดยพิจารณาจากสมการ

$$P = IV \qquad (10)$$

I = กระแสไฟฟ้า
P = กำลังไฟฟ้า
V = แรงดันไฟฟ้า

1.6 เทอร์โมคัปเปิล

การวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการไฟฟ้านั้นจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ การแปลงความร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ เทอร์โมคัปเปิล และ การแปลงความร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงความต้านทานคือ RTD1 เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งสะดวกต่อการนำไปใช้งานจึงเลือก เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด ได้แก่ แบบ B ,R ,S , J , K , T และ E แต่ละชนิดจะมีข้อแตกต่างกันในด้านสมบัติการใช้งานที่สำคัญดังสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 1.2 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล (จุฑามาศและคณะ)

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ mV
		°C	°F	
B	แพลทินัม - 30 % โรเดียม	0-1820	32-3310	0- 13.184
R	แพลทินัม - 13 % โรเดียม	-50 - 1768	-60 - 3210	-2.26 -21 .108
S	แพลทินัม - 10 % โรเดียม	-50 - 1768	-60 - 3210	-2.36 -18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 -1372	-350-1400	-8.096-42.922
K	โครเมล/อลูเมล	-210 -1372	-450 -2500	-6.258-20.869
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270-400	-450-750	-6.258-20.869
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270-1000	-450-1830	-9.835-76.358

สำหรับย่านอุณหภูมิใช้งานที่ระบุไว้ในตารางที่ 1.2 หมายถึง ย่านอุณหภูมิที่สามารถใช้เทอร์โมคัพเพิ้ลได้โดยที่ลวดโลหะที่ประกอบขึ้นเป็นเทอร์โมคัปเปิลยังไม่เปลี่ยนสภาพ

บทที่ 2
ระเบียบและวิธีวิจัย

ในการสร้างและออกแบบเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ มีวิธีการดำเนินการดังนี้คือ

2.1. การ กำหนดขนาดของขดลวดความร้อน (Heater)

หาขนาดความโตของของขดลวดความร้อนจากสูตร

$$d = \frac{1}{2.91}\sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2}\frac{\varsigma C_t}{p}$$

เมื่อ $P = 3000W$

$V = 220V$

$\varsigma = 1.39$

$C_t = 1.05$

$p = 3$

แทนค่าในสูตร

$$d = \frac{1}{2.91}\sqrt[3]{\left(\frac{3000}{220}\right)^2}\frac{1.39\times 1.05}{3}$$

$$d = 1.54mm.$$

จากการคำนวณด้วยสูตรการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขดลวดความร้อนมีค่าเท่ากับ 1.54 mm นำค่าที่คำนวณได้ไปเทียบกับตารางที่ 2.1 จึงได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขดลวดความร้อนคือ 1.6 mm.

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดมาตฐานของขดลวด (Wire and stip.Standart stock items) (สุชาติ เย็นวิเศษ)

Resistivity 1.39 Ω mm^2 m^{-1},Density 7.15 g cm^3

To obtain resistivity at working temperature multiply by the factor C_t in the following table.

°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
C_t	1	1	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07

Diameter (mm)	Resistance Ω/m 20 °C	cm^2/Ω 20 °C	Weight g/m	Surface area cm^2/Ω	Cross sectional area mm^2	Diameter (mm)
7.0	0.0361	6090	275	220	38.5	7.0
6.5	0.0419	4870	237	204	33.2	6.5
6.0	0.0492	3830	202	188	28.3	6.0
5.5	0.0585	2950	170	173	23.8	5.5
5.0	0.0708	2220	140	157	19.6	5.0
4.75	0.0784	1900	127	149	17.7	4.75
4.5	0.0874	1620	114	141	15.9	4.5
4.25	0.0980	1360	101	134	14.2	4.25
4.0	0.111	1140	89.8	126	12.6	4.0
3.75	0.126	936	79.0	118	11.0	3.75
3.5	0.144	761	68.8	110	9.62	3.5
3.25	0.168	609	59.3	102	8.30	3.25
3.0	0.197	479	50.5	94.2	7.07	3.0
2.8	0.226	390	44.4	88.0	6.26	2.8
2.5	0.283	277	35.1	78.5	4.91	2.5
2.25	0.350	202	28.4	70.7	3.98	2.25
2.0	0.442	142	22.5	62.8	3.14	2.0
1.9	0.490	122	20.3	59.7	2.84	1.9
1.8	0.546	104	18.2	56.5	2.54	1.8
1.7	0.612	87.2	16.2	53.4	2.27	1.7
1.6	0.691	72.7	14.4	50.3	2.01	1.6
1.5	0.787	59.9	12.6	47.1	1.77	1.5
1.4	0.903	48.7	11.0	44.0	1.54	1.4
1.3	1.05	39.0	9.49	40.8	1.33	1.3
1.2	1.23	30.7	8.09	37.7	1.13	1.2
1.1	1.46	23.6	6.79	34.6	0.950	1.1
1.0	1.77	17.8	5.62	31.4	0.785	1.0

2.2 การกำหนดรูปแบบชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา

การกำหนดรูปแบบของชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลานั้นจะต้องคำนึงถึงความสามารถและความต้องการคือ

- สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 0 - 850 °C
- สามารถปรับเพิ่ม-ลดอุณหภูมิ
- มีโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิและเวลาเป็นขั้นตอน
- ใช้กับเทอร์โมคัปเปิ้ล Type Rได้

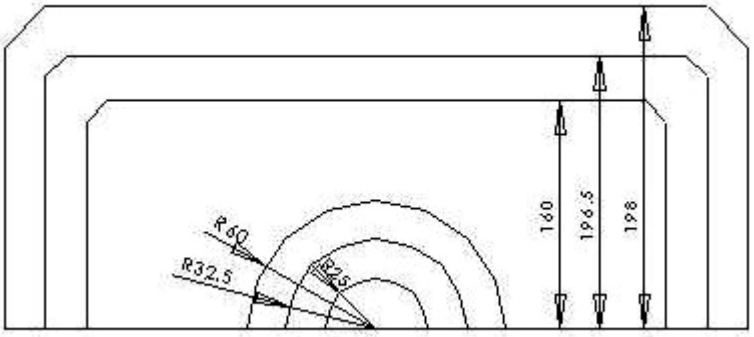
จากความต้องการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่กล่าวมาข้างต้นจึงพิจารณาเลือกชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา ยี่ห้อ Shinko รุ่น FCD – 13A ซึ่งอุณหภูมิได้-200 ถึง 1370 °C มีโปรแกรมตั้งค่าได้ 7 Step สามารถใช้ได้กับเทอร์โมคัปเปิ้ล Type Rได้ จากคุณสมบัติของชุดควบคุมยี่ห้อ Shinko รุ่น FCD – 13A ก็เพียงพอสำหรับการใช้งานของเตาเผาอุณหภูมิแบบท่อ

2.3 การคำนวณการออกแบบและสร้างผนังเตา

หลักการออกแบบผนังเตาเผาคือจะต้องกั้นไม่ให้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในช่องเตา ส่งผ่านผนังเตาออกมาภายนอกได้ซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานและรักษาระดับอุณหภูมิได้จึงนำเอาทฤษฎีการส่งถ่ายความร้อน (Heat Transfer) มาใช้ในการคำนวณของการอกแบบและสร้างผนังเตา
การคำนวณ
กำหนดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากภายในถึงภายนอก 17 W/m^2K สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผิวด้านนอก 15 W/m^2K ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ 0.16 K/W

ตารางที่2.2 ค่าการนำความร้อนของวัสดุผนังเตา(เรียงจากภายในสู่ภายนอก)

ชั้นที่	ชนิดของวัสดุ	ความหนา(มม.)	ค่าการนำความร้อน(K)
1	ท่อเซรามิก		6.3
3	เซรามิกไฟเบอร์		0.17
4	ใยแก้ว		0.052
5	สเตนเลส		8.09



รูปที่ 2.1 ภาพตัดความหนาส่วนต่างๆภายในเตาเผา

การคำนวณ

ความต้านทานในการนำความร้อนของท่อเซรามิก (R_1)

