บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเตาทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะเตาทดสอบหลอมโลหะขนาดห้องปฏิบัติการ โดยมีการทดสอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งการทดสอบสมรรถนะของเตาด้วยการหลอมโลหะดีบุก ตะกั่วผสมดีบุก อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม และทองแดงผสมสังกะสี ส่วนที่สองการทดสอบเตรียมโลหะผสมทองแดงผสมอะลูมิเนียมด้วยเตาทดสอบ โดยเก็บข้อมูลจากการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำงานของเตาทดสอบ การศึกษาโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานทดสอบก่อนการหลอม การวิเคราะห์ส่วนผสมธาตุในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบก่อนและหลังจากการหลอม

4.1.1 การทดสอบสมรรถนะหัวเผา

การทดสอบหาสมรรถนะของหัวเผา โดยทำการวัดอุณหภูมิในเบ้าหลอมที่เพิ่มขึ้น และอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซอะเซทิลีนกับก๊าซออกซิเจนในช่วงเวลา และทดสอบว่าสามารถทำอุณหภูมิภายในเบ้าหลอมได้ที่ 1200 °C ภายในระยะเวลาเท่าใด ในการทดสอบประสิทธิภาพหัวเผาจะไม่ใส่โลหะลงในเบ้าหลอม การทดสอบได้ใช้หัวเผา 2 แบบ คือ

4.1.1.1 หัวเผาแบบที่ 1

เป็นหัวเผาขนาดเล็ก(Torch tip) ใช้ขนาดหัวเผาเบอร์ 1 ร่วมกับพัดลมเป่าอากาศที่สามารถปรับความเร็วอากาศได้ตั้งแต่ 1.25 – 2.25 ม./ วินาที สามารถป้อนอากาศเข้าช่องเตาทดสอบในปริมาตร 2.07 – 3.73 ลิตร / วินาที โดยมีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้

1. ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนโดยตั้งความดันเกจใช้งานที่ 0.37 บาร์ (0.37 Kg./cm^2)
2. ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนโดยตั้งความดันเกจใช้งานที่ 0.27 บาร์ (0.27 Kg./cm^2)
3. เปลวไฟที่หัวเผากำหนดให้เป็นแบบคาร์บูไลซิ่ง
4. ปรับอัตราส่วนผสมของก๊าซ และความเร็วของลมจากพัดลมเป่าอากาศ

4.1.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพหัวเผาแบบที่ 1

จากการทดสอบประสิทธิภาพหัวเผาแบบที่ 1 อุณหภูมิภายในเตาทดสอบเมื่อใช้

หัวเผาแบบที่ 1 ขึ้นอยู่กับการปรับอัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซอะเซทิลีนที่หัวเผา และความเร็วอากาศที่เข้าเตาทดสอบจากพัดลมเป่าอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีรายละเอียดการทด สอบดังนี้

เส้น A คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 161.24 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 10.69 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 15 : 1 ความเร็วอากาศในช่องเข้าเตาทดสอบ 2.25 ม./ วินาที ปริมาตรอากาศที่เข้าเตา 3.73 ลิตร / วินาที

เส้น B คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 205.23 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 15.50 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 13 : 1 ความเร็วอากาศในช่องเข้าเตาทดสอบ 2.25 ม./วินาที ปริมาตรอากาศที่เข้าเตา 3.73 ลิตร/วินาที

เส้น C คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 190.34 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 21.148 ลิตร/ ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 9 : 1 ความเร็วอากาศในช่องเข้าเตาทดสอบ1.68 ม./วินาที ปริมาตรอากาศที่เข้าเตา 2.78 ลิตร/วินาที

