บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบดำเนินการไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึง แผนการดำเนินการ ตัวแปรสำหรับการทดสอบ การเตรียมการทดสอบ วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

3.1 แผนการดำเนินการ

3.1.1 ศึกษาสาระสำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเติมสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศ รวมถึงผลของปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศที่มีต่อประสิทธิภาพของท่อความร้อนโดยการสืบค้นจากหนังสือและบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 เนื่องจากในการทดสอบต้องผลิตชิ้นงานตัวอย่างซึ่งจะต้องมีการทดสอบ ปรับเปลี่ยนปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้องกับแผนดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องเติมสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศภายในท่อความร้อนและชุดทดสอบทางความร้อนทั้งแบบน้ำร้อนและฮีตเตอร์

3.1.3 ดำเนินการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยการทำชิ้นงานตัวอย่างกับเครื่องเติมสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศที่เตรียมไว้ เมื่อเสร็จสิ้นก็นำมาทดสอบทางความร้อนต่อไป โดยที่จะวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดที่สนใจและคำนวนหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานทางความร้อนต่อไปโดยในแต่ละชุดการทดลองรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 3.4

3.1.4 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาตัวแปรความสัมพันธ์ เช่น ผลกระทบต่อค่าความต้านทานทางความร้อน

3.1.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบทั้งหมด

3.1.6 เขียนวิทยานิพนธ์ และสอบวิทยานิพนธ์

3.2 วิธีการวิจัย

3.2.1 ขั้นตอนหลักของงานวิจัย

เมื่อพิจารณาจากกระบวนการผลิตท่อความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนในการผลิต ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ตัดท่อทองแดงให้ได้ความยาวที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 : ทำการประกอบวัสดุพรุนเข้าไปภายในท่อ

ขั้นตอนที่ 3 : ทำท่อลดที่ปลายด้านหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 4 : เชื่อมปิดปลายท่อที่ได้จากขั้นตอนที่3

ขั้นตอนที่ 5 : ทำท่อลดอีกด้านหนึ่งให้ปลายท่อมีความยาวเพียงพอ
ต่อการสำหรับเติมสารทำงาน

ขั้นตอนที่ 6 : เติมสารทำงานพร้อมทำสุญญากาศแล้วปิดท่อชั่วคราว

ขั้นตอนที่ 7 : ตัดท่อลดส่วนเกินออก

ขั้นตอนที่ 8 : ทำการเชื่อมปิดท่อด้านบน

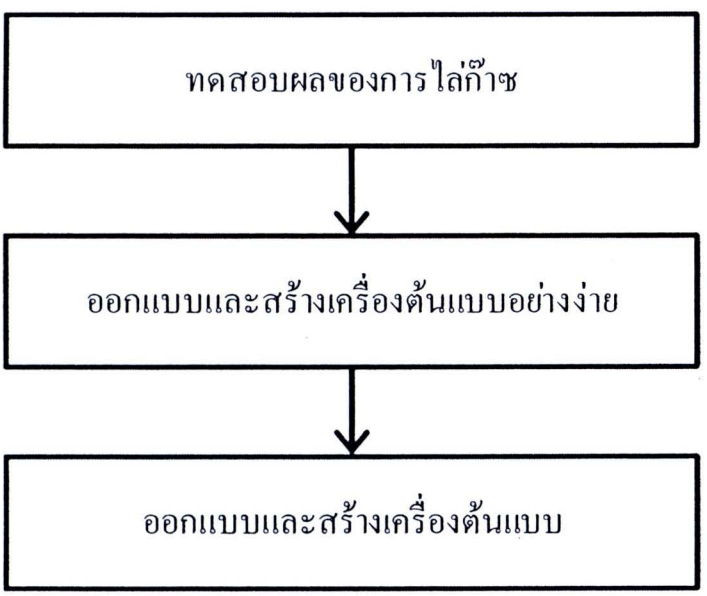
จากขั้นตอนในการผลิตทั้งหมดที่กล่าวข้างต้น ข้อมูลในการผลิตและการทดลองต่างๆของบริษัทผู้ผลิตท่อความร้อนแสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนการผลิตที่ส่งผลต่อสมรรถนะของท่อความร้อน คือ การควบคุมสารทำงานและสภาวะสุญญากาศในขั้นตอนที่ 6 นั่นเอง

โดยการวิจัยจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

3.2.1.1 ทดสอบผลของการไล่ก๊าซ

3.2.1.2 การออกแบบเครื่องเติมสารทำงานและควบคุมสภาสะสุญญากาศต้นแบบอย่างง่าย

3.2.1.3 การออกแบบและสร้างเครื่องเติมสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศต้นแบบ



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย

3.2.2 ลำดับขั้นตอนการวิจัย

3.2.2.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.2.2 ผลิตท่อความร้อนและทดสอบการกระจายอุณหภูมิตลอดท่อความร้อน

3.2.2.3 วิเคราะห์และสรุปความจำเป็นของการไล่ก๊าซ ในกระบวนการผลิตท่อความร้อน

3.2.2.4 ออกแบบและสร้างเครื่องเติมสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศต้นแบบอย่างง่ายโดยอ้างอิงผลที่ได้จากหัวข้อ 3.2.2.3

3.2.2.5 ผลิตท่อความร้อนทดสอบจากเครื่องต้นแบบอย่างง่ายในข้อ 3.2.2.4

3.2.2.6 วิเคราะห์ แก้ไข และ ปรับปรุงเครื่องต้นแบบอย่างง่ายเพื่อพัฒนาสู่เครื่องต้นแบบ

3.2.2.7 ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบกับสายการผลิต

3.2.2.8 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

3.3 ตัวแปรในการทดสอบ

3.3.1 ท่อความร้อนผลิตจากท่อทองแดงแบบมีร่องภายในที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 มม. โดยโครงสร้างวัสดุพรุนเป็นแบบเส้นใยทองแดงขนาด 0.05 มิลลิเมตร จำนวน 200 เส้น และเมื่อทำการทดสอบแบบท่อกลมเสร็จแล้ว จะทำการทับแบนที่ความหนา 1.9±0.1 มิลลิเมตร และทำการทดสอบซ้ำตามแผนงานต่อ

3.3.2 สารทำงานที่ใช้ทำชิ้นงานตัวอย่าง คือ น้ำดี-ไอออไนซ์ (Deionized water) โดยปริมาณการเติมอยู่ในช่วง 0.20-1.60 มิลลิลิตร (ประมาณ 0-30% ของช่องว่างไอ) เพื่อที่จะหาช่วงปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมทั้งชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นแบบกลมและแบบแบน และจะทำการเปรียบเทียบผลเพื่อเลือกช่วงปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมเพียงช่วงเดียวเท่านั้น

3.3.3 ขนาดรูเติมสารควบคุมอยู่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3±0.2 มิลลิเมตร

3.3.4 การทำชิ้นงานตัวอย่างแบบมีการไล่ก๊าซคือการให้ความร้อนกับสารทำงานหลังจากการทำสุญญากาศโดยจะใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70±3 °C เพื่อให้ความร้อนกับสารทำงานในท่อความร้อน และการทำชิ้นงานตัวอย่างแบบไม่มีการไล่ก๊าซคือไม่ให้ความร้อนสารทำงานหลังการทำสุญญากาศ

3.3.5 การทดสอบการรั่วโดยความดันอากาศ (Air pressure test) จะใช้ลมอัดที่ความดันอากาศ 5-6 kgf/cm^2 อัดใส่ชิ้นงานในถังความดันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.6 การทดสอบด้วยน้ำร้อนจะควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C และ 80 °C โดยใช้เวลาในการทดสอบที่ 30 และ 60 วินาที

3.3.7 การบ่มท่อความร้อน จะทำด้วยการใส่ในเตาอบอุณหภูมิสูงที่ 180 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.8 การทดสอบทางความร้อนด้วยฮีตเตอร์ จะทดลองที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์