จากสมการ $A_m = \dfrac{A_2 - A_1}{\ln r_1/r_2}$

$$= \frac{2\pi(32.5-25)}{10^3 \ln 32.5/25}$$

$$= 0.1796 m^2$$

$$R_1 = \frac{X}{kA}$$

$$= \frac{7.5}{6.3\times10^3 \times 0.1796}$$

$$= 0.006628 k/W$$

ความต้านในการนำความร้อนของทานอากาศ $R_2 = 0.16 k/W$

ความต้านในการนำความร้อนของเซรามิกไฟเบอร์ R_3

$$R_3 = \frac{X}{KA}$$

$$= \frac{100}{10^3 \times 0.17}$$

$$= 0.5882 k/W$$

ความต้านในการนำความร้อนของใยแก้ว R_4

$$R_4 = \frac{X}{KA}$$

$$= \frac{1.5}{8.09\times10^3}$$

$$= 0.0001854 k/W$$

ความต้านทานรวม R_T

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_B$$
$$= 0.006628 + 0.16 + 0.5882 + 0.7019 + 0.0001854 + \frac{1}{17}$$
$$= 1.4569 + \frac{1}{17} k/W$$
$$= 1.5157 k/W$$

ความสูญเสียต่อตารางเมตร

$$Q = \frac{t_A - t_B}{R_T}$$
$$= \frac{850 - 30}{1.5157}$$
$$= 541.004 W$$

หาอุณหภูมิภายนอก(t_B)

$$\text{หาก } Q = \frac{t_6 - t_B}{R_B}$$
$$541.004 = \frac{t_6 - 30}{\frac{1}{17}}$$
$$t_6 = 61.83°C$$

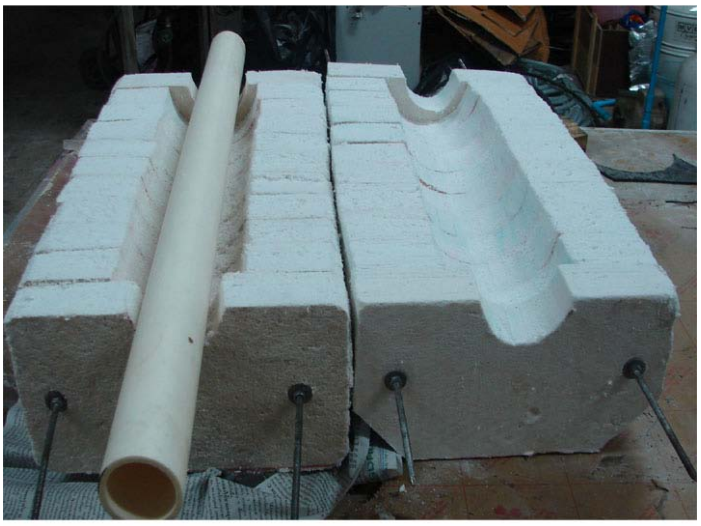
จากการคำนวณค่าอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดเท่ากับ 61.83 °C

2.4 การประกอบเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ

วัสดุและอุปกรณ์

- ขดลวดความร้อนขนาด 1.6 มิลลิเมตร 3000 วัตต์
- สลักเกลียว
- ใยแก้ว
- เซรามิกไฟเบอร์บอร์ด
- ท่อเซรามิก
- โครงเตา (เสตนเลส)
- โต๊ะรองเตา
- ชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา

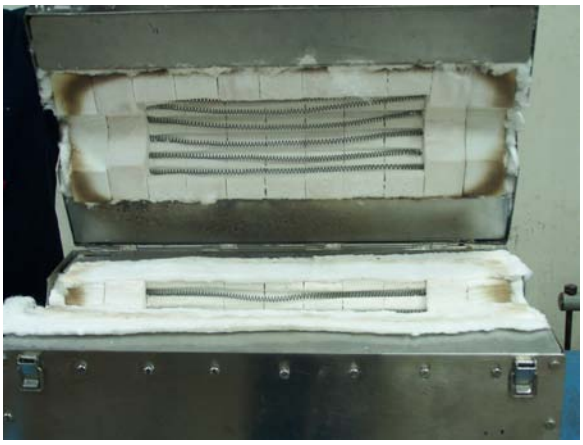
รูปที่ 2.2 การประกอบเตาเผาตอนปิด



รูปที่ 2.3 การประกอบเตาเผาตอนเปิด

ขั้นตอนการประกอบเตาอุณหภูมิแบบท่อ

- ขั้นตอนการประกอบเตาอุณหภูมิสูงแบบท่อเริ่มด้วยนำเซรามิกไฟเบอร์บอร์ดมายึดรวมกันด้วยสลักเกลียวให้แน่นดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.4 ภาพการประกอบเซรามิกไฟเบอร์บอร์ดเข้ากับโครงเตา

รูปที่ 2.5 ภาพเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อเสร็จสมบูรณ์

- เซาะร่องสำหรับวางขดลวดความร้อนจำนวน 8 ร่อง ประกอบขดลวดความร้อนเข้ากับเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด และติดตั้งเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด ใยแก้วกันความร้อนเข้ากับโครงเตาดังรูปที่ 2.4
- ติดตั้งเทอร์โมคัฟเปิ้ลเข้ากับชุดโครงเตาและประกอบชุดควบคุมอุณหภูมิเข้ากับโต๊ะรองเตาดังรูปที่ 2.5 พร้อมต่อระบบไฟฟ้าเข้ากับเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ

- ตรวจสอบความเรียบร้อยโดยดูการยึดกันระหว่างส่วนต่างๆ และระบบไฟฟ้าให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและปลอดภัย

บทที่ 3
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการดำเนินการจัดสร้างเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อตามแผนที่กำหนดแล้วได้ทดลองการทำงานของเตาเผาโดยแบ่งการทดลองดังนี้

3.1 การทดลองอุ่นเตา

3.2 ความเที่ยงตรงในการควบคุมอุณหภูมิ

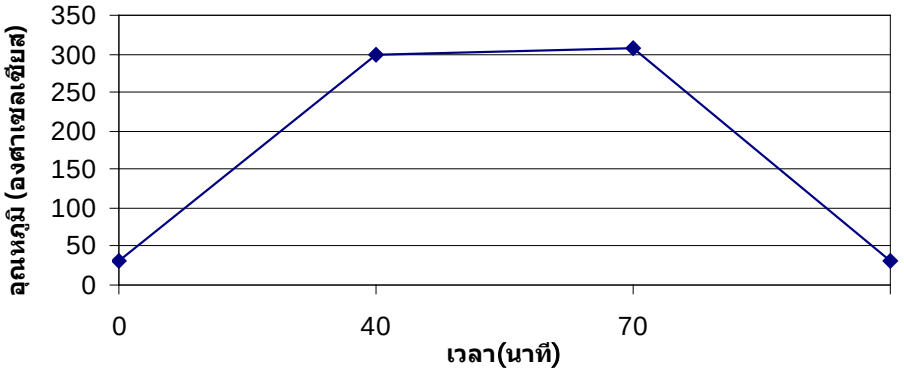
3.3 อัตราการกินกระแสไฟฟ้าของขดลวดความร้อน

3.4 การตรวจวัดอุณหภูมิที่ผนังเตา

3.1 การทดลองอุ่นเตา

การอุ่นเตามีวัตถุประสงค์เพื่อไล่ความชื้นในเตาออก ซึ่งความชื้นต่างๆ จะอยู่ในชิ้นส่วนของเตาที่ประกอบขึ้น การอุ่นเตาจะต้องทำอย่างระมัดระวังโดยจะค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละน้อย เพื่อป้องกันการแตกร้าวของชิ้นส่วนของเตาเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง การอุ่นเตาจะแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ 300 °C 500°C และ 700 °C

