



การสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว
THE INVENTION OF LIQUID PETROLEUM GAS FURNACE

นางสาววันวิสา มาประกอบ

นายกนกพล จินนา

นายเจตนิพัทธ์ บ่อไทย

โครงการเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

นางสาววันวิสา มาประกอบ

นายกนกพล จินนา

นายเจตนิพัทธ์ บ่อไทย

โครงการเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความเมตตาของบุคคลดังต่อไปนี้ บิดา มารดาที่อุปการะเลี้ยงดูให้มีการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนให้การอบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี ให้การสนับสนุนทางการศึกษาตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในการเรียนเพื่อจะได้นำความรู้ความสามารถที่เรียนมาไปปฏิบัติตัวให้เป็นคนดีในสังคมต่อไป

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณดร.ทินโน ขวัญดีและผู้ช่วยศาสตราจารย์กังวาล นาคศุภรังษี ที่เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ ตลอดจนบุคลากรประจำคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ให้ความสะดวกในสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ดำเนินการขอคุณบรรณารักษ์ ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการ และเว็บไซต์ต่างๆ ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูล ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจ เป็นแรงเสริมในการผลักดันให้มีความมานะ พยายามจัดสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

สุดท้ายนี้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีอุปการคุณที่กล่าวมาทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาววันวิสา มาประกอบ

นายกนกพล จินนา

นายเจตนิพัทธ์ บ่อไทย

ชื่อโครงการ	การสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิง แก๊สปิโตรเลียมเหลว
โดย	นางสาววันวิสา มาประกอบ นายกนกพล จินนา นายเจตนิพัทธ์ บ่อไทย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ดร.ทินโน ขวัญดี
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กังวาล นาคศุภรังษี
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการตีโลหะขึ้นรูป หรือที่เราเรียกทั่วไปว่างานตีเหล็ก ซึ่งมีมานานแล้วตั้งแต่ยุคแรกๆของการนำโลหะมาใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือ โดยเทคโนโลยีการเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปของชาวบ้านในสมัยก่อนนั้นมีวิธีการทำที่เรียบง่ายตามแบบฉบับโบราณ ใช้เวลานานในการทำอุณหภูมิความร้อนในการเผาโลหะ และไม่มีความปลอดภัยและทันสมัย ต่อมาในยุคหลังๆได้มีการต่อยอดการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้มาสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์การเกษตร และชิ้นส่วนของเครื่องจักร เช่นการตีขึ้นรูปใบพัดบ่ม ค้อน สกัด ใบมีดพลวนดิน ใบมีดตัดอ้อย อุปกรณ์ทางการเกษตร จอบ เป็นต้น

จากการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว และดำเนินการสร้างเตาเผาเหล็กมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อในการเรียนการสอนและสร้างเครื่องมือการเรียนในสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้ปฏิบัติในโรงฝึกงาน เมื่อทางผู้จัดทำได้ดำเนินการสร้างเตาเผาเหล็กเสร็จสมบูรณ์แล้ว ก็ได้ทำการทดลองเพื่อหาว่าในการสร้างเตาเผาเหล็กนั้นสามารถใช้งานได้จริงมีสมรรถนะตามจุดประสงค์และมีประสิทธิภาพ

ในการทดลองเตาเผาเหล็กทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg และทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเตาเผา ที่อุณหภูมิและเวลามีค่าคงที่ เป็นข้อมูลให้นักศึกษาหรือบุคคลที่สนใจ ได้นำไปใช้งานในการเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูป ในการตั้งอุณหภูมิของเตาเผา โดยการไล่เวลาจากน้อยไปมาก เพิ่มทีละ 10 นาที และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลการทดลองโดยแสดงเป็นกราฟ และสังเกตได้ว่ามีอุณหภูมิสัมพันธ์กับเวลาและปริมาณของแก๊สปิโตรเลียมเหลว โดยสังเกตจากอุณหภูมิที่ $1,100^{\circ}\text{C}$ เป็นอุณหภูมิที่คงที่ การทดลองหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

คำสำคัญ เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูป , เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว , การทดลองหาประสิทธิภาพ



Project	The Invention of liquid petroleum gas furnace
Author	Miss.Wanwisa Maprakob Mr.Kanokpon jeana Mr.Jetnipat Bothai
Major	Industrial Technology
Advisor	Dr.Tinno Kwandee
Co-advisor	Assistant Professor. kangwal Narksuprangsri
Academic Year	2018

Abstract

Metal forming technology or as we generally call it a Metal Forging. It has been a long time since the early days of metal to be used in making tools. By the technology of burning steel for the extermination of the villagers in the past, there is a traditional way of doing simple. It takes a long time to make the metal heat. And not safe and modern. Later, in the latter, the use of these technologies to build tools. Agricultural Equipment And parts of machinery For example, blown impellers, hammers, Chisel, blades, cutters, hoe, canes, agricultural equipment, spades, etc.

A study on the construction of a steel furnace for forging molding using LPG fuel. The steel furnace is intended to be a medium for teaching and creating learning tools in the field of industrial technology. When the operator has completed the construction of the furnace. The experiments were conducted to find out whether to build a steel furnace. It can be used effectively, purposeful and efficient.

In the experimental furnace performance, Liquid fuel gas is 15 Kg and the temperature in the combustion chamber is 7.5 Kg., For the purpose of testing the efficiency and performance of the furnace. The temperature and time are stable. The Information is available to students or interested persons for used to burn steel for the forging and to set the temperature of the furnace. By rising the time for 10

minutes each time and compare the results of the experiment as a graph and it was observed that the temperature was related to the time and volume of liquid petroleum gas (LPG). Observed by the temperature at 1,100° C is the constant stable temperature. An experiment to determine the efficiency of furnace heat extinguishing using LPG fuel.

Keywords Steel furnace forging , Liquid petroleum , experimental furnace performance,



สารบัญ

	หน้า
หน้าอำนวยการ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 กรอบแนวคิด	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
1.6 ขอบเขต	3
1.7 นิยามเฉพาะ	3
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เตาอุตสาหกรรม	4
2.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)	6
2.3 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิภายในเตา	12
2.4 วัสดุที่ใช้สร้างเตาเผาเหล็ก	19
2.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	36
2.6 สมบัติทางกายภาพ สัดส่วนร่างกายและการวัด	41
2.7 การออกแบบเตาเผาเหล็ก	46
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	
3.1 แผนการดำเนินงาน	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	54
3.3 การออกแบบและเขียนแบบ	55
3.4 การสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว	57
3.5 การออกแบบการทดลอง	64
3.6 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง	67
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	68
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 สร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง	70
4.2 เป็นชุดเตาเผางานตีเหล็กเพื่อต่อยอดเทคโนโลยีการตีขึ้นรูป	71
4.3 ทดลองประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผา	78
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	80
5.2 สรุปผล	80
5.3 อภิปรายผล	81
5.4 ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	85
ภาคผนวก ข	87
ภาคผนวก ค	97
ภาคผนวก ง	110
ภาคผนวก จ	112
ภาคผนวก ฉ	115
ประวัติผู้จัดทำ	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงอุณหภูมิการทำงานของเตาอุตสาหกรรม	4
2.2 ตารางแสดงค่าการนำความร้อนของสสารต่างๆ	7
2.3 ตารางแสดงลักษณะขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊ส	13
2.4 ตารางบอกขนาดของอิฐทนไฟ รูปร่างมาตรฐาน	24
2.5 ตารางการคำนวณปริมาณการใช้อิฐทนไฟ รูปร่าง กลีบส้ม (Sid Arch Brick)	25
2.6 ตารางชนิดของอิฐทนไฟ	26
2.7 ตารางการคำนวณหาปริมาณการใช้คอนกรีตทนไฟ	30
2.8 ตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของไฟเบอร์บอร์ด	35
2.9 ข้อมูลทางมิติร่างกายประชากรไทย	44
2.10 ตารางแสดงค่าปกติมาตรฐานสำหรับคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ไธลที่นิยมใช้กันมาก	44
3.1 แผนการดำเนินงานสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิง- แก๊สปิโตรเลียมเหลว	53
3.2 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว- มีน้ำหนัก 15 kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg ที่แรงดันแก๊ส 18 kg/cm ²	65
3.3 ผลการทดลองหาความสูญเสียของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา- ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg- แรงดันแก๊ส 18 kg/cm ²	66
3.4 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก	67
4.1 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว- มีน้ำหนัก 15 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm ²	71
4.2 ผลการทดลอง ทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว- มีน้ำหนัก 7.5 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm ²	72
4.3 ผลการทดลอง ทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว- มีน้ำหนัก 3.96 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm ² (จนแก๊สหมดถัง)	74
4.4 ผลการทดลองหาความสูญเสียของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา- ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg. 7.5 Kg. และ 3.96Kg.- แรงดันแก๊ส 18 kg/cm ²	75

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.5 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก

78



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ภาพเตาถลุงเหล็ก	5
2.2 ภาพเตาเข้าแบบใช้ตักน้ำโลหะออก (Bale Out Furnaces)	5
2.3 ภาพแสดงการนำความร้อน	8
2.4 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านผนัง	9
2.5 (ก) ภาพแสดงความร้อนผ่านผนังหลายชั้น (ข) ความต้านทานความร้อน	10
2.6 ภาพเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว	16
2.7 ภาพลักษณะการพ่นเชื้อเพลิงเหลว	18
2.8 อิฐทนไฟก่อเตาอุโมงค์	22
2.9 อิฐทนไฟก่อเตาผิง	22
2.10 อิฐทนไฟก่อเตาพิชซ่า	23
2.11 การคำนวณปริมาณการใช้อิฐทนไฟ	23
2.12 ปูนทนไฟ แบบแห้งและแบบเปียก	28
2.13 คอนกรีตทนไฟ	29
2.14 ภาพแสดงผลของซีเมนต์	36
2.15 แสดงผลของเพลเทียร์	37
2.16 แสดงการเปลี่ยนจุดอ้างอิงจาก 0 ถึง 200 °C ซึ่งจะสอดคล้องกับการ - เลื่อนลงของเส้นโค้งแรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิล	38
2.17 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	39
2.18 ภาพเทอร์โมคัปเปิลรุ่น T _s /111	41
2.19 ชุดเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน A คือ Anthropometer - ด้ามตรง B ด้านโค้งของ Anthropometer, C คือ Spreading Calipers และ - D คือ Sliding compass	42
2.20 การใช้ Anthropometer วัดความยาวจากข้อศอกถึงหัวไหล่	42
2.21 ภาพความสูงของข้อศอกขณะยืน	43
2.22 ความยาวของส่วนต่างๆ ของร่างกายที่แสดงไว้เป็นสัดส่วนกับความสูง	45
2.23 แผนภาพ TTT ของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1080	51
2.24 แผนภาพ TTT ของเหล็กกล้าผสม AISI4340	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.1 ภาพโครงสร้างเตาเผาเหล็ก	57
3.2 ภาพฐานรองเตาเผาเหล็ก	58
3.3 ภาพการติดตั้งฉนวนทนความร้อน	59
3.4 ภาพการติดตั้งฝาเตา	59
3.5 ภาพการติดตั้งฉนวนทนความร้อนที่ฝาด้านหน้าเตา	60
3.6 ภาพการติดตั้งเตาและฐานเตา	60
3.7 ภาพการเจาะรูทางเข้าเปลวไฟ	61
3.8 ภาพการติดตั้งที่ยึดหัวเผาและท่อแก๊ส	61
3.9 ภาพการติดตั้งชุดให้ความร้อน	62
3.10 ภาพการพ่นสีภายนอกเตาเผา	63
3.11 ภาพเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ประกอบขึ้นส่วนเรียบร้อยแล้ว	63
4.1 สร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง	70
4.2 กราฟแสดงผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 kg	72
4.3 กราฟแสดงผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 kg	73
4.4 กราฟแสดงผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 kg ที่เวลา 130 min ถึง 180 min (แก๊สหมดถัง)	75
4.5 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg	77
4.6 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg	77
4.7 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg ที่เวลา 130 min-ถึง 180 min (แก๊สหมดถัง)	78

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันนี้งานฝีมือจะมีราคาสูงกว่างานที่ผลิตโดยเครื่องจักรอีกทั้งยังมีคุณค่าเป็นตามความต้องการของนักสะสมที่พยายามเสาะแสวงหานำมาเพื่อครอบครอง

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เทคโนโลยีการตีโลหะขึ้นรูป (Metal Forming) หรือที่เราเรียกทั่วไปว่างานตีเหล็ก (Metal Forging) โดยคนตีเหล็กเขาเรียกว่าช่างตีเหล็ก (Blacksmith) ซึ่งมีมานานแล้วตั้งแต่ยุคแรกๆของการนำโลหะมาใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือ โดยเทคโนโลยีการเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปของชาวบ้านในสมัยก่อนนั้นมีวิธีการทำที่เรียบง่ายตามแบบฉบับโบราณ ใช้เวลานานในการทำอุณหภูมิความร้อนในการเผาโลหะ และไม่มีความปลอดภัยและทันสมัย ต่อมาในยุคหลังๆได้มีการต่อยอดการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้มาสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์การเกษตร และชิ้นส่วนของเครื่องจักร เช่นการตีขึ้นรูป ใบพัดปั๊ม ค้อน สกัด ใบมีดพรวนดิน ใบมีดตัดอ้อย อุปกรณ์ทางการเกษตร จอบ เป็นต้น

กระบวนการตีเหล็กขึ้นรูปในสมัยก่อนนั้นใช้กระบวนการเผาโดยใช้เตาถ่าน เช่น ถ่านไม้และถ่านโค้ก ซึ่งต้องทำการสร้างเตาที่มีขนาดใหญ่ ก่อให้เกิดควันและประกายไฟออกมาเป็นจำนวนมาก ประกอบกับปัจจุบันในการที่จะสร้างเตาเผาแบบเดิมนั้นเกิดข้อจำกัดหลายๆประการเช่น ขนาดเตา ขนาดการใช้พื้นที่ในการทำงาน สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากควันไฟ เขม่าควัน และประกายไฟ ซึ่งก่อให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ได้

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเหล็กเป็นส่วนสำคัญในการผลิตหลายๆ อย่างจึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเหล็กด้วยความร้อนเพื่อทำการลดหรือเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้มีความสม่ำเสมอ โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นลงของชิ้นงานซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งเพื่อให้มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปตามต้องการ และการเผาเหล็กเพื่อการตีเหล็กนี้ยังสามารถผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ได้ เช่นเครื่องมือทางการเกษตร และชิ้นส่วนต่างๆที่ทำจากเหล็ก ทำให้การเรียนรู้และการศึกษากรรมวิธีการเผาเหล็กจำเป็นต้องใช้ เตาเผาเหล็กที่มีความทันสมัยมากขึ้น เป็นสื่อในการเรียนการสอน และสร้างเครื่องมือการเรียนในสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ดังนั้นในการสร้างเตาเผาเหล็กโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง จะสามารถทำอุณหภูมิได้สูงและยังสามารถกำหนดการทำงานแบบเป็นขั้นตอนได้ ซึ่งการทำงานแบบขั้นตอนนั้นจะช่วยให้เรื่องของการ เชื้ออุณหภูมิ เพื่อให้ความร้อนที่ได้นั้นเข้าไปถึงแกนกลางของวัสดุได้ดียิ่งขึ้นการที่เตาเผาแบบเก่านี้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้และยังสามารถเร่ง

อุณหภูมิได้ค่อนข้างต่ำ โดยการงานแบบขั้นตอนจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ ที่ให้ประสิทธิภาพตามความต้องการได้ จึงนำเทคโนโลยี Regenerative Burner มาใช้ทำความร้อนในเตาเผาเหล็ก เพราะสามารถอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ได้สูงถึง $1,000^{\circ}\text{C}$ โดยมีประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิสูงถึง 90% สามารถช่วย ประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้าได้ถึง 10 - 20 % ในขบวนการการเผาเหล็ก (วารสารวิจัยพลังงาน. 2554 : 55)

ดังนั้นจึงมองเห็นปัญหาและอุปสรรคในการที่จะสร้างเตาเผาจากปัจจัยอุปสรรคดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูป (Furness For Forging) ที่มีขนาดเล็กใช้พลังงานจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas : LPG) มาใช้ประโยชน์ในโครงงานดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง
- 1.2.2 เป็นชุดเตาเผางานตีเหล็กเพื่อต่อยอดเทคโนโลยีการตีขึ้นรูป
- 1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็กที่สร้างขึ้น

1.3 สมมุติฐาน

เตาเผางานตีเหล็กเพื่อขึ้นรูปชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ที่สามารถเผาโลหะเพื่อขึ้นรูปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $1,100^{\circ}\text{C}$ เตาที่มีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนที่ได้ และป้องกันไม่ก่อให้เกิดควันและด่างไฟที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้

1.4 กรอบแนวคิด

การนำเทคโนโลยีเผาโลหะเพื่อตีขึ้นรูปในสมัยก่อนมาพัฒนาและต่อยอดให้มีความทันสมัยรูปแบบกระแทนรีด ระบบการทำงานง่ายต่อการใช้งาน สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันและสามารถเป็นเครื่องต้นแบบในการเรียนรู้เรื่องการให้ความร้อนในการตีขึ้นรูปและการชุบแข็ง

1.5 วิธีดำเนินงาน

- 1.5.1 วางแผนการหาข้อมูลจากองค์ประกอบของงานที่ต้องจัดทำ
- 1.5.2 จัดทำบทที่ 1-3 ดำเนินการขออนุญาตแต่งตั้งอาจารย์ที่ปรึกษา
- 1.5.3 ออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ
- 1.5.4 ตรวจสอบรายละเอียดหัวข้อโครงการ
- 1.5.5 เขียนแบบรายละเอียดชิ้นงาน สั่งซื้อวัสดุ
- 1.5.6 สร้างและประกอบชิ้นส่วน

1.5.7 ทดลองสมรรถนะของเตาเผาและเขียนบทที่ 4-5

1.5.8 สรุปผลและทำการทดสอบความสำเร็จ

1.5.9 แก้ไขโครงงานครั้งสุดท้าย

1.6 ขอบเขต

1.6.1 ใช้ในการเผางานตีเหล็กซึ่งรวมถึงเหล็กชนิดต่างๆ เช่น เหล็กทั่วไป (Low Carbon Steel) เหล็กคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) และเหล็กกล้าผสม (Tool Alloy Steel)

1.6.2 อุณหภูมิของเตา โดยหัวพ่นแก๊สให้ความร้อนได้ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ และผนังเตาป้องกันความร้อนได้ถึง $1,100^{\circ}\text{C}$ โดยทำการวัดจากอุณหภูมิผนังภายนอกเตาไม่เกิน 50°C

1.6.3 ขนาดของเตามีพื้นที่ในการทำการเผา (ห้องเผา) ขนาดกว้าง 200 mm. ยาว 400 mm. สูง 200 mm.

1.6.4 ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น

1.7 นิยามเฉพาะ

1.7.1 เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว คือ เตาเผาเหล็กที่ให้ความร้อนโดยแก๊สปิโตรเลียมเหลวหรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่าแก๊สแอลพีจี โดยเหล็กที่ถูกเผาในเตาเผานี้จะถูกเผาไปจากหัวเผา

1.7.2 การเผาเหล็ก คือการปล่อยความร้อนจากหัวเผา (Burner) โดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เหล็กหรือโลหะที่เราจะทำการเผา ด้วยความร้อนจนโลหะมีความอ่อนตัว เพื่อนำไปทำการตีขึ้นรูปต่อไป

1.7.3 ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก คือความสามารถในการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็กที่ให้อุณหภูมิสูงถึง $1,100^{\circ}\text{C}$

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 ได้เตาเผาเหล็กที่มีคุณภาพและความปลอดภัย

1.8.2 ได้ใช้เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1.8.3 ได้เตาเผาเหล็กเพื่อใช้ในการเรียนการสอนทางด้านการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะด้วยความร้อน

1.8.4 ได้องค์ความรู้จากสาขาวิชานำมาบูรณาการในการสร้างชิ้นงานใหม่

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับโครงการการสร้างเตาเผาเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวฉบับนี้เพื่อให้สัมพันธ์กันดังทฤษฎีและเอกสารต่างๆดังนี้

2.1 เตาอุตสาหกรรม

เตาอุตสาหกรรมที่ใช้งานอยู่ในโรงงานมีหลากหลาย เตาแต่ละประเภทมีลักษณะและการทำงานที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ เตายังมีอุณหภูมิการทำงานที่แตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2.1) ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานของเตาแตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วไป เตาอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิสูงจะใช้พลังงานสูงและเกิดการสูญเสียความร้อนสูง เมื่อเทียบกับเตาที่มีอุณหภูมิใช้งานต่ำกว่า (คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553, หน้า 2)

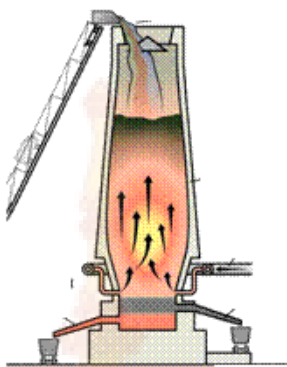
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงอุณหภูมิการทำงานของเตาอุตสาหกรรม

ประเภทเตา (แยกลักษณะการใช้งาน)	อุณหภูมิภายในเตา (°C)
เตาเผาเหล็ก	600-1,100
เตาหลอมแก้ว	1,000-1,300
เตาเผาเซรามิค	700-1,100
เตาเผาซีเมนต์	650-700
เตาเผากำจัดของเสีย	650-1,000

ที่มา: คู่มืออนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะกรมโรงงานอุตสาหกรรม มม,2553,หน้า2

2.1.1 เตาที่มีการเผาไหม้ภายใน (Internally-Heated Furnaces) มีลักษณะที่เปลวไฟของเชื้อเพลิงหรือก๊าซร้อนจากการเผาไหม้สัมผัสโดยตรงกับวัตถุที่จะเผา ตัวอย่างของเตาประเภทนี้ได้แก่

- 1) เตาเผาเหล็กเพื่อรีดเป็นเหล็กเส้น, เพื่อตีขึ้นรูป และเพื่อชุบแข็ง (Metal Reheating and Holding Furnaces)
- 2) เตาถลุงเหล็ก (Blast Furnaces)



ภาพที่ 2.1 ภาพเตาถลุงเหล็ก

ที่มา: เตาอุตสาหกรรม.com (ออนไลน์)

2.1.2 เตาที่มีการเผาไหม้ภายนอก (Externally Heated Furnaces) มีลักษณะที่เปลวไฟของเชื้อเพลิงหรือก๊าซร้อนจากการเผาไหม้สัมผัสทางอ้อมหรือมีตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนอีกขั้นตอนหนึ่ง ตัวอย่างของเตาประเภทนี้ได้แก่

- 1) เตาเผาเข้าหลอมโลหะ (Metallurgical Crucible Furnaces)
- 2) เตาเผาท่อแผ่รังสีความร้อน (Radiant Tube Furnaces)
- 3) หม้อไอน้ำและเครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Boilers and Generators)



ภาพที่ 2.2 เตาเข้าแบบใช้ต้กน้ำโลหะออก (Bale Out Furnaces)

ที่มา: SR ENGINEERINGSERVICES, 2013, (ออนไลน์)

2.1.3 โครงสร้างของเตาเผา เตาเชื้อเพลิงจะมีส่วนประกอบแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเตาแต่ละประเภท แต่โดยทั่วไปสำหรับเตาเผาให้ความร้อนจะมีโครงสร้างหลักของเตาดังนี้

- 1) ฐานเตา
- 2) เปลือกเตา
- 3) ฉนวนกันความร้อน
- 4) ห้องเผาไหม้
- 5) ส่วนลำเลียงชิ้นงาน
- 6) ส่วนควบคุม
- 7) อุปกรณ์นำความร้อนกลับมาใช้เตาเผาอุตสาหกรรม

ทางกลุ่มจึงสร้างเตาเผาเหล็ก เพราะมีอุณหภูมิ 600 -1,100°C และเป็นเตาเผาไหม้ภายในเหมาะสม กับ การตีขึ้นรูปโลหะ ตรงกับการใช้งาน

2.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

เมื่อใดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างจุดสองจุด ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิ ที่แตกต่างกันนี้มีชื่อเรียกว่า ความร้อน การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่สมบูรณ์นั้น จำเป็นจะต้องทราบถึงกลไกของการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

2.2.1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction Heat Transfer) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการสัมผัสของอะตอม ในกรณีที่ เป็นของแข็ง หรือของโมเลกุลในกรณีที่ เป็นของเหลวหรือก๊าซ ใน การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ ความร้อนที่ถ่ายเทออกไปจะไปผ่านสสารแต่ละชนิดซึ่งมีค่าการนำความร้อนและการผ่านชั้นผนังที่แตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงต้องรู้เกี่ยวกับถึงค่าของการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความร้อนต่าง ๆ ค่าการนำความร้อนของสสารแต่ละชนิด และการนำความร้อนที่ผ่านชั้นผนังต่าง ๆ เพื่อที่จะได้ทราบ

2.2.1.1 ค่าการนำความร้อน เป็นคุณสมบัติชนิดหนึ่งของสสารซึ่งแสดงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ต่อความหนา และต่อหน่วยอุณหภูมิ คือ ถ้าพื้นที่และผลต่างของอุณหภูมิมีมากการถ่ายเทจะเกิดขึ้นได้มาก (ค่าการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ และผลต่างของอุณหภูมิ) ในทางตรงกันข้ามถ้าวัสดุมีความหนามากกว่าความร้อนที่ถ่ายเทย่อมเกิดขึ้นน้อย (ค่าการนำความร้อนเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนา) ค่าการนำความร้อนของสสารต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะใช้ค่าที่ได้จากการเฉลี่ย ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าการนำความร้อนของสสารต่างๆ

สสาร	ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ; k
ทองแดง	378
ทองเหลือง	104
เหล็กหล่อ	52
เหล็กกล้า	48.5
อิฐทนไฟ	1.04
เซรามิกไฟเบอร์	0.04
ใยแก้ว	0.03
อากาศ	0.02
ปูนทนไฟ	0.72

ที่มา: ธนากาญจน์ ภัทรกาญจน์, 2524, หน้า 402

2.2.1.2 การนำความร้อนในผนังแผ่นเรียบ หรือกำแพงให้พิจารณาการถ่ายเทความร้อนของผนังเรียบที่มีอุณหภูมิคงที่ และขนาดสม่ำเสมอทั่วทั้งผิว ดังภาพที่ 2.3 เนื่องจากที่ผิวทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความร้อนไหลจากผิวที่มีอุณหภูมิไปที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ

2.2.2. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation Heat Transfer) ความร้อนจากการนำและการพา จะเคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะในกรณีที่มีวัตถุมาเป็นตัวกลางเท่านั้น แต่ความร้อนจากการแผ่รังสีนั้นจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง เช่น ในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีนั้น จะเคลื่อนที่ไปในรูปของ แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอยู่หลายชนิด เช่น รังสีเอ็กซ์ รังสีอินฟราเรด แต่สำหรับในที่นี้จะพิจารณาแต่เพียงพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีเท่านั้น จำนวนพลังงานที่ส่งออกจากผิววัตถุในรูปรังสีความร้อน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสมบูรณ์ และลักษณะของผิว วัตถุที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุดหรือที่เรียกว่า วัตถุดำ (Black Body) วัตถุจริงจะไม่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้มากเท่ากับตัวแผ่รังสีในจินตนาการที่เรียกว่าวัตถุดำ แต่จะแผ่ได้น้อยกว่าถ้าหากอุณหภูมิเท่าๆกัน วัตถุจริงจะสามารถแผ่รังสีความร้อนในอัตราส่วนที่คงที่กับวัตถุดำ ได้ทุกความยาวคลื่นแล้ว วัตถุนั้นก็มีชื่อเรียกว่า “วัตถุเทา”

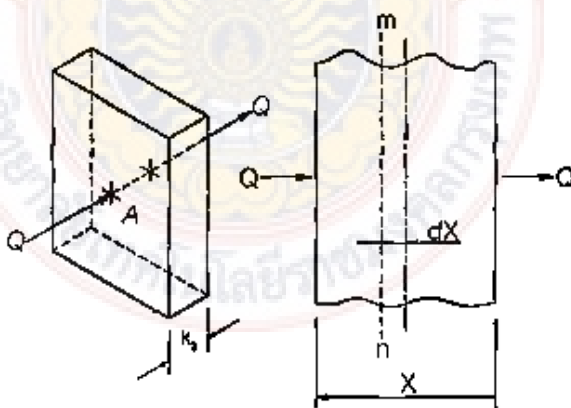
2.2.3. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อน (Convection Heat Transfer) เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ก็จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ ขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

หรือการพาความร้อน ขบวนการดังกล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์ๆ แต่กลไกการถ่ายเทความร้อนนั้น ซับซ้อนมาก ในช่วงแรกนี้จะไม่กล่าวถึงวิธีวิเคราะห์ แต่จะเสนอกฎและสมการหลักๆ ที่ไม่สามารถใช้คำนวณอัตราการพาความร้อนจากส่วนย่อยๆ ของระบบซึ่งเป็นส่วนสำคัญของระบบที่ใช้ให้ความร้อน ระบายความร้อนสู่น้ำ (ศรัณยูนิยต์, การถ่ายเทความร้อน, 2538. หน้า 1-7)

2.2.3.1 การพาความร้อนแบบอิสระ จะทำให้เกิดแรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวของการพาความร้อนแบบอิสระนั้น เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในของไหล เนื่องจากการที่ของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จนทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างการพาความร้อนแบบอิสระนี้ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนัง หรือการถ่ายความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนจกดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีลมพัด

2.2.3.2 การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงจากภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อน หรือว่าเย็นกว่า เนื่องจากการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นถ้าหากมีความแตกต่างของอุณหภูมิขนาดเท่าๆกัน แบบบังคับก็จะมีอัตราการพาความร้อนสูงกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นการพาความร้อนที่มีอยู่ในรูปของกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton Slaw of Cooling)

2.2.4 กฎการนำความร้อนของฟูริเยร์ (Fourier's Law of Conduction) กล่าวว่า อัตราการไหลของความร้อนเมื่อผ่านของแข็งที่มีโมเลกุลเกาะกันอย่างสม่ำเสมอจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน และเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิของระยะทางที่ความร้อนไหลผ่าน ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 ภาพแสดงการนำความร้อน

ที่มา: ประเสริฐ เทียนนิมิตร. วิวัฒน์ ภัททิยธนี. ปานเพชร ชินินทร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554, หน้า 243

จากภาพที่ 2.4 กำหนดให้

A = พื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็น m^2

dX = ความหนา มีหน่วยเป็น m

$t-dt$ = อุณหภูมิสุดท้าย มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

t = อุณหภูมิเริ่มแรก มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

จากกฎของฟูริเยร์เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ให้ $Q \propto A$

และ $Q \propto -\frac{dt}{dX}$

ดังนั้น $Q = -kA \frac{dt}{dX}$ (2.1)

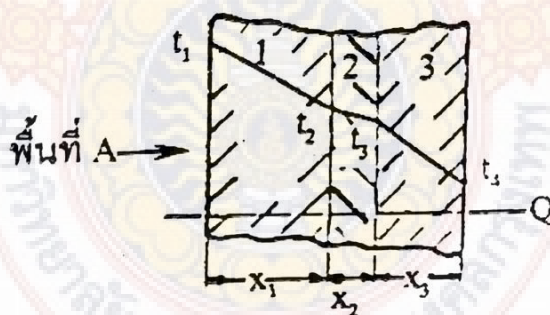
เมื่อ Q = การเคลื่อนที่ของความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

k = ความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุมีหน่วยเป็น Wm/m^2K

หรือ W/mK

A = พื้นที่ที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน มีหน่วยเป็น m^2

$\frac{dt}{dX}$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิต่อหน่วยความหนา มีหน่วยเป็น K/m



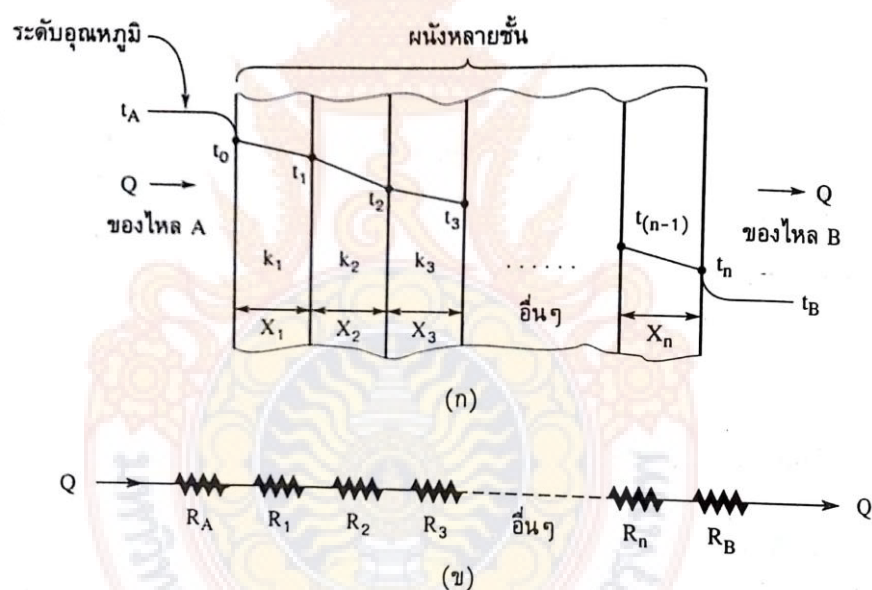
ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านผนัง

ที่มา: ประเสริฐ เทียนนิมิตร. วิวัฒน์ ภัททิยธนี. ปานเพชร ชินินทร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554, หน้า 252

2.2.5 การเคลื่อนที่ของความร้อนผ่านผนังหลายชั้น ผนังหลายๆชั้นที่วางซ้อนกันอยู่มีหลายรูปแบบ เช่น ผนังกำแพง ภายนอกอาจจะเป็นคอนกรีต ถัดมาก็เป็นอิฐ แล้วก็เป็นช่องว่างที่มีอากาศ

และช่องว่างที่เป็นอากาศนี้เป็นฉนวนอย่างดี ถัดไปก็เป็นอิฐชั้นในภายในสุดเป็นปูนที่โบกไว้ และอาจจะมีเครื่องตกแต่งภายใน เช่นแผ่นกระดาพูนหรือฉนวนต่างๆ โดยที่ความร้อนจะต้องเคลื่อนที่ผ่านผนังดังกล่าวเหล่านั้น

พิจารณาผนังหลายๆชั้นวางซ้อนกันที่พบเห็นโดยทั่วไป ตามรูปที่ 2.3 ผนังที่ความร้อนจะต้องผ่านประกอบด้วย n ชั้น มีความหนา $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ และมีความสามารถในการนำความร้อน $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ ตามลำดับ อุณหภูมิภายนอกสุดของของไหล A เป็น t_A มีสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน h_A ถัดไปเป็นผนังชั้นนอกที่มีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิของของไหล B เป็น $t_0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ ตามลำดับ ของไหล B มีอุณหภูมิ t_B มีสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน h_B ดังนั้นในการคำนวณค่าต่างๆจึงวิธีเดียวกันคือใช้กฎของโอห์มในคำนวณ



ภาพที่ 2.5 (ก) ภาพแสดงความร้อนผ่านผนังหลายชั้น (ข) ความต้านทานความร้อน

ที่มา: ประเสริฐ เทียนนิมิตร. วิวัฒน์ ภัททิยธนี. ปานเพชร ชินินทร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์, 2554, หน้า 250

$$\begin{aligned} \text{จากกฎของโอห์ม} \quad V &= IR \\ I &= \frac{V}{R} \\ \text{โดยที่} \quad V &\text{ คือแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า Volt} \end{aligned} \tag{2.2}$$

I คือกระแสไฟฟ้า Amp.