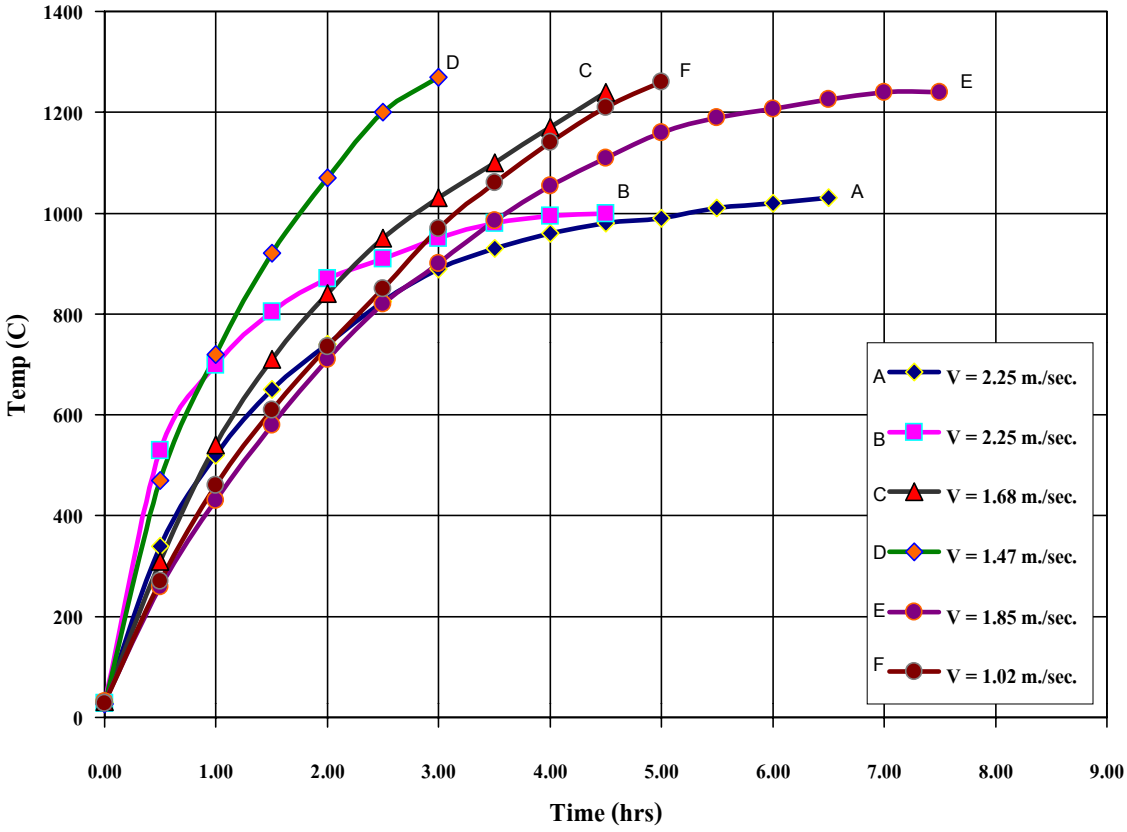
เส้น D คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 224.89 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 43.88 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 5 : 1 ความเร็วอากาศเข้าในช่องเข้าเตาทดสอบ 1.47 ม./วินาที ปริมาตรอากาศที่เข้าเตา 2.44 ลิตร/วินาที

เส้น E คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 222.83 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 20.01 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 11 : 1 ความเร็วอากาศในช่องเข้าเตาทดสอบ 1.85 ม./วินาที ปริมาตรอากาศที่เข้าเตา 3.07 ลิตร/วินาที

เส้น F คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 421.20 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 41.50 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 10 : 1 ความเร็วอากาศในช่องเข้าเตาทดสอบ 1.02 ม./วินาที ปริมาตรอากาศที่เข้าเตา 1.69 ลิตร/วินาที

4.1.1.3 ข้อสังเกตจากการทดสอบหัวเผาแบบที่ 1

จากกราฟบันทึกผลการทดสอบ จะเห็นว่าอัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซอะเซทิลีนต่อก๊าซออกซิเจนที่สามารถทำอุณหภูมิได้สูง 1270 °C ในช่วงเวลา 3 ชม. โดยใช้ความเร็วอากาศเข้าเตาทดสอบ 1.47 ม./ วินาที คือเส้นกราฟ D และถึงแม้ว่าการเปิดเกจวัดควบคุมความดันที่ถังก๊าซที่ใช้งานโดยให้อัตราการไหลของก๊าซคงที่ แต่ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณก๊าซที่ใช้ต่อช่วงเวลา คือ วาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่หัวเผา และความเร็วของอากาศจากพัดลมเป่าอากาศถ้าปริมาณอากาศจากพัดลมเป่าอากาศมากเกินไป ก็จะพาพลังงานความร้อนออกจากห้องเผาไหม้เร็วขึ้นแทนที่จะถ่ายให้กับผนังเตาและเบ้าหลอมโลหะ ซึ่งทำให้การสูญเสียความร้อนไปกับไอเสียส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาทดสอบไม่สูงเท่าที่ควร