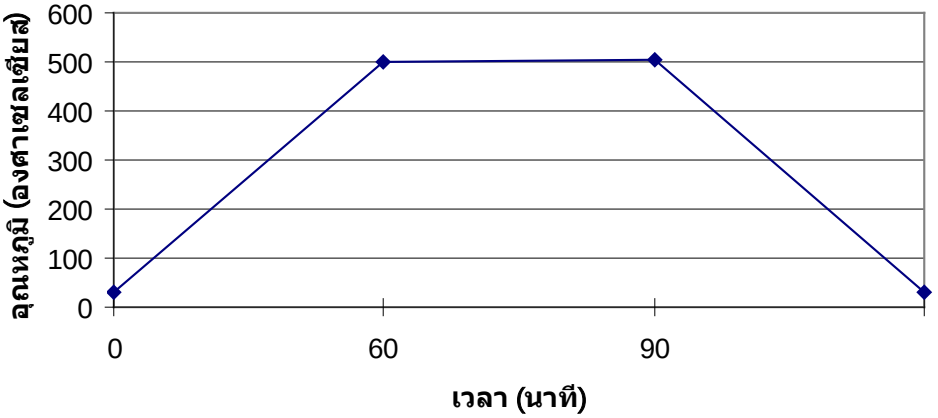
การทดลองอุ่นเตาครั้งที่ 1 อุณหภูมิ 300 °C



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของการทดลองอุ่นเตา ณ อุณหภูมิ 300 °C

จากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิในท่อเซรามิกได้อุณหภูมิ 307.6 °C

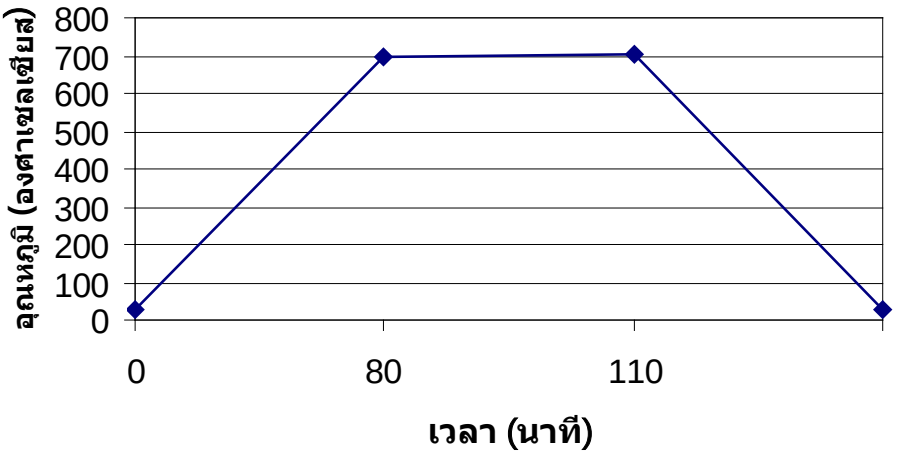
การทดลองอุ่นเตาครั้งที่ 2 อุณหภูมิ 500°C



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของการทดลองอุ่นเตา ณ อุณหภูมิ 500 °C

จากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิในท่อเซรามิกได้อุณหภูมิ 504 °C

การทดลองอุ่นเตาครั้งที่ 3 อุณหภูมิ 700 °C



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของการทดลองอุ่นเตา ณ อุณหภูมิ 700 °C

จากการทดลองวัดค่าอุณหภูมิในท่อเซรามิกได้อุณหภูมิ 703 °C

จากการทดลองอุ่นเตาทั้ง 3 ครั้งพบว่าอุณหภูมิภายในท่อเซรามิกจะมากกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายในเตาที่ตั้งไว้มีค่าเท่ากันกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ชุดควบคุมอุณหภูมิจะตัดกระแสไฟที่ปล่อยให้กับขดลวดความร้อนแต่ในขณะนั้นความร้อนที่สะสมภายในเตาและขดลวดความร้อน ยังมีอยู่ทำให้อุณหภูมิภายในท่อเซรามิกสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้เล็กน้อย และจากการทดลองทำให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอุณหภูมิภายในท่อเซรามิกจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้จากชุดควบคุมอุณหภูมิเนื่องจากว่า ณ อุณหภูมิสูงการควบคุมอุณหภูมิของชุดควบคุมจะมีความเสถียรในการควบคุมอุณหภูมิสูงดีกว่าอุณหภูมิต่ำ

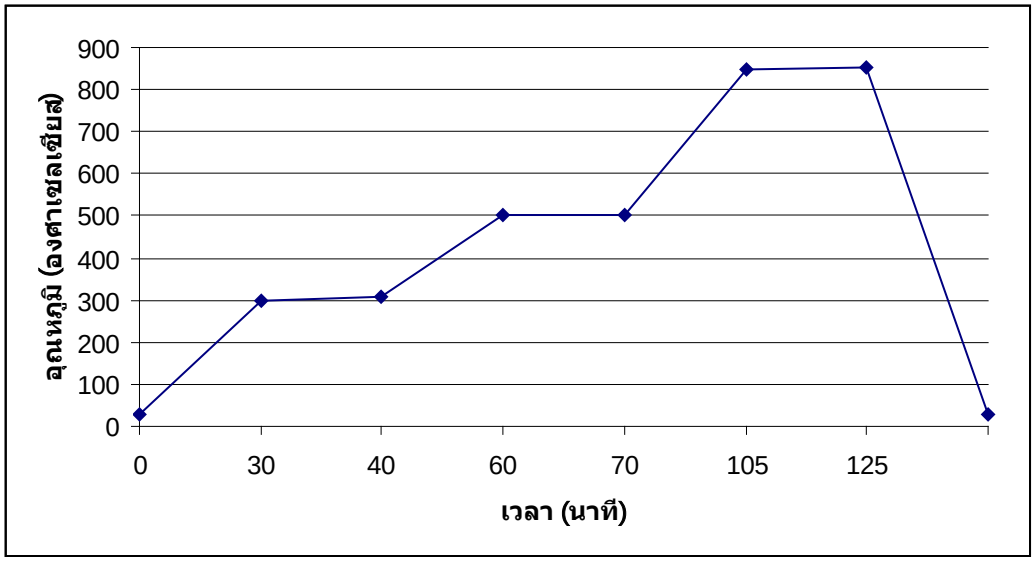
3.2 ความเที่ยงตรงในการควบคุมอุณหภูมิเวลา

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมว่ามีความเที่ยงตรงในการควบคุมอุณหภูมิและเวลาหรือไม่ โดยตั้งอุณหภูมิและเวลาไว้ 7 Step ดังตารางที่ 3.1และรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองการทำงานของชุดควบคุมโดยตั้งอุณหภูมิและเวลาไว้ 7 Step

Step	1	2	3	4	5	6	7
อุณหภูมิชุดควบคุม($^{\circ}$C)	300	300	500	500	850	850	30
อุณหภูมิวัดในท่อเซรามิก($^{\circ}$C)	-	307	-	504	-	851	-
เวลา (นาที)	30	10	20	10	35	10	0

<u>หมายเหตุ</u> เครื่องหมาย (-) หมายถึงไม่สามารถวัดอุณหภูมิได้เนื่องจากอยู่ในช่วงอุณหภูมิกำลังสูงขึ้น



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิของการตั้งค่าการทำงาน 7 step ของชุดควบคุมอุณหภูมิ

จากการทดลองใช้ฟังชั่นก์ของตัวควบคุมอุณหภูมิ พบว่ามีการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานตามปกติคือสามารถทำงานได้ 7 ขั้นตอนและจากการตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 850°C เมื่อวัดอุณหภูมิในท่อได้ 851°C

ตารางที่3.2 ผลต่างของเวลาที่ตั้งค่าไว้ของชุดควบคุมอุณหภูมิกับการจับเวลา

Step	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ตั้งไว้กับชุดควบคุม (นาที)	การจับเวลาแบบต่อเนื่อง (นาที)	ส่วนต่างเวลาระหว่างเวลาที่ตั้งไว้กับการจับเวลา (นาที)
1	300	30	30	30
2	300	10	39.57	9.57
3	500	20	59.58	20.01
4	500	10	69.57	9.99
5	850	35	104.55	34.98
6	850	10	114.53	9.98
7	28	0	0	0

จากตารางที่3.2พบว่าผลต่างระหว่างเวลาที่ตั้งไว้กับชุดควบคุมอุณหภูมิกับการจับเวลามีค่าใกล้เคียงกันมากจึงถือว่าการทำงานในส่วนตั้งค่าเวลาของชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลาทำงานได้ตามปกติ