R คือความต้านทาน Watt.

$$\text{จากสมการที่ 2.1 } Q = \frac{kA}{x} (t_1 - t_2)$$

$$\text{หรือ } R = X / kA$$

แต่ในที่นี้จะเรียก $R = X / kA$ ว่า ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบดูจะเห็นว่า

$$Q = I$$

$$(t_1 - t_2) = V$$

$$X / kA = R$$

$$\text{หรือ } R = X / kA \quad (2.3)$$

แต่ในที่นี้จะเรียก $R = X / kA$ ว่า ความต้านทานความร้อน (Thermal resistance) เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า

$$Q = I$$

$$(t_1 - t_2) = V$$

$$X / kA = R$$

$$\text{และ } X / kA = R$$

$$Q = hA(t_w - t)$$

$$\text{ซึ่งเหมือนกับว่า } R = 1/hA \quad (2.4)$$

แต่ในกรณีนี้จะเรียก $R = 1/hA$ ว่า ความต้านทานความร้อนของฟิล์มของของไหลเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่า

$$Q \text{ คือ } I$$

$$(t_w - t) \text{ คือ } V$$

$$\text{และ } \frac{1}{hA} \text{ คือ } R$$

จากกฎของโอห์มที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานแบบอนุกรมสามารถดัดแปลงให้เข้ากับกรณีการเคลื่อนที่ของความร้อน ซึ่งจะเรียกความต้านทานนี้ว่า ความต้านทานความร้อน (Thermal resistance) มีหน่วยเป็น K/W ดังภาพที่ 2.6 จะได้ว่า

$$R_A = \frac{1}{h_A A} ; R_1 = \frac{x_1}{k_1 A} ; R_2 = \frac{x_2}{k_2 A} ; R_3 = \frac{x_3}{k_3 A} ; \dots R_n = \frac{x_n}{k_n A} ; R_B = \frac{1}{k_B A}$$

ความต้านทานรวมหาได้ดังนี้

$$R_T = R_A + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_B$$

ดังนั้น

$$R_T = \frac{1}{h_A A} + \frac{x_1}{k_1 A} + \frac{x_2}{k_2 A} + \dots \frac{x_n}{k_n A} + \frac{1}{h_B A}$$

หรือ

$$R_T = \frac{1}{h_A A} + \frac{\sum x}{kA} + \frac{1}{h_B A} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 จะสังเกตเห็นว่า พื้นที่ A เป็นค่าคงที่ในการคำนวณ จะถือว่า ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านหนึ่งหน่วยของพื้นที่

$$Q = \frac{t_A - t_B}{R_T} \quad (2.6)$$

ซึ่งเหมือนกับ

$$I = \frac{V}{R}$$

2.3 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิภายในเตา

หลักการควบคุมเตาเผาเหล็กแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงการอุ่นเตาและช่วงการเผาแท่งเหล็กแต่ละ ช่วงมีหลักการควบคุมและจุดประสงค์ที่ต่างกันไปดังนี้ (การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการอุ่นสำหรับเตาอบเหล็กชนิด (Walking Hearth, 2553, หน้า8-9)

2.3.1 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาเหล็กในช่วงอุณหภูมิอุ่นเตา กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาเหล็กในช่วงการอุ่นเตามีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในห้องเตาเผาให้พร้อมก่อนที่จะเผาแท่งเหล็กโดยช่วงการอุ่นเตาตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์แล้ว ควรจะเวลาอย่างน้อยที่สุดเพื่อจะได้ใช้เชื้อเพลิงอย่างน้อยที่สุดแต่ในทางวิศวกรรมนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงโดยรวดเร็วจะทำให้ผนังเตาขยายตัวตามไม่ทัน ทำให้ผนังเตาแตก จึงได้มีการคิดวิธีการอุ่นเตาให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่เรียกว่า อุณหภูมิอ้างอิง ในช่วงการอุ่นเตาจะมาปรับอัตราการผสมที่ใช้ควบคุมการจ่ายน้ำมันและอากาศด้วยตัวควบคุมอัตราส่วน (Ratio Controller) อัตราส่วนในปัจจุบันอยู่ที่น้ำมันเชื้อเพลิงหนึ่งส่วนต่ออากาศสิบส่วนโดยมีตัวรู้ตรวจอัตราส่วนที่เหมาะสมจะส่งไป

ยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบเปิด-ปิดของแต่ละหัวเผา โดยหลักการที่ในปัจจุบันคือ จะเปิดหัวเผาจำนวนน้อยๆก่อนรอผลตอบสนองของอุณหภูมิไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกหรืออุณหภูมิกำลังจะลดลงจึงทำให้การเปิดปิดหัวเผาเพิ่มขึ้น

2.3.2 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาเหล็กช่วงการเผาเหล็กมีจุดประสงค์เพื่อรักษาอุณหภูมิในห้องเตาเผาให้คงที่ตลอดช่วงเวลาในการเผาแท่งเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ $1150-1200^{\circ}\text{C}$ กระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาเหล็กในช่วงการเผาแท่งเหล็กจะเกิดขึ้นหลังจากเตาเผาผ่านกระบวนการอุ่นเตาจนสำเร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งในกระบวนการนี้เป็นช่วงที่การทำงานของเตาเผาทำงานอย่างเต็มที่หัวเผาจะถูกเปิดทั้งหมดเมื่อภายในเตาเผามีอุณหภูมิมากหรือน้อยเกินไปจะมีการปรับค่าสัญญาณโดยตัวควบคุมพีไอดีมอเตอร์ที่ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงที่มากขึ้นหรือลดลง

2.3.3 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ หมายถึง สารที่สามารถเผาไหม้ได้โดยง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจน และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานได้อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้น การจะนำสิ่งใดมาเป็นเชื้อเพลิงได้นั้น จำเป็นต้องสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมาก สามารถจัดหาใช้ได้อย่างสะดวก เก็บรักษา ขนส่ง และใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ไอเสีย ควัน เป็นต้น ต้องไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่อทางอากาศและทางน้ำ เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสภาพทางกายภาพ เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงก๊าซเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ แบ่งออกเป็นก๊าซธรรมชาติซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ก๊าซที่ผลิตขึ้นจากการแยกเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลวชนิดอื่น ดังตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบหลักๆของเชื้อเพลิงก๊าซและลักษณะขององค์ประกอบก๊าซ (ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน. 2553. หน้า 2) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงลักษณะขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊ส

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุล	ค่าความร้อนสูง [Mj/m^3_{N}]	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ (อากาศ = 1)	ความหนาแน่น [kg/m^3_{N}]
มีเทน	CH_4	39.9	0.544	0,7168
อีเทน	C_2H_6	70.5	1.049	1,356
โพรเพน	C_3H_8	101	1.550	2,004
บิวเทน	$\text{n-C}_4\text{H}_{10}$	132	2.067	2,672

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงลักษณะขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊ส (ต่อ)

องค์ประกอบ	สูตร โมเลกุล	ค่าความร้อนสูง [MJ/m ³ _N]	ค่าความถ่วงจำเพาะ (อากาศ = 1)	ความหนาแน่น [kg/m ³ _N]
เอทิลีน	C ₂ H ₄	63.4	0.9750	1,2604
โพรพิลีน	C ₃ H ₆	93.6	1.481	1.9370
ไอโซบิวทิลีน	i-C ₄ H ₈	123	-	-
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	-	1.5291	1,9769
ไฮโดรเจน	H ₂	12.8	0.0695	0,0899
ออกซิเจน	O ₂	-	1.1053	1.4290
บิวทิลีน	n-C ₄ H ₈	125	1.937	2,558

ที่มา: ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผขพ)ด้านความร้อน, 2553, หน้า 2

2.3.3.3 แก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas : LPG) จัดเป็นเชื้อเพลิงอีกชนิดหนึ่งที่มาจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil Fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมันหรือการแยกแก๊สธรรมชาติ ในโรงแยกแก๊สธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด คือโพรเพนและบิวเทนไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ปราศจากพิษ หนักกว่าอากาศ ติดไฟได้ในช่วงของการติดไฟที่ 2-15 %ของปริมาณในอากาศและอุณหภูมิที่ติดไฟได้เองคือ 400°C ในประเทศไทยแก๊สหุงต้มส่วนใหญ่ได้จากการกลั่นน้ำมัน โดยใช้อัตราส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทนประมาณ 70 : 30 ซึ่งจะให้ค่าความร้อนที่สูง

2.3.3.2 คุณสมบัติทั่วไปของแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดให้การเผาไหม้ที่สะอาด ให้พลังงานความร้อนสูง

1) ในสถานะที่เป็นไอก๊าซจะมีความหนาแน่นที่หนักกว่าอากาศ ไอก๊าซจะหนักประมาณ 2 เท่าของอากาศ ฉะนั้นเมื่อก๊าซรั่วจึงจะไหลไปรวมกันอยู่ ณ ที่ต่ำ จึงไม่ควรตั้งถังก๊าซไว้ในห้องใต้ดิน ใกล้หลุมบ่อหรือรางระบายน้ำ

2) ในสถานะที่เป็นของเหลว ก๊าซจะมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อมีสภาพเป็นน้ำก๊าซ จึงลอยอยู่เหนือน้ำ ถ้าก๊าซรั่วลงไปใน คูคลอง หรือท่อน้ำ

3) มีจุดเดือดต่ำ มีจุดเดือดและกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 0°C ในเมืองไทยที่มีอุณหภูมิประมาณ 20°C ก๊าซจะกลายเป็นไอทันที ที่พ้นจากความดัน และจะดูดความร้อนจากบริเวณใกล้เคียง ทำให้บริเวณใกล้เคียงมีความเย็นจัด ดังนั้นถ้าส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายคนเราสัมผัสกับน้ำก๊าซ จะทำให้ร่างกายส่วนนั้นเย็นจัดถึงไหม้ได้

4) มีอัตราการขยายตัวสูง การเติมก๊าซลงในภาชนะ จึงไม่ควรเติมเต็ม ควรเติมประมาณ 85 % ของภาชนะ เพื่อให้มีช่องว่างไว้สำหรับขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่เพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วไหลจึงต้องใส่สารเคมี Ethyl Mercaptan หรือ Thiophane ลงไปเพื่อให้มีกลิ่นฉุน โดยปกติแก๊สปิโตรเลียมเหลวไม่เป็นพิษต่อร่างกายโดยตรง แต่ถ้ามีการหายใจเข้าสู่ปอดเป็นระยะเวลานานทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน และอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้หากร่างกายขาดอากาศเป็นระยะเวลานานเกินควร นอกจากนี้ยังอาจเกิดพิษทางอ้อมจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

5) แก๊สปิโตรเลียมเหลวสามารถละลายยางธรรมชาติได้ดี ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจึงต้องเป็นยางสังเคราะห์

6) มีความดันสูง ภาชนะบรรจุ อุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องออกแบบให้แข็งแรงสามารถทนความดันไม่น้อยกว่า 250 ibf/in^2 มีความเข้มข้นต่ำ จึงรั่วซึมได้ง่าย และ ไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องแน่นหนาและทนทาน

7) ส่วนผสมของก๊าซกับอากาศ ที่ทำให้ติดไฟ อัตราส่วนของก๊าซในอากาศที่ทำให้ติดไฟคือ 1.5 - 9 ส่วนใน 100 ส่วน ของส่วนผสมจะเห็นได้ว่าถ้ามีก๊าซน้อยกว่า หรือมากกว่าสัดส่วนดังกล่าวก๊าซจะไม่ติดไฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซติดไฟไม่ไ้ได้ง่ายนักอัตราการขยายตัวของก๊าซ จากของเหลวเป็นไอ น้ำก๊าซ 1 L เมื่อกลายเป็นไอ ขยายตัวได้ถึง 250 L เมื่อน้ำก๊าซรั่วจึงมีอันตรายมากกว่าไอก๊าซรั่ว

8) ให้ความร้อนสูง อุณหภูมิเปลวไฟ $1,900-2,000^{\circ}\text{C}$ ค่าความร้อนของการเผาไหม้ที่ 25°C อยู่ระหว่าง $11,700 - 11,900 \text{ kcal/kg}$ ($21,000- 21,400 \text{ Btu/lb}$) ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของโพรเพนกับบิวเทน



ภาพที่ 2.6 ภาพเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

ที่มา: บริษัท ปตท.จำกัดมหาชน, 2557, (ออนไลน์)

2.3.3.2 การใช้ประโยชน์แก๊สปิโตรเลียมเหลวสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารในครัวเรือน จึงเรียกกันว่า แก๊สหุงต้ม สามารถใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและยานพาหนะได้

2.3.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของ LPG คุณสมบัติทางกายภาพ ณ สถานะเป็นของเหลว จุดเดือด และสภาวะวิกฤติแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำมาก โดยหากเป็นแอลพีจีที่มีส่วนประกอบเป็นโพรเพนจะมีจุดเดือดที่ -42°C ความหนาแน่นปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ แก๊สปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นของเหลวจะเบากว่าน้ำโดยค่าความถ่วงจำเพาะของแอลพีจีที่มีส่วนประกอบเป็นโพรเพนเหลวที่อุณหภูมิ 15°C มีค่าเท่ากับ 0.5077 ความหนืด แก๊สปิโตรเลียมเหลวในสภาพของเหลวจะมีความหนืดน้อยมาก (ความหนืดของน้ำเท่ากับ 1 เซนติพอยส์) จากคุณสมบัติอันนี้ ทำให้แก๊สเหลวรั่วซึมได้ง่ายกว่าของเหลวชนิดอื่นคุณสมบัติทางกายภาพ ณ สถานะเป็นของเหลวและความดันไอ (Vap or Pressure) แก๊สแอลพีจีเมื่อถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิดภายใต้ความดันจะมีสถานะเป็นของเหลว แอลพีจีเหลวระเหยเป็นไอเต็มช่องว่างที่อยู่เหนือระดับส่วนที่เป็นของเหลว ความร้อนจำเพาะ เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25°C ค่าความร้อนจำเพาะของแอลพีจีที่มีส่วนประกอบเป็นโพรเพนเท่ากับ 0.6023 สัมประสิทธิ์การขยายตัว แก๊สปิโตรเลียมเหลวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 15°C ประมาณ 0.300°C คุณสมบัติทางกายภาพ ณ สถานะเป็นแก๊สความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 15.5°C (60°F) ณ ความดันบรรยากาศ โพรเพน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นแก๊ส เท่ากับ 1.5 ดังนั้นแก๊สปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นแก๊สจะหนักกว่าอากาศเมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้นแก๊สจะโปรยตัวอยู่ในที่ต่ำ

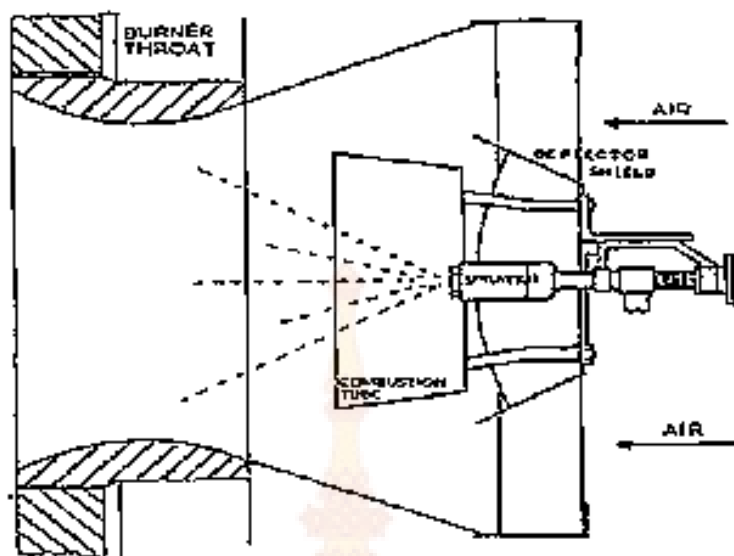
ความสามารถในการอัดตัวของ แก๊สแอลพีจี (Compressibility factor) ที่อุณหภูมิ 15 °C ณ ความดันบรรยากาศโปรเพนมีค่า $Z = 0.984$ ค่าออกเทน (Octane Number) แก๊สแอลพีจีมีค่าออกเทนสูงประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่า ออกเทนของน้ำมันเบนซิน จึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มากคุณสมบัติทางกายภาพ ณ สถานะเป็นแก๊สอัตราส่วนปริมาตรของเหลว/แก๊ส (Liquid/Vapor Volume Ratio) แอลพีจีเหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นแก๊ส ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก กล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5 °C (60°F) โปรเพนเหลว 1 หน่วยปริมาตร เมื่อกลายเป็นแก๊สจะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วยปริมาตรอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement) แก๊สแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ดังนั้นทางกลุ่ม จึงเลือกใช้แก๊ส โปรเพน+บิวเทน หรือ แก๊สปิโตรเลียมเหลว เพราะให้ค่าความร้อนสูงสุด และหาซื้อง่ายตามท้องตลาด ดังตารางที่ 2.3

2.3.4 ประเภทของหัวเผา หัวเผาที่มีการใช้งานอยู่ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีการนำไปใช้งานในหลายรูปแบบ โดยมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งสามารถที่จะจำแนกประเภทของหัวเผาได้ตามชนิดการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแยกได้ 4 ประเภทดังนี้

2.3.4.1 หัวเผาเชื้อเพลิงของแข็ง (Coal Burner) หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงของแข็งส่วนใหญ่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำงาน มีราคาต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และมีมากมายในหลายประเทศ ส่งผลให้สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ เช่น ผงถ่านหินเป็นต้น โดยหัวเผานี้ส่วนใหญ่ใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น ถลุงเหล็ก การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น หัวเผาลักษณะนี้ใช้ในการจ่ายอากาศด้วยลมความเร็วสูงผ่านหัวฉีดในบริเวณแกนกลาง ในช่องทางด้านข้างจะจ่ายผงถ่านหินไปผสมกับอากาศที่มีความเร็วสูงที่เปลี่ยนทิศทางโดยฉับพลัน ทำให้อากาศหมุนวนผสมกับผงถ่านหินแล้วเกิดการเผาไหม้ทางด้านหน้าของหัวเผา โดยมีอากาศส่วนหนึ่งจากช่องทางด้านข้างเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการเผาไหม้ แต่ในหัวเผาแบบนี้จะปัญหาที่เกิดขึ้นด้านมลภาวะที่ปล่อยออกไปจากการเผาไหม้ ซึ่งควรมีการบำบัดก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

2.3.4.2 หัวเผาเชื้อเพลิงของเหลว (Oil Burner) หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงของเหลวมีการใช้งานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก เช่นเตาเผาขยะ เตาเผาศพ หม้อไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากมีความสะดวก ในส่วนเชื้อเพลิงที่สามารถหาได้ง่าย โดยใช้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน น้ำมันเตา เป็นต้น หัวเผาลักษณะนี้อาศัยหลักการทำให้เชื้อเพลิงมีการกระจายตัวเข้าไปยังห้องเผาไหม้ด้วยแรงดันสูงผสมกับอากาศที่มีแรงดันสูงและมลภาวะจากการเผาไหม้น้อยกว่าแบบเชื้อเพลิงแข็ง



ภาพที่ 2.7 ภาพลักษณะการพ่นเชื้อเพลิงเหลว

ที่มา: การพัฒนาและศึกษาสมรรถนะของหัวเผาน้ำมันมะพร้าว, 2545, หน้า 68

2.3.4.3 หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส (Gas Burner) หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สการใช้งานส่วนใหญ่จะอยู่ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่นเตาเผาในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว เตาเผาขยะ เตาหุงต้มในครัวเรือน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เชื้อเพลิงที่ใช้จำพวก LPG และ NGV เป็นต้น หลักการทำงานของหัวเผาจะใช้การผสมระหว่างอากาศที่มีความเร็ว กับ เชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกจากถังเก็บที่บริเวณปลายหัวเผาโดยอาจทำให้อากาศมีการหมุนวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ ข้อดีคือ ให้ค่าความร้อนสูง มลภาวะที่พบน้อย ส่วนข้อเสียคือ การจัดเก็บเชื้อเพลิงต้องมีความระมัดระวังสูง

2.3.4.4 หัวเผาเชื้อเพลิงร่วม (Multi-Fuel Burner) หัวเผาที่ใช้เชื้อเพลิงหลายชนิด ถูกออกแบบเพื่อการใช้งานที่รองรับกับการขาดแคลนเชื้อเพลิงในขณะทำงานชั่วคราว หรือใช้เชื้อเพลิงอื่นทดแทน การทำงานทำให้หัวเผาสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หัวเผามีการออกแบบให้ช่องทางของเชื้อเพลิงแต่ละส่วนแยกออกจากกัน และสามารถตัดการทำงานของเชื้อเพลิงได้เมื่อการทำงานเปลี่ยนเชื้อเพลิง โดยค่อยๆลดเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการสูญเสียทางความร้อนที่ให้กับระบบ

ทางกลุ่มได้เลือกใช้ หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส เชื้อเพลิงใช้คือ LPG และ NGV เป็นต้น หลักการทำงานของหัวเผาจะใช้การผสมระหว่างอากาศที่มีความเร็ว กับ เชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกจากถังเก็บที่บริเวณปลายหัวเผาโดยอาจทำให้อากาศมีการหมุนวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ ข้อดีคือ ให้ค่าความร้อนสูง มลภาวะที่พบน้อย ส่วนข้อเสียคือ การจัดเก็บเชื้อเพลิงต้องมีความระมัดระวังสูง

2.4 วัสดุที่ใช้สร้างเตาเผาหลัก

ในการเลือกใช้วัสดุการทำเตาต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุทนไฟโดยมานพ คงเนียม ,ประเสริฐ มหาศรานนท์ (2527), หน้า 4 ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุทนไฟดังต่อไปนี้

2.4.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุทนไฟ (Refractory Material) วัสดุทนไฟต่าง ๆ หมายถึง วัสดุซึ่งสามารถจะใช้ ณ อุณหภูมิที่สูงได้โดยที่มันจะไม่หลอมละลายไม่อ่อนตัวหรือไม่เสื่อม อุณหภูมิที่วัสดุทนไฟต้องทนได้ประมาณ 1500°C วัสดุทนไฟใช้ประโยชน์ไม่ว่าในสภาพวัตถุ ดิบ หรือเผาให้สุกแล้ว ที่สำคัญที่สุดคือใช้ในสภาพของอิฐ ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมโลหะ ซึ่งใช้สร้างเตาหลอม เตาหลอม เตาอบ เตาเผา (Crucible) ใช้ทำทางออกของแก๊สร้อนทำปล่องตลอดจนใช้กรุภายในเตาเพื่อป้องกันไม่ให้โลหะและซีตระกรันกัดอิฐที่ใช้ทำเตา

2.4.1.1 วัสดุทนไฟที่ดีต้องมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- 1) ต้องสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงกล่าวคือไม่เสื่อมหรือเปลี่ยนสภาพที่อุณหภูมิสูง
- 2) ต้องสามารถรักษาความแข็งแรงไว้ได้ ณ อุณหภูมิสูง
- 3) ต้านทานต่อซีตระกรันเหลวและแก๊สต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น กล่าวคือวัสดุทนไฟที่ใช้งานต้องไม่ทำปฏิกิริยากับซีตระกรันเหลวที่เกิดขึ้นหรือไม่ทำปฏิกิริยากับแก๊สภายในเตา
- 4) มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ
- 5) เป็นตัวนำความร้อนที่เหมาะสม คือสามารถดูดเอาความร้อนไว้แล้วส่งความร้อนกลับและถ่ายเทความร้อนได้ดี
- 6) มีความต้านทานต่อการสั่นสะเทือนคืออิฐหรือวัสดุทนไฟที่ใช้จะไม่แตกหักง่ายเมื่อได้รับความกระทบกระเทือน
- 7) ราคาถูก

2.4.1.2 วัสดุทนไฟแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

- 1) วัสดุทนไฟ ชนิดกรด (Acid Refractories) วัสดุทนไฟ ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติของความเป็นกรด คล้ายกับซีตระกรันที่มีความเป็นกรด ดังนั้นวัสดุทนไฟชนิดนี้จะมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ตามปกติจะสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของซิลิการวมกันอยู่ทั้งหมดมากกว่าวัสดุต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ได้แก่พวกเหล็กออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์และปูนขาว เป็นต้นวัตถุดิบที่ถือว่าเป็นวัสดุทนไฟชนิดกรด ได้แก่ หินต่าง ๆ กานิสเตอร์ ควอร์ต แต่ที่มีประโยชน์และที่สำคัญที่สุดคือ ดินขาว ซึ่งมีสูตรทางเคมี และดินทนไฟธรรมดา ดินทนไฟธรรมดานี้ก็ได้แก่ดินขาวที่ไม่ค่อยบริสุทธิ์นักนั่นเอง ดินขาวและดินทนไฟธรรมดานี้จะมีความเหนียวคล้ายดินเหนียวธรรมดาแต่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความทนไฟกว่าดินเหนียวที่เราใช้ปั้นของเล่นมาก อิฐที่ทำจากวัสดุทนไฟชนิดนี้เรียกว่า อิฐทนไฟ ชนิดกรด ที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่ อิฐซิลิกา และอิฐทนไฟธรรมดา เป็นอิฐที่สำคัญ

ที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งใช้มากในเตาถลุง เหล็ก เตาถ่านโค้ก เตาถลุงตะกั่ว เตาถลุงดีบุก เตาทำเหล็กหล่อ เตาหลอมเล็กๆ ที่ใช้ในห้องทดลอง ใช้ทำแก้วเพื่อวิเคราะห์ ใช้ทำท่อแก๊สร้อน ห้องสำหรับอุ่นอากาศ และเชื้อเพลิงอื่นๆ ส่วนอิฐซิลิกา ใช้ทำเตาที่ต้องการใช้ความร้อนสูงมากเช่น ในเตาผลิตเหล็กกล้า เตาถลุงทองแดง เตาถ่านโค้ก เตาไฟฟ้าต่างๆ ห้องอุ่นอากาศใหญ่ๆ และใช้เป็นหลังคาของเตาส่วนมากอิฐชนิดนี้สะท้อนความร้อนได้ดีกว่าอิฐชนิดอื่น

2) วัสดุทนไฟชนิดต่าง (Basic Refractories) วัสดุทนไฟชนิดนี้จะมีซิลิกาผสมอยู่ด้วยน้อยมาก มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของพวกโลหะออกไซด์ได้ดีมากเพราะมีคุณสมบัติเป็นด่างและตัวมันเองก็ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะเป็นส่วนใหญ่ วัสดุทนไฟชนิดนี้จะทำปฏิกิริยากับซิลิกาและซีตตระกรันชนิดกรดได้ดี วัสดุดิบที่เป็นวัสดุทนไฟชนิดนี้ได้แก่ ปูนขาว หินปูน แมกนีไซต์ โดโลไมท์ และโครมแมกนีไซต์อิฐที่ผลิตจากวัสดุทนไฟชนิดต่างได้แก่ อิฐแมกนีไซต์ อิฐโดโลไมท์ อิฐโครมแมกนีไซต์ เป็นต้น พวกโลหะออกไซด์ได้ดีมากเพราะมีคุณสมบัติเป็นด่างและตัวมันเองก็ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะเป็นส่วนใหญ่ วัสดุทนไฟชนิดนี้จะทำปฏิกิริยากับซิลิกาและซีตตระกรันชนิดกรดได้ดี วัสดุดิบที่เป็นวัสดุทนไฟ อิฐแมกนีไซต์ที่ใช้มากที่สุดในการทำเตาผลิตเหล็กกล้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นเตา ให้ทำเตาไฟฟ้า เตาเก็บเหล็กเหลวจากเตาถลุง เตาเผาซีเมนต์ เตาเผาปูนขาว และเตาที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ อิฐโดโลไมท์ก็มีใช้คล้ายๆ กับอิฐแมกนีไซต์