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิภายในเตาทดสอบเมื่อใช้หัวเผาแบบที่ 1

4.1.1.4 หัวเผาแบบที่ 2

เป็นหัวเผา (Burner) ของยี่ห้อ CIG รุ่น Comet ใช้แรงดันจากการเผาไหม้ระหว่างก๊าซอะเซทิลีนกับก๊าซออกซิเจนโดยตรงไม่มีการใช้พัดลมเป่าอากาศ สมรรถนะของหัวเผาสามารถใช้ก๊าซออกซิเจนที่อัตรา 74 ลิตร / นาที และใช้ก๊าซอะเซทิลีนที่อัตรา 65 ลิตร / นาที โดยมีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้

1. ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนโดยตั้งความดันเกจใช้งานที่ 1 บาร์ (1 Kg./cm^2)
2. ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนโดยตั้งความดันเกจใช้งานที่ 2 บาร์ (2 Kg./cm^2)
3. เปลวไฟที่หัวเผากำหนดให้เป็นแบบนอร์มอนไลซิ่ง

4.1.1.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพหัวเผาแบบที่ 2

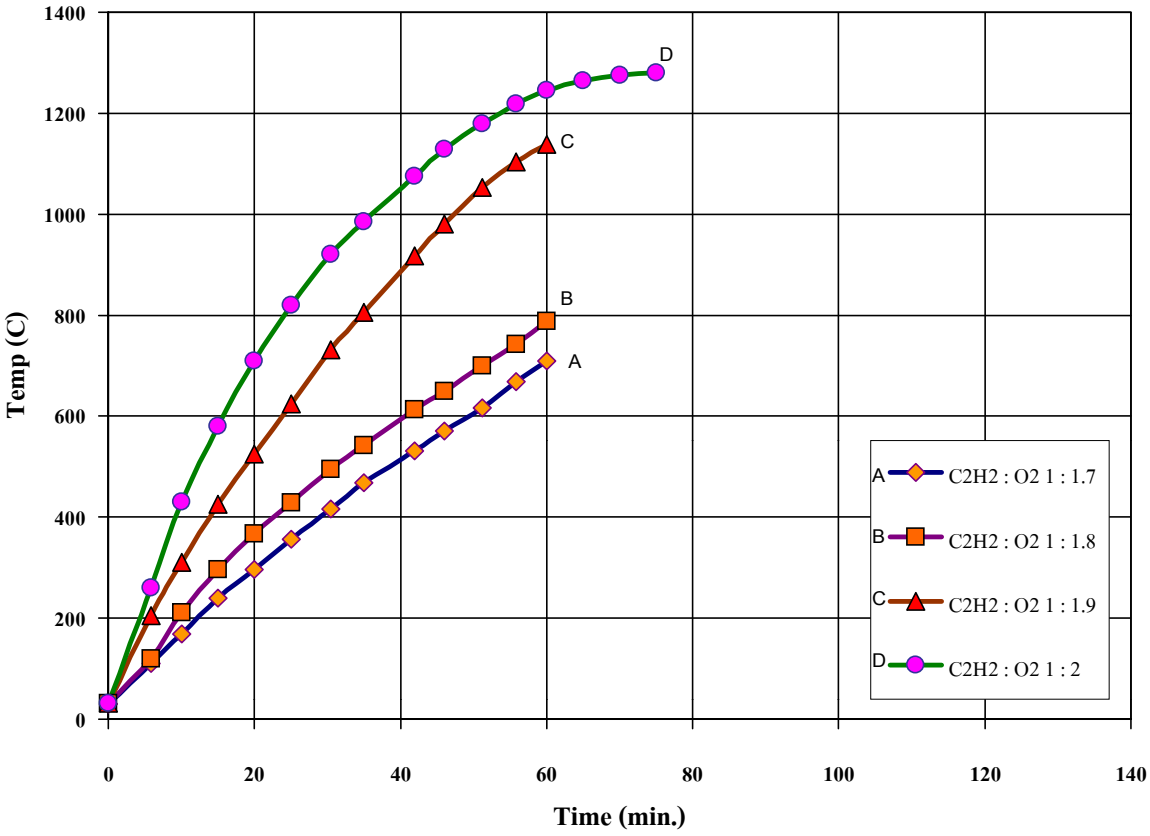
จากการทดสอบประสิทธิภาพหัวเผาแบบที่ 2 อุณหภูมิภายในเตาทดสอบเมื่อใช้หัวเผาแบบที่ 2 ขึ้นอยู่กับการปรับอัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซอะเซทิลีนที่หัวเผาโดย ตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