3.3 อัตราการกินกระแสไฟฟ้าของขดลวดความร้อน

ทดสอบจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนพร้อมวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ด้วยเครื่องแคลมล์มิเตอร์ยี่ห้อ KYORITSU Model KEW SNAP 200 ผลที่ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ณ อุณหภูมิต่างๆ

ลำดับที่	ระดับอุณหภูมิ(°C)	กระแสไฟฟ้า (A)
1	100	12.51
2	300	12.53
3	500	12.52
4	700	12.46
5	850	12.64

ผลการทดสอบอัตราการกินกระแสไฟฟ้าของขดลวดความร้อนจากตารางที่3.3 จะเห็นว่าไม่ว่าอุณหภูมิสูงหรือต่ำอัตราการกินกระไฟฟ้าของขดลวดความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากอัตราการกินกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าคงที่จะทำให้กระไฟฟ้ามีค่าคงที่ด้วย

3.4 การตรวจวัดระดับอุณหภูมิที่ผนังเตา

จากการทดลองวัดอุณหภูมิที่ผนังเตาเพื่อต้องการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในท่อเซรามิกกับผนังเตา โดยวัดอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดที่เป็นโครงเสตนเลสดังตารางที่

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการวัดอุณหภูมิที่ผนังเตาด้านนอก

ตำแหน่งการวัด	ระดับอุณหภูมิ			
อุณหภูมิภายในท่อเซรามิก($^{\circ}$C)	300	500	700	850
อุณหภูมิที่ผนังเตา($^{\circ}$C)	32	41	53	59

จากตารางที่3.4 พบว่า เมื่ออุณหภูมิภายในท่อเซรามิกเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิที่ผนังเตาก็เพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำพาความร้อนก็จะเพิ่มสูงขึ้นโดยจะแปรผันตามอุณหูมิที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่อยู่ภายใน ทำให้อุณหภูมิที่ผนังเตาของอุณหภูมิสูงมีมากกว่าต่ำ

บทที่ 4
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลวิจัย

จากการทดสอบเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อสามารถสรุปได้ดังนี้

- การทดสอบอุณหภูมิภายในเตาโดยใช้อุณหภูมิ 300, 500, 700 และ 850 °C สามารถวัดอุณหภูมิภายในเตาได้ 301, 504, 703และ 851 °C มีความคลาดเคลื่อน 1 °C โดยยึดค่าอุณหภูมิสูงสุดของเตาเผา

- จากการทดสอบการทำงานชุดควบคุมอุณหภูมิ และเวลายี่ห้อ Shinko รุ่น FCD – 13A มีการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานได้ถูกต้องคือสามารถทำงานได้ 7 ขั้นตอนและการทดสอบการทำงานในส่วนตั้งค่าเวลาของชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลาสามารถทำงานได้ถูกต้องตามเวลาที่ตั้งค่าไว้

- อัตาการกินกระแสไฟฟ้าสูงสุดของขดลวดความร้อนขนาด 1.6 มิลลิเมตร 3000วัตต์ 220 โวลท์ เท่ากับ 12.64 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิ 850°C

- การตรวจวัดอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดโดยใช้อุณหภูมิทดสอบ 300, 500, 700 และ 850 °C วัดอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดได้ 32, 41, 53 และ 59 °C ตามลำดับ จากค่าที่คำนวณอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดเท่ากับ 61.83°C จะได้ค่าผลต่างของค่าที่คำนวณอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดกับอุณหภูมิที่ผนังเตานอกสุดโดยใช้อุณหภูมิทดสอบเท่ากับ 2 °C

- การใช้งานเตาเผาอุณหภูมิแบบท่อแหมาะกับตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 300-850 °C มีขนาดตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ยาวไม่เกิน 300 มิลลิเมตร หนักไม่เกิน 500 กรัม

4.2 ข้อเสนอแนะ

- เช็คเตาอุณหภูมิสูงว่าอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานหรือเปล่า
- ทำตามคู่มือการใช้อย่างเคร่งครัด
- ไม่ควรสัมผัสโครงเตาขณะใช้งานเนื่องจากอาจจะมีความร้อนและไฟรั่ว
- ห้ามนำชิ้นงานที่มีน้ำหนักเกินวางลงบนท่อเซรามิกเพราะจะทำให้ท่อหักได้
- หากเกิดไฟฟ้าช็อตให้ปิด Breaker แล้วติดต่อผู้รับผิดชอบ
- ทำความสะอาดทุกครั้งหลังการใช้งาน

บรรณานุกรม

1. จุฑามาศและคณะ. 2549. **การออกแบบและสร้างเตาอบชุบแข็งโลหะ**. ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, หน้า22-37

2. ประเสริฐและคณะ. 2539. **ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์**. บ.เอช.เอ็น กรุ๊ป จำกัด , กรุงเทพ

3. สุชาติ เย็นวิเศษ. 2544. **รายงานการวิจัยเตาอบโลหะอุณหภูมิสูง**. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้, หน้า 3-38

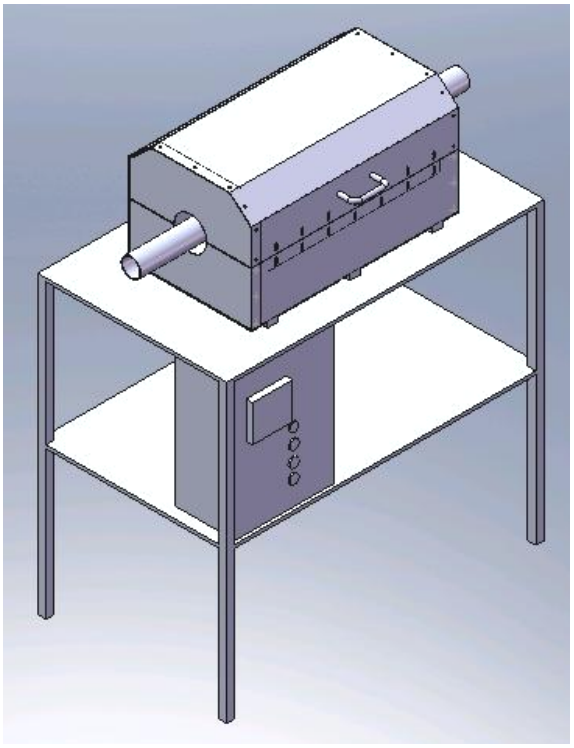
4. PRIMA tryck. 2006. Fibrothal handbook heating and insulation systems. Sweden.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้เตาเผาอุณหภูมิแบบท่อ

คู่มือการใช้งานเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ

(Manual for High Temperature Tube Furnace)



คำนำ

คู่มือการใช้เตาเผาอุณหภูมิแบบท่อ (High Temperature Tube Furnace) นี้จำทำขึ้นเพื่อเป็นคู่ประกอบการใช้งาน แก่ นักศึกษา อาจารย์ หรือผู้ที่จะใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ เพื่อสามารถใช้เตาได้ถูกต้อง ปลอดภัย โดยในเนื้อหาประกอบด้วย ส่วนประกอบของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ ส่วนประกอบของตู้ควบคุม ส่วนประกอบของชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา ขั้นตอนการตั้งค่าอุณหภูมิ ขั้นตอนการตั้งค่าเวลา และ ข้อควรระวังและการบำรุงรักษา ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานต่อไป