3) วัสดุทนไฟชนิดที่เป็นกลาง (Neutral Refractories) เลือกใช้เกรดนี้เพราะอิฐคาร์บอน วัสดุทนไฟที่ไม่ทำปฏิกิริยากับทั้งซิลิกาหรือออกไซด์ที่เป็นด่าง ดังนั้นอาจใช้กับที่ที่เกิดซีตตระกรันชนิดใดก็ได้ วัสดุชนิดนี้ ได้แก่ กราไฟท์ โครไมท์ซิลิกอนคาร์ไบด์ อิฐที่ทำจากวัสดุทนไฟชนิดนี้ที่สำคัญๆ ก็มีอิฐคาร์บอน อิฐโครไมท์ ซิลิกอนคาร์ไบด์อิฐคาร์บอน เป็นอิฐที่ทำมาจากกราไฟท์ ปัจจุบันใช้ทำอิฐทนไฟธรรมดาในการทำเตาถลุงเหล็กขนาดใหญ่ๆ เพราะอิฐชนิดนี้สามารถทำเป็นก้อนๆ ได้ เหมาะสมสำหรับทำพื้นเตาถลุงเหล็กและอิฐชนิดนี้เป็นตัวนำความร้อนที่ดี ทำให้ควบคุมอุณหภูมิของเตาได้ดีขึ้น ดังนั้นเตาถลุงเหล็กปัจจุบันจึงสร้างด้วยอิฐคาร์บอนเกือบทั้งเตา อิฐคาร์บอนดีกว่าอิฐทนไฟธรรมดา เพราะจุดหลอมตัวสูงถึง $3,000^{\circ}\text{C}$ ไม่เปราะ ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วได้ดีมาก และทนต่อการกัดของซีตตระกรันชนิดกรดได้ดีเป็นพิเศษ อิฐโครไมท์ใช้มากในเตาอบเหล็กแท่งเมื่อนำไปรีดต่อไป ใช้ในเตาที่มีการกัดของซีตตระกรันมาก แต่ใช้ทำเตาไฟฟ้าไม่ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตเหล็กกล้าเพราะโครเมียมในอิฐ จะเข้าไปอยู่ในเหล็กกล้าทำให้อิฐแตกง่าย ซิลิกอนคาร์ไบด์ มีที่ใช้จำกัดเพราะราคาแพง ใช้มากในการสร้างเตาถลุงสังกะสี โดยใช้ทำท่อกลั่นสังกะสี ซึ่งใช้ได้ทนทานกว่าอิฐทนไฟ ธรรมดา มาก ที่ใช้สำคัญของวัสดุซิลิกอนคาร์ไบด์คือ ใช้เป็นผงขัดสิ่งของต่างๆ เช่น ทำกระดาดทราย หรือหินที่ใช้ลับเครื่องมือหินที่ใช้ในการขัดเกลา กลึงโลหะต่างๆ ในการใช้วัสดุทนไฟชนิดใดทำเตา หรือทำพื้นเตาหลอมโลหะจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุทนไฟและซีตตระกรัน ที่จะเกิดขึ้นจากการถลุงโลหะนั้นด้วย เช่นถ้าซีตตระกรันที่เกิดขึ้นมีความ

เป็นต่าง อิฐทนไฟที่ใช้ทำผนังเตาหรือพื้นเตาหรือส่วนที่สัมผัสกับขี้ตะกั่วต้องเป็นชนิดต่าง มิฉะนั้น ตะกั่วจะกัดวัสดุทนไฟทำให้อายุของเตาไม่ยืนนานและโลหะที่ผลิตได้จะมีบางส่วนของวัสดุทนไฟตัดเข้าไปด้วย ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการใช้วัสดุทนไฟ คือความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ถ้าอิฐทนไฟมีการเปลี่ยนแปลงภายในอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิลดลงหรือสูงขึ้น เช่นอิฐซิลิกาในการจะเผาเตาให้ร้อนขึ้นหรือทำให้เย็นลงต้องค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิอย่าให้ร้อนเร็วหรือเย็นเร็วอิฐอาจจะแตกหักได้ง่าย ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุทนไฟ วิธีทำอิฐชนิดของตัวเชื่อมวัสดุทนไฟ วัสดุที่เป็นตัวกันความร้อนจะ ได้กล่าวต่อไปนี้วัสดุทนไฟแบ่งออกเป็น

2.4.1.3 อิฐทนไฟ (Refractory Brick) อิฐทนไฟ เป็นวัสดุทนไฟ เป็นวัสดุทนไฟชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ประโยชน์ทั้งในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาและอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งต้องใช้ความร้อนสูงในการเผาหรือหลอมผลิตภัณฑ์ อิฐทนไฟส่วนมากใช้ในการก่อสร้างเตาเผา รูปลักษณะของอิฐทั้งแบบธรรมดา อิฐตรง (Straight: ST) อิฐสี่เหลี่ยมบาง (Spirit: SP) อิฐกลีบส้อม (Side Arch: SA) อิฐหัวขวาน (End Arch: EA) อิฐหน้าวัว (Key: KE) ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการก่อสร้างให้ได้รูปแบบขนาดตามต้องการคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นของอิฐทนไฟมีหลายชนิดด้วยกัน คือ ชนิดที่มีซิลิกาสูงและชนิดที่มีอลูมินาสูง การเลือกใช้อิฐส่วนใหญ่อิฐทนไฟ ต้องตรวจสอบว่าจะใช้งานประเภทไหนก่อนเพราะอิฐส่วนใหญ่ จะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน เช่นอิฐทนไฟสำหรับก่อเตาประเภทต่างเช่น เตาอุโมงค์ เตาหลอม เตาพิชซ่า ก่อกันไฟอาคาร สามารถเลือกใช้ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งาน อุณหภูมิ ความแข็งแรง ค่าการนำความร้อน การทนการสึกหรอ หลังจากนั้นเราจึงจะมาเลือกรูปแบบของอิฐจะเป็นลักษณะรูปร่างเป็นอย่างไร โดยอิฐจะแบ่งออกเป็นลักษณะดังนี้

1) อิฐซิลิกาสูง (High Silica Brick) เป็นวัสดุทนไฟที่ทำจากหินควอตซ์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ซิลิกาสูง ในส่วนผสมของอิฐทนไฟชนิดนี้ควรมีซิลิกาผสมอยู่ประมาณร้อยละ 95-98 และมีหินปูนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 1.5-3 การเผาอิฐทนไฟประเภทนี้ ใช้อุณหภูมิที่เผาประมาณ 1410-1,480 °C (SK 14- 18) แต่อิฐจะทนไฟได้ถึงประมาณ 1,690- 1,750 °C (SK 31 -34) ถ้าทดสอบความเป็นกรดต่างของอิฐทนไฟชนิดนี้จะพบว่ามีความเป็นกรดซึ่งจัดเป็นประเภท (Acid Refractory) คุณสมบัติเด่นคือ สามารถรับน้ำหนักที่อุณหภูมิได้ดี แต่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ไม่ดีนัก มีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวและหดตัวมาก ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการก่อสร้างเตาเผาแบบต่างๆ นอกจากอุโมงค์ ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เฉพาะผนังห้องเผาไหม้โดยใช้กับอิฐทนไฟธรรมดาซึ่งจะทำให้มีการขยายตัวและหดตัวสมดุลกันพอดี ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 อิฐทนไฟก่อเตาอุโมงค์

ที่มา: หจก.ไทยเฟอร์เนส เอ็นจิเนียริง, 2553, (ออนไลน์)

2) อิฐทนไฟอลูมินาสูง (High Alumina Bricks) เป็นวัตถุดิบที่ทำจากวัตถุดิบซึ่งเปอร์เซ็นต์อลูมินาสูง และบางครั้งอาจจำเป็นต้องเพิ่มอลูมินาลงไปด้วยเพื่อให้ได้สัดส่วนของอลูมินาตามต้องการ โดยปกติอิฐทนไฟชนิดนี้จะเผาที่อุณหภูมิประมาณ $1,460^{\circ}\text{C}$ (SK 16) และจะสามารถทนไฟได้อุณหภูมิสูงมากเหมาะสำหรับใช้ก่อเตาผิงคุณสมบัติที่สำคัญของอิฐทนไฟชนิดนี้คือ มีกำลังการรับน้ำหนักได้ดี มีความทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีและมีความต้านทานต่อการยืดตัว ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 อิฐทนไฟก่อเตาผิง

ที่มา: หจก.ไทยเฟอร์เนส เอ็นจิเนียริง, 2553, (ออนไลน์)

3) อิฐดินทนไฟ (Fireclay Bricks) อิฐทนไฟชนิดนี้ทำจากดินทนไฟหรือดินเชื้อ ซึ่งถ้ามีเปอร์เซ็นต์ซิลิกาสูงกว่าเปอร์เซ็นต์อลูมินา จะมีความทนไฟต่ำ แต่ถ้ามีอลูมินาสูง ซิลิกาต่ำ

จะมีความทนไฟได้ดีกว่า โดยปกติแล้วจะเผาอิฐทนไฟชนิดนี้ที่อุณหภูมิประมาณ 1300- 1350 °C (SK 10- 13) และใช้งานที่ใช้ความร้อนระหว่าง 1,580- 1,770 °C (SH 26-35) เหมาะสำหรับใช้ทำเตาอาหารเช่น เตาทำพิซซ่ามานพ คงเนียม (2544: 6) ดังภาพที่ 2.10

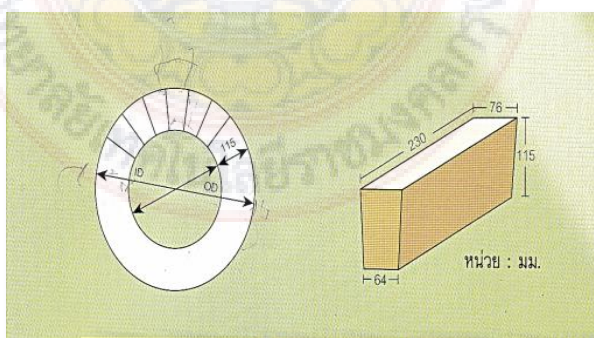


ภาพที่ 2.10 อิฐทนไฟก่อเตาพิซซ่า

ที่มา: หจก.ไทยเฟอร์เนส เอ็นจิเนียริง, 2553, (ออนไลน์)

2.4.1.4 การเลือกใช้อิฐทนไฟ รูปร่างมาตรฐาน ปูนทนไฟ คอนกรีตทนไฟบริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด (2554: ออนไลน์) ได้ให้ข้อมูลดังนี้

ข้อมูลการคำนวณปริมาณการใช้อิฐทนไฟ โดยการก่ออิฐเป็นรูปวงกลมด้วยอิฐรูปร่าง กลีบส้ม (Side Arch: SA) โดยวัดจาก ID = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน OD = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (m) ดังภาพที่ 2.11



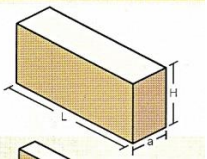
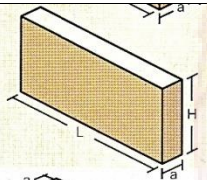
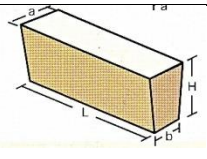
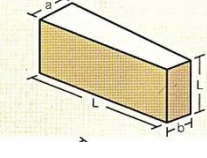
ภาพที่ 2.11 การคำนวณปริมาณการใช้อิฐทนไฟ

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, 2554, (ออนไลน์)

2.4.1.5 ขนาดของอิฐทนไฟ รูปร่างมาตรฐาน

1) ขนาดของอิฐทนไฟ รูปร่างมาตรฐาน มีลักษณะเป็นก้อนการใช้งานส่วนมากจะนำไปใช้ในการก่อ วัสดุพวกโลหะนำมาใช้ทำเตาต่างๆ ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เช่น ในการสร้างเตาหลอมเป็นต้น อิฐทนไฟเป็นวัสดุทนไฟประเภทที่สามารถรักษาขนาดสัณฐานเดิมเมื่อผ่านการใช้งาน โดยไม่เกิดการหลอมเหลวเสียรูปร่างไปขณะใช้งาน และคุณสมบัติต่างๆ ดีกว่าวัสดุทนไฟประเภทอื่นๆ ดังนั้นงานส่วนมากมักใช้อิฐทนไฟเป็นส่วนใหญ่ รูปร่างของอิฐทนไฟแบ่งออกตามลักษณะการก่อเป็นรูปแบบต่างๆ มีทั้งหมด 5 รูปร่างต่างตามลักษณะการใช้งานดังนี้ อิฐตรง (Straight: ST) อิฐสี่เหลี่ยมบาง (Spirit: SP) อิฐกลีบสั่ม (Side Arch: SA) อิฐหัวขวาน (End Arch: EA) อิฐหน้าวัว (Key: KE) โดยมีขนาดเป็น (mm.) ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตารางบอกขนาดของอิฐทนไฟ รูปร่างมาตรฐาน

รูปร่างของอิฐทนไฟ	ชื่อของอิฐ	เบอร์อิฐ (Brick No.)	ขนาดของอิฐ (mm.)			
			L	H	a	b
	อิฐตรง (Straight:ST)	ST 76	230	115	76	-
		ST 64	30		64	-
	อิฐสี่เหลี่ยมบาง (Spirit: SP)	SP 50	230	115	50	-
		SP 38			38	-
		SP 32			32	-
		SP 25			25	-
	อิฐกลีบสั่ม (Side Arch: SA)	SA 70	230	115	76	70
		SA 64				64
		SA 50				50
	อิฐหัวขวาน (End Arch: EA)	EA 70	115	230	76	70
		EA 64				64
		EA 50				50

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, 2554, (ออนไลน์)

2) ตารางการคำนวณปริมาณการใช้อิฐทนไฟ รูปราง กลีบส้ม (Sid Arch Brick) โดยวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลาง (m.) จะคำนวณหาปริมาณการใช้ได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางการคำนวณปริมาณการใช้อิฐทนไฟ รูปราง กลีบส้ม (Sid Arch Brick)

OD (ม.)	ID (ม.)	จำนวนก้อน /วง PCS/Ring	เบอร์อิฐ (Brick No)		
			SA 70	SA 64	SA 50
3.00	2.77	122	122	-	-
2.80	2.57	133	106	7	-
2.60	2.37	105	90	15	-
2.40	2.17	97	73	24	-
2.20	1.97	89	57	32	-
2.00	1.77	81	41	40	-
1.80	1.57	73	25	48	-
1.60	1.37	64	10	54	-
1.40	1.17	56	-	53	3
1.20	0.97	48	-	38	10
1.00	0.77	40	-	23	17
0.70	0.47	28	-	-	28

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, 2554, (ออนไลน์)

3) ชนิดของอิฐทนไฟแบ่งตามลักษณะการใช้งานตามคุณภาพ และ อุณหภูมิที่ใช้งาน ความหนาแน่น ค่าความแตกร้าวที่อุณหภูมิห้อง และ ความต้านทานต่อแรงบีบอัดโดยรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตารางชนิดของอิฐทนไฟ

คุณภาพ	อุณหภูมิที่ใช้ งานสูงสุด °C	ความ หนาแน่น (kg/cm ³)	MOR (kg/cm ²)	CCS (kg/cm ²)	ใช้ได้กับปูน ทนไฟ
K 30	1300	2200	45	275	MORTAR 30 AM MORTAR 30 HM
คุณภาพ	อุณหภูมิที่ใช้ งานสูงสุด °C	ความ หนาแน่น (kg/cm ³)	MOR (kg/cm ²)	CCS (kg/cm ²)	ใช้ได้กับปูน ทนไฟ
K 35	1350	2220	50	350	MORTAR 30 AM MORTAR 30 HM
KB 50	1500	2370	80	450	MORTAR 70 AM
KB 60	1600	2500	85	500	MORTAR 70 AM
KB 70	1700	2550	110	530	MORTAR 70 HM
BX 80	1750	2720	120	700	MORTAR 80 PM
B 80	1750	2750	130	750	MORTAR 80 PM
A 90	1900	3060	150	1000	MORTAR 90 HM

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, 2554, (ออนไลน์)

2.4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับปูนทนไฟ (Refractory Mortars)

2.4.2.1 ปูนทนไฟ หมายถึง ส่วนประกอบของวัสดุทนไฟที่บด เมื่อผสมน้ำจะมีความเหนียวเหมาะที่จะใช้ก่อเชื่อมรอยต่อระหว่างอิฐทนไฟช่วยให้โครงสร้างสามารถคงรูปร่างอยู่ได้ และช่วยป้องกันการแทรกซึมรั่วไหลของก๊าซเปลวไฟออกจากรอยต่อระหว่างอิฐและวัตถุติดภายในเตา มีคุณสมบัติทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ เช่นเดียวกับวัสดุทนไฟชนิดอื่นๆ

2.4.2.2 ปูนทนไฟแต่ละชนิดแบ่งออกเป็นชั้นคุณภาพต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ปูนทนไฟสูงพิเศษ
- 2) ปูนทนไฟสูง
- 3) ปูนทนไฟปานกลาง
- 4) ปูนทนไฟต่ำ

2.4.2.3 ประเภท ชนิดของปูนทนไฟ

1) ปูนทนไฟ แบบแห้ง (Dried Refractory Mortar) เป็นปูนทนไฟ ที่มีลักษณะเป็นผงแห้งละเอียด เวลาใช้งานจะต้องผสมกับน้ำ หรือสารที่ต้องการผสม เช่น น้ำ แก้ว เพื่อให้มีลักษณะเหมาะแก่การใช้งาน

2) ปูนทนไฟ แบบเปียก (Wet Refractory Mortar) เป็นปูนทนไฟ ที่มีการผสมสำเร็จรูป สามารถนำไปใช้งานได้ทันที

2.4.2.4 ชนิดปูนทนไฟ

1) ปูนทนไฟแห้งด้วยตัวเอง (Air Setting Mortar) ปูนทนไฟที่เข้ารูปด้วยอุณหภูมิห้อง (AM) เป็นปูนทนไฟ ที่สามารถเชื่อมประสานอิฐทนไฟ เข้าด้วยกันหลังแห้งตัว โดยยังไม่จำเป็นต้องได้รับความร้อน เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้อิฐเชื่อมประสานกัน เพื่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ตั้งแต่ขั้นตอนการติดตั้ง

2) ปูนทนไฟเข้ารูปด้วยความร้อน (Heat Setting Mortar) ปูนทนไฟที่เข้ารูปโดยการผ่านความร้อน (HM) เป็นปูนทนไฟ ที่จะเกิดการเชื่อมประสานอิฐทนไฟ เข้าด้วยกัน เมื่อได้รับความร้อนไปแล้ว

2.4.2.5 ชนิดปูนทนไฟแบ่งตามลักษณะการใช้งาน

1) ปูนทนไฟฉนวน สำหรับการก่อติดตั้งกับอิฐฉนวน ซึ่งจะมีรูพรุนมาก เนื้อปูนทนไฟ ประเภทนี้ จะออกแบบให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ดี ทำให้ปูนทนไฟ ไม่แห้งตัวเร็วเกินไป เวลาลำบากไปฉาบกับอิฐฉนวน

2) ปูนทนไฟในงานไฟฟ้า สำหรับใช้กับสายไฟ สำหรับบริเวณที่ต้องการความทนต่ออุณหภูมิสูง

3) ปูนทนไฟ ทนกรด (Acid Resistant Refractory Mortar) สำหรับใช้ร่วมกับ อิฐทนไฟประเภททนต่อการกัดกร่อนของกรด

2.4.2.6 หลักการเลือกใช้อิฐทนไฟ

- 1) พิจารณาว่าอุณหภูมิการใช้งานสูงถึง 1,000°C หรือไม่ หากไม่ถึงควรใช้อิฐทนไฟชนิดให้ความแข็งแรงที่อุณหภูมิห้อง
- 2) พิจารณาว่าบริเวณตำแหน่งที่นำปูนทนไฟไปใช้งานต้องรับน้ำหนัก เคลื่อนไหวหรือไม่ กรณีที่รับน้ำหนักหรือเคลื่อนไหวควรใช้อิฐทนไฟชนิดให้ความแข็งแรงที่อุณหภูมิห้อง
- 3) ควรเลือกปูนทนไฟให้เหมาะสมกับคุณภาพของอิฐทนไฟ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการใช้งานเป็นหลัก
- 4) พิจารณาความสะดวกในการทำงาน ซึ่งปูนทนไฟชนิดเปียกจะให้ความสะดวกและประหยัดเวลาในการเตรียมมากกว่า
- 5) สามารถทนต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเตาเผาขึ้นได้ด้วยดังภาพที่ 2.12



ก) ปูนทนไฟแบบเปียก

ข) แห้งและแบบเปียก

ภาพที่ 2.12 ปูนทนไฟ แบบแห้งและแบบเปียก

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, 2554, (ออนไลน์)

2.4.3 คอนกรีตทนไฟ (Castable Refractory)

2.4.3.1 คอนกรีตทนไฟ เป็นวัสดุทนไฟชนิดหนึ่งที่คล้ายกับคอนกรีตผสมเสร็จทั่วไป สามารถหล่อเป็นโครงสร้างเตาได้โดยไม่มีรอยต่อ มีคุณสมบัติทนไฟ หรือทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ดีเช่นเดียวกับอิฐทนไฟ ส่วนผสมประกอบไปด้วยซีเมนต์ทนไฟและเม็ดวัสดุทนไฟหลายขนาดที่มีสัดส่วนพอเหมาะ ซึ่งเมื่อผสมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้วจะให้ความแข็งแรง สามารถใช้งานได้ง่าย

และสะดวกรวดเร็วจัดปัญหาเรื่องตัดอิฐให้เข้ารูป และเหมาะสำหรับใช้งานบริเวณโครงสร้างที่ไม่สามารถก่ออิฐได้เป็นอย่างดี ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 คอนกรีตทนไฟ

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด, 2554, (ออนไลน์)

2.4.3.2 เทคนิคการเลือกใช้คอนกรีตทนไฟในการเลือกคอนกรีตทนไฟไปใช้งาน จะต้องเลือกชั้นคุณภาพของคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานโดยสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาเบื้องต้น ได้แก่

- 1) อุณหภูมิการใช้งาน
- 2) ปฏิกริยาทางเคมี และสภาพของตะกั่วที่เกิดขึ้นจากสภาวะกายภาพรวมทั้งสภาพของอัลคาไลด้วย
- 3) การรับน้ำหนัก
- 4) การเสียดสีจากของเหลวและก๊าซ
- 5) การตกกระทบของเปลวไฟ

2.4.3.3 ชนิดของคอนกรีตทนไฟ แบ่งตามคุณภาพ อุณหภูมิการใช้งาน ปริมาณการใช้ และการใช้งานคำนวณได้จาก ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตารางการคำนวณหาปริมาณการใช้คอนกรีตทนไฟ

คุณภาพ	อุณหภูมิที่ใช้ งานสูงสุด °C	CCS (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	ปริมาณการใช้ งาน (kg/cm ³)	การใช้งาน
CAST 11 LW	1100	40	7	760	ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน
CAST 13	1300	380	70	2010	ใช้ได้กับงานทั่วไป
CAST 13 ES	1300	450	80	2010	ให้ความแข็งแรงสูงพิเศษ
CAST 13 LW	1300	125	25	1300	ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน
CAST 13 CG	1300	380	60	2110	ทนต่อการขีด สี และ การเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิฉับพลัน
CAST 14 CG	1400	380	80	2220	ทนต่อการขีด สี และ การเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิฉับพลัน
CAST 15	1500	300	70	2200	ใช้ได้กับงานทั่วไป
CAST 15 ES	1500	400	80	2150	ให้ความแข็งแรงสูงพิเศษ
CAST 16	1600	400	70	2300	ใช้ได้กับงานทั่วไป

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด. 2554: (ออนไลน์)

2.4.4 เซรามิก (Ceramic) เซรามิกเป็นวัสดุอนินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุที่เป็นโลหะและอโลหะ โดยเกิดพันธะไอออนิกหรือโควาเลนต์ร่วมกัน องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเซรามิกจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิด บางชนิดจะมีองค์ประกอบเป็นสารประกอบอย่างง่าย แต่บางชนิดจะประกอบด้วยเฟสต่างๆที่ซับซ้อนโดยเกิดพันธะระหว่างกัน สมบัติของเซรามิกจะแตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจากความแตกต่างของพันธะในโครงสร้าง โดยทั่วไปเซรามิกมักจะมีสมบัติที่แข็งและเปราะ มีความแข็งแรงน้อยเป็นฉนวนไฟฟ้าและความร้อนที่ดีเพราะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่เป็นตัวนำไฟฟ้า

และความร้อนได้ นอกจากนี้วัสดุเซรามิกยังมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและสภาพแวดล้อมที่ดีเนื่องจากมีพันธะเคมีที่แข็งแรง จากสมบัติเหล่านี้ทำให้วัสดุเซรามิกเป็นวัสดุที่ขาดไม่ได้สำหรับงานออกแบบทางวิศวกรรมต่างๆ

2.4.4.1 ฉนวนกันความร้อน (Insulating Board) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานหรือหน่วงการถ่ายเทความร้อนในทางวิศวกรรมทั่วไป มี

1) จุดประสงค์ของฉนวนกันความร้อนในทางวิศวกรรมทั่วไป มีอยู่ 2

ประการ

ก) หน่วงการถ่ายเทความร้อนจากระบบสู่บรรยากาศให้น้อยลง ได้แก่ การหุ้มฉนวนท่อไอน้ำ หุ้มฉนวนท่อน้ำร้อนที่ใช้ในการปรับอากาศในฤดูหนาว หุ้มฉนวนผนังเตาในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

ข) หน่วงการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศสู่ระบบ ได้แก่ การหุ้มฉนวนท่อน้ำยาทางเข้าคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศในฤดูร้อน หุ้มฉนวนถังเก็บก๊าซในสภาพของเหลว เช่น ถังเก็บก๊าซแอมโมเนีย, ถังเก็บก๊าซออกซิเจน เป็นต้น

2) คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

ก) มีน้ำหนักเบา

ข) มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ จึงป้องกันไม่ให้ความร้อนถูกนำพาจากผนังเตาได้ดี

ค) มีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ถูกดูดซับไว้ โดยวัสดุทนไฟต่างๆ มีค่าแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่น ดังนั้นเซรามิกส์ไฟเบอร์จึงดูดซับความร้อนได้น้อยทำให้ไม่สูญเสียความร้อน จึงเป็นการช่วยประหยัดเชื้อเพลิงอีกทางหนึ่ง

ง) ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี โดยไม่เกิดการเสียหาย

จ) มีความคงทนได้ดีที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ถูกเผาไหม้ และมีความทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี กรด และด่าง

ฉ) เป็นวัสดุที่ค่อนข้างนิ่ม จึงสะดวกต่อการประกอบเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ

ช) เมื่อถูกน้ำมัน ไอน้ำ น้ำ ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย

ซ) สามารถเก็บเสียงได้ดี

3) ปัจจัยที่มีผลต่อการนำความร้อนของฉนวน ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวน เป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนได้ดี โดยทั่วไปค่าการนำความร้อนของฉนวนค่อนข้างต่ำจึงจะเป็นผลช่วงหน่วงการถ่ายเทความร้อน ฉนวนไม่สามารถหน่วงการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 100% ผลเนื่องจากมีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิวฉนวนทั้งสองด้าน โดยที่ผิวฉนวน

ด้านที่สัมผัสกับบรรยากาศมีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนกับบรรยากาศ ส่วนผลที่มีต่อค่าการนำความร้อนของฉนวนโดยตรง คือ

ก) อุณหภูมิของฉนวน ค่าการนำความร้อนของฉนวนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของฉนวน โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของฉนวนสูงขึ้น

ข) ความหนาแน่นของฉนวน โดยทั่วไปวัสดุใดก็ตามที่มีความหนาแน่นสูง จะมีค่าการนำความร้อนสูงด้วย แต่ไม่เป็นจริงสำหรับค่าการนำความร้อนของฉนวนประเภทใยและผงจะมีค่าต่ำสุดที่ค่าความหนาแน่นค่าหนึ่ง ๆ (Bulk Density)

ค) ทิศทางการถ่ายเทความร้อน วัสดุส่วนใหญ่ผลของทิศทางการถ่ายเทความร้อนไม่มีผลต่อการนำความร้อน ยกเว้นฉนวนที่เป็นไม้ พบว่า ค่าการนำความร้อนของไม้ในแนวขนานกับเกรนของไม้ (Grain) จะมีค่ามากกว่าค่าการนำความร้อนของไม้ในแนวตั้งฉากกับเกรนของไม้อยู่ประมาณ 60-80%

4) ความชื้นในฉนวน สำหรับค่าการนำความร้อนของน้ำมีค่าสูงกว่าค่าการนำความร้อนของฉนวนทั่วไปประมาณ 10 เท่า ดังนั้นปัญหาความชื้นในตัวฉนวนจำเป็นต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น เนื่องจากการใช้ฉนวนต้องเผชิญกับความชื้นในบรรยากาศเสมอ จึงจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิของฉนวนให้สูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของไอน้ำในอากาศ โดยเฉพาะฉนวนประเภทใยและผง

5) การพาความร้อนในฉนวน ฉนวนประเภทใยได้แก่ ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน เป็นต้น โดยจะมีอากาศอยู่ภายในประมาณ 98% โดยปริมาตร สำหรับแก้วมีความหนาแน่นประมาณ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) แต่ใยแก้วมีความหนาแน่นประมาณ 45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) อากาศภายในสามารถไหลอย่างต่อเนื่องได้ สำหรับฉนวนที่ใช้ในระดับอุณหภูมิต่ำถ้าอุณหภูมิผิวของฉนวนแตกต่างกันมากจะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ และเกิดการพาความร้อนโดยธรรมชาติภายในฉนวนประเภทของฉนวนแบ่งตามการใช้งาน ได้แก่

ก) ฉนวนอุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Insulation) ใช้สำหรับอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C (212°F) ใช้เป็นฉนวนห้องเย็น เครื่องต้มน้ำ และอาคาร เป็นต้น

ข) ฉนวนสะท้อน (Reflective Insulation) ประกอบด้วยโลหะที่มีผิวใส (Bright) เช่น อลูมิเนียมและเหล็กกล้า คุณสมบัติต้านทานความร้อนขึ้นอยู่กับความใสของผิว เนื่องจากผิวโลหะใสมีเอมิสซิวิตี (Emissivity) ต่ำ เอมิสซิวิตีของผิวสีดำมีค่าเท่ากับ 1.0 เพราะดูดกลืนรังสีที่ตกบนผิวได้ทั้งหมด ผิวอย่างอื่นจะมีค่าน้อยกว่า 1.0 ผิวโลหะที่ใสมีค่าเอมิสซิวิตีต่ำ ตัวอย่างเช่น แผ่นบางอลูมิเนียม (Aluminum Full) = 0.05 ผิวอลูมิเนียมขัดมัน (Polished) = 0.045 และแผ่นเหล็กขัดมัน = 0.20

ค) วัสดุเม็ด (Aggregates) วัสดุเม็ดน้ำหนักเบา (Light-Weight Aggregates) เช่น เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) และเพอร์ไลต์ (Perlite) ใช้ผลิตพลาสติกอร์นนวน และคอนกรีตอร์นนวนสำหรับการนำความร้อนต่ำ วัสดุเม็ดน้ำหนักเบาต่าง ๆ ใช้ทำคอนกรีตเพื่อเป็น อร์นนวน

ง) อร์นนวนเติมหลอม (Loose Fills) ทำจากวัสดุจำพวกแร่ และเซลลูโลส วัสดุแร่ประกอบด้วยใยหิน ใยกากเตาเผาถลุง ใยแก้ว และเวอร์มิคิวไลต์ อร์นนวนเติมเซลลูโลสมี อร์นนวน เส้นใยไม้และไม้คอร์กเม็ด

จ) ใยหิน (Rock Wool) ผลิตจากการเผาปูนขาวและดินดาน ซึ่งมีชั้น ของไม้คอร์กสลับกันอยู่ในเตาเผาถลุง หินจะหลอมด้วยความร้อนจากการเผาไม้คอร์กโดยมีกระแส อากาศภายใต้ความดัน ณ อุณหภูมิหลอมระหว่าง $1,260-1,871^{\circ}\text{C}$ ($2,300-3,400^{\circ}\text{F}$) หินที่หลอมแล้ว ไหลออกจากกันเตาเผาถลุงและถูกเป่าด้วยไอน้ำให้เป็นใย จากนั้นให้เย็นตัวลงในห้องอบเหนียวใยมี เส้นผ่านศูนย์กลางจาก 5-10 ไมครอน

ฉ) ใยกาก (Slag Wool) คล้ายคลึงกับใยหิน ผลิตจากกากเตาเผาถลุง เหล็กหรือกากทองแดงหรือกากตะกั่ว มีจุดหลอมต่ำระหว่าง $1,093-1,566^{\circ}\text{C}$ ($2,000-2,820^{\circ}\text{F}$)

ช) เส้นใยแก้ว (Glass Fiber, FiberGlass) ทำจากซิลิกาและ ประกอบด้วยเส้นใยแก้วอ่อน ผลิตโดยการให้แก้วที่หลอมผ่านรูเล็กๆ ภายใต้ความดันเป็นสายออกมา ประกอบกับกระแสไอน้ำหรือกระแสอากาศความดันสูง เป็นวัสดุไม่ติดไฟ

ซ) เส้นใยไม้ (Wool Fiber) อร์นนวนเส้นใยไม้ผลิตโดยการใช้ชั้นเศษไม้ อยู่ในภาชนะที่มีความดัน $1,000 \text{ lbs/in}^2$ 68 kg/cm^2 เป็นระยะเวลาสั้นแล้วปล่อยให้ออกมาทันที การ กระทำเช่นนี้จะฉีกชั้นเศษไม้ออกเป็นเส้นใย เส้นใยไม้สามารถทำให้เป็นสารไม่ติดไฟได้โดยใช้สารเคมี

ณ) ไม้คอร์กเม็ด (Granulated Cork) ใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น ห้อง เย็น

ญ) อร์นนวนวม (Blankets) เป็นอร์นนวนเส้นใยทำจากใยแร่ เส้นใยไม้ ฟู่น และขนสัตว์ อร์นนวนวมอาจมีแผ่นกระดาษทับหลังกันไอน้ำ หรือทับหน้าด้วยอร์นนวนสะท้อน อร์นนวนมี ความหนา $\frac{1}{2}-3 \frac{5}{8} \text{ in}$ ($1.3-9.2 \text{ cm}$.)