เส้น A คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 633.6 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 1102.2 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 1 : 1.7

เส้น B คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน681 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 1225.8 ลิตร/ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 1 : 1.8

เส้น C คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 1125 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 2137.5 ลิตร/ ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 1 : 1.9

เส้น D คือ อุณหภูมิภายในเตาทดสอบที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา เมื่อใช้อัตราก๊าซอะเซทิลีน 1282 ลิตร/ชม. และก๊าซออกซิเจน 2564 ลิตร/ ชม. อัตราส่วนผสมก๊าซเผาไหม้ 1 : 2



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิภายในเตาทดสอบเมื่อใช้หัวเผาแบบที่ 2

4.1.1.6 ข้อสังเกตจากการทดสอบหัวเผาแบบที่ 2

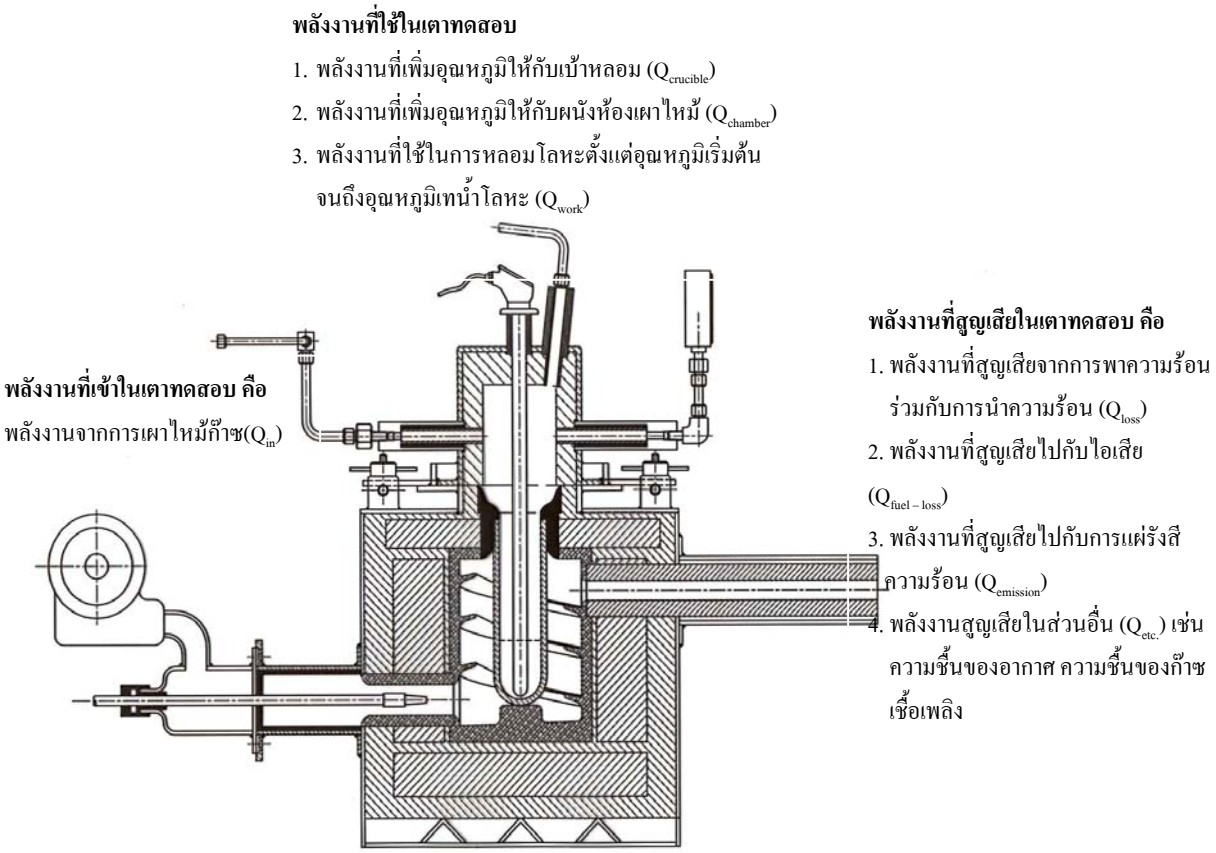
จากกราฟบันทึกผลการทดสอบ จะเห็นได้การเปิดเกจวัดควบคุมความดันที่ถังก๊าซที่ใช้งานโดยให้อัตราการไหลของก๊าซคงที่ แต่ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณก๊าซที่ใช้ต่อช่วงเวลา คือ วาล์วควบคุมอัตราการไหลของก๊าซที่หัวเผามีผลโดยตรงต่อลักษณะเปลวไฟที่หัวเผา และอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้ แต่มีข้อจำกัดของหัวเผาแบบนี้ คือ การปรับอัตราการไหลของก๊าซอะเซทิลีนจะต้องไม่ต่ำกว่า 565 ลิตร/ชม. หรือปริมาตรการไหล 9.41 ลิตร/นาที และปรับอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนจะต้องไม่ต่ำกว่า 791 ลิตร/ชม.