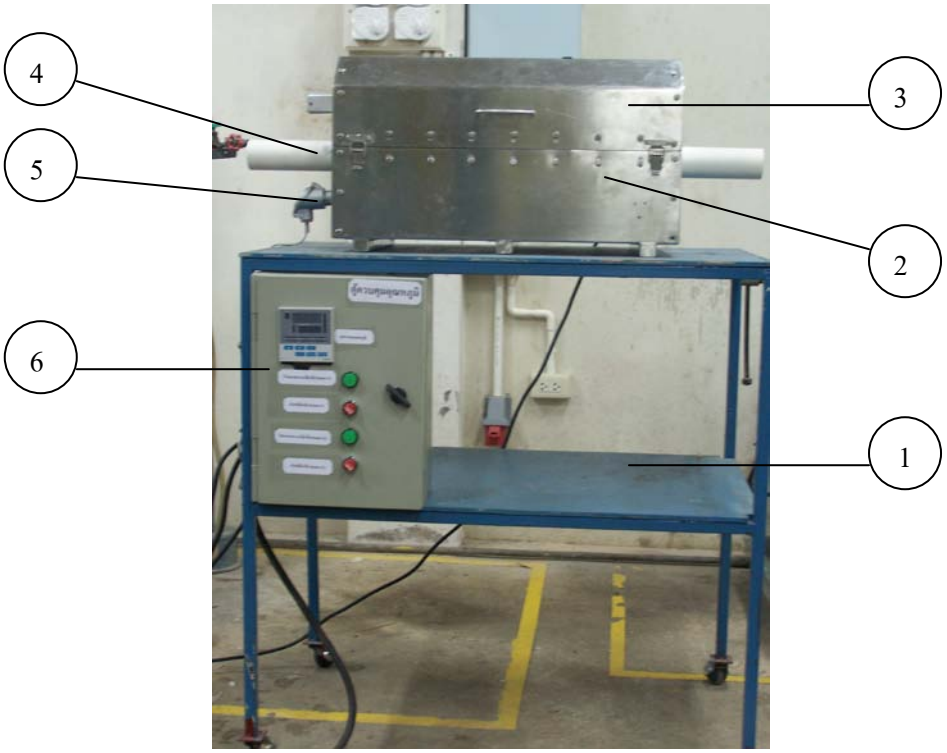
ธนากร เกียรติขวัญบุตร
ผู้จัดทำ
2553

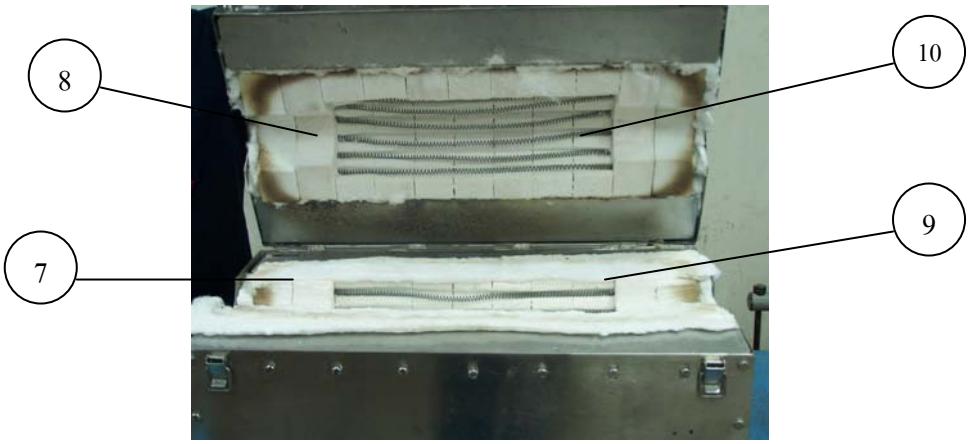
สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ส่วนประกอบของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ	1
ส่วนประกอบของตู้ควบคุม	2
ส่วนประกอบของชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา	3
ขั้นตอนการตั้งค่าอุณหภูมิ	4
ขั้นตอนการตั้งค่าเวลา	7
ข้อควรระวังและการบำรุงรักษา	10

.....

ส่วนประกอบของเตาเผาอุณหภูมิสูงแบบท่อ





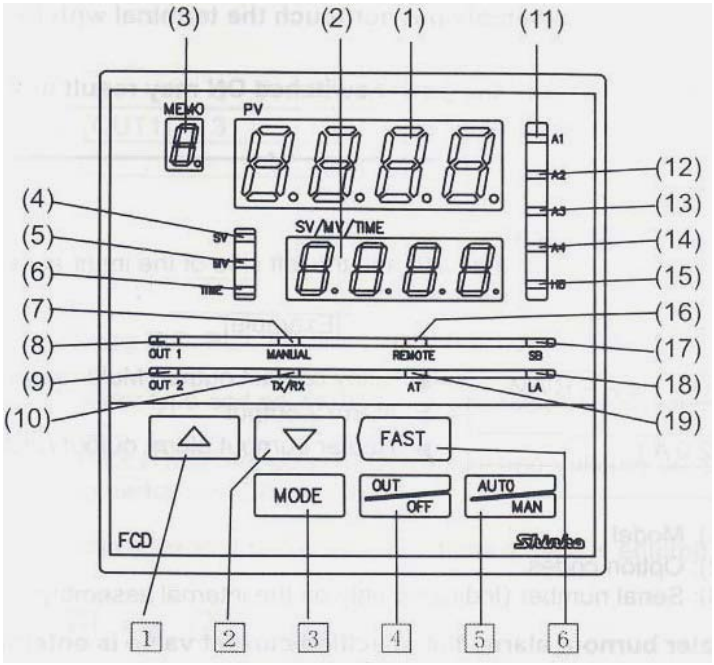
1. โต๊ะรองรับเตาเผา
2. โครงเสตนเลสด้านล่าง
3. โครงเสตนเลสด้านบน
6. ชุดควบคุม (Control box)
7. ชุดเซรามิกไฟเบอร์บอร์ดชุดที่ 1
8. ชุดเซรามิกไฟเบอร์บอร์ดชุดที่ 2

4. ท่อเซรามิก
5. เทอร์โมคัฟเปิ้ล TYPE R
9. Heater ชุดที่ 1
10. Heater ชุดที่2

ส่วนประกอบของชุดควบคุม

1. ชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา
2. หลอดไฟแสดงการทำงานของHeater ชุดที่1
3. สวิตซ์เปิด-ปิดการทำงานของ Heater ชุดที่1
4. หลอดไฟแสดงการทำงานของHeater ชุดที่2
5. สวิตซ์เปิด-ปิดการทำงานของ Heater ชุดที่2
6. มือหมุนเปิด-ปิด ตู้ควบคุม

ส่วนประกอบของชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลา



(1) PV display

(2) SV display (SV/MV/TIME)

(3) Set value memory number display (MEMO)

(4) SV indicator (SV)

(5) MV indicator (MV)

(6) Time indicator (TIME)

(7) Manual control indicator (MANUAL)

(8) Control output (OUT1) or Heating output action indicator (OUT 1)

(9) Cooling output action (OUT 2

(10) Serial communication output indicator (TX/RX) (Option)

(11) Alarm 1 (A1) output action or Pattern end 1 output indicator (A1)

(12) Alarm 2 (A2) output action or Pattern end 2 output indicator (A2) (Option)

(13) Alarm 3 output action indicator (A3) (Option)

(14) Alarm 4 output action indicator (A4) (Option)

(15) Heater burnout alarm output action indicator (HB) (Option)

(16) Remote indicator (REMOTE) (Option)

(17) Sensor burnout indicator (SB)

(18) Loop break alarm output action indicator (LA) (Option)

(19) Auto-turning action indicator (AT)

ปุ่มกดต่างๆ

1	△	Increase key เพิ่ม จำนวนตัวเลขในส่วนของ SV display ขณะทำการ setting
2	▽	Decrease key ลด จำนวนตัวเลขในส่วนของ SV display ขณะทำการ setting
3	MODE	Mode key เลือกโหมดการ setting
4	OUT OFF	OUT/OFF key ปุ่มควบคุมการเปิด-ปิดการทำงาน
5	AUTO MAN	Auto/Manual key ปุ่มควบคุมระหว่างระบบ Manual กับ Auto
6	FAST	Fast key

ชุดควบคุมอุณหภูมิรุ่น FCD-13A Shinko เป็นรุ่นที่สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานได้ 7 Step การตั้งค่าการใช้งานของชุดควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การตั้งค่าอุณหภูมิ
2. การตั้งค่าเวลา

1.ขั้นตอนการตั้งค่าอุณหภูมิ

1.1 เมื่อเปิด Breaker ไฟแสดงสถานะของในช่อง PV ของชุดควบคุมอุณหภูมิจะแสดงอุณหภูมิขณะนั้นขึ้นดังรูป

1.2 กดปุ่ม △ + MODE พร้อมกันแล้วแช่ไว้ ในช่อง SV หากเป็น Step แรก ให้ใส่ค่าเลข 1 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽

1.3 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง

1.4 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง ในช่อง SV ใส่ค่า 2.5 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽

1.5 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง ในช่อง SV ใส่ค่า 200 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽

1.6 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง ในช่อง SV ใส่ค่า 50 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽

1.7 กดปุ่ม MODE 1 ครั้งในช่อง SV ใส่ค่า 100 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽

1.8 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง

1.9 กดปุ่ม MODE 1 ครั้งช่อง SV ใส่ค่า 500 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิที่เราต้องการของ Step ที่ 1

1.10 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง หน้าจอของชุดควบคุมจะกลับไปสู่อุณหภูมิน ขณะนั้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของStep ที่ 1 ของการตั้งอุณหภูมิ

1.11 จากขั้นตอนที่ 1.10 ต้องการไปยัง Step ที่ 2 กดปุ่ม △ + MODE พร้อมกันแล้วแช่ไว้ ในช่อง SV ให้ใส่ค่าเลข 2 สามารถเพิ่มหรือลดค่าตัวเลขได้โดยการกดปุ่ม △ หรือ ▽

1.12 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง ในช่อง MEMO จะเปลี่ยนเป็น Step ที่ 2

1.13 ทำตามขั้นตอน 1.4- 1.12 จนกว่าจะครบ 7 Step หรืออาจจะตั้งไม่ครบ 7 Step ก็ได้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

<u>หมายเหตุ</u> การตั้งค่าอุณหภูมิสุดท้ายไม่ว่าจะตั้งจะครบ 7 Step หรือไม่ครบ 7 Step ก็ตามให้ตั้งค่าอุณหภูมิสุดท้ายเป็นอุณหภูมิห้องเพื่อต้องการให้เตาเผาลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้มาสู่อุณหภูมิห้อง

2. ขั้นตอนการSet เวลา

ในการตั้งเวลาก็มี 7 Step เหมือนกับการตั้งอุณหภูมิ การตั้งเวลานั้นจะต้องตั้ง Step ของเวลาให้ตรงกับ Step ของอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้

2.1 หน้าจอปกติ

2.2 กดปุ่ม △ + ▽ พร้อมกันแล้วแช่ไว้ จะปรากฏผลดังรูป

2.3 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step แรก หน่วยเวลาจะเป็นชั่วโมง สามารถเพิ่ม-ลดเวลาโดยการกดปุ่ม △ และ ▽

2.4 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step ที่ 2 หน่วยเวลาจะเป็นชั่วโมง สามารถเพิ่ม-ลดเวลาโดยการกดปุ่ม △ และ ▽

2.5 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step ที่3 หน่วยเวลาจะเป็นชั่วโมง สามารถเพิ่ม-ลดเวลาโดยการกดปุ่ม △ และ ▽

2.6 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step ที่ 4 หน่วยเวลาจะเป็นชั่วโมง สามารถเพิ่ม-ลดเวลาโดยการกดปุ่ม △ และ ▽

2.7. กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step ที่ 5 หน่วยเวลาจะเป็นชั่วโมง สามารถเพิ่ม-ลดเวลาโดยการกดปุ่ม และ

2.8 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step ที่ 6 หน่วยเวลาจะเป็นชั่วโมง สามารถเพิ่ม-ลดเวลาโดยการกดปุ่ม และ

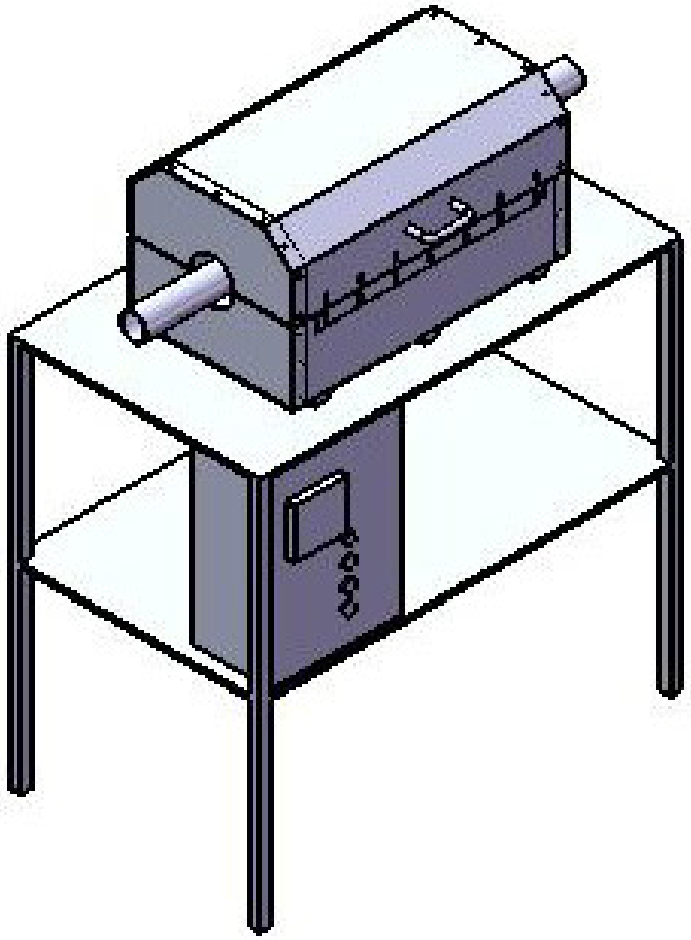
2.9 กดปุ่ม MODE 1 ครั้ง จะเป็นการตั้งค่าเวลาของ Step ที่ 7 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

<u>หมายเหตุ</u> การตั้งค่าเวลาสุดท้ายไม่ว่าจะตั้งจะครบ 7 Step หรือไม่ครบ 7 Step ก็ตามให้ตั้งค่าเวลาสุดท้ายเป็น 00.00 หรือไม่ใส่ค่าเวลาใดๆ เพื่อต้องการให้ชุดควบคุมอุณหภูมิและเวลาตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับHeater ทำให้ความร้อนของเตาลดลงโดยอัตโนมัติ

ข้อควรระวังและการบำรุงรักษา

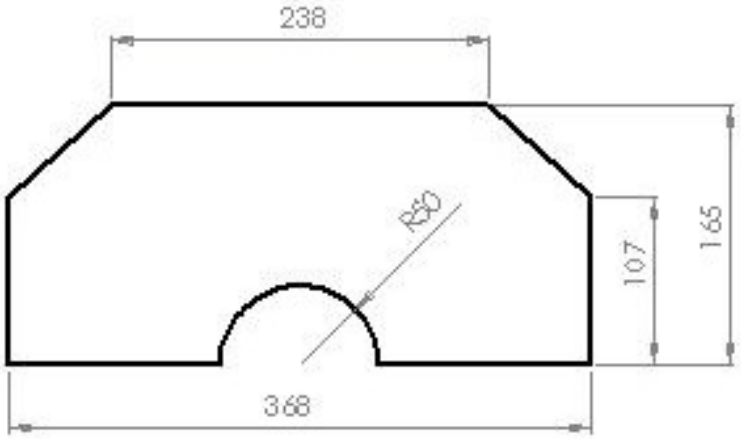
1. การใช้งานเตาเผาอุณหภูมิแบบท่อแหมาะกับตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 300-850 °C มีขนาดตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ยาวไม่เกิน 300 มิลลิเมตร หนักไม่เกิน 500 กรัม
2. เช็คเตาอุณหภูมิสูงว่าอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานหรือเปล่า
3. ทำตามคู่มือการใช้อย่างเคร่งครัด
4. ไม่ควรสัมผัสโครงเตาขณะใช้งานเนื่องจากอาจจะมีความร้อนและไฟรั่ว
5. ห้ามนำชิ้นงานที่มีน้ำหนักเกินวางลงบนท่อเซรามิกเพราะจะทำให้ท่อหักได้
6. หากเกิดไฟฟ้าช็อตให้ปิด Breaker แล้วติดต่อผู้รับผิดชอบ
7. ทำความสะอาดทุกครั้งหลังการใช้งาน

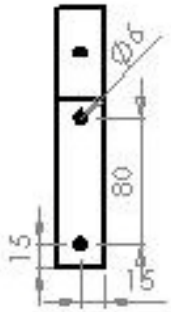
ภาคผนวก ข
ภาพเขียนแบบชิ้นส่วนเตาอุณหภูมิสูงแบบท่อ