ฎ) อร์นนวนวมหนา (Bats) ผลิตจากใยแร่และคล้ายคลึงกับอร์นนวนวม แต่ หนากว่า และมีขนาดเล็กกว่า ความหนาประมาณ $2-3 \frac{5}{8} \text{ in}$ ($5.0-9.2 \text{ cm}$)

ฏ) สแลบ (Slabs Blocks) ทั่วไปมีความหนา 1 นิ้ว , 2.5 เซนติเมตร หรือ มากกว่า และมีขนาดต่าง ๆ ถึง $24 \times 48 \text{ in}$ ($60 \times 120 \text{ cm}$) ผลิตจากใยต่าง ๆ เวอร์มิคิวไลต์ เส้นใยไม้และต้นอ้อย ไม้คอร์ก และขนสัตว์นอกจากนี้มีสแลบ ยางเซลล์ (Cellular Rubber) ทำจาก ยางสังเคราะห์ซึ่งภายในเซลล์มีไนโตรเจนอยู่เต็ม สแลบใยแร่ผลิตจากใยแร่ซึ่งมีวัสดุประสานเป็นตัวทำ

ให้เป็นแผ่นแข็งแกร่ง เวอร์มิคิวไลท์ ซึ่งฉาบด้วยยางมะตอยทำเป็นสแลบขึ้น โดยมีสักหลาด (Felt) ชุบยางมะตอยอยู่บนทั้งสองหน้า สแลบยังทำด้วยไม้ปนกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์หรือแมกนีเซียมซีเมนต์ หรือสแลบสำหรับใช้ในทางอุตสาหกรรมทำด้วยแผ่นฉนวน (Insulating Board) เซลลูโลส ฉาบด้วยยางมะตอย สแลบแผ่นไม้คอร์กทำด้วยเม็ดไม้คอร์กอบและอัด ยางในไม้คอร์กจะยึดเหนี่ยวเม็ดไม้คอร์กเข้าด้วยกันกลายเป็นสแลบคอร์กธรรมชาติ ส่วนใหญ่ใช้สำหรับห้องเย็น นอกจากนี้ยังใช้สำหรับฉนวนหลังคาและเป็นฉนวนสำหรับท่อด้วย

ฐ) แผ่นฉนวนโครงสร้าง (Structural – Insulating Board) ผลิตจากเส้นใยของไม้ไผ่ และเส้นใยพืชอย่างอื่น โดยการลดเส้นใยให้เป็นเยื่อแล้วอัดเส้นใยให้เป็นแผ่น และทำให้มีความต้านทานน้ำโดยการเพิ่มวัสดุอื่น ภายหลังการทำให้แห้งจะได้แผ่นแข็งแกร่งที่มีความแข็งแรงถึงและอัดดี แผ่นฉนวนโครงสร้างเหล่านี้มีการผลิตขายแผ่นก่อสร้าง แผ่นฉนวนฉากกันหลังคา และผนังระแนงกระดานและแผ่นกระเบื้องปกติแผ่นฉนวนโครงสร้างมีการฉาบด้วยวัสดุทนไฟ นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาในด้านฉนวนที่น่าสนใจคือการใช้ชั้นเศษกระดาษผสมกับซิลิเคทของโซดา ฟอสเฟตด้วยอากาศอัดซึ่งสามารถให้ความหนาได้ถึง 2 in

ฅ) ฉนวนอุณหภูมิปานกลาง (Moderate-Temperature Insulation) สำหรับอุณหภูมิต่ำกว่า 315 °C (600 °F) เหนืออุณหภูมินี้สารที่ใช้กันบ่อยได้แก่ ดินไดอะตอมซัส (Diatomaceous Earth) กับแอสเบสตอส และสารผสมของเวอร์มิคิวไลท์ที่สลายตัวแล้วกับวัสดุประสานที่ทนความร้อน ได้มีการใช้แอสเบสตอสซีเมนต์เติมในช่องหรือบนผิวที่ไม่สม่ำเสมอ โดยทั่วไป แอสเบสตอสซีเมนต์ไม่ใช่ฉนวนที่ดีเหมือนอย่างผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปร่าง จึงควรใช้ในที่ที่ไม่สามารถใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปร่างเท่านั้น

ณ) ฉนวนอุณหภูมิสูง (High – Temperature Insulation) ใช้สำหรับอุณหภูมิสูงกว่า 538 °C (1000 °F) ใช้เป็นฉนวนเตาเผาอุณหภูมิสูง เป็นต้น อิฐฉนวนและบล็อกฉนวนจำนวนมากส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินไดอะตอมซัส และดินพูน ต้องใช้อิฐทนไฟหรือผลิตภัณฑ์ทนไฟบางแบบ เช่น ซิลิกา แมกนีเซียม ซิลิโคนคาร์ไบด์ หรือเซอร์โคเนีย ตัวอย่างของฉนวนอุณหภูมิสูง

ด) ไฟเบอร์บอร์ดมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน เช่น ชนิด 1000 , ชนิด 1260 , ชนิด 1400 และชนิด 1600 จะใช้ในเตาสุญญากาศ มีขนาดแต่ละแผ่น 900 X 600 X 20 mm. มีความหนาตั้งแต่ 5-50 mm. การใช้งานใช้ป้องกันไฟ ป้องกันการไหม้ ใช้บุเตาอบ ชุบ คุณสมบัติต่าง ๆ ของไฟเบอร์บอร์ด ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของไฟเบอร์บอร์ด

ไฟเบอร์บอร์ด				
ชนิด (Brand)	1000	1260	1400	1600
คุณลักษณะ (Description)	- เป็นไฟเบอร์ บอร์ดชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1000°C	- เป็นไฟเบอร์ บอร์ดชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1260°C	- เป็นไฟเบอร์ บอร์ดชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1400°C	- เป็นไฟเบอร์บอร์ด ชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1600°C
คุณลักษณะ (Description)	- เป็นไฟเบอร์ บอร์ดชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1000°C	- เป็นไฟเบอร์ บอร์ดชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1260°C	- เป็นไฟเบอร์ บอร์ดชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1400°C	- เป็นไฟเบอร์บอร์ด ชนิดใช้ในที่ สุญญากาศ - ใช้ที่อุณหภูมิ 1600°C
ขนาด (Availability)	- แผ่นละ 900 X 600 X 20 มม. - มีความหนา ตั้งแต่ 5~50 mm.	- แผ่นละ 900 X 600 X 20 มม. - มีความ หนาแน่นตั้งแต่ 5~50 mm.	- แผ่นละ 900 X 600 X 20 มม. - มีความ หนาแน่นตั้งแต่ 5~50 mm.	- แผ่นละ 900 X 600 X 20 มม. - มีความหนาแน่น ตั้งแต่ 5~50 mm.

ที่มา: เอกสารเรื่องไฟเบอร์บอร์ด. ม.ป.ท. ม.ป.ป.

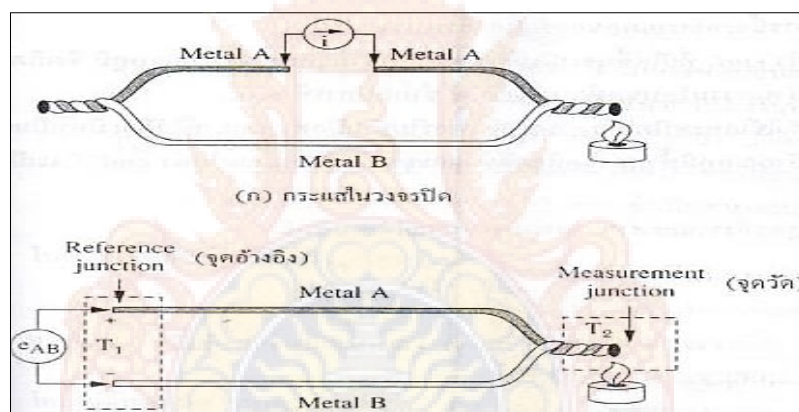
2.4.4.2 เซรามิกไฟเบอร์บอร์ด

- 1) คุณสมบัติของเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด
 - ก) เป็นปะเก็น
 - ข) ไม่ติดไฟ
 - ค) สามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 2300 °F
 - ง) ความหนาแน่นต่ำและการนำความร้อนต่ำ
 - จ) มีความยืดหยุ่นและทนต่อความร้อนช็อค
 - ฉ) ยืดหยุ่นและง่ายต่อการตัดหรือติดตั้ง

เตาเผาเหล็กชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง เลือกลงใช้ อิฐมวลเบาทนไฟ ปูนทนไฟ MORTAR 30 AM ไฟเบอร์บอร์ด เป็นชนวนกันความร้อน เพราะ สามารถทนอุณหภูมิได้สูง และ น้ำหนักเบา

2.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้เกิดการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในภาพที่ 2.14 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีบีคดังกล่าว

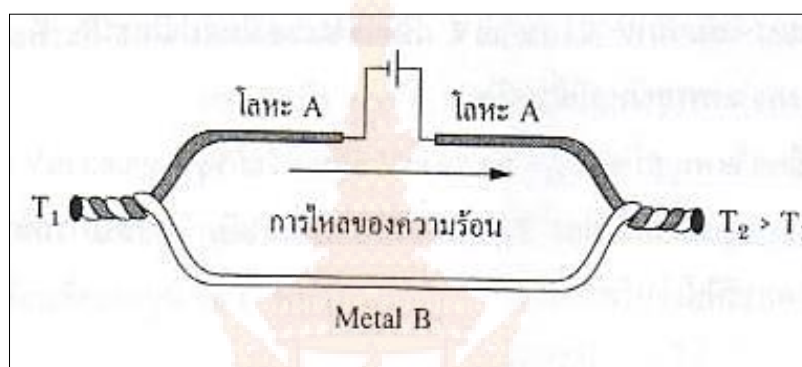


ภาพที่ 2.14 ภาพแสดงผลของซีบีค

ที่มา: ประกอบ จันทร์มา, 2541, (ออนไลน์)

ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect) ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันอย่าง

2.5.1 ผลของเพลเทียร์ (Peltier Effects) หากคิดย้อนกลับจากผลของซีแบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่แตกต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าขั้วหนึ่งจะเกิดความร้อน (T_2) และอีกขั้วหนึ่งจะเกิดความเย็น (T_1) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ผลของเพลเทียร์” (Peltier effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แสดงผลของเพลเทียร์

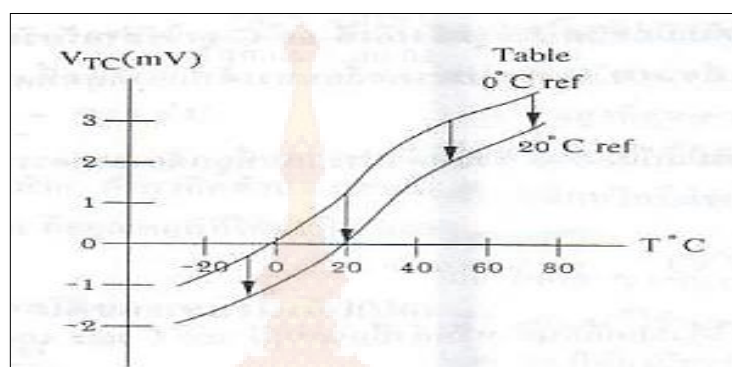
ที่มา: ประกอบ จันทรมา, 2541, (ออนไลน์)

แสดงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Table) โดยเทอร์โมคัปเปิลจะให้แรงเคลื่อนสำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด เมื่ออ้างอิงกับจุดอ้างอิงที่กำหนด (0 องศาเซลเซียส) ณ อุณหภูมิที่จุดวัดต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 2,100 °C เทอร์โมคัปเปิลชนิด j เมื่ออ้างอิงที่ 0 °C จะมีแรงเคลื่อนเป็น

$V(210\text{ }^{\circ}\text{C}) = 11.3\text{ mV}$ (ชนิด J, 0 °C ref.) ในทางกลับกัน ถ้าเราวัดแรงเคลื่อนได้ 4.768 mV กับชนิด s และอุณหภูมิอ้างอิงที่ 0 องศาเซลเซียส เราพบว่า $T(4.768\text{ mv}) = 555\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ชนิด s, 0 °C ref.) แต่บางกรณี แรงเคลื่อนที่วัดได้จะไม่ตรงกับค่าในตาราง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งสเกล (Interpolate) ระหว่างค่าในตาราง

หากอุณหภูมิอ้างอิงแตกต่างจากตารางเทอร์โมคัปเปิลที่กำหนดไว้ เรายังสามารถใช้ค่าจากตารางนี้เป็นฐานในการคำนวณได้ ข้อควรจำคือเมื่อวัดอุณหภูมิเดียวกันแต่เปลี่ยนไปใช้จุดอ้างอิงที่สูงกว่าจะทำให้แรงเคลื่อนทางไฟฟ้าที่วัดได้ต่ำกว่าเช่นนำเทอร์โมคัปเปิลชนิด J ซึ่งมีจุดอ้างอิงที่ 300 °C ไปวัดที่ 400 °C วิธีการหาแรงเคลื่อนใหม่ที่ได้คือ ขั้นแรกหาแรงเคลื่อน ณ อุณหภูมิที่ต้องการอ้างอิง

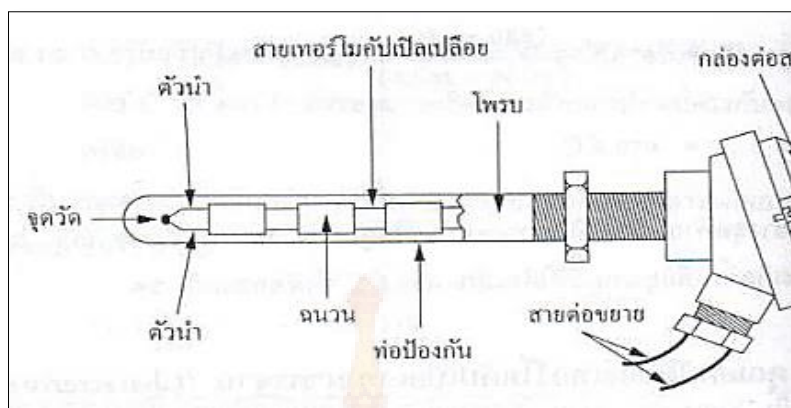
ใหม่จากตาราง ไหนที่นี้คือ 300 °C ณ จุดอ้างอิง 0 °C จากภาพพบว่ามีแรงเคลื่อน 1.54 mV (เรียกค่าที่หาได้นี้ว่าตัวประกอบ) หลังจากนั้นก็นำค่านี้ไปลบออกจากแรงเคลื่อนที่จุดวัดที่ 400 °C เมื่อจุดอ้างอิงเป็น 0 °C ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 2.16 แสดงการเปลี่ยนจุดอ้างอิงจาก 0 ถึง 200 °C ซึ่งจะสอดคล้องกับการเลื่อนลงของเส้นโค้งแรงเคลื่อนเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา: ประกอบ จันทรมา, 2541, (ออนไลน์)

$V(30\text{ }^{\circ}\text{C}) = 1.54\text{ mV}$ (ชนิด J 0 °C ref.) ขั้นแรก และ $V(400\text{ }^{\circ}\text{C}) = 21.85\text{ mV}$ (ชนิด J 0 °C ref.) ขั้นที่สองนำค่า (ตัวประกอบ) ที่ได้จากขั้นที่สองมาลบออกจากขั้นแรก ทำให้ได้แรงเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างนี้เป็น $V(400\text{ }^{\circ}\text{C}) = 20.31\text{ mV}$ (ชนิด J 30 °C ref.) เพื่อหลีกเลี่ยงความสับสนของจุดอ้างอิงจะเขียนในแบบใหม่ เช่น V จะหมายถึงแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลชนิด J อ้างอิงที่ 0 °C คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples) ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานจริงปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

ที่มา: ประกอบ จันทรมา, 2541, (ออนไลน์)

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลโดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และ เป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากขึ้นสแตนเลสความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (Peltier Element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก 10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm. ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (Microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยาการใช้งาน (Range) ด้านอุณหภูมิการใช้งานและค่าความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบเวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิลการปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) โดยปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้โอปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type) ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

2.5.2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886 ข้อดีของแบบ S

2.5.2.1 เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่ปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิไดซิง(Oxidizing)

2.5.2.2 เหมาะกับการใช้งานในสภาวะงานเฉื่อย (Inert) คืองานที่ไม่เปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาใดๆ ได้ง่าย ๆ

2.5.2.3 นิยมใช้กับงานวัดตัวแปรที่มีอุณหภูมิสูง เช่น เตาหลอมเหล็ก

2.5.2.4 วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1,550 °C และอุณหภูมิสั้นได้จากช่วงประมาณ -50 ถึงประมาณ 1,700 °C

2.5.2.5 หากอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะให้ความเที่ยงตรงสูงที่สุด

2.5.2.6 ใช้ในการสอบเทียบ ตั้งแต่จุดแข็งตัวของแอนติโมนี (630.740 °C) จนถึงจุดแข็งตัวของทองแดง (1,064.430 °C) ตามมาตรฐาน IPTS 68

2.5.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบ S ประดิษฐ์โดยนาย Le Chatelier ในปี 1886 ข้อเสียของแบบ S

2.5.3.1 ต้องใช้ห่อป้องกันในทุกสภาวะบรรยากาศ

2.5.3.2 ไม่เหมาะกับงานที่มีปฏิกิริยาแบบรีดิวซิง (Reducing)

2.5.3.3 ไม่เหมาะกับงานที่เป็นสุญญากาศ (Vacuum)

2.5.3.4 ไม่เหมาะกับงานที่มีไอโลหะ เช่น สังกะสี ตะกั่ว

2.5.3.5 ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของโลหะ เช่น จำพวก อาเซนิก ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส เพราะจะมีอายุการใช้งานสั้นลง

2.5.4 เทอร์โมคัปเปิลแบบ R เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ ข้อดีของแบบ R

2.5.4.1 ให้แรงเคลื่อนทางต้านเอาต์พุตสูงกว่าแบบ S

2.5.4.2 วัดอุณหภูมิต่อเนื่องได้จากช่วง 0 ถึง 1,600 °C

2.5.4.3 วัดอุณหภูมิช่วงสั้นได้จากช่วง -50 ถึงประมาณ 1,700 °C

2.5.4.4 เหมาะกับการวัดอุณหภูมิสูงๆ เช่น ในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมแก้ว

2.5.4.5 ทนทานต่อการกัดกร่อน และให้เสถียรภาพของอุณหภูมิที่ดี ดังภาพที่ 2.18



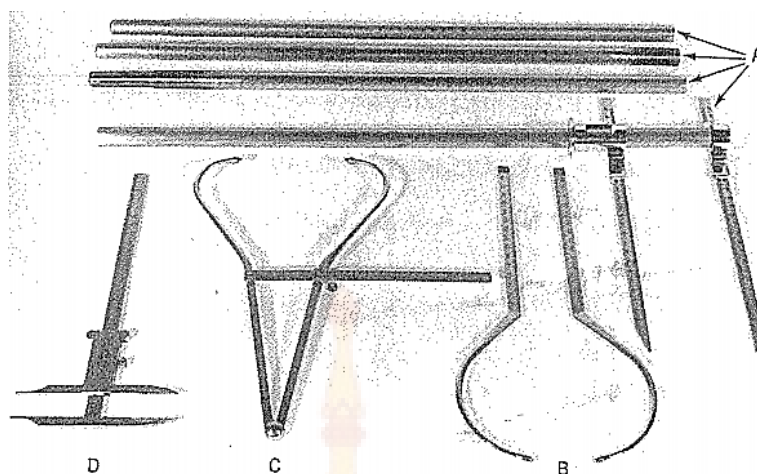
ภาพที่ 2.18 ภาพเทอร์โมคัปเปิลรุ่น T_s/111

ที่มา: บริษัทสุพรีมไลน์ จำกัด, 2548, (ออนไลน์)

2.6 สมบัติทางกายภาพ สัดส่วนร่างกายและการวัด

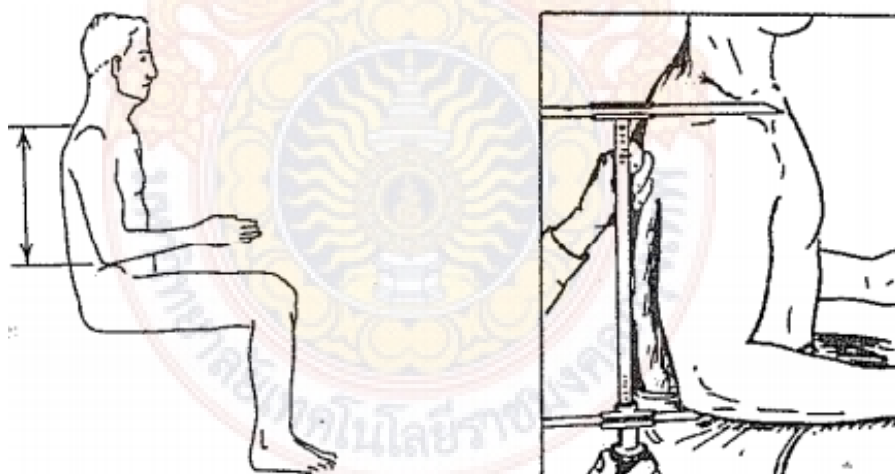
2.6.1 ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย การวัดสัดส่วนร่างกายโดยทั่วไปทำได้ 2 วิธีคือ วิธีใช้เครื่องวัดโดยตรง และวิธีการทางภาพถ่ายมาเทียบกับจุดอ้างอิง และวิเคราะห์ตีความอีกครั้ง

2.6.1.1 วิธีโดยตรง โดยการใช้เครื่องมือวัดในแนวเส้นตรงแลแนวโค้ง คำว่า มิติเส้นตรง (Linear Dimension) หมายถึงระยะทางที่สั้นสุดระหว่างจุดสองจุดบนร่างกาย โดยปกติเป็นความยาวของกระดูก หรือความกว้าง หรือความลึกของร่างกาย ก่อนการวัดจะต้องมีการทำเครื่องหมายจุดต่างๆ บนร่างกายที่ต้องการวัดระยะทาง จุดเหล่านั้นเรียกว่า จุดกำหนด (Land mark) ถ้าเป็นความยาวของอวัยวะของร่างกายส่วนนั้น (ดังภาพที่ 2.19) แสดงภาพของเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometer) โดยทั่วไป (ภาพที่ 2.20) เป็นภาพแสดงการใช้ Anthropometer วัดความยาวระหว่างข้อศอกถึงหัวไหล่ (Shoulder-elbow Length) (ภาพที่ 2.21) เป็นภาพแสดงการใช้ Anthropometer วัดความสูงของข้อศอกระหว่างยืน



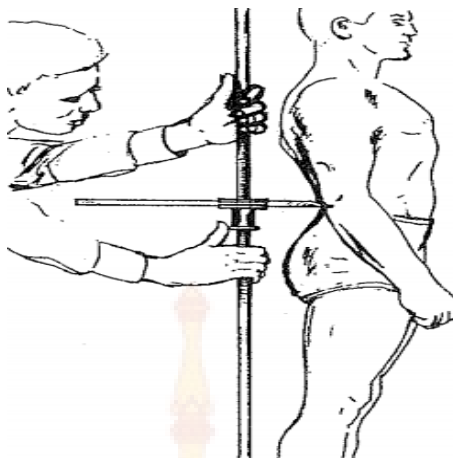
ภาพที่ 2.19 ชุดเครื่องมือวัดสัดส่วนร่างกายพื้นฐาน A คือ Anthropometer ด้ามตรง, B ด้ามโค้งของ Anthropometer, C คือ Spreading Calipers และ D คือ Sliding compass

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์, 2553, หน้า 57



ภาพที่ 2.20 การใช้ Anthropometer วัดความยาวจากข้อศอกถึงหัวไหล่

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์, 2553, หน้า 57



ภาพที่ 2.21 ภาพความสูงของข้อศอกขณะยืน

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์, 2553, หน้า 58

2.6.1.2 วิธีถ่ายภาพ การใช้เทคนิคการใช้ภาพถ่ายเพื่อได้มาซึ่งข้อมูลสัดส่วนร่างกายทั้งในแนวตรงและแนวเส้นโค้งตลอดจนในแนวลึกเป็นความสูงต่ำ สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เทคโนโลยีซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยจะเป็นแบบ Non-Photogrammetric หรือ Stereophotogrammetric methods ก็ได้

2.6.2 ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ของการวัดได้แก่

2.6.2.1 การวัดเพื่อข้อมูลสถิต (Static Measurements) วัดเมื่อร่างกายหยุดนิ่งซึ่งหมายความว่าขนาดของร่างกายภายนอก หรือโครงสร้างของร่างกาย เช่น ความสูงของท่ายืน ความสูงขณะนั่ง เป็นต้น และขนาดของโครงกระดูก เช่น ระยะทางระหว่าง ข้อสะโพกถึงหัวเข่า เป็นต้น วิธีการนำเสนอข้อมูลอาจอยู่ในรูปแบบของตารางหรือในรูปแบบที่มีสัดส่วนสัมพันธ์กับสัดส่วนอื่นของร่างกาย

2.6.2.2 การวัดเพื่อข้อมูลพลวัต (Dynamic Measurements) วัดเมื่อร่างกายกำลังทำงาน เช่น ระยะเอื้อมถึงความยาวของร่างกายและความสูงขณะคลาน ความสูงขณะคุกเข่า และมุมของข้อต่อต่างๆ ในขณะเคลื่อนไหว

มิติสัดส่วนร่างกายของคนไทยเปรียบเทียบ ผู้ที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ต้องทราบก่อนว่ามีข้อมูลเหล่านี้ได้มาได้อย่างไร จะนำไปใช้ต้องมีการเผื่อการสวมเสื้อผ้าก่อนหรือไม่ ส่วนใหญ่แล้วการวัดจะทำต่อร่างกายที่มีเสื้อผ้าน้อยชิ้นเท่าที่จะทำได้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลทางมิติร่างกายประชากรไทย

รายการมิติวัด	สถาบันแรงงาน (2530)		โกวิท ศตวุฒิ (2532)		กิตติและคณะ (2531)		กิตติและคณะ (2536)	
เซนติเมตร	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
ความสูงยืน	165.4	154	164.5	152.9	160.7	151.2	163.3	153.4
ความสูงนั่ง	87.2	81.7	-	-	83.3	78.8	83.4	79.9
ความสูงไหล่	137.4	127.1	135.3	125.4	132.4	124.7	135.2	127.1
ความสูงรอบเอว	-	-	-	-	99.1	92.7	97.5	95
รอบเอว	-	-	-	-	69.7	73.2	76.5	74.8
ระยะเข้า-ก้น	55.9	53.4	-	-	52.7	51.6	53.3	52.5
ความยาวมือ	-	-	-	-	17.6	16.9	18.3	17.2
รอบศีรษะ	-	-	-	-	53.9	52.9	54.3	52.9

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์ และ คณะ, 2531, หน้า 65

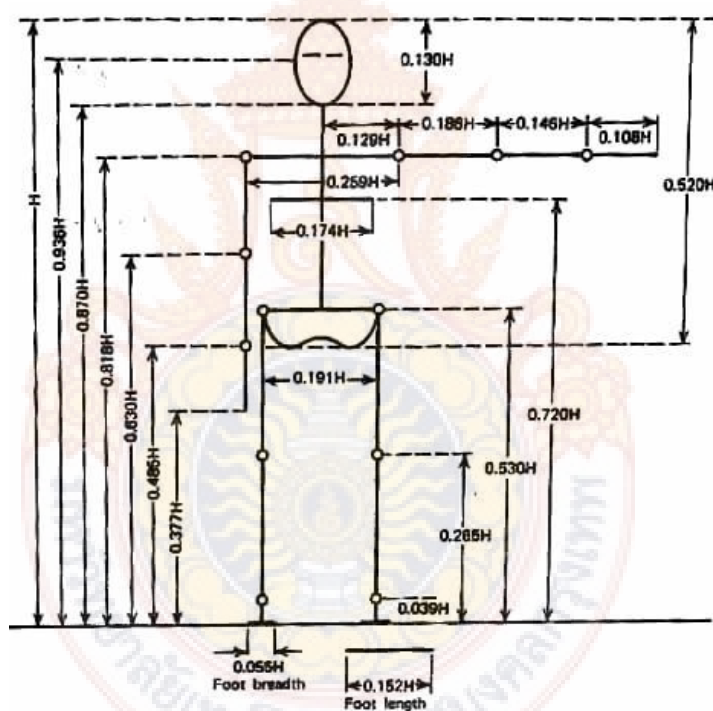
ตารางที่ 2.10 ตารางแสดงค่าปกติมาตรฐานสำหรับคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่นิยมใช้กันมาก

เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่	0.5	1	2.5	5	10	16.5	25
(p)	(0.005)	(0.01)	(0.025)	(0.05)	(0.10)	(0.165)	(0.25)
Z_p	-2.575	-2.327	-1.960	-1.654	-1.282	-0.974	-0.675
เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่	75	83.5	90	95	97.5	99	99.5
(p)	(0.75)	(0.835)	(0.90)	(0.95)	(0.975)	(0.99)	(0.995)
Z_p	0.675	0.974	1.282	1.645	1.960	2.327	2.575

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์ , 2553 , หน้า 56

2.6.3 กำลังกล้ามเนื้อ การทำงานโดยใช้แรงมากเกินไปกว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนที่ทำงานนั้น จะทำให้เกิดอันตรายได้ การประเมินค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต่างๆ จะช่วยให้ทราบถึงขีดความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ใช้ออกแบบสร้างเครื่องมือและ

เครื่องจักร ให้เหมาะสมกับความแข็งแรงของคนกลุ่มนั้น และสามารถใช้ออกแบบการทำงาน เพื่อลดการใช้แรงมากเกินไปความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ถ้าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่เพียงพอต่อความหนักของงานจะทำให้เกิดอันตรายได้หลายแบบ เช่น โยกกล้ามเนื้อที่ใช้ทำงานฉีกขาด ของที่ยกหรือผล็อยอยู่นั้นหล่นทับ หรือได้รับอันตรายจากเครื่องจักรและเครื่องมือที่ตนควบคุมหรือใช้งานในขณะนั้น สิ่งหนึ่งที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงของคนก็คือกำลังสถิติของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการสร้างแรงหรือกำลังบิดสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ โดยร่างกายไม่เคลื่อนที่ และเนื่องจากแรงหรือกำลังบิดมีทั้งขนาดและทิศทาง ดังนั้นกำลังสถิติของกล้ามเนื้อจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ถ้าขณะที่กล้ามเนื้อออกแรงทำให้ส่วนของร่างกายมีการเคลื่อนไหว แรงที่วัดได้นี้กำหนดให้เป็นกำลังพลวัตของกล้ามเนื้อ ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 ความยาวของส่วนต่างๆ ของร่างกายที่แสดงไว้เป็นสัดส่วนกับความสูง

ที่มา: กิตติ อินทรานนท์, 2553, หน้า 64

2.7 การออกแบบเตาเผาเหล็ก

จากการศึกษาค้นคว้าการออกแบบการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวโดยศึกษาจากหลักการการยศาสตร์ และส่วนประกอบ มีหลักการออกแบบดังนี้

2.7.1 เตาเผาเหล็ก บริษัท คราฟท์สกีลส์ จำกัด (ม.ป.ป. : ออนไลน์) โดยการศึกษาองค์ประกอบของตู้อบใช้ส่วนประกอบใดบ้างในการออกแบบ

2.7.1.1 โครงสร้างเตาเผาเป็นโลหะทั้งภายนอกและภายใน ประกอบด้วย ผนังชั้นนอกและชั้นใน ซึ่งบุด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดใยหิน กั้นระหว่างผนังทั้งสองหนาถึง 65 mm. และอิฐทนไฟหนา 50 mm. ผนังด้านนอกเคลือบสีทนความร้อน

2.7.1.2 มีชุดควบคุมอุณหภูมิแสดงผลเป็นระบบดิจิตอล พร้อมด้วยระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร ตั้งปรับอุณหภูมิได้ 30 – 1,200°C

2.7.1.3 ประตูเตาเผา มีมือจับปิดล็อกและบานพับแข็งแรง

2.7.1.4 ขนาดเตาเผา

$$\text{ขนาดชิ้นงานจริง} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \quad (2.7)$$

$$\text{แทนค่า} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง mm.}$$

$$= \text{ค่าปริมาตรของชิ้นงาน mm.}^3$$

$$\text{เตาเผา} = (\text{กว้าง} \times 3) \times (\text{ยาว} \times 3) \times (\text{สูง} \times 3) \quad (2.8)$$

$$\text{แทนค่า} = (\text{กว้าง} \times 3) \times (\text{ยาว} \times 3) \times (\text{สูง} \times 3) \text{ mm.}$$

$$= \text{ค่าปริมาตรของตู้อบ mm.}^3$$

2.7.2 ฐานรองเตาเผาเหล็ก

2.7.2.1 ใช้เหล็ก ST37 เป็นเหล็กฉากขนาด 45x45 mm. ความหนา 3 mm.