หรือปริมาตรการไหล 13.1 ลิตร/นาที มิฉะนั้นจะเกิดการลุกไหม้ภายในท่อส่งก๊าซที่หัวเผาทำให้เกิดเสียงดัง เพราะความดันของก๊าซภายในท่อส่งก๊าซที่หัวเผาต่ำเกินไปทำให้เปลวไฟย้อนกลับเข้าไปภายในท่อส่งก๊าซที่หัวเผาได้ และสามารถสร้างความเสียหายให้กับห้องผสมก๊าซภายในหัวเผาได้ และสาเหตุอีกอย่างคือแรงดันจากการเผาไหม้ของก๊าซเชื้อเพลิงน้อยเกินไปทำให้ประสิทธิภาพเปลวไฟไหลวนรอบเบ้าหลอม และผนังเตาไม่ดีเท่าที่ควร สังเกตได้จากการหมุนเอียงเตาทดสอบจะมีเปลวไฟบางส่วนออกมาที่ตำแหน่งติดตั้งหัวเผาอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุต่อสายส่งก๊าซเชื้อเพลิงได้

4.1.2 การวิเคราะห์พลังงานภายในเตาทดสอบ

พลังงานความร้อนที่เข้าเตาทดสอบเป็นพลังงานความร้อนที่สะสมในผนังเตา และในเบ้าหลอมเพื่อใช้ในการหลอมโลหะ แต่พลังงานความร้อนส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปกับก๊าซร้อน การนำความร้อนร่วมกับการพาความร้อนของวัสดุผนังเตา และการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นในการปรับปรุงอุปกรณ์เตาทดสอบเพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณความร้อนเข้าในเตาทดสอบ และเพื่อใช้พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าให้มีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

การทำดุลความร้อน (Heat balance) คือการคำนวณความร้อนเข้า และความร้อนออกของเตาทดสอบภายในเวลาคงที่ ถ้าอัตราการไหลเป็นแบบคงที่ (Steady state steady flow) เมื่อกำหนดให้ความร้อนที่เข้าสู่เตาทดสอบเป็นความร้อนเข้า และความร้อนที่ออกจากเตาทดสอบเป็นความร้อนออก จากกฎของการอนุรักษ์ของพลังงาน (Law of conservation of energy) จะได้ว่า