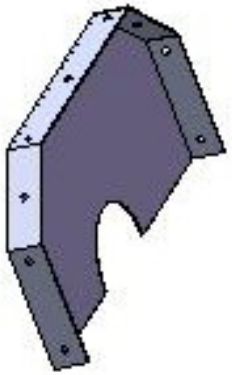


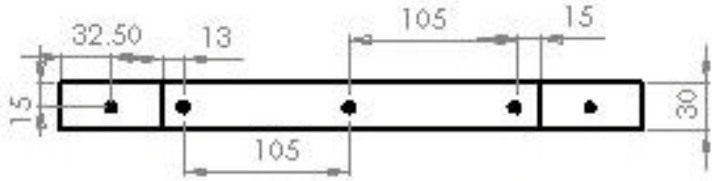
ภาพประกอบ

A4





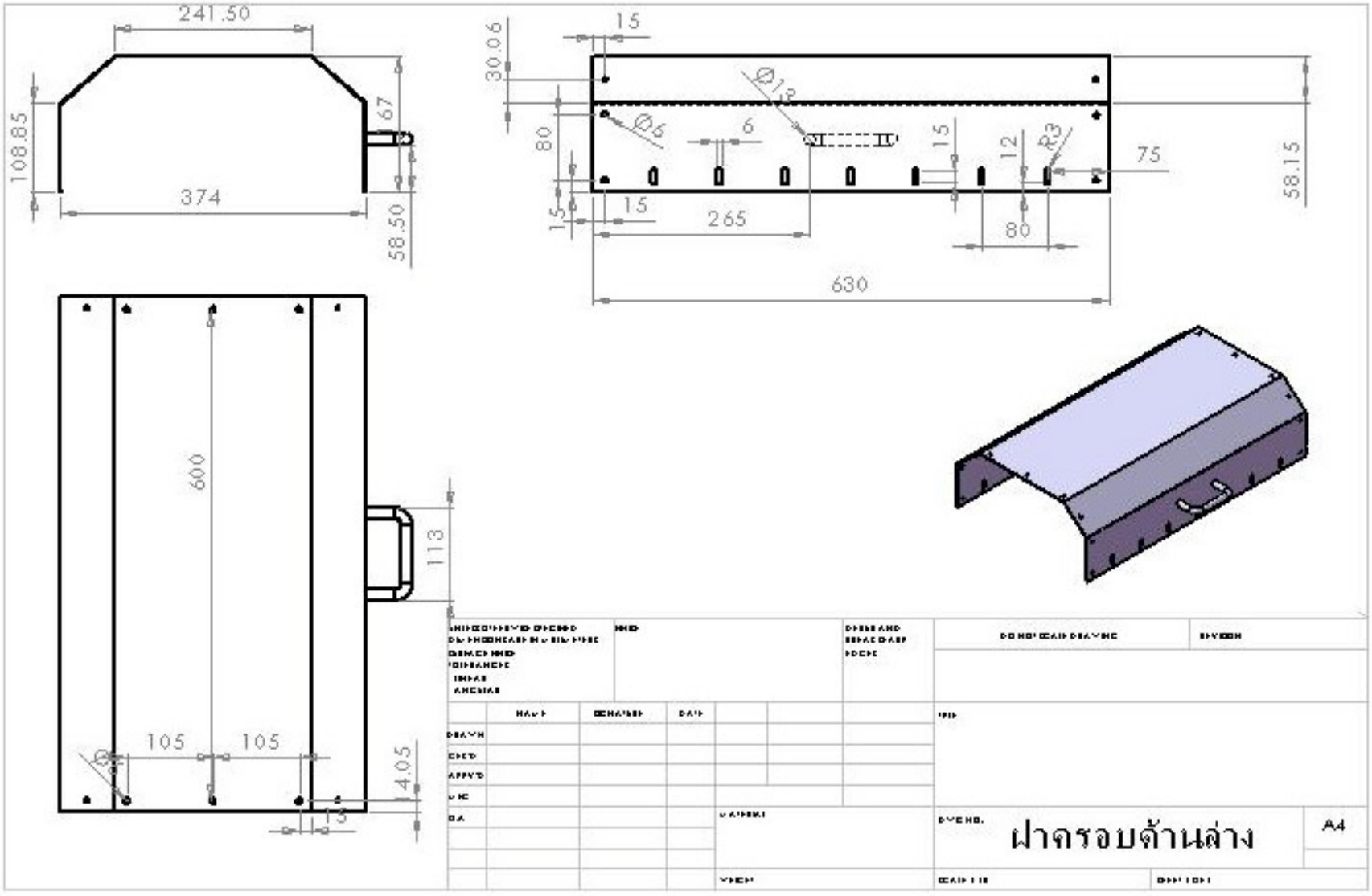




	NAME	SIGNATURE	DATE				
DRAWN							
CHKD							
APPVD							
MFG							
QA							

ฝาครอบด้านข้างบน

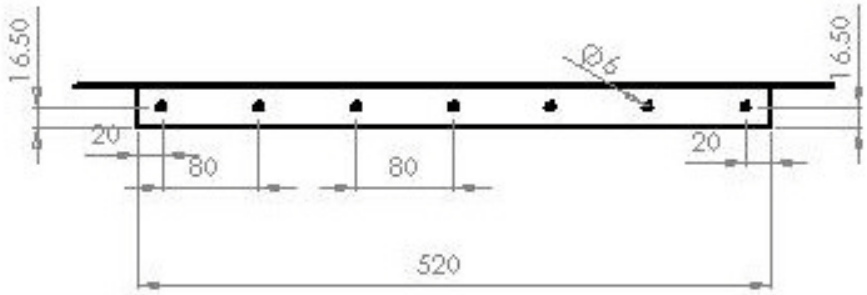
A4

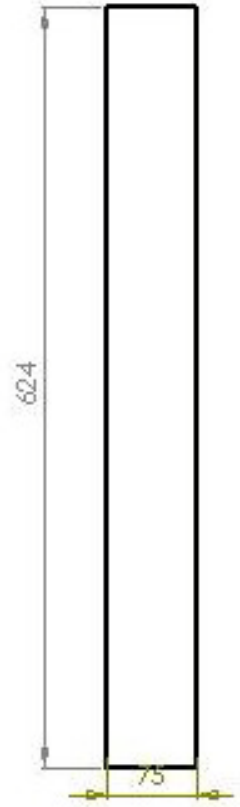


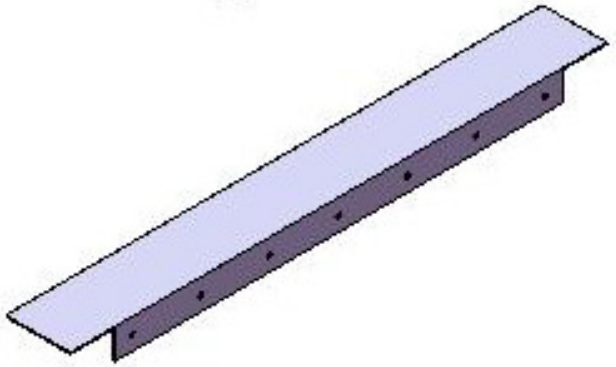
	NAME	SIGNATURE	DATE				
DRAWN							
CHKD							
APPV'D							
MFG							
Q.A.							