2.7.2.2 การออกแบบโดยใช้หลักการการยศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและมิติของร่างกายในการออกแบบให้เหมาะสมกับผู้ใช้อุปกรณ์

1) ต้องกำหนดให้ได้ว่าประชากรกลุ่มใดที่จะเป็นผู้ใช้เครื่องมือเหล่านั้น

2) เลือกอัตราส่วนของกลุ่มประชากรที่เป็นกลุ่มเป้าหมายที่จะเป็นผู้ใช้

3) กำหนดมิติที่สำคัญในการออกแบบ เช่น ความสูงของตาจากพื้นขณะนั่งหรือความสูงส้นมือ เป็นต้น

4) เมื่อได้กลุ่มประชากรที่ต้องการ ได้ช่วงเปอร์เซ็นต์ไทด์ดังตารางที่ 2.10 ก็หามิติที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทด์โดยใช้ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5) เมื่อเป็นการออกสำหรับผู้ใช้ทั้งสองเพศ ขณะที่ข้อมูลสมบัติทางกายภาพ และมิติสัดส่วนของรายการผสมทั้งสองเพศยังไม่มีให้ใช้กลุ่มข้อมูลประชากรที่มีขนาดใหญ่กว่า (ชาย) กำหนดมิติผืนและใช้ข้อมูลกลุ่มประชากรที่มีขนาดเล็กกว่า (หญิง) กำหนดมิติเอื่อมถึง

ตัวอย่าง วิศวกรผู้ออกแบบปั๊มควบคุมการทำงานของเครื่องอุปกรณ์ชิ้นหนึ่ง ต้องกำหนดที่ตั้งของปั๊มดังกล่าวบนฝาด้านของเครื่องในแนวตั้ง และประสงค์จะให้ขายไทยอย่างน้อย 95% สามารถเอื่อมถึงปั๊มควบคุมอันนี้ได้ ถามว่าปั๊มนี้อยู่สูงจากพื้นเท่าใด

$$\text{สมการคือ } X_p = X + Z_p * S \quad (2.9)$$

X_p = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูล

X_p = ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p ของตัวแปร X

Z_p = ค่าตัวเลขปกติมาตรฐานเมื่ออยู่ในตารางและสอดคล้องกับค่า

เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p ของ X

ในการนี้ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ของความสูงเหยียดแขนของชายไทย และจากตารางกระจายแบบปกติมาตรฐาน $Z_{0.05} = -1.625$ และจากตารางที่ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของมิติดังกล่าวเป็น $X = 194.5 \text{ cm}$. และค่า $s = 7.6 \text{ cm}$.

$$\text{จากสมการ } X_{0.05} = 194.5 - 1.645(7.6) = 182 \text{ cm}.$$

ดังนั้นปั๊มควบคุมไม่ควรอยู่สูงกว่า 182 เซนติเมตร ถ้ามีความจำเป็นอาจยอมให้สูงกว่านี้ได้อีก 2.5 cm. เมื่อมีระยะเผื่อสำหรับการสวมรองเท้ามีสันทำงานปกติได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้จัดทำได้ทำการสืบค้นหาและศึกษาข้อมูลโครงการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาโลหะเพื่อขึ้นรูปชิ้นส่วนและเครื่องมือต่างๆ ชนิดของเหล็กที่เหมาะสมกับอุณหภูมิในการเผา การเผาโลหะเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในระบบการผลิต ดังเนื้อหาได้สรุปดังนี้

2.8.1 ออกแบบและสร้างเตาอบชุบแข็งโลหะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สัจธรรมวดี และคณะ (2549:1) โดยการสร้างเตานี้คำนึงถึงอุณหภูมิที่ให้ความร้อนไม่เกิน $1,300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยมีขนาด $250 \times 250 \times 300$ มีอุณหภูมิที่ใช้งานภายในเตาแตกต่างกันไม่เกิน $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ มีสัญญาณแสดงการทำงานโดยสามารถตั้งการทำงานได้ 8 step โดยใช้อิฐทนไฟเป็นฉนวนกันความร้อนข้อดีคือสามารถทนรับน้ำหนักได้ดีในขณะที่อุณหภูมิสูง เทอร์โมคัปเปิลที่เลือกใช้เป็นแบบ Type R เพราะแบบ R นั้นสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงเกิน $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และให้ค่าความละเอียดที่สูงกว่าหลายชนิดแต่เนื่องจาก ชนิดนี้มีราคาที่สูงกว่ามาก โดยราคาในท้องตลาดนั้นมีราคาสูงกว่า 2-3 เท่าตัวของชนิด Type K โดยฝาเปิดประตูเตานี้ขึ้นอยู่กับ

ทางซ้ายมือ อาจจะไม่สะดวกในการทำงาน กล่องควบคุมก็เช่นกันอยู่ทางซ้ายมืออาจมีผลต่อการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน จากการศึกษาเรื่องเทอร์โมคัปเปิล สรุปได้ว่าเทอร์โมคัปเปิล Type R นั้นสามารถนำมาเป็นตัววัดอุณหภูมิของเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยเทอร์โมคัปเปิล Type R นี้สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1200 °C ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิของเตาเผาเหล็กที่สามารถทำความร้อนได้ 1100 °C จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นตัววัดอุณหภูมิของเตาเผาเหล็กชนิดใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง

2.8.2 ในการศึกษาปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนในการอุ่นถึงรับน้ำเหล็กได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมศักดิ์ คงโชติ (2536) เนื่องจากการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง อิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนภายในถึงจึงมีมา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงได้เน้นการศึกษาอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนภายในถึง และศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอุ่น เช่น นิติของเชื้อเพลิงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนการแผ่รังสีความร้อนของแก๊ส (Absorption Coefficient of Gas) เพื่อทราบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนขณะอุ่นถึงรับน้ำเหล็ก เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงวิธีการอุ่นถึงให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไปจากการศึกษาพบว่าผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองพอสมควร จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเพียงการนำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการศึกษาในเรื่องการถ่ายเทความร้อนภายในถึงรับน้ำเหล็กจะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนในถึงรับน้ำเหล็กนั้นมีความสลับซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามจากสมมุติฐานที่ตั้งไว้ และผลจากการทดลอง จึงพอสรุปผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และนำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของการอุ่นถึงรับน้ำเหล็กได้ดังนี้

2.8.2.1 อิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนของแก๊สร้อนในการเผาไหม้มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มอุณหภูมิของผนังของถึงรับน้ำเหล็ก ถ้าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนมีค่าสูงทำให้แก๊สร้อนมีการแผ่รังสีความร้อนได้สูงกว่าแก๊สร้อนที่มีค่า Kg ที่ต่ำกว่า

2.8.2.2 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของการอุ่นถึงรับน้ำเหล็กคือ ต้องควบคุมให้การเผาไหม้ภายในถึงเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งย่อมจะได้เปลวไฟทางทฤษฎีสูงสุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จากการคำนวณโดยใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี ซึ่งมีอุณหภูมิเปลวไฟทางทฤษฎีสูงกว่าน้ำมันดีเซลจะใช้เวลาอุ่นน้อยลงย่อมหมายถึงทำให้ประหยัดพลังงานและเวลาได้มากขึ้น

2.8.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอุ่นถึงรับน้ำเหล็กนี้จะเห็นว่าการคำนวณอุณหภูมิผิวด้านในได้ผลใกล้เคียงกับผลทดลองแต่เฉพาะในบริเวณกันถึงถึงกลางถึง แต่จากบริเวณกลางถึงถึงปากถึงการคำนวณจะได้ค่าต่ำกว่าผลการทดลองประมาณ 10% ของอุณหภูมิเปลวไฟทางทฤษฎี 2000 °C เนื่องจากการตั้งสมมุติฐานให้แก๊สร้อนไหลจากกันถึงมายังปากถึง ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาความยุ่งยากของการไหลของแก๊สร้อนและการสมมุติให้ผนังเป็นวัตถุดำ ซึ่งถ้าได้รับการพัฒนาต่อไปโดยคิดลักษณะการไหลที่แท้จริงของแก๊สร้อนและคุณสมบัติของผนังด้วยแล้วจะทำให้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนในการอุ่นถึงรับน้ำเหล็กนั้นสรุปได้ว่าอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนของแก๊สร้อนในการเผาไหม้มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มอุณหภูมิของผนัง ถ้าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนมีค่าสูงทำให้แก๊สร้อนมีการแผ่รังสีความร้อนได้สูงกว่าแก๊สร้อนที่มีค่า K_g ที่ต่ำกว่า และแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของการอุ่นถึงรับน้ำเหล็กคือ ต้องควบคุมให้การเผาไหม้ภายในถังเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด จึงสามารถนำมาเป็นตัวแปรในการคิดหาค่าการถ่ายเทความร้อนของเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงได้

2.8.3 ผลของอุณหภูมิชุบแข็งเปลวไฟต่อสมบัติความแข็งและการสึกหรอของเหล็กกล้าใบเลื่อยสายพาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิชุบแข็งต่อสมบัติความแข็งและการสึกหรอของเหล็กกล้าใบเลื่อยสายพานแปรรูปไม้ยางพาราด้วยกรรมวิธีการชุบแข็งด้วยเปลวไฟแก๊สอะเซทิลีน – ออกซิเจน ที่อุณหภูมิผิวชิ้นงานสูงสุด 5 ระดับ 773 860 876 976 947 และ 984 °C และจุ่มน้ำ หลังชิ้นงานผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วยเปลวไฟ นำชิ้นงานไปวิเคราะห์โครงสร้างหาจุลภาคตรวจสอบความแข็งชิ้นงานตำแหน่งต่างๆ และทดสอบการสึกหรอผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและทดสอบชิ้นงานผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วยเปลวไฟพบว่าตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าอุณหภูมิออสเทนไนต์ โครงสร้างชิ้นงานเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาเทนไซต์ ทำให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ลดอัตราการสึกหรอ ชิ้นงานที่อุณหภูมิผิวสูงสุด 773 และ 860 °C ค่าความแข็งใกล้เคียงกันส่วนการสึกหรอของชิ้นงานที่ได้รับจะสูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิผิวสูงสุด 773 และ 860 °C ในขณะที่ชิ้นงานชุบแข็งที่อุณหภูมิผิวสูงสุด 876 947 และ 984 °C จะเกิดรอยแตกหลังการชุบ

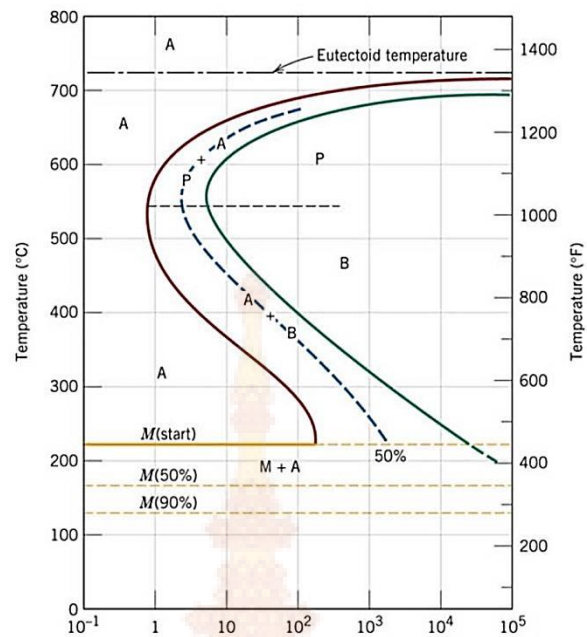
ผลจากการชุบแข็งเหล็กกล้าใบเลื่อยสายพานแปรรูปไม้ยางพาราด้วยเปลวไฟแก๊สอะเซทิลีน – ออกซิเจน สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิผิวสูงสุดมีผลต่อการเพิ่มความแข็งและลดการสึกหรอของชิ้นงาน โดยอุณหภูมิผิวสูงสุดที่ 773 °C เพียงพอที่จะเพิ่มความแข็งและลดการสึกหรอ ในขณะที่อุณหภูมิผิวสูงสุด 876 947 และ 984 °C ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเค้นเกิดความเค้นเกินขีดจำกัดทำให้เกิดการแตกร้าวหลังการชุบ ส่วนการสึกหรอของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งลดลงเนื่องจากเกิดเฟสมาร์เทนไซต์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการชุบแข็ง

2.8.4 การอบชุบทางความร้อนของโลหะ วิธีการชุบทางความร้อนส่วนใหญ่ชิ้นงานมักถูกทำให้เย็นตัวเร็วกว่าที่จะเกิดโครงสร้างใกล้เคียงกับแผนภูมิแก๊งสมดุลเหล็กซีเมนไทต์ (ยกเว้นกรณีการอบอ่อนสมบูรณ์) จึงต้องอาศัยแผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงเฟสบนอุณหภูมิและเวลา ซึ่งมีสองแบบคือ

2.8.4.1 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิคงที่เทียบเวลา (Isothermal Transformation Diagram, IT or Time-temperature Transformation Diagram, TTT) ซึ่งได้

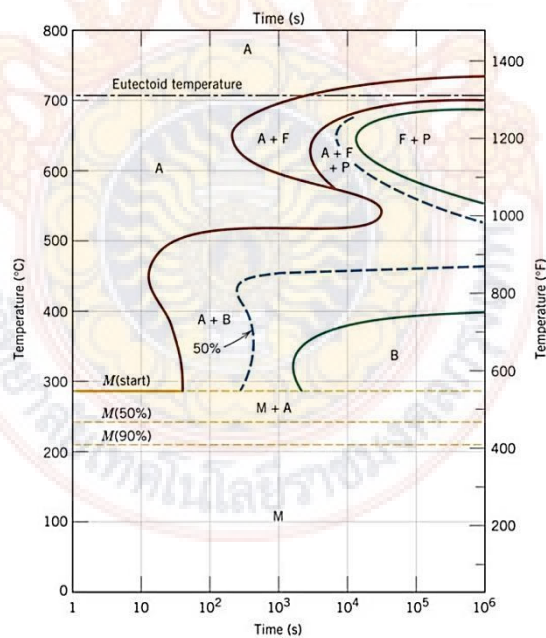
จากการวัดอัตราการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิคงที่ อีกนัยหนึ่งก็คือการทำให้โลหะเย็นตัวอย่างรวดเร็วลงมายังอุณหภูมิที่สนใจจากนั้นคงอุณหภูมิไว้แล้ววัดอัตราการเปลี่ยนเฟสเทียบกับเวลา

2.8.4.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนเมื่อเกิดการเย็นตัวต่อเนื่อง (Continuous Cooling Transformation Diagram, CCT) ซึ่งได้จากการวัดการเปลี่ยนเฟสเมื่อปล่อยให้เย็นตัวอย่างต่อเนื่องหรืออีกนัยหนึ่งก็คือการทำให้โลหะเย็นตัวอย่างต่อเนื่องแล้ววัดอัตราการเปลี่ยนเฟสเทียบกับเวลาโดยต้องทำที่หลายๆ อัตราการเย็นตัว แผนภาพ TTT มีลักษณะเส้นโค้งคู่ คล้ายๆ กับคู่ของตัว C โดยเส้นโค้งแรกแสดงเวลาที่ออสเทนไนต์เริ่มเกิดการเปลี่ยนเฟสหากชุบเหล็กกล้าไว้ที่อุณหภูมิคงที่ ส่วนเส้นโค้งหลังเป็นเส้นแสดงเวลาที่การเปลี่ยนเฟส ณ อุณหภูมิคงที่นั้นสิ้นสุด โดยทั่วไปคู่ตัว C อาจจะมีเพียง 1 คู่ หรือ 2 คู่ ซ้อนเหลื่อมกันในช่วงอุณหภูมิสูงกับต่ำ หรืออาจจะแยกกันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับธาตุผสมรองเป็นสำคัญ โดยคู่ตัว C บนสุดแสดงการเปลี่ยนเฟสเป็นเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์ (Hypoeutectoid Steel) หรือเพิร์ลไลต์ (Eutectoid Steel) หรือ ซีเมนไทต์และเพิร์ลไลต์ (hypereutectoid Steel) คู่ตัว C ที่อยู่ต่ำลงมาแสดงการเปลี่ยนเฟสเป็นเบนไนต์ (Bainitic Transformation) โดยอาจมีแยกย่อยเป็น 2 คู่ ซึ่งเป็นการเกิดเบนไนต์อุณหภูมิสูง (Upper bainite) และ การเกิดเบนไนต์อุณหภูมิต่ำ (Lower Bainite) ใต้คู่ตัว C สุดท้ายลงมาจะเป็นเส้นแสดงอุณหภูมิเริ่มการเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์ (M_s) และมีเส้นแสดงอุณหภูมิที่จะได้เป็นมาร์เทนไซต์ในปริมาณต่างๆ กัน ตามอุณหภูมิที่ลดต่ำลง เช่น เส้น 50% M_s เป็นต้น เนื่องจากการเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์นั้นเกิดขึ้นได้เร็วมากและปริมาณมาร์เทนไซต์ขึ้นกับอุณหภูมิเท่านั้น เส้นเริ่มการเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์จึงเป็นเส้นแนวนอนและส่งผลให้เส้นเริ่มการเปลี่ยนเฟสตลอดทั้งเส้นดูแล้วคล้ายตัว S จึงนิยมเรียกว่า เส้นโค้ง S (S-curve) ดังภาพที่ 2.29 และ 2.30



ภาพที่ 2.23 แผนภาพ TTT ของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1080

ที่มา: www.personal.ac.th, (ออนไลน์)



ภาพที่ 2.24 แผนภาพ TTT ของเหล็กกล้าผสม AISI4340

ที่มา: www.personal.ac.th, (ออนไลน์)

2.8.4.3 แผนภาพ CCT มีลักษณะเกือบจะคล้ายกับ TTT แต่จะขยับต่ำลงและไปทางขวาเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ TTT และการอ่าน CCT นั้นให้อ่านหรือประเมินจากเส้นการเย็นตัวในลักษณะต่อเนื่องที่ผ่านเข้าไปในบริเวณแรก que แสดงสัดส่วนของเฟสที่เกิดขึ้น โดยถ้าเส้นการเย็นตัวผ่านบริเวณแรกนั้นยังไม่เกิดครบ 100% (เส้นการเย็นตัวยังไม่ตัดเส้นสิ้นสุดการเปลี่ยนเฟส) แสดงว่า ออสเทนไนต์ ส่วนที่เหลือจาก 100% นั้นจะเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นโครงสร้างจุลภาคของบริเวณ ที่เส้นอัตราการเย็นตัวผ่าน และถ้าออสเทนไนต์ยังเปลี่ยนเฟสไม่ครบ 100% อีก ส่วนที่เหลือก็จะเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นโครงสร้างจุลภาคของบริเวณถัดไปอีก จนกว่าจะผ่านเส้นสิ้นสุดการเปลี่ยนเฟส ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเส้นการเย็นตัวของเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น O1 คือ เส้นที่ชี้โดยลูกศรสีเขียว โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายจะเป็นเพิร์ลไลต์และคาร์ไบด์ ถ้าเส้นการเย็นตัวคือ เส้นที่ชี้โดยลูกศรสีแดง โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายจะเป็นเพิร์ลไลต์คาร์ไบด์ และมีเบนไนต์กับมาเทนไซด์เล็กน้อย ถ้าเส้นการเย็นตัวคือ เส้นที่ชี้โดยลูกศรสีน้ำเงิน โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายจะเป็นเบนไนต์กับมาเทนไซด์ คาร์ไบด์ และมีเพิร์ลไลต์เล็กน้อย และถ้าเส้นการเย็นตัวคือ เส้นที่ชี้โดยลูกศรสีชมพู โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายจะเป็นมาเทนไซด์ คาร์ไบด์ และมีเบนไนต์เล็กน้อย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

โครงการนี้เป็นการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินงานดังรายละเอียดเป็นข้อดังต่อไปนี้

3.1 การวางแผนการดำเนินการและสรุปข้อมูล

3.3.1 การวางแผนการดำเนินการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว จากการศึกษาข้อมูล สามารถวางแผนการดำเนินงาน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

กิจกรรม	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
	60	60	61	61	61	61	61
1.วางแผนการหาข้อมูลจากองค์ประกอบของงานที่ต้องจัดทำ	--						
2.จัดทำบทที่ 1-3 ดำเนินการขออนุญาตแต่งตั้งอาจารย์ที่ปรึกษา	--						
3.ออกแบบชิ้นงาน	--						
4.ตรวจรายละเอียดสอบหัวข้อโครงการ		--					

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (ต่อ)

กิจกรรม	พ.ย. 60	ธ.ค. 60	ม.ค. 61	ก.พ. 61	มี.ค. 61	เม.ย. 61	พ.ค. 61
5.เขียนแบบรายละเอียดชิ้นงานสั่งซื้อวัสดุ			— —	— —			
6.สร้างและประกอบชิ้นส่วน			— —	— —	— —		
7.ทดลองสมรรถนะของเตาเผาและทำบัทที่ 4-5			— —	— —	— —	— —	
8.สรุปผลและทำการสอบความสำเร็จ			— —	— —		— —	
9.แก้ไขโครงการครั้งสุดท้าย				— —	— —		— —

— — — — — แสดงแผนการดำเนินงาน

— — — — — แสดงการดำเนินงานจริง

3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1.1 เหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 500x1,050x2 mm. พับตามแบบ ตามที่ออกแบบ จำนวน 1 แผ่น

3.2.1.2 เหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 500x560x2 mm. จำนวน 2 แผ่น

3.2.1.3 เหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 490x490x2 mm. จำนวน 1 แผ่น

3.2.1.4 เหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 500x560x2 mm. แบบเจาะ จำนวน 1 แผ่น

3.2.1.5 เหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 490x700x2 mm. จำนวน 1 แผ่น

3.2.1.6 เหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 600 mm. จำนวน 2 ท่อน

3.2.1.7 เหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 500 mm. จำนวน 2 ท่อน

3.2.1.8 เหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 700 mm. จำนวน 4 ท่อน

3.2.1.9 เหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 520 mm. จำนวน 2 ท่อน

3.2.1.10 เหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 420 mm. จำนวน 2 ท่อน

3.2.1.11 แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 1,000x40x40 mm. จำนวน 1 ชิ้น

- 3.2.1.12 แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 470x40x40 mm. จำนวน 2 ชิ้น
- 3.2.1.13 แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 600x40x40 mm. จำนวน 1 ชิ้น
- 3.2.1.14 แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 420x40x40 mm. จำนวน 1 ชิ้น
- 3.2.1.15 หัวเผา (Burner) จำนวน 2 หัว
- 3.2.1.16 ปูนทนไฟ Am30 จำนวน 1 ถัง
- 3.2.1.17 อิฐทนไฟ ขนาด 100x230x60 mm. จำนวน 23 ก้อน
- 3.2.1.17 แผ่นเซรามิกไฟเบอร์ ขนาด 560x500x80 mm. จำนวน 5 แผ่น
- 3.2.1.18 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและจุดประกายไฟ จำนวน 1 ชุด
- 3.2.2 เครื่องมือที่ใช้และอุปกรณ์ที่ใช้
 - 3.2.2.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
 - 3.2.2.2 เครื่องตัดโลหะแผ่น
 - 3.2.2.3 เครื่องเจาะตั้งโต๊ะ
 - 3.2.2.4 เวอร์เนียคาลิเปอร์
 - 3.2.2.5 สว่านมือ จำนวน 1 เครื่อง
 - 3.2.2.6 เครื่องเจียรระโน จำนวน 1 เครื่อง
 - 3.2.2.7 เครื่องตัดไฟเบอร์ จำนวน 1 เครื่อง
 - 3.2.2.8 คีมย้ำตะปูรีเวท

3.3 การออกแบบและเขียนแบบ

การออกแบบและการเขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ริเริ่มจากแนวคิดการสร้างเตาแบบ Do it yourself (D.I.Y) ให้มีความเอนกประสงค์และปลอดภัยกว่าเตาแบบโบราณ ในการเขียนแบบผู้จัดทำได้ดำเนินการเขียนแบบ เป็นรายละเอียดแบบภาพประกอบและภาพแยกชิ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การออกแบบโครงสร้างเตาเผา มีความสูงโดยรวมของเหล็กแผ่นที่ใช้สร้างเตาเผา กว้าง 490 mm. ยาว 560 mm. หนา 2 mm. โดยเลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กแผ่น เกรด ss 400 เพื่อเป็นโครงสร้างหลักของห้องเผาและรองรับน้ำหนักของวัสดุทนความร้อน

3.3.2 การออกแบบห้องเผา ห้องเผามีขนาดกว้าง 200x400x200 mm. ผู้จัดทำเลือกใช้วัสดุทนความร้อนเป็น แผ่นเซรามิกไฟเบอร์และอิฐทนไฟ สาเหตุที่เลือก 2 ชนิดเพราะ สามารถทนความร้อนออกมาภายนอกเตาได้มากถึง 1,300 °C

$$\begin{array}{lll}
 \text{จากสูตร} & \text{ขนาดชิ้นงานจริง} & = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} & (\text{ดังสมการที่ 2.7}) \\
 & \text{แทนค่า} & = 50 \times 250 \times 7 \text{ mm}^3
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 &= 87,500 \text{ mm}^3 \\
 \text{หาปริมาตรเตาเผา} &= (\text{กว้าง} \times 3) \times (\text{ยาว} \times 3) \times (\text{สูง} \times 3) \quad (\text{ดังสมการที่ 2.8}) \\
 \text{แทนค่า} &= (200 \times 3) \times (400 \times 3) \times (200 \times 3) \text{ mm}^3 \\
 &= 600 \times 1200 \times 600 \text{ mm}^3 \\
 &= 432,000,000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ผู้จัดทำเลือกที่จะออกแบบเตาเผาให้เหมาะสมกับการใช้งานการต้ขึ้นรูป โดยออกแบบขนาดของตู้มีปริมาตรของขนาดตู้ $432,000,000 \text{ mm}^3$

3.3.3 การออกแบบขาเตา มีความสูง 736 mm. กว้าง 490 mm. ยาว 600 mm. โดยผู้จัดเลือกใช้เป็นเหล็กกล่องขนาด $36 \times 36 \text{ mm}$. ดังภาพ 3.3 เพราะสามารถรองรับน้ำหนักของเตาเผาได้มั่นคงเพื่อใช้ผู้ปฏิบัติงานเพศชาย 95% สามารถปฏิบัติงานได้ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 = 1.645 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 2.10 สัดส่วนที่สำคัญของผู้ใช้แรงงานไทย 250 คน มีความสูงยืน 160.7 เซนติเมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.7 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{จากสูตร} \quad X_p = X + Z_p * s \quad (\text{ดังสมการที่ 2.9})$$

$$\text{แทนค่า} \quad X_{0.95} = 160.7 + 1.645(5.7)$$

$$X_{0.95} = 160.7 + 9.3765$$

$$X_{0.95} = 170.0765 \approx 170 \text{ cm. หรือ } 1700 \text{ mm.}$$

ดังนั้น ผู้จัดทำเลือกที่จะออกแบบให้มีความสูงโดยรวมไม่เกิน 170 cm. หรือ 1700 mm

3.3.4 การออกแบบโครงจับยึดหัวเผา (Burner) มีความสูง 430 mm. ยาว 610 mm. เลือกใช้วัสดุเป็น เหล็กฉาก มอก.1227-2539 เกรด ss540 เชื่อมติดกันและยึด กับ ขาของเตาเผาเพื่อรองรับหัวเผา และเจาะรูเพื่อยึดยูแคมป์กับหัวเผาไม่ให้เคลื่อนที่

3.3.5 ชุดให้ความร้อน เป็นส่วนที่ให้ความร้อนภายในเตาเผา ประกอบด้วย หัวเผา(Burner) แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) รายละเอียดดังนี้

3.3.5.1 หัวเผา (Burner) ทางกลุ่มเลือกใช้ หัวเผาขนาด โต 56 mm. ยาว 400 mm. เพื่อสามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนถึง $1,300^\circ\text{C}$

3.3.5.2 แก๊สปิโตรเลียมเหลว ทางกลุ่มเลือกใช้แก๊ส ปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนเพราะให้ความร้อนได้สูงและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

3.3.6 ชุดจุดประกายไฟแก๊สเป็นส่วนก่อให้เกิดประกายไฟ โดยใช้ไฟฟ้าเป็นตัวจุดชนวนประกอบด้วย หม้อแปลงไฮโวลท์ เชี่ยวจุดประกายไฟ มีรายละเอียดดังนี้

3.3.6.1 หม้อแปลงจุดประกายไฟ ทางกลุ่มจัดทำเลือกใช้ ยี่ห้อ Braham ขนาด 230V 50-60Hz 29VA เป็นหม้อแปลงสำหรับจุดเบรินเนอร์แก๊ส โดยเฉพาะ

3.3.6.2 เชื้อวจุตประกายไฟ ทางกลุ่มจัดทำเลือกใช้เชื้อวจุตประกายไฟทนความร้อนสูงเป็นรูปแบบ 3 เชื้อวเพื่อให้จุดไฟง่าย