ความร้อนเข้า = ความร้อนออก



รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในเตาทดสอบ

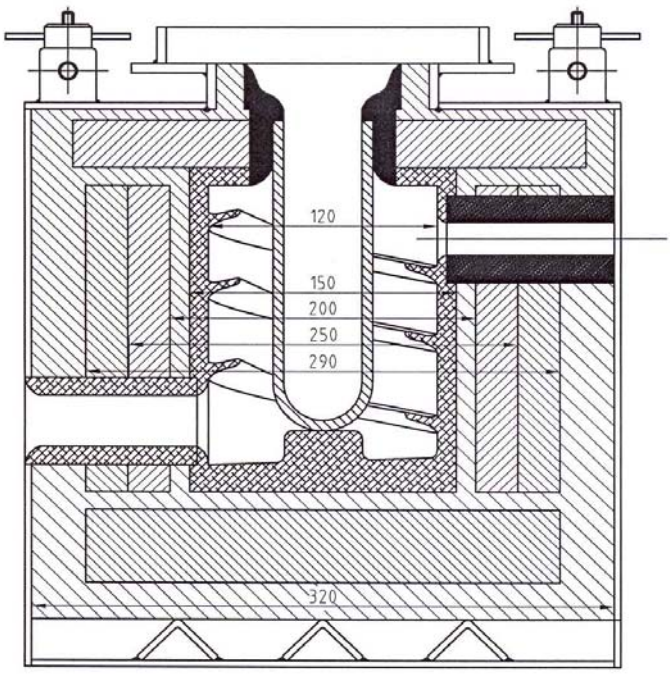
4.1.2.1 การสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อนของผนังเตา

อัตราการถ่ายพลังงานความร้อนของเตาทดสอบเกิดจากการพา และการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นถ้าผลต่างของอุณหภูมิด้านอุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำมีมากหรือพื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่านมีมาก แต่ถ้าระยะทางที่ความร้อนถ่ายเทยิ่งยาวขึ้นความร้อนก็จะถ่ายเทได้น้อยลง ขึ้นอยู่กับค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุทนไฟที่ใช้ทำผนังเตา ในการสร้างผนังเตาทดสอบจะบุไว้ด้วยผนังทนไฟเป็นชั้น ๆ ชั้นในสุดภายในห้องเผาไหม้บุด้วยอิฐทนไฟผสมกับดินทนไฟมีการเสริมครีบ เพื่อช่วยบังคับทิศทางการไหลวนของเปลวไฟให้ไหลวนรอบเบ้าหลอมก่อนที่จะออกไปที่ปล่องไอเสีย ชั้นนอกของผนังบุผนังเตาทดสอบจะเป็นวัสดุฉนวนทนความร้อนเพื่อป้องกันไม้ให้ความร้อนถ่ายเทออกมาที่ผิวผนังเตาทดสอบ รายละเอียดชั้นของวัสดุผนังเตาทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

1. พื้นที่ห้องเผาไหม้ มีขนาด ∅ 120 ม.ม.มีความสูงผนังห้อง150 ม.ม. มีพื้นผิวรวม 0.07528 ตารางเมตร
2. ผนังชั้นที่ 1 ทำจาก Thermal ceramic 85 P มีความหนา 15 ม.ม. มีขนาด ∅