ฝาครอบด้านล่าง

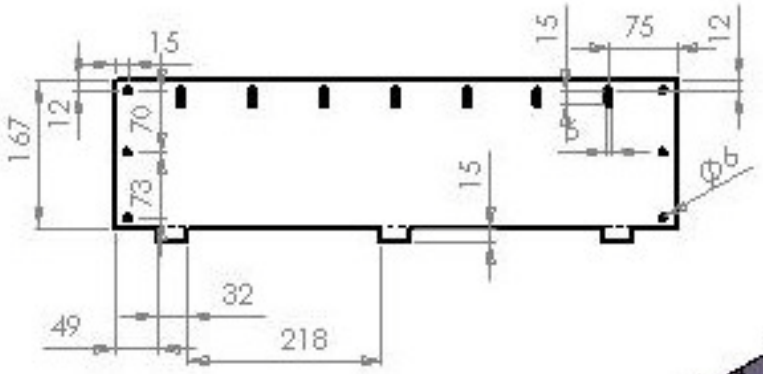
A4

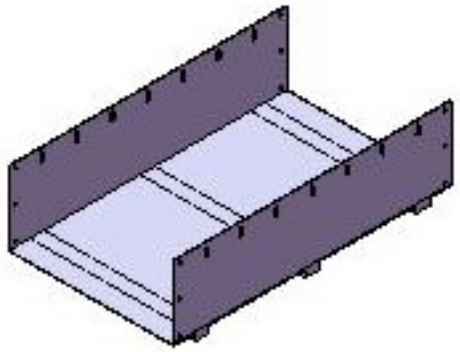


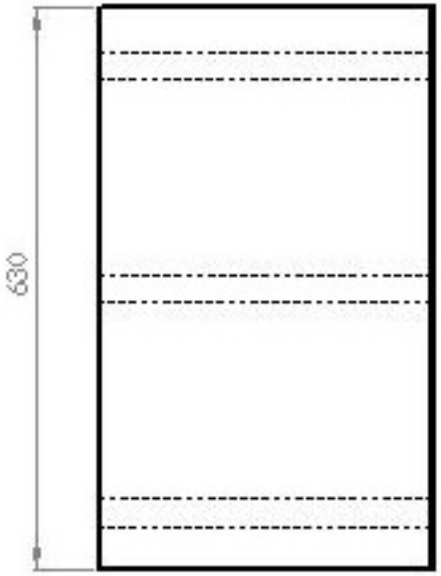




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES SURFACE FINISH TOLERANCES X ANGULAR	NAME					DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE	
DRAWN							
CHKD							
APPVD							
MFG							
Q.A.				MATERIAL		DWG NO. แผ่นกดด้านข้าง	A4
				WEIGHT		SCALE:1/2	SHEET 1 OF 1



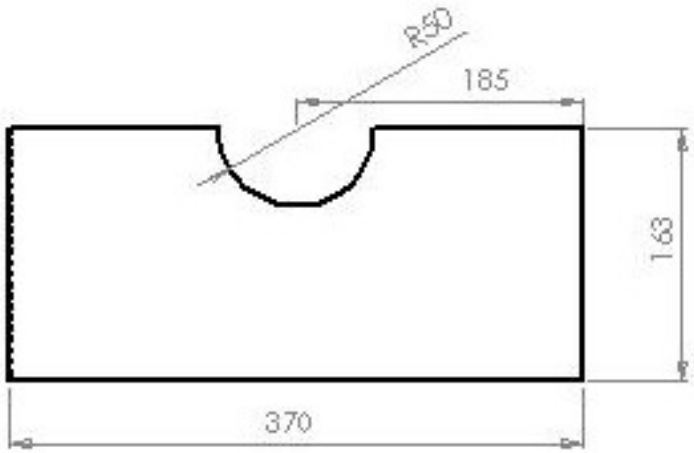


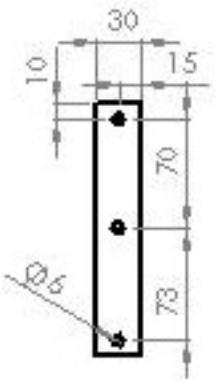


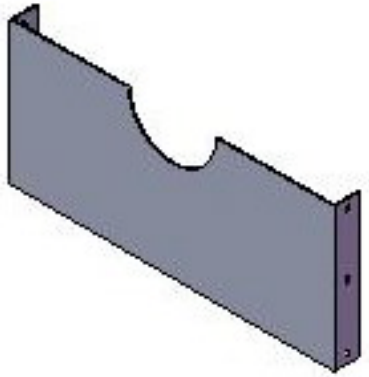
	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN						
CHKD						
APPVD						
MFG						
QA						

ฐานรองด้านล่าง

A4



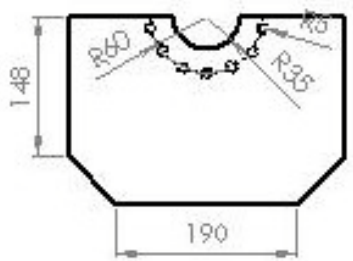


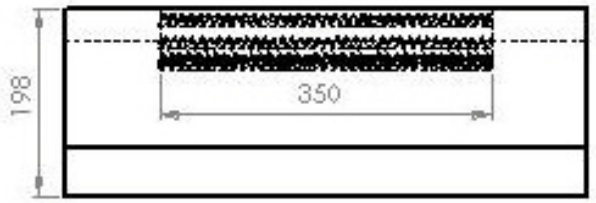


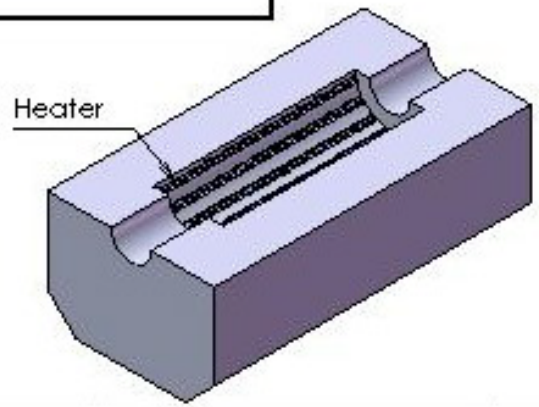
	NAME	SIGNATURE	DATE				
DRAWN							
CHKD							
APPVD							
MFG							
Q.A							

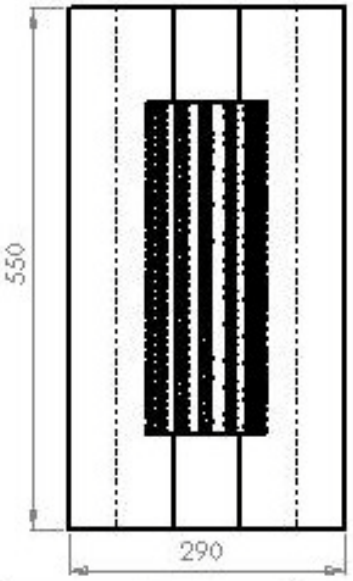
ฝาครอบด้านข้าง

A4





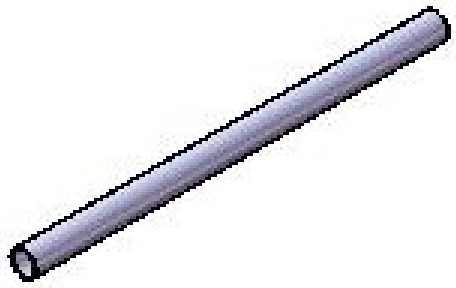




Heater และ ฉนวนกันความร้อน

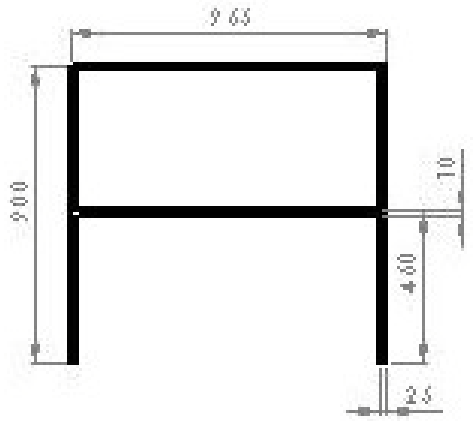
A4

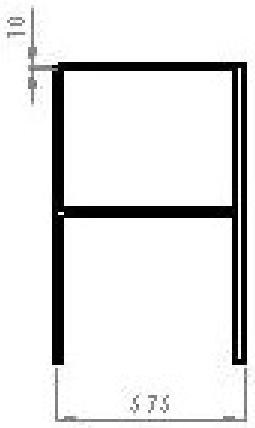
DETAIL A
SCALE 1 : 4

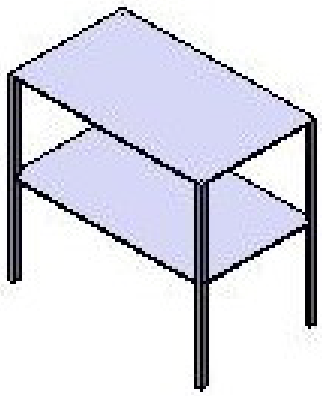


ท่อเซรามิก

A4







โต๊ะรองเตาเผา