3.4 การสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

ในส่วนของการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีขั้นตอนการดำเนินการและรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 โครงสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีขั้นตอนการดำเนินการและรายละเอียดดังต่อไปนี้

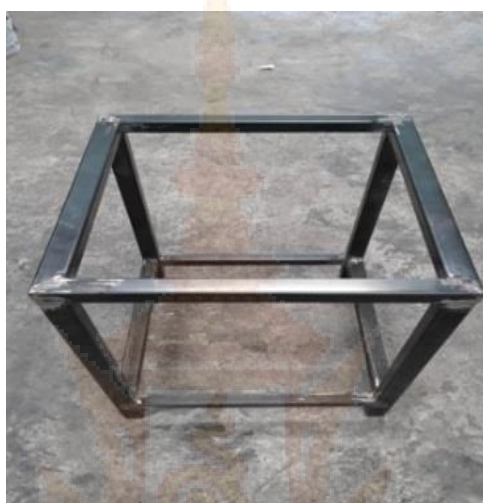
3.4.1.1 วิธีการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1) โครงสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว วัสดุเหล็กแผ่น ขั้นตอนการตัดเหล็กแผ่น ss400 ขนาด 500x1,050x2 mm. พับตามแบบตามที่ออกแบบ จำนวน 1 แผ่น ตัดเหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 500x560x2 mm. จำนวน 2 แผ่น ตัดเหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 490x490x2 mm. จำนวน 1 แผ่น ตัดเหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 490x700x2 mm. จำนวน 1 แผ่น ตัดเหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 500x560x2 mm. แบบเจาะ จำนวน 1 แผ่น ทำการพับให้ได้ตามแบบจะได้ ดังภาพที่ 3.1



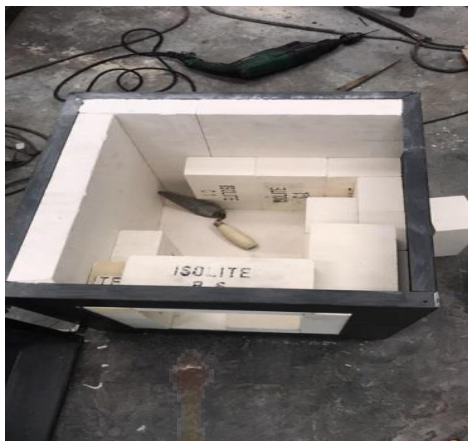
ภาพที่ 3.1 ภาพโครงสร้างเตาเผาเหล็ก

2) ฐานรองเตาเผา วัสดุเหล็กกล่อง ขั้นตอนการตัดเหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 600 mm. จำนวน 2 ท่อน ตัดเหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 500 mm. จำนวน 2 ท่อน ตัดเหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 700 mm. จำนวน 4 ท่อน ตัดเหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 520 mm. จำนวน 2 ท่อน ตัดเหล็กกล่อง ขนาด 36x36 mm. ยาว 420 mm. จำนวน 2 ท่อน ทำการเชื่อมให้ได้ตามแบบจะได้ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ภาพฐานรองเตาเผาเหล็ก

3) ติดตั้งฉนวนทนความร้อน วัสดุ อิฐทนไฟ แผ่นเซรามิคไฟเบอร์ ปูนทนไฟ ขั้นตอนการทำ ใช้อิฐทนไฟ ขนาด 100x230x60 mm. จำนวน 23 ก้อน ใช้แผ่นเซรามิคไฟเบอร์ ขนาด 560x500x80 mm. จำนวน 5 แผ่น ทำการตัดแผ่นเซรามิคไฟเบอร์ ตามแบบทั้ง 4 ด้านทำการก่ออิฐทนไฟให้ได้ตามขนาดของห้องเผาด้วยปูนทนไฟ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ภาพการติดตั้งฉนวนทนความร้อน

4) ติดตั้งฝาเตาเผาวัสดุเหล็กแผ่น ตัดเหล็กแผ่น ss 400 ขนาด 490x700x2 mm. จำนวน 1 แผ่น ทำการเจาะด้วยสว่านมือ ขนาด 6 mm. และยึดกับตัวเตาด้วยสกรู 6 mm. ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ภาพการติดตั้งฝาเตา

5) ติดตั้งฉนวนทนความร้อนที่ผาด้านหน้าเตา วัสดุ อิฐทนไฟ แผ่นเซรามิค ไฟเบอร์ ปูนทนไฟชั้นตอน ใช้อิฐทนไฟ ขนาด 100x230x60 mm. จำนวน 22 ก้อน ใช้แผ่นเซรามิค ไฟเบอร์ ขนาด 560x500x80 mm. จำนวน 1 แผ่น ทำการตัดแผ่นเซรามิคไฟเบอร์ให้ได้ขนาดตามแบบนำไปด้านใน ทำการก่ออิฐทนไฟยึดด้วยปูนทนไฟให้ทั่วผาของเตา ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ภาพการติดตั้งฉนวนทนความร้อนที่ฝ้าด้านหน้าเตา

6) ติดตั้งเตาและฐานเตา วัสดุ เหล็กกล่อง เหล็กแผ่น ขั้นตอนการทำ นำฐานและขาเจาะรูด้วยสว่าน ขนาด 7 mm. ยึดด้วยสกรูและน็อต ขนาด M7x1.75 ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ภาพการติดตั้งเตาและฐานเตา

7) เจาะรูทางเข้าเปลวไฟ วัสดุ เตาเผา ขั้นตอนการทำ นำสว่านขนาด 60 mm. เจาะด้านข้าง จำนวน 2 รู เอียง 15°C เพื่อให้ความร้อนโดนชิ้นงานโดยตรง ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ภาพการเจาะรูทางเข้าเปลวไฟ

8) ติดตั้งที่ยึดหัวเผาและท่อแก๊ส วัสดุเหล็กฉาก ขั้นตอนการทำ แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 1,000x40x40 mm. จำนวน 1 ชิ้น แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 470x40x40 mm. จำนวน 2 ชิ้น แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 600x40x40 mm. จำนวน 1 ชิ้น แผ่นเหล็กฉาก st 37 ขนาด 420x40x40 mm. จำนวน 1 ชิ้น นำเหล็กฉากเชื่อมต่อติดกันตามแบบ ยึดกับฐานของเตาด้วย สกรูน็อต ขนาด M7x1.25 และทดลองยึดหัวเผาเพื่อหาตำแหน่งที่แม่นยำ ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ภาพการติดตั้งที่ยึดหัวเผาและท่อแก๊ส

3.4.1.2 วิธีประกอบอุปกรณ์เข้ากับเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส
ปิโตรเลียมเหลว

1) ชุดให้ความร้อน วัสดุ หัวเผา วาล์วทองเหลือง เรกกูเรเตอร์ปรับแรงดัน
ท่อทองเหลือง เกจวัดแรงดัน ท่อแก๊ส ขั้นตอนการทำ นำหัวเผายึดกับยูแคมป์ ให้แน่น และ ต่อท่อ
ทองเหลืองเข้ากับท่อส่งแก๊สเปิด-ปิด ด้วยวาล์วทองเหลือง นำท่อแก๊สต่อเข้ากับเรกกูเรเตอร์ปรับ
แรงดันและเกจวัดแรงดันแก๊ส ยึดท่อแก๊สยูแคมป์ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ภาพการติดตั้งชุดให้ความร้อน

2) ฟันสีภายนอกเตาเผา วัสดุ สีทนความร้อน ทินเนอร์ กาพ่นสี กระดาษ
ทราย ขั้นตอนการทำ ถอดอุปกรณ์ทั้งหมดและทำการขัดผิวด้วยกระดาษทราย และพ่นสี รอให้แห้ง
ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ภาพการพ่นสีภายนอกเตาเผา

3.4.1.3 เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว หลังจากนำชิ้นส่วนที่ทำมาและชิ้นส่วนมาตรฐาน มาประกอบจะได้ เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ตามที่ออกแบบ ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ภาพเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ประกอบชิ้นส่วนเรียบร้อยแล้ว

3.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา ทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลนำไปวิเคราะห์ให้ตรงกับวัตถุประสงค์และสมมุติฐานโดยแบ่งออกเป็นสามการทดลอง วิธีการทดลอง ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวเต็มถึงมีน้ำหนัก 15 Kg และทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวครึ่งถึงมีน้ำหนัก 7.5 Kg และทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเตาเผา ที่อุณหภูมิและเวลามีค่าคงที่ เป็นข้อมูลและจัดบันทึกให้นักศึกษาหรือบุคคลที่สนใจ ได้นำไปใช้งานในการเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูป

3.5.1 การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวเต็มถึงมีน้ำหนัก 15 Kg

3.5.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำถังแก๊สปิโตรเลียมเหลวแบบน้ำหนักแก๊สเต็มถึง
- 2) เปิดเตาเผา
- 3) ปรับแรงดันแก๊ส วัดอุณหภูมิ และ จับเวลา เพื่อหาอุณหภูมิต่อเวลาและหาค่าของที่ของอุณหภูมิ
- 4) บันทึกผลการทดลองโดยนำผลการทดลองมาแสดงบันทึก ดังตารางที่ 3.2
- 5) สรุปผลทดลอง

3.5.2 การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวขณะที่แก๊สครึ่งถึงมีน้ำหนัก 7.5 Kg

3.5.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำถังแก๊สปิโตรเลียมเหลวขณะที่แก๊สครึ่งถึง
- 2) เปิดเตาเผา
- 3) ปรับแรงดันแก๊ส วัดอุณหภูมิ และ จับเวลา เพื่อหาอุณหภูมิต่อเวลาและหาค่าของที่ของอุณหภูมิ
- 4) บันทึกผลการทดลองโดยนำผลการทดลองมาแสดงบันทึก ดังตารางที่ 3.2
- 5) สรุปผลทดลอง

3.5.3 การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวขณะที่แก๊สครึ่งถึงมีน้ำหนัก 3.96 Kg

3.5.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำถังแก๊สปิโตรเลียมเหลวขณะที่แก๊สครึ่งถึง
- 2) เปิดเตาเผา

- 3) ปรับแรงดันแก๊ส วัดอุณหภูมิ และ จับเวลา เพื่อหาอุณหภูมิต่อเวลาและหาค่าของที่ของอุณหภูมิ
- 4) บันทึกผลการทดลองโดยนำผลการทดลองมาแสดงบันทึก ดังตารางที่ 3.2
- 5) สรุปผลทดลอง

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg ที่แรงดันแก๊ส 18 kg/cm^2

เวลา (min)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าคงที่ (เพิ่มขึ้น/ลดลง) เริ่มจาก $1,100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		

3.5.4 การทดลองหาความสูญเสียของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg

ทำการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวขณะใช้งานโดยน้ำหนักของแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg เป็นเวลา 70 min เพื่อหาการสูญเสียเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

3.5.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำถังแก๊สปิโตรเลียมเหลวแบบน้ำหนักแก๊ส 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg
- 2) เปิดเตาเผา
- 3) ปรับแรงดันแก๊ส วัดอุณหภูมิ และ จับเวลา
- 4) บันทึกผลการทดลองโดยนำผลการทดลองมาแสดงบันทึกดังตารางที่ 3.3

5) สรุปผลทดลอง

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm²

เวลา (min)	ค่าความสิ้นเปลืองของน้ำหนักเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Kg)		
	15 Kg	7.5 Kg	3.96 Kg

3.5.4 การทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผา

ทำการทดลองโดยการทำอุณหภูมิความร้อนในเตาเผาเหล็กในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg 7.5 Kg และ 3.96 Kg แล้วนำอุณหภูมิมาเทียบกับที่ตั้งไว้มีอุณหภูมิเท่ากันหรือแตกต่างกันน้อยเพียงใด เพื่อวิเคราะห์ผลการประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็กตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังตารางที่ 3.4

3.5.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ชั่งน้ำถังแก๊สปิโตรเลียมเหลวแบบน้ำหนักแก๊ส 15 Kg 7.5 Kg และ 3.96 Kg
- 2) เปิดเตาเผา
- 3) ปรับแรงดันแก๊ส วัดอุณหภูมิ และ จับเวลา เพื่อหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผา
- 4) บันทึกผลการทดลองโดยนำผลการทดลองมาแสดงบันทึกดังตารางที่ 3.4
- 5) สรุปผลทดลอง

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก

ปริมาณของแก๊สปิโตรเลียมเหลว	เวลา (min)	อุณหภูมิที่ตั้ง (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	เปอร์เซ็นต์ (%)
น้ำหนักแก๊ส 15 Kg	50	1,100		
น้ำหนักแก๊ส 7.5 Kg	50	1,100		
น้ำหนักแก๊ส 3.96 Kg	50	1,100		

3.6 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

3.6.1 การคำนวณหาค่าความสามารถในการเป็นฉนวน

เตาเผาประกอบด้วยผนังหลายชั้น ชั้นในสุดทำด้วยอิฐทนไฟหนา 60 mm. ถัดไปเป็นเซรามิคไฟเบอร์หนา 80 mm. ผนังนอกสุดเป็นเหล็กหนา 3 mm. ผนังภายในเตามีอุณหภูมิ 1,100°C ภายนอกเตามีอุณหภูมิ 50°C ความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำเตาจากภายในถึงภายนอกเป็น 0.15 , 0.048 , 48.5 ตามลำดับ จงคำนวณหาอุณหภูมิของผนังแต่ละชั้น

วิธีทำ จากสูตร $R = \frac{x}{kA}$ (ดังสมการที่ 2.2)

$$\text{ความต้านทานของอิฐทนไฟ} \quad R_1 = \frac{60}{\frac{0.44 \times 10^3}{80}} = 0.0136 \text{ K/W}$$

$$\text{ความต้านทานของไฟเบอร์เซรามิค} \quad R_2 = \frac{80}{\frac{0.04 \times 10^3}{3}} = 2 \text{ K/W}$$

$$\text{ความต้านทานของเหล็ก} \quad R_p = \frac{3}{\frac{48.5 \times 10^3}{17(1)}} = 0.000061 \text{ K/W}$$

$$\text{จากสมการ (2.4)} \quad R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{17(1)} = \frac{1}{\frac{w}{m^2k}} \cdot m^2 \cdot 17$$

$$\text{ดังนั้นความต้านทานของอากาศด้านนอกเป็น} \quad R_B = \frac{1}{17} \text{ K/W}$$

$$\text{ความต้านทานของช่องอากาศรวม} \quad R_{air} = 0.16 \text{ K/W}$$

$$\text{ความต้านทานรวม} \quad R_t = \sum R$$

$$R_t = 0.0136 + 2 + 0.000061 + 2 + 0.16$$

$$R_t = 2.173 \text{ K/W}$$

$$\text{จากสูตร} \quad Q = \frac{t_A - t_B}{R_t} \quad (\text{ดังสมการที่ 2.6})$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1100 - 50}{2.173} = 483.2 \text{ J/s} \\
 \text{ความสูญเสียต่อตารางเมตร} &= 491.5 \text{ J/sec.} \\
 \text{จากสมการ} &V = IR \quad (\text{ดังสมการที่ 2.2}) \\
 \text{หรือ} &Q = \frac{\Delta t}{R} \\
 \text{ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านปูนชั้นใน} &Q = \frac{t_A - t_1}{R_1} \\
 \text{ดังนั้น} &491.5 = \frac{1100 - t_1}{0.136} \\
 &t_1 = 1,100 - (491.5 \times 0.136) \\
 &= 1,033.15 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \text{ความร้อนเคลื่อนที่ข้างในไฟเบอร์เซรามิค} &Q = \frac{t_1 - t_2}{R_2} \\
 &491.5 = \frac{1033.15 - t_2}{2} \\
 &t_2 = 1,033.15 - (491.5 \times 2) \\
 &= 50 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \text{ความร้อนที่ผ่านเหล็ก} &Q = \frac{t_2 - t_3}{R_p} \\
 &491.5 = \frac{50 - t_3}{0.000061} \\
 \text{หรือ} &t_3 = 50 - (491.5 \times 0.000061) \\
 &= 49.97 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ เต้าเผาเหล็กเพื่อการขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1,100°C ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวน้ำหนัก 15 Kg โดยการจับเวลาตั้งแต่ 10 นาที ถึง 70 min และวัดอุณหภูมิ ภายในห้องเผ่าว่ามีอุณหภูมิเท่ากันนั้นให้ค่าที่เท่ากันหรือแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใดและจดบันทึกต่อมาทำอุณหภูมิ

ภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg จับเวลาตั้งแต่ 10 นาที ถึง 70 min และวัดอุณหภูมิ จากนั้น ทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg จับเวลาตั้งแต่ 10 min ถึง 180 min จนเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวหมดถัง และวัดอุณหภูมิ นำผลการทดลองทั้ง 3 ครั้งหาค่าเฉลี่ย และนำผลการทดลองแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกัน แล้วสรุปผล

3.7.1 ทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1,100°C เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg โดยการจับเวลาการจับเวลาตั้งแต่ 10 min ถึง 70 min และวัดอุณหภูมิ หาค่าอุณหภูมิและเวลา

3.7.2 การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.2.1 เสนอเป็นการบรรยายจากกราฟการทดลอง การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1100°C ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg

3.7.3 ทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1100°C เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg โดยการจับเวลาการจับเวลาตั้งแต่ 10 min ถึง 70 min และวัดอุณหภูมิ หาค่าอุณหภูมิและเวลา แต่ละครั้งของการทดลองมาทำกราฟเปรียบเทียบกัน

3.7.4 การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.4.1 เสนอเป็นการบรรยายจากกราฟการทดลอง การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1100°C ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg

3.7.5 ทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1100°C เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg โดยการจับเวลาการจับเวลาตั้งแต่ 10 min ถึง 180 min และวัดอุณหภูมิ หาค่าอุณหภูมิและเวลา แต่ละครั้งของการทดลองมาทำกราฟเปรียบเทียบกัน

3.7.6 การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.6.1 เสนอเป็นการบรรยายจากกราฟการทดลอง การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา 1100°C ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg

บทที่4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและนำมาวิเคราะห์ผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

4.1 สร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง

ในการออกแบบและสร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง ผู้ดำเนินการจัดทำได้สร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง ตามที่ได้ ออกแบบมาแล้วปรากฏว่าได้เครื่องที่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ภาพการสร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง

4.2 เป็นชุดเตาเผางานดีเหล็กเพื่อต่อยอดเทคโนโลยีการตีขึ้นรูป

ทำการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผา ขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg และทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg และทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของเตาเผา ที่อุณหภูมิและเวลามีค่าคงที่ เป็นข้อมูลให้นักศึกษาหรือบุคคลที่สนใจ ได้นำไปใช้งานในการเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูป

4.2.1 การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg

การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

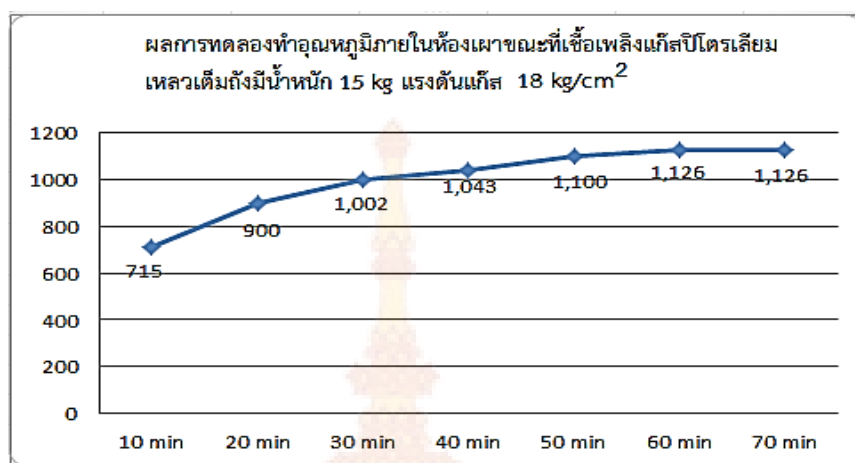
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวเต็มถังมีน้ำหนัก 15 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm²

เวลา (min)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าคงที่ (เพิ่มขึ้น/ลดลง) เริ่มจาก 1,100 °C
10	715	-
20	900	-
30	1,002	-
40	1,043	-
50	1,100	0
60	1,126	26
70	1,126	26

หมายเหตุ จะเริ่มวัดค่าความคงที่ของอุณหภูมิกับเวลา ที่เวลา 50 min ตามวัตถุประสงค์

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² สรุปว่าช่วงเวลา 50 min สามารถทำอุณหภูมิได้ 1,100 °C ตามวัตถุประสงค์ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆไปจนถึง 1,126°C ที่เวลา 70 min และมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ

1,126 °C ในช่วงเวลาระหว่าง 60 ถึง 70 min นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยแสดงเป็นกราฟ ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีน้ำหนัก 15 kg

4.2.2 การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg

การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง ทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm²

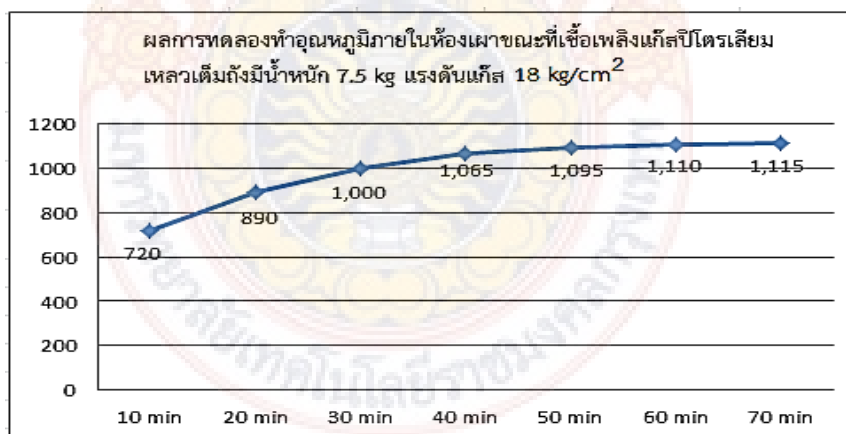
เวลา (min)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าคงที่ (เพิ่มขึ้น/ลดลง) เริ่มจาก 1,100 °C
10	720	-
20	890	-
30	1,000	-

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง ทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมี น้ำหนัก 7.5 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² (ต่อ)

เวลา (min)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าคงที่ (เพิ่มขึ้น/ลดลง) เริ่มจาก 1,100 °C
40	1,065	-
50	1,095	-5
60	1,110	10
70	1,115	15

หมายเหตุ จะเริ่มวัดค่าความคงที่ของอุณหภูมิกับเวลา ที่เวลา 50 min ตามวัตถุประสงค์

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมี น้ำหนัก 7.5 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² สรุปว่าช่วงเวลา 50 min สามารถทำอุณหภูมิได้ 1,095 °C ช่วงเวลา 60 min สามารถทำอุณหภูมิได้ 1,110 °C ช่วงเวลา 70 min สามารถทำอุณหภูมิได้ 1,115 °C นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลการทดลองโดยแสดงเป็นกราฟ ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีน้ำหนัก 7.5 kg

4.2.3 การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก

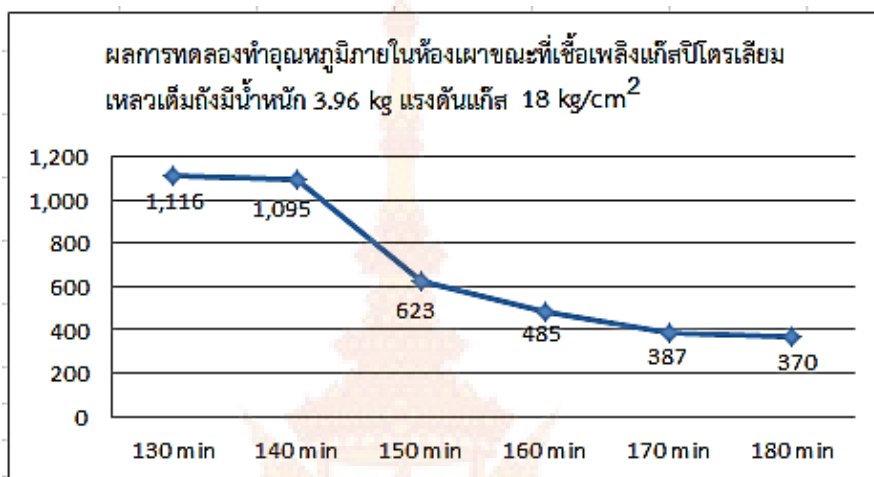
3.96 Kg

การทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวเต็มถึงมี น้ำหนัก 3.96 kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm^2 (จนแก๊สหมดถัง)

เวลา (min)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	ค่าคงที่ (เพิ่มขึ้น/ลดลง) เริ่มจาก 1,100 °C
10	717	-
20	902	-
30	1003	-
40	1,050	-
50	1,070	30
60	1,100	0
70	1,102	2
80	1,109	9
90	1,115	15
100	1,116	16
110	1,117	17
120	1,117	17
130	1,116	16
140	1,095	-5
150	623	-477
160	485	-615
170	387	-713
180	370	-730

จากตารางที่ 4.3 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² สรุปว่าช่วงเวลา 50 min สามารถทำอุณหภูมิได้ 1,170 °C ทำการทดลองจนแก๊สหมดถึงที่เวลา 180 min นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลการทดลองโดยแสดงเป็นกราฟ ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีน้ำหนัก 3.96 kg ที่เวลา 130 min ถึง 180 min (แก๊สหมดถึง)

4.2.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg

การทดลองหาความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm²

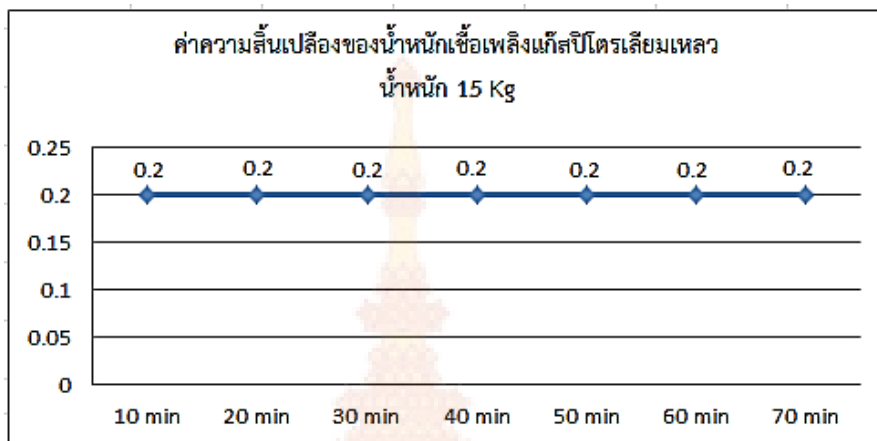
เวลา (min)	ค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Kg)		
	15 Kg	7.5 Kg	3.96 Kg
10	0.20	0.21	0.22
20	0.20	0.21	0.22

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm²(ต่อ)

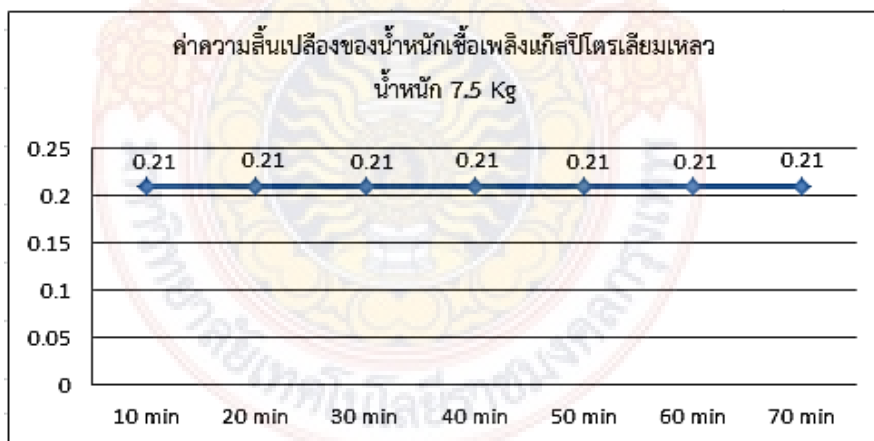
เวลา (min)	ค่าความสิ้นเปลืองของน้ำหนักเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Kg)		
	15 Kg	7.5 Kg	3.96 Kg
30	0.20	0.21	0.22
40	0.20	0.21	0.22
50	0.20	0.21	0.22
60	0.20	0.21	0.22
70	0.20	0.21	0.22
80	-	-	0.22
90	-	-	0.22
100	-	-	0.22
110	-	-	0.22
120	-	-	0.17
130	-	-	0.10
140	-	-	0
150	-	-	0
160	-	-	0
170	-	-	0
180	-	-	0

จากตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² สรุปว่าเวลาเพิ่มขึ้นทีละ 10 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว 0.20 Kg รวมการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายใน 70 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.40 Kg เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² เวลาเพิ่มขึ้นทีละ 10 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว 0.21 Kg รวมการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายใน 70 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.47 Kg และเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² เวลาเพิ่มขึ้นทีละ

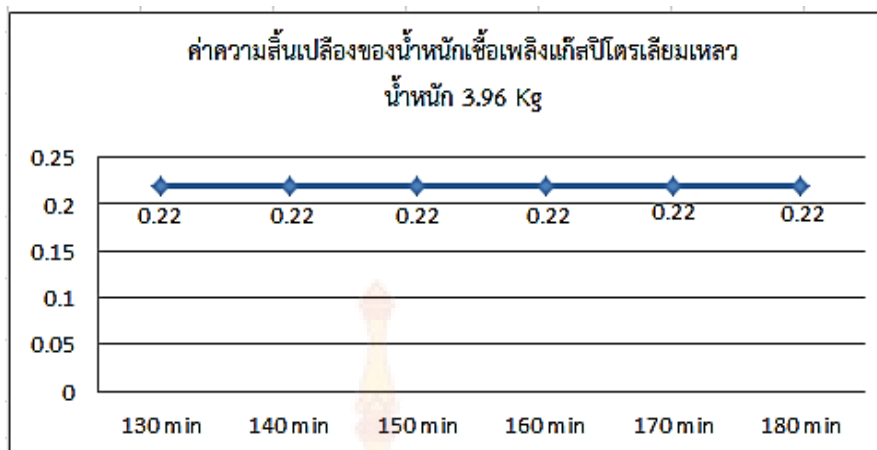
10 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว 0.22 Kg รวมการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายใน 180 min (แก๊สหมดถัง) สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.96 Kg นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลการทดลองโดยแสดงเป็นกราฟ ดังภาพที่ 4.5 ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา
ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา
ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองหาความเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg ที่เวลา 130 min ถึง 180 min (แก๊สหมดถัง)

4.3 ทดลองประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผา

ทำการทดลองโดยการทำอุณหภูมิความร้อนในเตาเผาเหล็กในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg แล้วนำอุณหภูมิมาเทียบกับที่ตั้งไว้มีอุณหภูมิเท่ากัน หรือแตกต่างกันน้อยเพียงใด เพื่อวิเคราะห์ผลการประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก

ปริมาณของแก๊สปิโตรเลียมเหลว	เวลา (min)	อุณหภูมิที่ตั้ง (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้ (°C)	เปอร์เซ็นต์ (%)
น้ำหนักแก๊ส 15 Kg	50	1,100	1,100	100
น้ำหนักแก๊ส 7.5 Kg	50	1,100	1,095	99.54
น้ำหนักแก๊ส 3.96 Kg	50	1,100	1,070	97.27

จากการทดลองหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก จากอุณหภูมิที่ตั้งกับอุณหภูมิจากผลการทดลองประสิทธิภาพของการทำความร้อนของเตาเผาเหล็ก เมื่อน้ำหนักแก๊ส 15 Kg เวลา 50 min สามารถทำความร้อนได้ 1,100°C น้ำหนักแก๊ส 7.5 Kg เวลา 50 นาที สามารถทำความร้อนได้ 1,095°C และน้ำหนักแก๊ส 3.96 Kg เวลา 50 min สามารถทำความร้อนได้ 1,070°C ดังนั้นสรุปได้