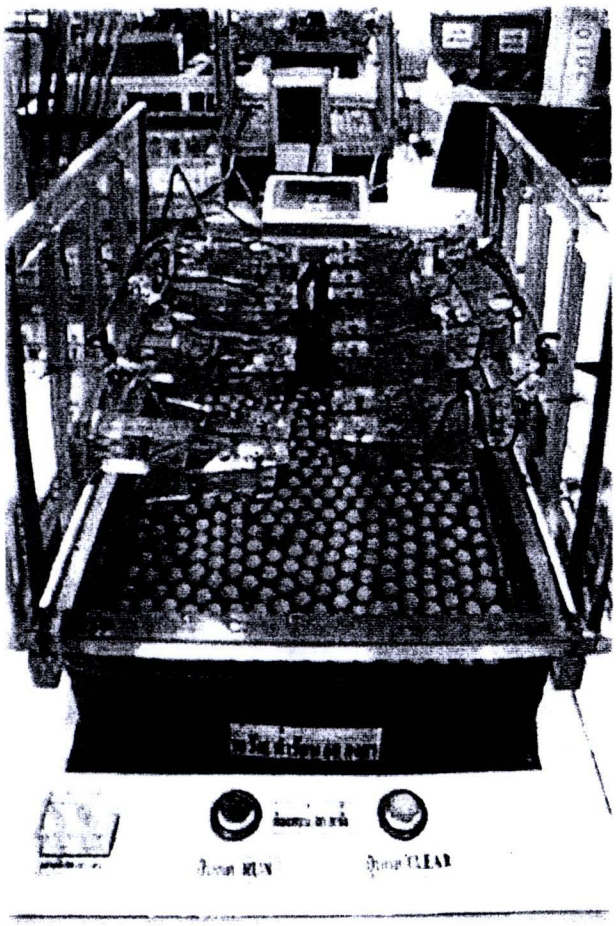
3.4 ชุดทดสอบ

3.4.1 ชุดทดสอบทางน้ำร้อน ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.4.1.1 อ่างน้ำพลาสติก (Bath) สำหรับใส่น้ำ

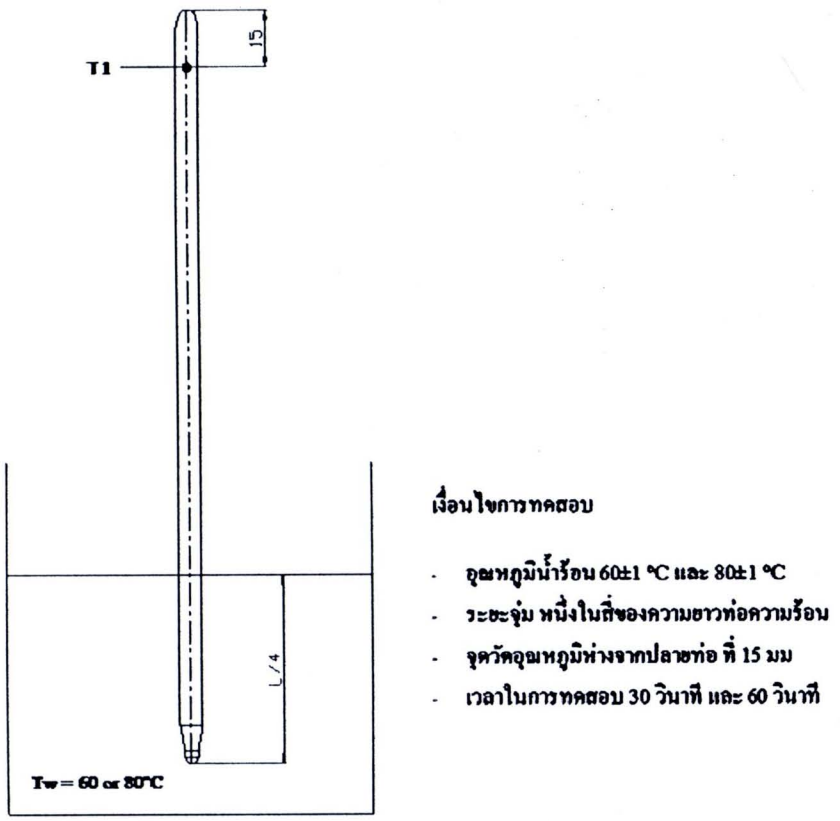
3.4.1.2 ฮีตเตอร์พร้อมชุดควบคุม (Thermal Heater) สำหรับให้ความร้อนกับน้ำพร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ

3.4.1.3 ตัวยึดจับท่อความร้อน (Jig) ทั้งแบบกลมและแบน



รูปที่ 3.2 ชุดทดสอบทางน้ำร้อน

โดยมีเงื่อนไขการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เงื่อนไขการทดสอบด้วยน้ำร้อนสำหรับท่อความร้อนในแนวดิ่ง