ภายนอก 150 ม.ม. มีค่าสภาพการนำความร้อน (k) 1.40 W/m.K

3. ผนังชั้นที่ 2 ทำจากอิฐทนไฟ เกรด KB - 60 มีความหนา 25 ม.ม. มีขนาด ∅ ภายนอก 200 ม.ม. มีค่าสภาพการนำความร้อน (k) 1.37 W/m.K
4. ผนังชั้นที่ 3 ทำจากอิฐอะลูมิน่า เกรด C - 2 มีความหนา 25 ม.ม. มีขนาด ∅ ภายนอก 250 ม.ม. มีค่าสภาพการนำความร้อน (k) 0.071 W/m.K
5. ผนังชั้นที่ 4 ทำจากผงอิฐอะลูมินา เกรด C – 2 ผสมกับปูนทนไฟ เกรด Mortar 43 – HM มีความหนา 20 ม.ม. มีขนาด ∅ ภายนอก 290 ม.ม. มีค่าสภาพการนำความร้อน (k) 0.105 W/m.K
6. ผนังชั้นที่ 5 ทำจากผงอิฐทนไฟ Union brick ผสมกับดินทนไฟ มีความหนา 15 ม.ม. มีขนาด ∅ ภายนอก 320 ม.ม. มีค่าสภาพการนำความร้อน (k)1.04 W/m.K
7. ผนังชั้นที่ 6 ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 มีความหนา 3 ม.ม. มีค่าสภาพการนำความร้อน (k) 12.6 W / m.K



รูปที่ 4.4 ขนาดผนังเตาทดสอบที่บุด้วยวัสดุทนไฟและวัสดุฉนวนทนความร้อน

1. การหามวลของผนังห้องเผาไหม้ทำจากวัสดุ Thermal ceramic 85 P มีขนาด ∅ ภายใน 120 ม.ม. ขนาด ∅ ภายนอก 150 ม.ม. ความหนาผนังวัสดุทนไฟ 25 ม.ม. ความสูงผนัง 150 ม.

ม. มีการเสริมครีบ (Fin) สันเกลียว ภายในผนังห้องเผาไหม้ขนาด ∅ 30 ม.ม. จำนวน 3 รอบ มีค่าความหนาแน่น (ρ) 2120 kg./m.^{3} มีค่าความจุความร้อนจำเพาะ (c_p) 0.92 kJ/kg.°K

การหาปริมาตรผนังห้องเผาไหม้ ($V_{chamber}$)

$$V_{chamber} = V_{lid} + V_{wall} + V_{bottom} + V_{fin}$$
$$V_{chamber} = (2.072 + 9.537 + 9.420 + 3.993)10^{-4} m^3$$
$$V_{chamber} = 25.022 \times 10^{-4} m^3$$

การหามวลผนังห้องเผาไหม้ ($m_{chamber}$)

$$m_{chamber} = \rho \cdot V_{chamber}$$
$$m_{chamber} = 2120 \frac{kg}{m^3} \left(25.022 \times 10^{-4}\right) m^3$$
$$m_{chamber} = 5.304 kg$$

2. การหาการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนเกิดขึ้นร่วมกับการนำความร้อนผ่านชั้นผนังวัสดุทนไฟเตาทดสอบจำนวน 6 ชั้น ที่อุณหภูมิสูงสุดโดยใช้กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ หรือจากสมการการนำความร้อนของ Ohm's law heat transfer across slab เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวนอกเตาเท่ากับ 8 W/m.^{2}K

การสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

$$\frac{1}{U} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$$
$$\frac{1}{U} = \frac{0.015}{1.40} + \frac{0.025}{1.37} + \frac{0.025}{0.071} + \frac{0.020}{0.105} + \frac{0.015}{1.04} + \frac{0.003}{12.6} + \frac{1}{8} \frac{m \cdot m \cdot K}{W}$$
$$U = 0.3289 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

การหาพื้นที่วัสดุทนไฟผนังเตาทดสอบ โดยแบ่งส่วนผนังเตาทดสอบออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นพื้นที่ส่วนผนังเตาด้านบนของห้องเผาไหม้มีขนาด 320 ×320 ม.ม. และมีช่องวงกลมขนาด ∅ 70 ม.ม. ตรงกลาง บุด้วยวัสดุทนไฟและวัสดุฉนวนทนความร้อน จำนวน 5 ชั้นพื้นที่ส่วนผนังเตาด้านบน (A_{lid})

$$A_{lid} = 320 \times 320 - \left(\frac{\pi \cdot 70^2}{4}\right) mm^2 \times 5$$
$$A_{lid} = 492767.5 mm^2 = 0.4927 m^2$$