ว่าอุณหภูมิในการทำความร้อนของเตาเผาเหล็กนี้มีประสิทธิภาพจากปริมาณน้ำหนักของเชื้อเพลิงแก๊ส
ปิโตรเลียมเหลวเฉลี่ย 98.93%



บทที่ 5

บทสรุป

จากการดำเนินโครงการสร้างเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว ตั้งแต่ขั้นตอนแรกคือการวางแผนและการเตรียมการ ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์ข้อมูล ออกแบบและเขียนแบบ จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ จัดทำขึ้นส่วนประกอบและปรับแต่ง ตรวจสอบการทำงานดำเนินการสร้างเครื่อง ปรับปรุงแก้ไข ทำการทดลอง และขั้นตอนสุดท้าย คือ การนำไปใช้ได้จริงตามวัตถุประสงค์

5.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 5.1.1 เพื่อสร้างเตาเผางานตีเหล็กโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง
- 5.1.2 เป็นชุดเตาเผางานตีเหล็กเพื่อต่อยอดเทคโนโลยีการตีขึ้นรูป
- 5.1.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็ก

5.2 สรุปผลการดำเนินโครงการ

- 5.2.1 ได้เตาเผาขนาด $200 \times 200 \times 400$ mm. สามารถทำอุณหภูมิได้ $1,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 50 min
- 5.2.2 ได้เตาเผาที่ต่อยอดเทคโนโลยีการตีขึ้นรูป จากเทคโนโลยีการตีขึ้นรูปในสมัยก่อน ให้เตาเผาทันสมัยมากขึ้น
- 5.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาเหล็กแบ่งเป็น 3 การทดลอง
 - 5.2.3.1 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm^2 สรุปว่าช่วงเวลา 50 min สามารถทำอุณหภูมิได้ $1,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามวัตถุประสงค์ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆไปจนถึง $1,126^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 70 min และมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ $1,126\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาระหว่าง 60 ถึง 70 min
 - 5.2.3.2 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm^2 สรุปว่าช่วงเวลา 50 min สามารถทำอุณหภูมิได้ $1,095\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงเวลา 60 min สามารถทำอุณหภูมิได้ $1,110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงเวลา 70 min สามารถทำอุณหภูมิได้ $1,115\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.2.3.3 ผลการทดลองทำอุณหภูมิภายในห้องเผาขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว มีน้ำหนัก 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² สรุปว่าช่วงเวลา 50 min สามารถทำอุณหภูมิได้ 1,170 °C ทำการทดลองจนแก๊สหมดถึงที่เวลา 180 min

5.2.4 การทดลองหาความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg , 7.5 Kg และ 3.96 Kg

5.2.4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวกับเวลา ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 15 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² สรุปว่าเวลาเพิ่มขึ้นทีละ 10 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว 0.20 Kg รวมการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายใน 70 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.40 Kg เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 7.5 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² เวลาเพิ่มขึ้นทีละ 10 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว 0.21 Kg รวมการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายใน 70 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.47 Kg และเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวมีน้ำหนัก 3.96 Kg แรงดันแก๊ส 18 kg/cm² เวลาเพิ่มขึ้นทีละ 10 min สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว 0.22 Kg รวมการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวภายใน 180 min (แก๊สหมดถึง) สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.96 Kg

5.3 อภิปรายผล

ในการสร้างเตาเผาเหล็ก มีปัญหาและอุปสรรคในการทำงานดังนี้

5.3.1 การสร้างเตาเผาเหล็กต้องทำชิ้นส่วนประกอบขึ้นมา ทำให้ใช้เวลานานในการผลิตชิ้นส่วนแต่ละชิ้น

5.3.2 การทำอุณหภูมิความร้อนของเตาเผาโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง สามารถควบคุมอุณหภูมิความร้อนได้ยากกว่าการให้ความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า

5.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการสร้างเตาเผาที่สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวยังสามารถต่อยอดเทคโนโลยีการอบชุบโลหะได้อีกด้วย

5.4.2 เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว สามารถลดขนาดความยาวของตัวจับยึดหัวเผา (Burner) และความยาวของท่อส่งเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวให้มีรูปทรงที่กระชับรัดมากขึ้น

5.4.3 ควรเปลี่ยนล้อของเตาเผาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อรองรับน้ำหนักของเตาเผาและง่ายต่อการเคลื่อนย้าย

5.4.4 ควรเตรียมถังแก๊สปิโตรเลียมเหลวสำรองอย่างน้อย 1 ถัง เพื่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง

5.4.5 เมื่อน้ำหนักแก๊สปิโตรเลียมเหลือน้ำหนักประมาณ 4 Kg จะสามารถใช้งานได้อีก 180 min ผู้ใช้งานควรเตรียมถังแก๊สปิโตรเลียมเหลว เพื่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง



บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทหล่อหลอมโลหะ (2554). ม.ป.ท: กระทรวงอุตสาหกรรม

กิตติ อินทรานนท์. (2553). การยศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาและศึกษาสมรรถนะของหัวเผาน้ำมันมะพร้าว. (2545). กรุงเทพฯ

จุฑามาศ สัจจธรรมวดี และคณะ. (2549). งานวิจัยเรื่องออกแบบและสร้างเตาอบชุบแข็งโลหะ. (ปริญญานิพนธ์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ)

ธนากาญจน์ ภัทรากาญจน์. (2524). การนำความร้อนของสสาร.

นรินทร์ เนาวปประทีป. การนำความร้อน. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, ม.ป.ป.

บัญญัติ โฉลนันท. วารสารวิจัยพลังงาน. 2554(3). 55

บริษัทสยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ จำกัด. (2554). วัสดุทนไฟ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.siamrefractory.com> (วันที่สืบค้น 8 พฤศจิกายน 2560)

บริษัทสุพรีมไลน์ จำกัด. (2548). เทอร์โมคัปเปิล. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.supremelines.co.th> (วันที่สืบค้น 8 พฤศจิกายน 2560)

บริษัท ปตท. จำกัดมหาชน. แก๊สปิโตรเลียมเหลว. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.pttplc.com/th/documents/intropage/intro.html>

(วันที่สืบค้น 13 พฤศจิกายน 2560)

ประเสริฐ เทียนนิมิตร. วิวัฒน์ ภัททิยธนี. ปานเพชร ชินินทร. ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โม

ไดนามิกส์. (2534). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ

ประกอบ จันท์ธมา. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=44>

(วันที่สืบค้น 2 ธันวาคม 2560)

มานพ คงนิยม. ประเสริฐ มหาศรานนท์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวัสดุทนไฟ. (2527), กรุงเทพฯ

ศรัญญินิตย์. (2538). การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ

สมศักดิ์ คงโชติ. (2536). การถ่ายเทความร้อนในการอุ่นถังรับน้ำเหล็กได้สร้างแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์. (ปริญญานิพนธ์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน)

ห้างหุ้นส่วนจำกัดไทยเฟอร์เนส เอ็นจิเนียริง (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.thaifurnaces.com/>

เอกสารเรื่อง, ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ)ด้านความร้อน. 2553, ม.ป.ท.

เอกสารเรื่อง, ไฟเบอร์บอร์ด, ม.ป.ป, ม.ป.ท

Continuous Cooling Transformation Diagram. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก:

<http://www.personal.ac.th>. (วันที่สืบค้น 12 พฤศจิกายน 2560)



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ตารางแจกแจงค่าใช้จ่าย



ตารางที่ ก 1 ตารางแจกแจงค่าใช้จ่ายการสร้างเตาเผาเหล็ก

รายละเอียด	จำนวน	จำนวนเงิน(บาท)
1. เหล็กกล่อง	2 เส้น	1,100
2. เหล็กแผ่น	6 แผ่น	3,500
3. เหล็กฉาก	2 เส้น	1,150
4. หัวเผา (Burner)	2 ชิ้น	5,000
5. หัวปรับแรงดันแก๊ส	1 ตัว	400
6. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ	1 ตัว	900
7. หม้อแปลงไฟฟ้าจุดประกายไฟ	1 ตัว	2,500
8. สายไฟ	1 ม้วน	100
9. สวิตช์	1 ชุด	250
10. วาล์วทองเหลือง	3 ตัว	150
11. ตัวควบคุม	1 ตัว	1,300
12. เชื้อวจุดประกายไฟ	2 ตัว	1,000
13. ท่อแก๊ส	1 ชุด	500
14. ท่อทองเหลือง	1 ชุด	200
15. ล้อ	4 ล้อ	200
16. ข้อต่อถังแก๊สปิโตรเลียมเหลว	1 เส้น	200
17. อิฐทนไฟ	23 ก้อน	3,180
18. แผ่นเซรามิคไฟเบอร์	5 แผ่น	2,300
รวม		23,930

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งาน



คู่มือการใช้งานเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



จัดทำโดย

นางสาววันวิสา มาประกอบ

นายกนกพล จินนา

นายเจตนิพัทธ์ บ่อไทย

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ทินโน ขวัญดี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์กังวาล นาคศุภรังษี

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



ภาพที่ ข 1 เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

ตำแหน่งส่วนต่างๆ ของตัวปรับของเครื่อง ดังนี้

1. ตัวปรับแรงดันแก๊ส
2. ห้องเผา
3. ปุ่มสวิตช์เปิด-ปิด
4. ปุ่มจุดประกายไฟ
5. หน้าจอบอกอุณหภูมิ
6. ตัวปรับอากาศของหัวเผา

ขั้นตอนการใช้งานเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1. เสียบปลั๊กเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



ภาพที่ ข 2 เสียบปลั๊กเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

2. เปิดสวิตช์ที่ตู้ควบคุม



หมุนสวิตช์ไปทางขวา

ภาพที่ ข 3 เปิดสวิตช์ตู้ควบคุม

3. เปิดถังเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



หมุนสวิตช์ไปทางขวา

ภาพที่ ข 4 เปิดวาล์วเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

4. เปิดวาล์วท่อลำเลียงเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว และเช็คแรงดันแก๊ส

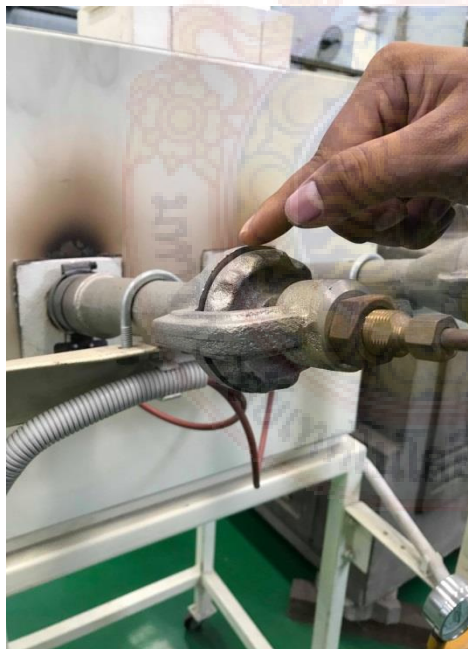


ภาพที่ ข 5 เปิดวาล์วท่อลำเลียงเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



ภาพที่ ข 6 เกจวัดแรงดันแก๊ส

4. เปิดช่องอากาศที่หัวเผา Burner



หมุนไปทางซ้าย

ภาพที่ ข 7 เปิดช่องอากาศที่หัวเผา Burner

5. เปิดวาล์วหัวเผา Burner พร้อมกับกดปุ่มจุดประกายไฟ



ภาพที่ ข 8 เปิดวาล์วหัวเผา Burner พร้อมกับกดปุ่มจุดประกายไฟ

6. เตาเผาเหล็กพร้อมใช้งาน



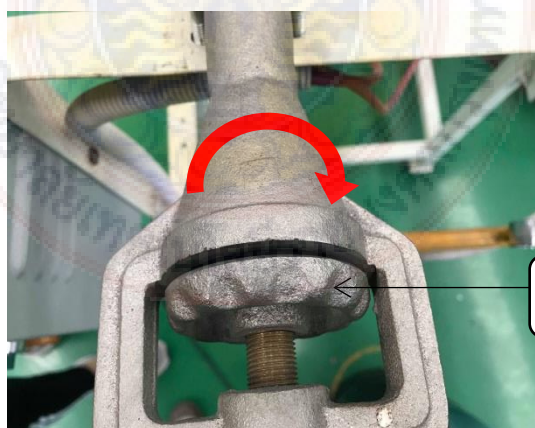
ภาพที่ ข 9 เตาเผาเหล็กพร้อมใช้งาน

7. เมื่อใช้งานเตาเผาเหล็กเสร็จเรียบร้อยแล้ว ปิดวาล์วเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



ภาพที่ ข 10 ปิดวาล์วเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

8. ปิดช่องอากาศที่หัวเผา Burner



ภาพที่ ข 11 ปิดช่องอากาศที่หัวเผา Burner

9. ปิดวาล์วท่อลำเลียงเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



หมุนขึ้นเพื่อปิดวาล์ว

ภาพที่ ข 12 ปิดวาล์วท่อลำเลียงเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

10. ถอดปลั๊กเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว



ภาพที่ ข 13 ถอดปลั๊กเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

การบำรุงรักษาเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1. การบำรุงรักษาก่อนใช้เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวตรวจสอบชิ้นส่วนเครื่องจักรโดยการตรวจสอบเบื้องต้นหากมีชิ้นส่วนใดชำรุดหรือแตกหักควรเปลี่ยนหรือซ่อมก่อนการใช้งาน
2. การบำรุงรักษาหลังใช้เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวทำความสะอาดไม่ให้มีเศษเหล็กตกค้างบริเวณเครื่องและปิดแก๊สปิโตรเลียมทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ

ข้อควรระวังในการใช้เตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

1. ไม่ควรยืนส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายไปสัมผัสในห้องเผาหรือชิ้นงานที่มีความร้อน
2. ขณะใช้เตาเผาควรมีอุปกรณ์กันความร้อนเพื่อไม่ให้ได้รับอันตรายจากความร้อน
3. ผู้ปฏิบัติงาน ควรตรวจสอบความปลอดภัยไม่ให้ผู้ใดยื่นมือหรืออวัยวะอื่น ๆ มาใกล้ห้องเผาและชิ้นงานระหว่างการใช้งาน
4. ไม่ควรนำเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวอากาศร้อนเพราะจะทำให้แก๊สและท่อระเบิดได้

ข้อแนะนำ

1. ควรมีถังแก๊สสำรอง อย่างน้อย 1 ถัง เพื่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง
2. ควรสังเกตแรงดันแก๊สหากลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าปริมาณแก๊สกำลังจะหมดควรเตรียมถังแก๊สใบใหม่เพื่อเปลี่ยน
3. หากปรับแรงดันแก๊สไม่ได้ ควรตรวจเช็คหรือซั้่งน้ำหนักของแก๊ส ว่าเหลือปริมาณเท่าไร

ข้อห้าม

1. ห้ามสูบบุหรี่บริเวณใกล้เคียง ในขณะที่เตาเผาทำงานอยู่
2. ห้ามเคลื่อนย้ายเตาเผาขณะใช้งาน
3. ห้ามวิ่งเล่น หยอกล้อ ขณะปฏิบัติงาน

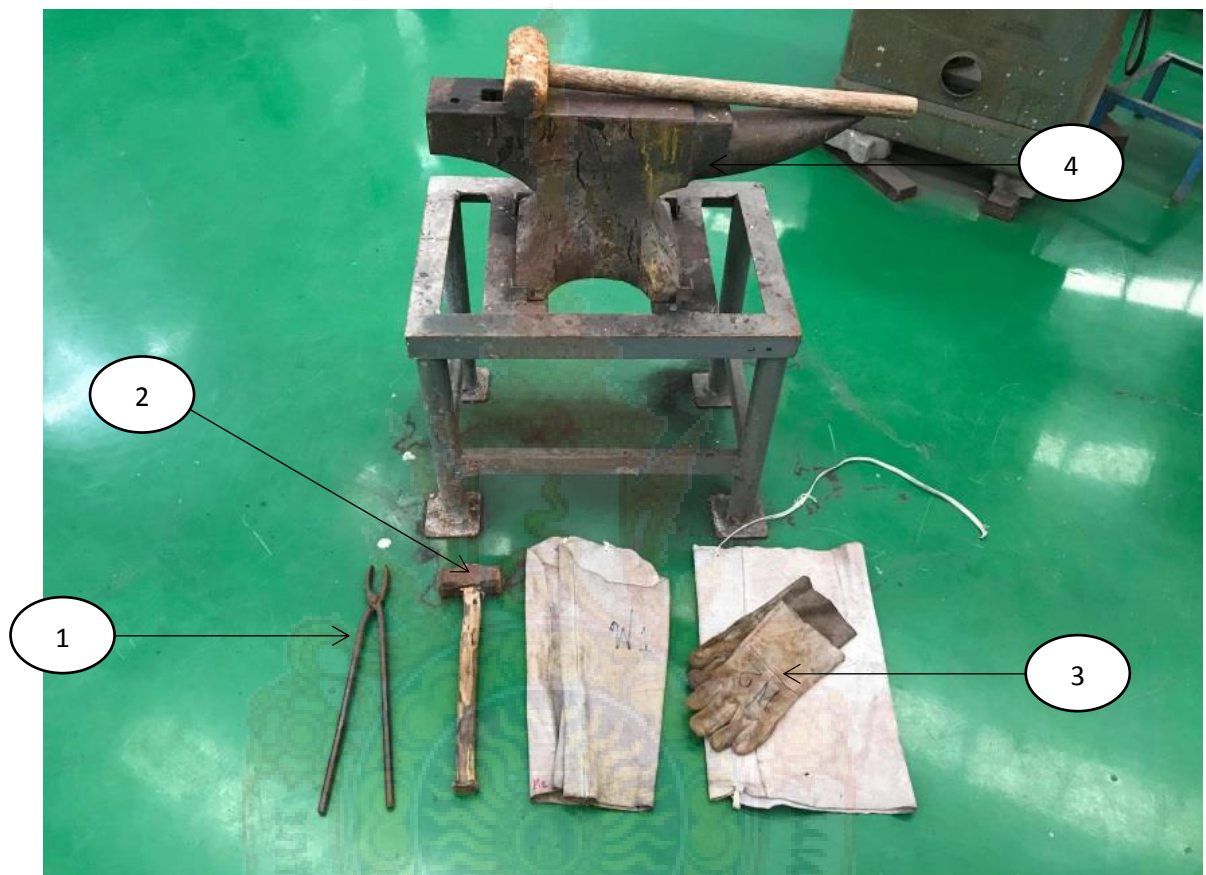
ภาคผนวก ค

ตัวอย่างลำดับขั้นตอนการตีเหล็ก



ขั้นตอนการตีเหล็กขึ้นรูป

1. เลือกวัสดุตีและวัสดุที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
2. เตรียมวัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย



ภาพที่ ค 1 ภาพอุปกรณ์สำหรับใช้ตีขึ้นรูปโลหะ

- คีมจับโลหะ (Pliers)
- ค้อน (Hammer)
- ชุดหนัง ถุงมือ ปกป้องความร้อน
- ทัง (Anvil)



ภาพที่ ค 2 ภาพการเตรียมอุปกรณ์และสวมชุดป้องกันเพื่อความปลอดภัย

2. เผาชิ้นงานในห้องเผาที่อุณหภูมิ 1,100 °C



ภาพที่ ค 3 ภาพการเผาโลหะ

3. ใช้คีมจับชิ้นขึ้นออกจากเตาเผา



ภาพที่ ค 3 ภาพชิ้นงานก่อนตีขึ้นรูป

4. ตีขึ้นรูปแบบหยาบ

- ใช้คนตี 2 คน
- ใช้ค้อนเล็กนำ และใช้ค้อนใหญ่ตาม



ภาพที่ ค 4 ภาพการตีโลหะขึ้นรูปแบบหยาบ





ภาพที่ ค 5 ภาพชิ้นงานที่ตีขึ้นรูปแบบหยาบ

5. การตีขึ้นรูปแบบละเอียดเพื่อตกแต่งความเรียบร้อยตามแบบที่กำหนด



ภาพที่ ค 5 ภาพการตีโลหะขึ้นรูปแบบละเอียด

6. เจียรระไนรูปทรงและลับคมมีด

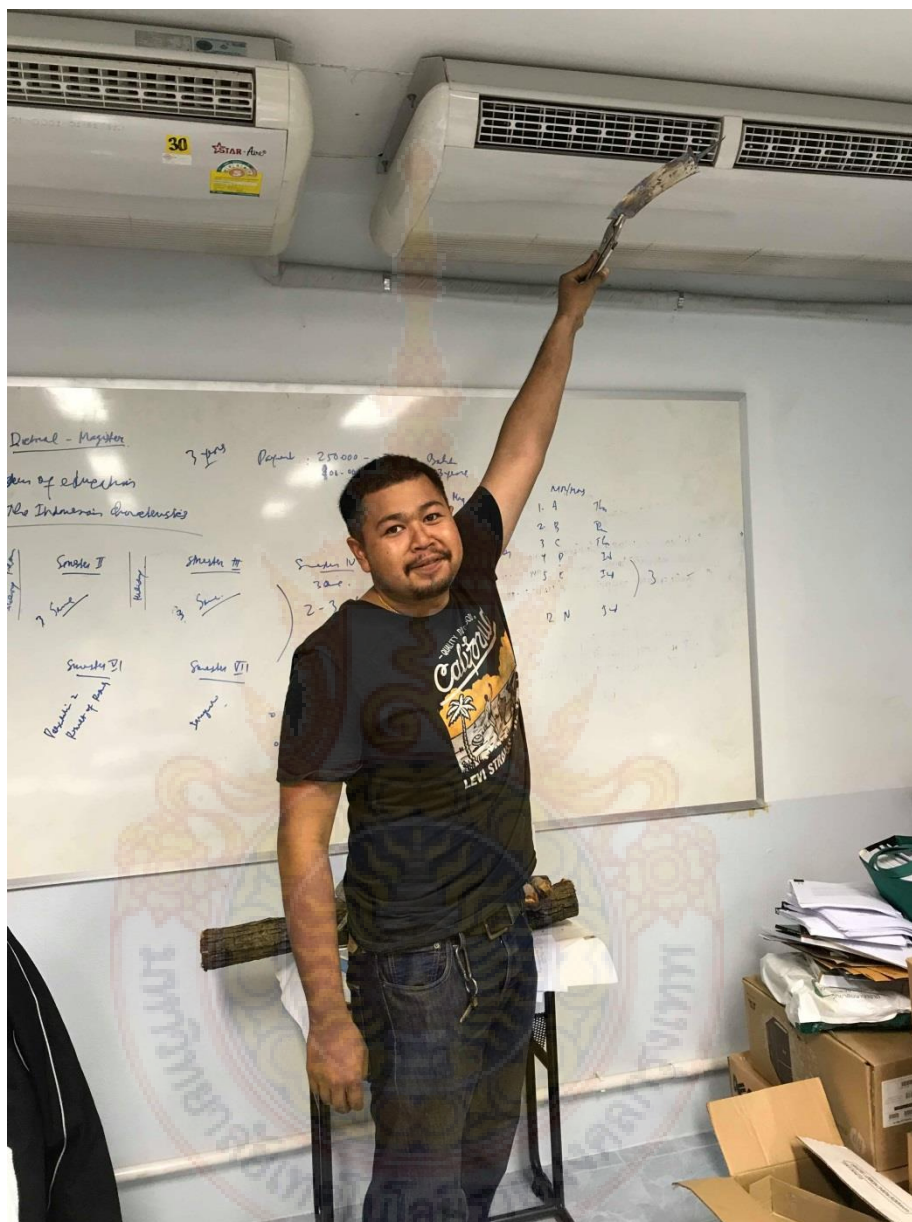


ภาพที่ ค 6 ภาพการเจียรระไนรูปทรงและลับคม

[illegible]

ภาพที่ ค 7 ภาพ

8. อบชุบคืนไฟด้วยอากาศ (Tempering)



ภาพที่ ค 8 ภาพการอบชุบคืนไฟด้วยอากาศ

9. เจียรระไนตกแต่งและลับคมด้วยน้ำมัน



ภาพที่ ค 9 ลับคมด้วยน้ำมัน

10. ชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ ค 10 ชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์

ภาคผนวก ง

ตารางบอกสีของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ



Colour		°C
White		1200
Light Yellow		1100
Yellow		1050
Light Orange		980
Orange		930
Light Red		870
Light Cherry		810
Cherry		760
Dark Cherry		700
Blood Red		650
Brown Red		600

ภาพที่ ง 1 ตารางบอกสีของเหล็กที่อุณหภูมิต่างๆ

ที่มา : www.drjudywood.com, 2006, (ออนไลน์)

ภาคผนวก จ

คุณสมบัติของหลักชนิดต่างๆ



ตาราง จ 1 ตารางคุณสมบัติของเหล็กชนิดต่างๆ

ประเภทของเหล็ก	คุณสมบัติ
เหล็ก SS400	เหล็กแผ่นรีดร้อน สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป
เหล็ก SKD11	ทำลูกรีดเกลียว ลูกรีดแปบ ใบมีดตัดเหล็กแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป แม่พิมพ์กรรไกร แม่พิมพ์กระดาศ ทนแรงดึงสูง
เหล็ก SKS3	เหล็กทำแม่พิมพ์งานเย็น พิมพ์ตัด โลหะแผ่นบางและกระดาศ มี ความสามารถในการชุบแข็งสูง ทนแรงเสียดสีได้ดี
เหล็ก SKD61	เหล็กสำหรับทำแม่พิมพ์งานร้อน มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิ สูงๆทนการสึกหรอดีมาก ทนแรงกระแทกสูง รักษาความแข็งแรงที่สูงได้ดี ใช้ ทำแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะได้ดี
เหล็ก S45C	เหล็กคาร์บอนปานกลางเหมาะสำหรับงานพื้นฐานทั่วไป โครงสร้างแม่พิมพ์ และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ชุบแข็งได้ง่าย ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับทำชิ้นส่วนพื้นฐาน หรือโครงสร้างของแม่พิมพ์และงานอื่นๆ ไป
เหล็ก S50C	เหล็กคาร์บอนปานกลางเหมาะสำหรับงานพื้นฐานทั่วไป โครงสร้างแม่พิมพ์ และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ชุบแข็งได้ง่าย ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับทำชิ้นส่วนพื้นฐาน หรือโครงสร้างของแม่พิมพ์และงานอื่นๆ ไป
เหล็ก SCM440	เหล็กเครื่องมือมีคาร์บอนปานกลาง มีความเหนียว ทนแรงดึงสูง เหมาะสำหรับ ทำเครื่องมือ น็อต สกรู เพลา ก้านสูบและชิ้นส่วนรถยนต์
เหล็ก SCM415	ความเหนียว เหล็กเครื่องมือ เหมาะที่จะเฟืองรอบจัด และงานที่ต้องการผิวที่แข็ง เฉพาะผิว

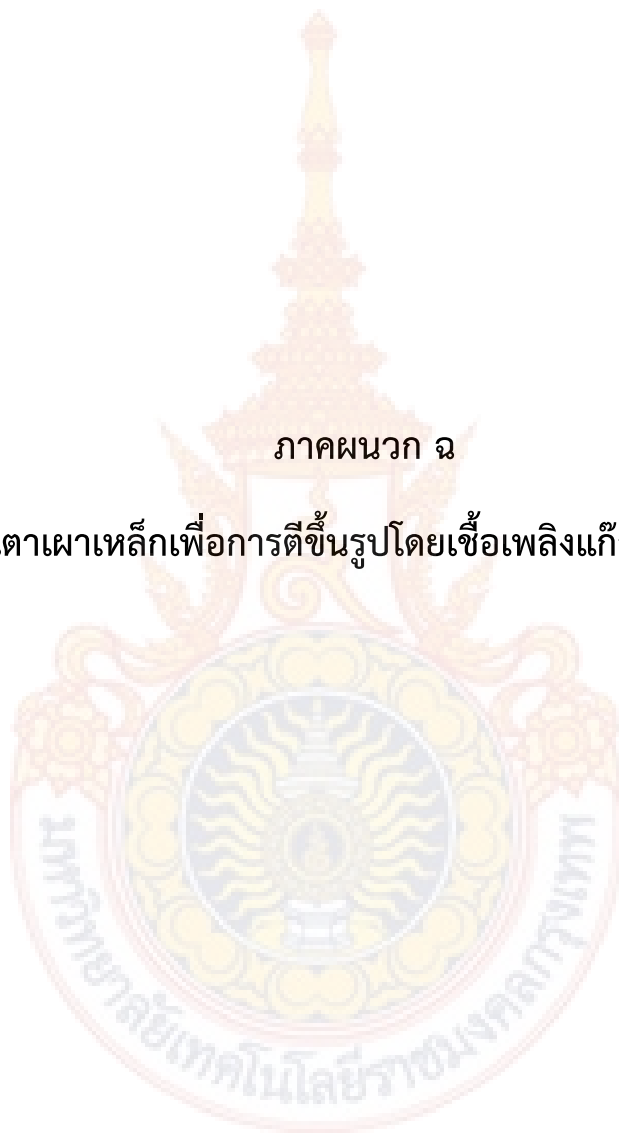
ตาราง จ 1 ตารางคุณสมบัติของเหล็กชนิดต่างๆ (ต่อ)

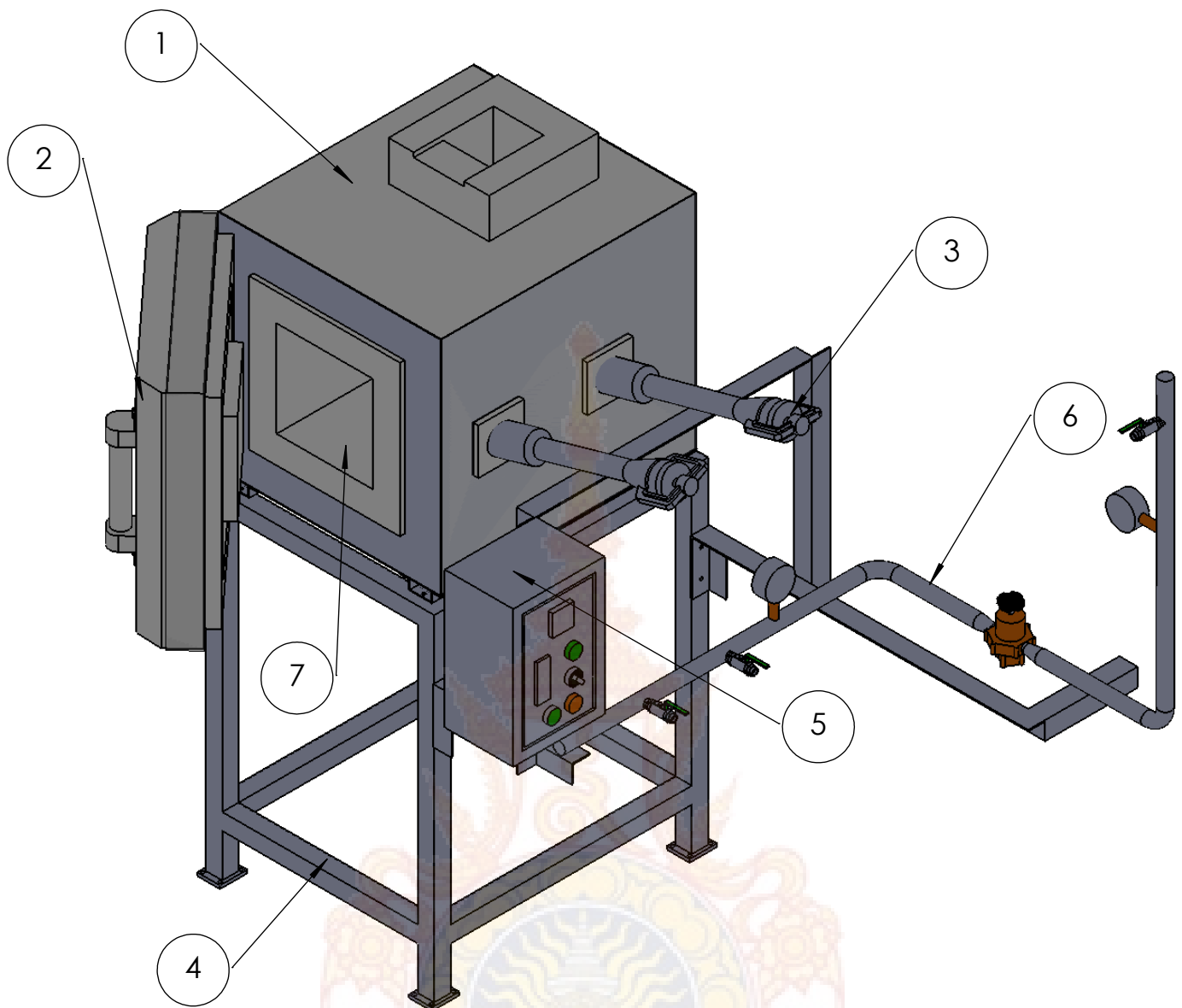
ประเภทของเหล็ก	คุณสมบัติ
เหล็ก SK5	เหล็กคาร์บอนสูง ชุบแข็งได้ง่าย ทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติเป็นสปริงสูง
เหล็ก SUP9	ใช้สำหรับสปริงขึ้นรูปงานร้อน (Hot Format Spring) เช่นเหล็กแผ่นสปริง (Laminated Springs) เหล็กคอยล์สปริง และเหล็กแหนบสปริงที่ใช้ในรถยนต์
เหล็ก EH400	เป็นเหล็กทนสึก