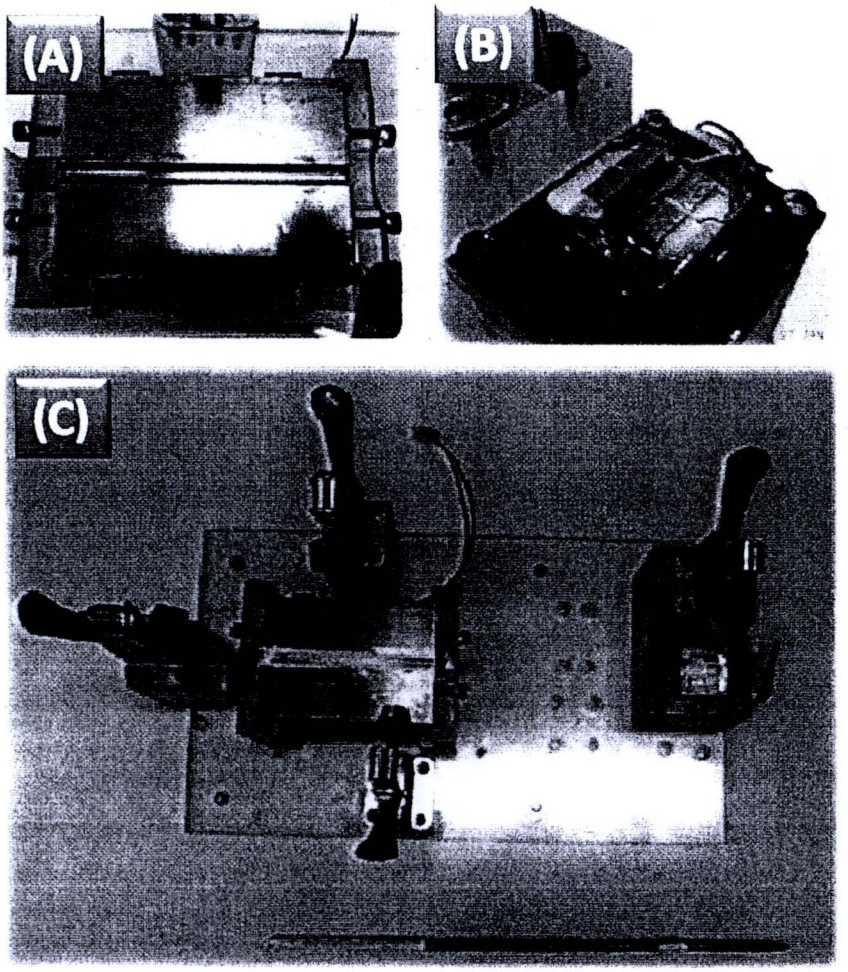
3.4.2 ชุดทดสอบทางฮีตเตอร์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.4.2.1 แท่งฮีตเตอร์ (Heater cartridge)

3.4.2.2 กล่องทองแดง (Heater block) สำหรับใส่แท่งฮีทเตอร์

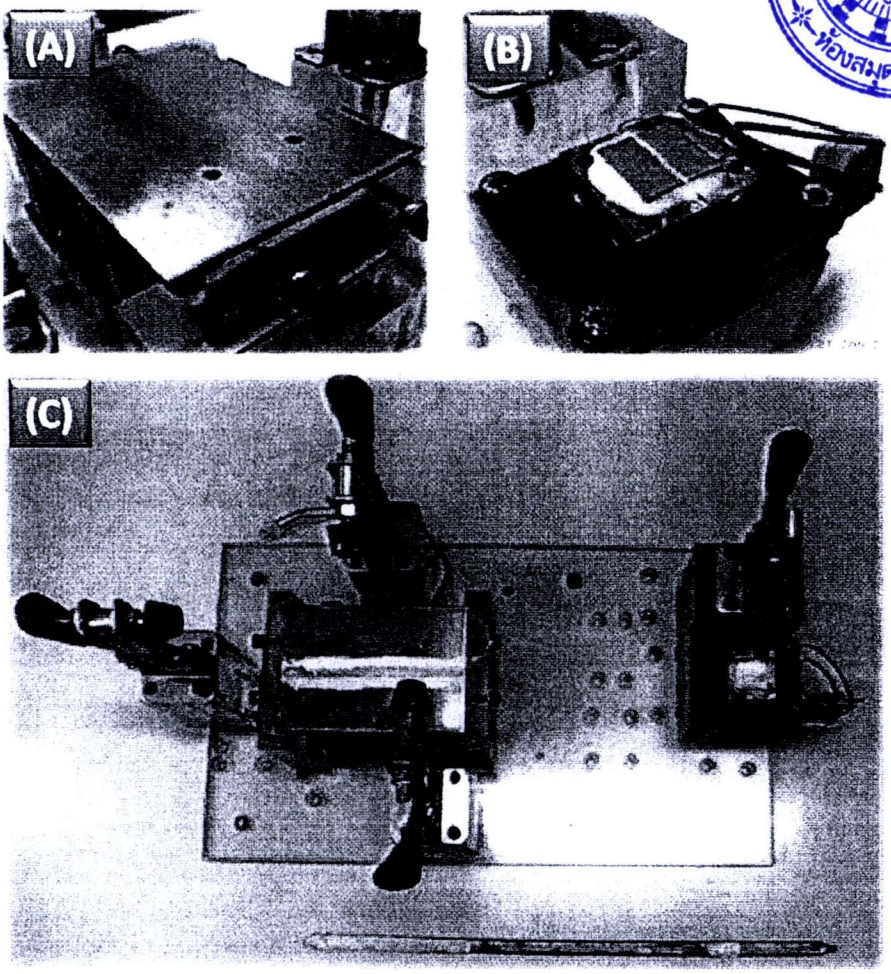
3.4.2.3 ท็อกเกิ้ลแคลมป์ (Toggle clamp) สำหรับกดชิ้นงานขณะทดสอบ