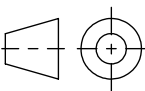


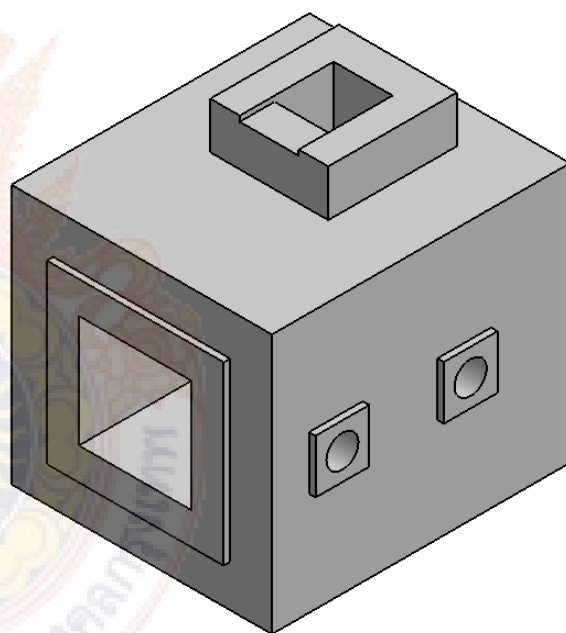
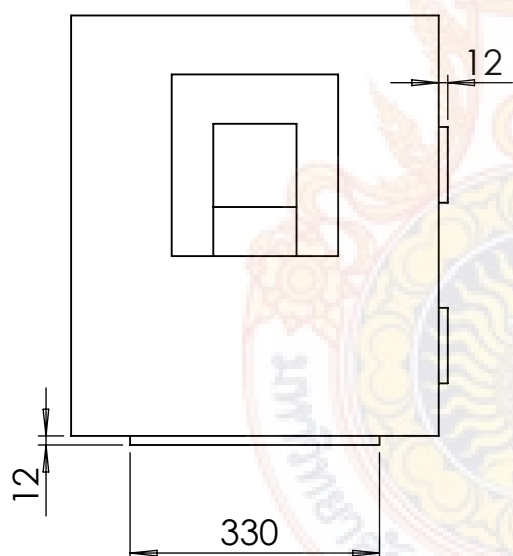
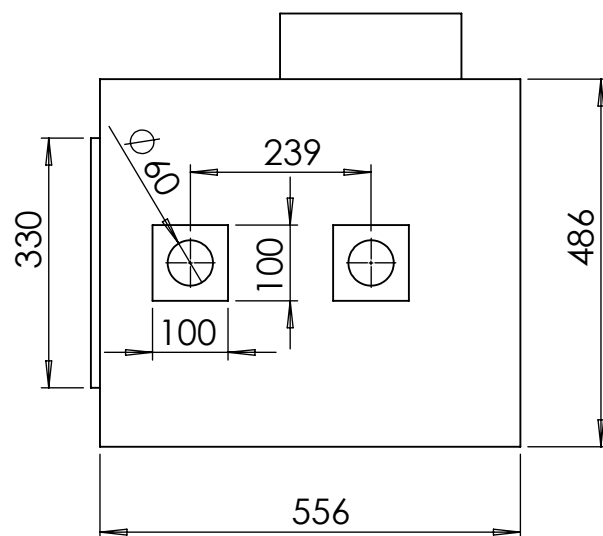
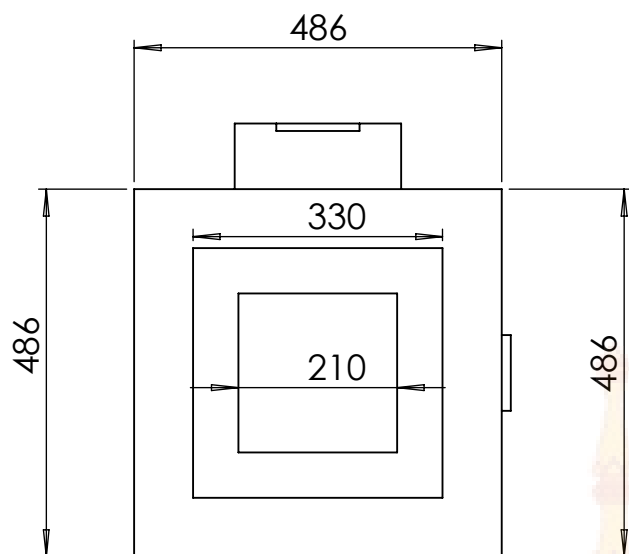
ภาคผนวก ฉ

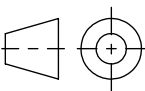
แบบงานเตาเผาเหล็กเพื่อการตีขึ้นรูปโดยเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว

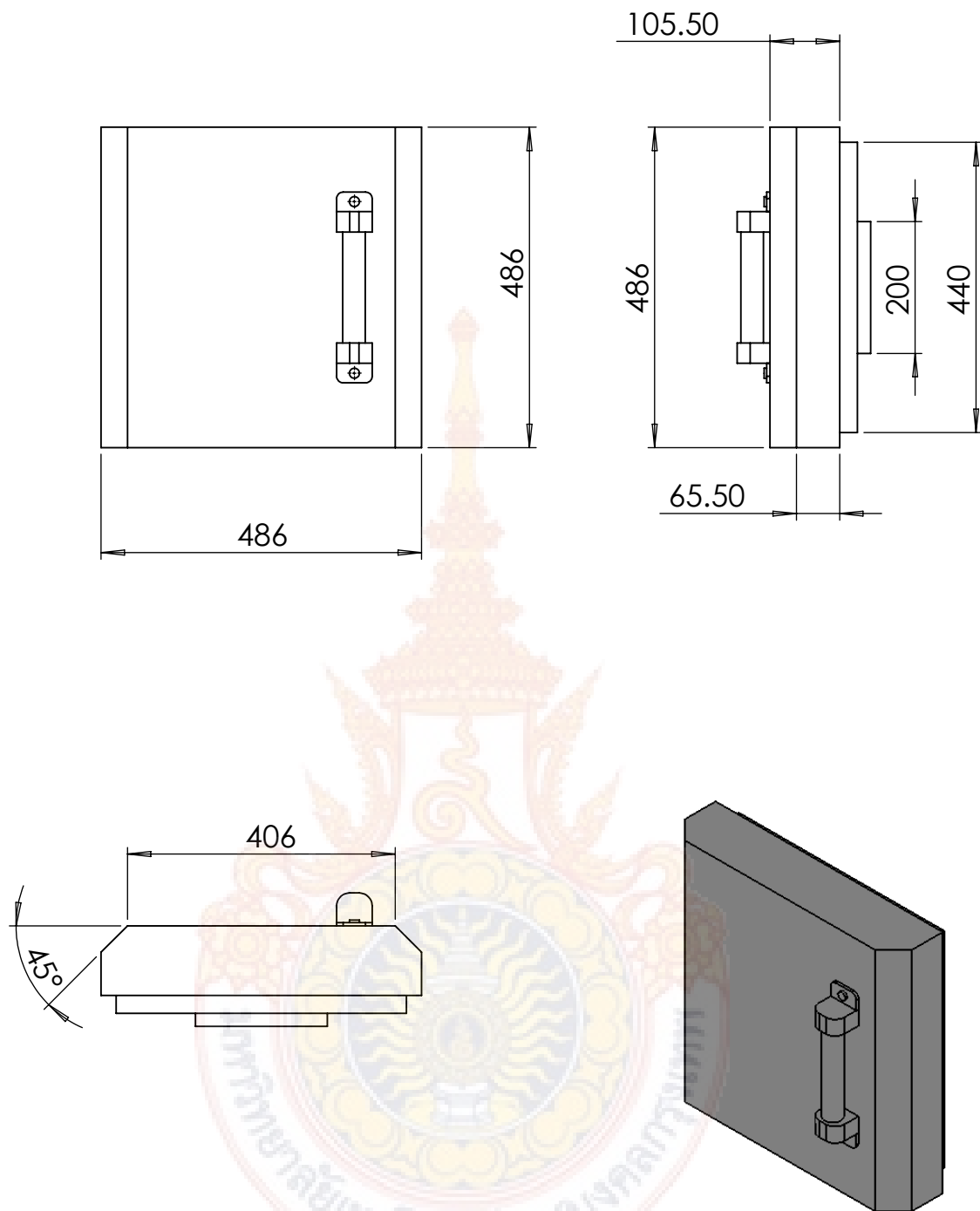




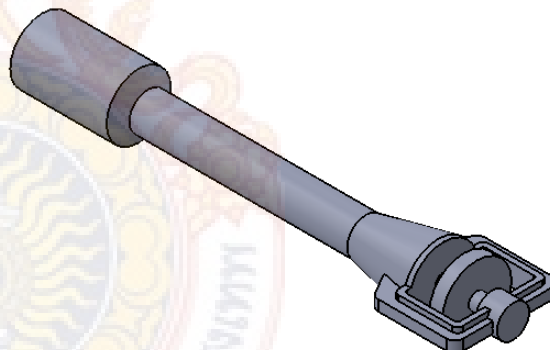
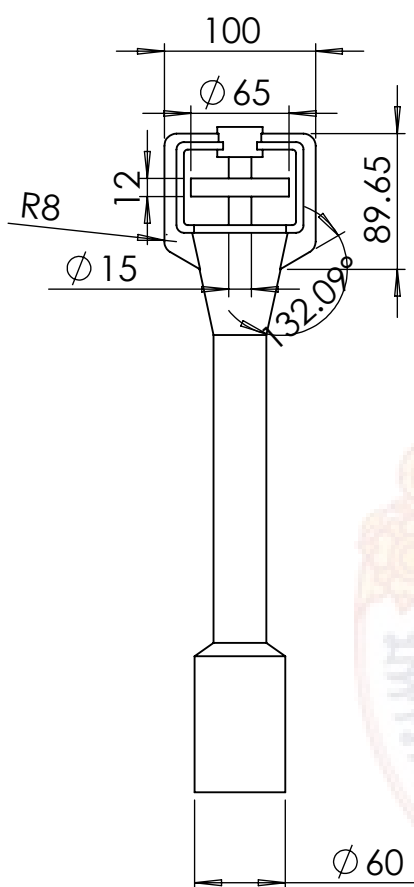
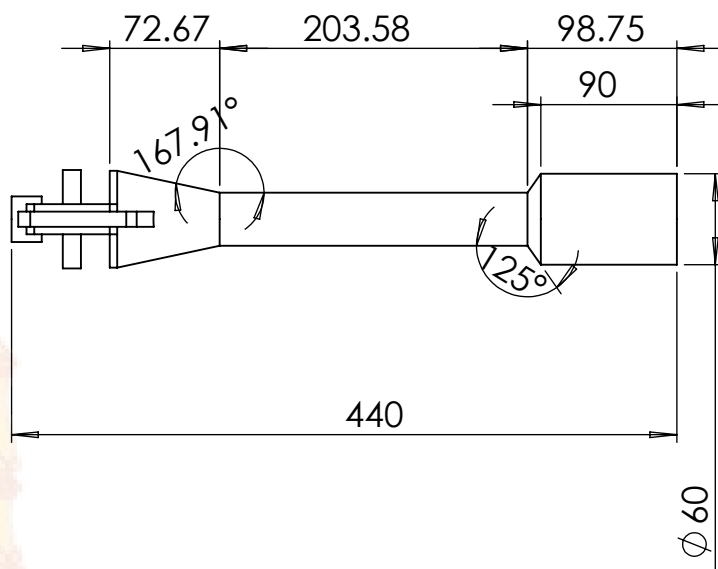
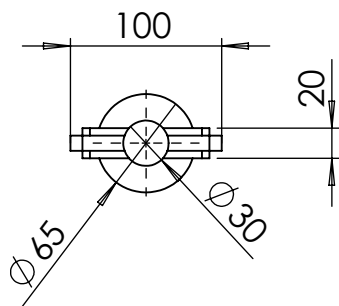
7	อิฐ	330x 330x210	อิฐทนความร้อน	5750314-01-08	1
6	ท่อแก๊ส	Ø27	ท่อเหล็กไร้ตะเคียบ	5750314-01-07	1
5	ตู้ควบคุม	200x 300x150	st37	5750314-01-06	1
4	ฐานเตาเผา	600x 743 x 500	st37	5750314-01-05	1
3	หัวเผา	440x Ø60	st37	5750314-01-04	1
2	ประตูเตา	486x 486 x 486	ss400	5750314-01-03	1
1	ตัวเตา	556x486x486	st37	5750314-01-02	1
0	เตา	1412 x 901 x 1340	st37	5750314-01-00	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา		 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ		
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 10	ชื่อชิ้นงาน เตา		หมายเลขแบบ 5750314-01-00		

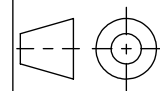


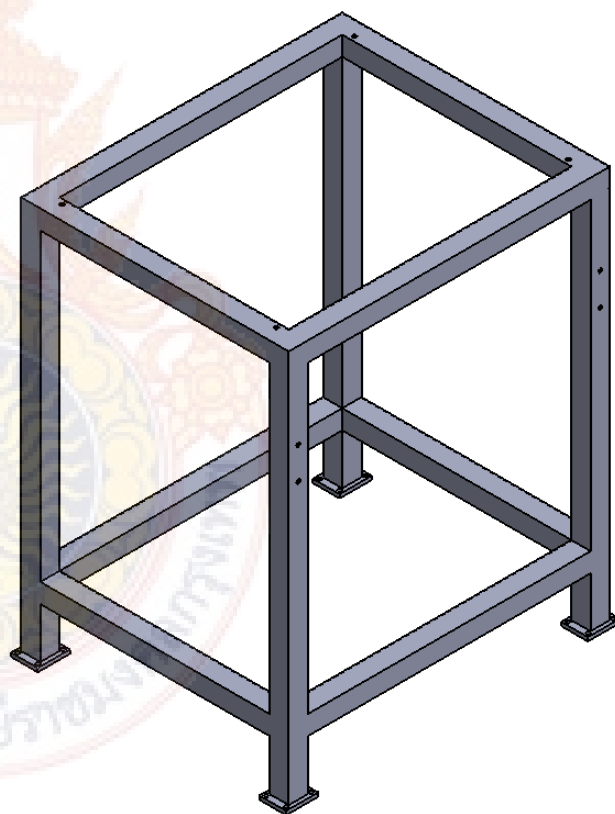
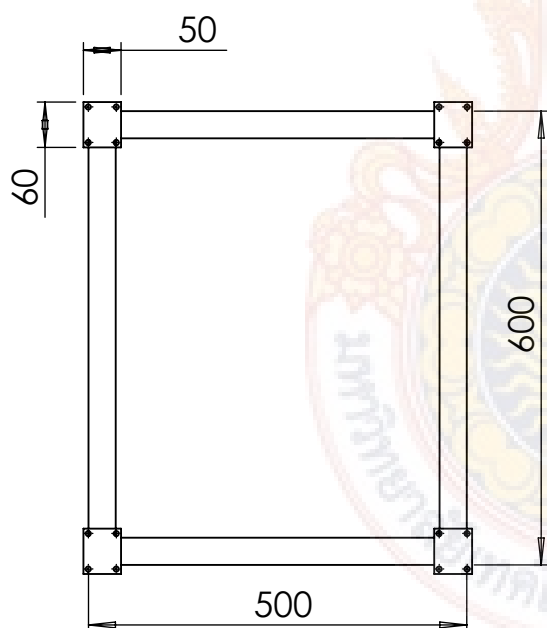
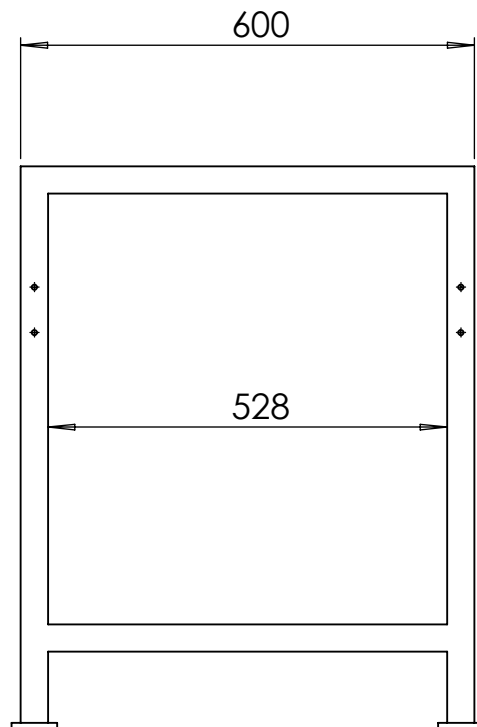
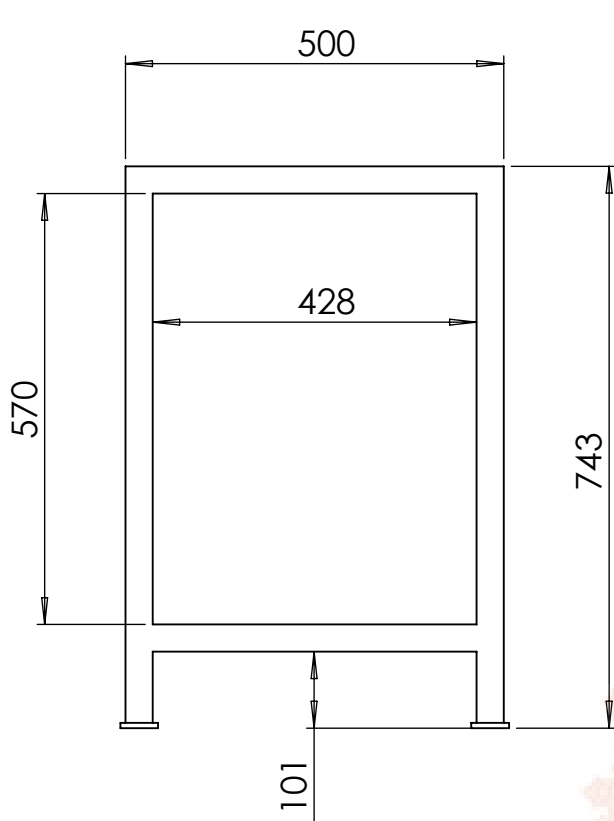
1	เตา	556x486x486	st37	5750314-01-02	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา		 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ		
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 10	ชื่อชิ้นงาน เตา		หมายเลขแบบ 5750314-01-01		

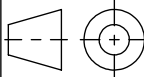


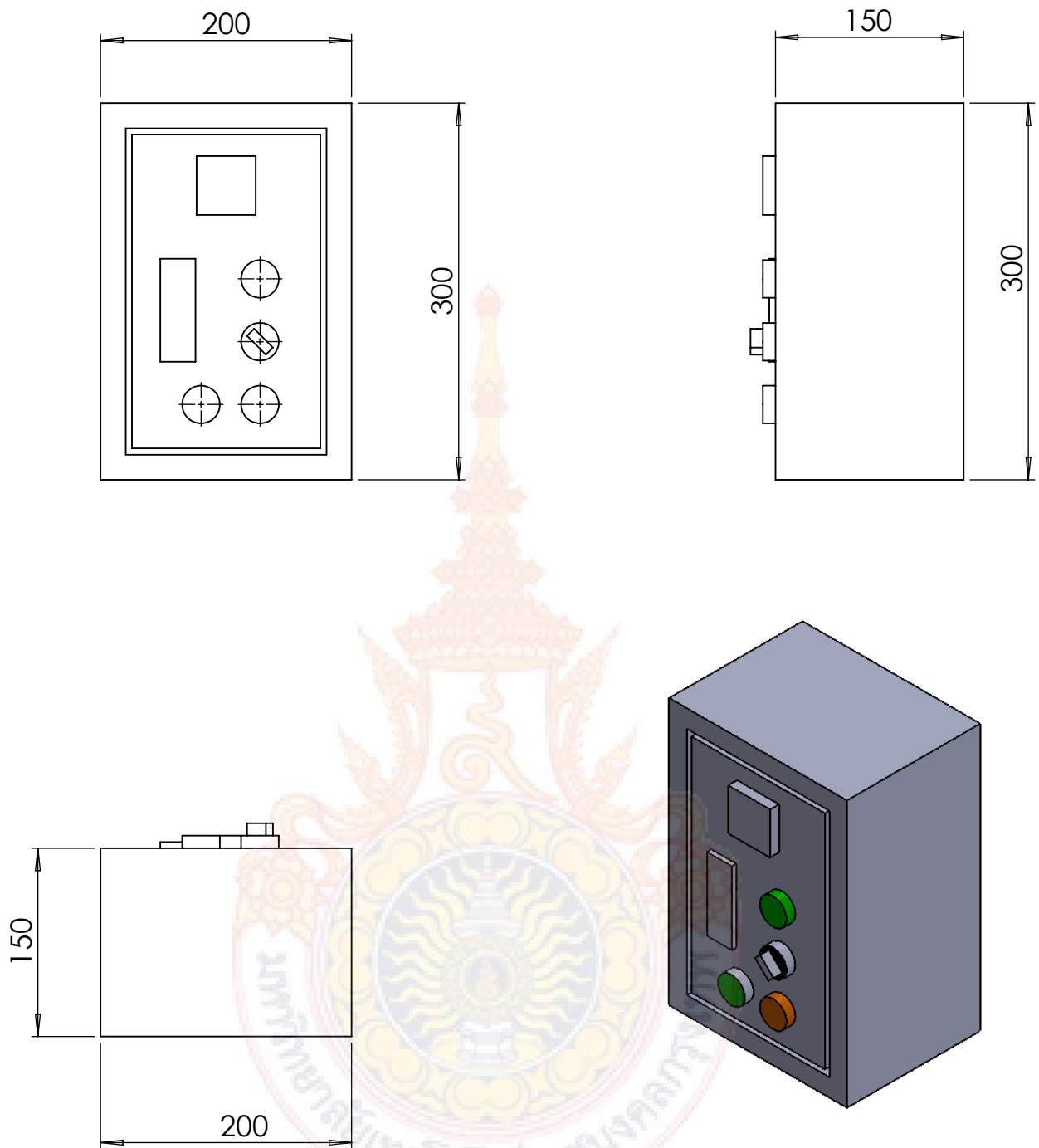
2	ประตูเตา	486x 486 x 486	ss400	5750314-01-03	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา		 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ		
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 10	ชื่อชิ้นงาน ประตูเตา		หมายเลขแบบ 5750314-01-03		

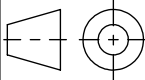


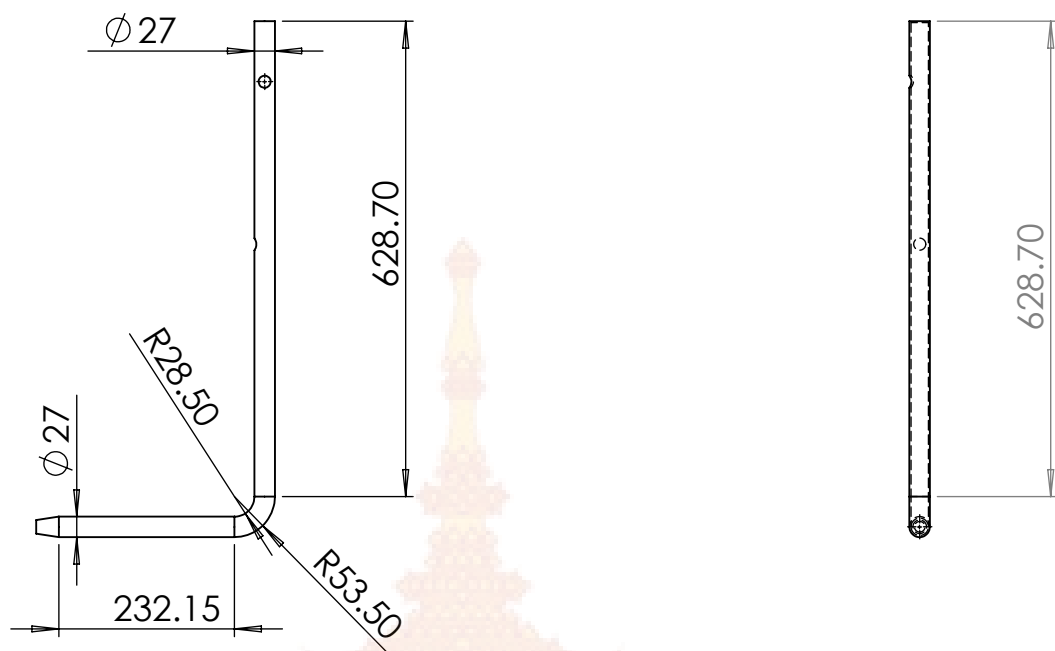
3	หัวเผา	440x Ø60	st37	5750314-01-04	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ	
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 5	ชื่อชิ้นงาน หัวเผา		หมายเลขแบบ 5750314-01-05		

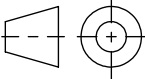


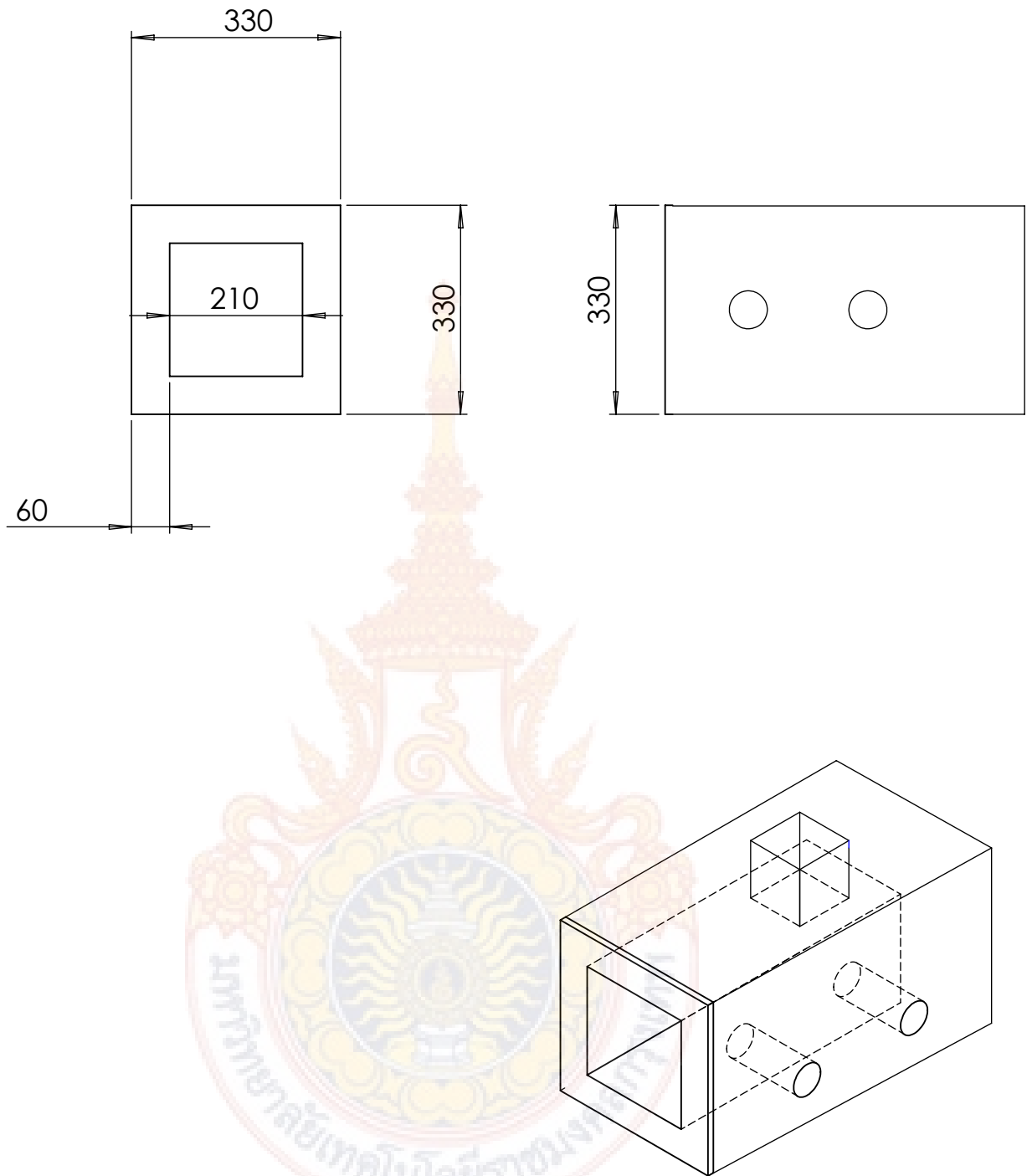
4	ฐานเตาเผา	600x 743 x 500	st37	5750314-01-05	5
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ	
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 10	ชื่อชิ้นงาน ฐานเตาเผา		หมายเลขแบบ 5750314-01-06		

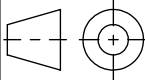


5	ตู้ควบคุม	200x 300x150	st37	5750314-01-06	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา		 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ		
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 5	ชื่อชิ้นงาน ตู้ควบคุม		หมายเลขแบบ 5750314-01-07		



6	ท่อแก๊ส	Ø27	ท่อเหล็กไร้ตะเคียบ	5750314-01-07	8
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา		 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ		
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 5	ชื่อชิ้นงาน ท่อแก๊ส		หมายเลขแบบ 5750314-01-08		



7	อิฐ	330x330x210	อิฐทนความร้อน	5750314-01-08	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	ชนิดวัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียนแบบ	นายกนกพล จินนา		 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ		
ผู้ตรวจแบบ	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ตรวจ ม.ช.	ผศ. กังวาล นาคศุภรังษี				
ผู้ออก	นายกนกพล จินนา				
มาตราส่วน 1 : 5	ชื่อชิ้นงาน อิฐ		หมายเลขแบบ 5750314-01-09		

ประวัติผู้จัดทำ



ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ – สกุล

นางสาววันวิสา มาประกอบ

รหัสนักศึกษา

57503140037-8

เบอร์ติดต่อ

084-6789560

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2561

ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

พ.ศ. 2556

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2560

ฝึกสหกิจศึกษาที่บริษัท ยัสपाल จำกัด
เบอร์ติดต่อ 0-2399-109

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ – สกุล

นายกนกพล จินนา

รหัสนักศึกษา

57503140026-1

เบอร์ติดต่อ

081-3707014

ประวัติการศึกษา

พ.ศ 2561

ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

พ.ศ. 2556

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2560

-

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ – สกุล

นายเจตนิพัทธ์ บ่อไทย

รหัสนักศึกษา

57503140029-5

เบอร์ติดต่อ

089-1443287

ประวัติการศึกษา

พ.ศ 2561

ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

พ.ศ. 2556

มัธยมปลายอิสลามวิทยาลัยแห่งประเทศไทย

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2560

-