3.4.2.4 ฮีทซิ้งค์และพัดลม (Heat sink and Cooling fan) สำหรับระบายความร้อน



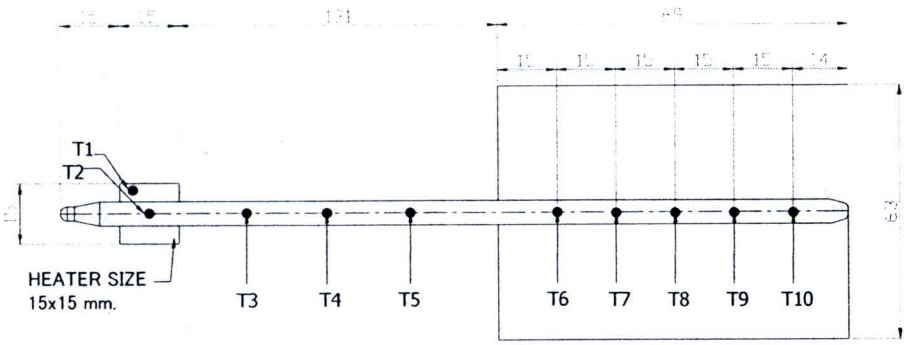
รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบทางฮีทเตอร์สำหรับท่อกลม (A) ฮีทซิ้งค์ทำหน้าที่ระบายความร้อนในส่วนควบแน่นโดยมีร่องกลมเพื่อรองรับท่อความร้อน (B) กล่องทองแดงทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเสมือนหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) โดยมีร่องกลมเพื่อรองรับท่อความร้อน (C) ชุดทดสอบทางฮีทเตอร์สำหรับท่อกลมที่ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบทางฮีทเตอร์สำหรับท่อแบน (A)ฮีทซิ้งค์ทำหน้าที่ระบายความร้อนในส่วนควบแน่นโดยมีผิวหน้าเรียบเพื่อรองรับท่อความร้อน (B)กล่องทองแดงทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเสมือนหน่วยประมวลผลกลาง(CPU)โดยมีผิวหน้าเรียบเพื่อรองรับท่อความร้อน (C)ชุดทดสอบทางฮีทเตอร์สำหรับท่อแบนที่ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน

โดยมีเงื่อนไขการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ 3.6



เงื่อนไขการทดสอบ

- **ขนาดของฮีตเตอร์ 15x15 มม.**
- **ความยาวส่วนทำระเหย 15 มม.**
- **ความยาวส่วนกันความร้อน 131 มม.**
- **ความยาวส่วน ควบแน่น 89 มม.**
- **จุดอุณหภูมิ 4 ส่วน แบ่งเป็น**

  1. จุดที่แหล่งกำเนิดความร้อน จำนวน 1 จุด

  2. จุดที่ส่วนทำระเหย จำนวน 1 จุด

  3. จุดที่ส่วนกันความร้อน จำนวน 3 จุด

  4. จุดที่ส่วนควบแน่น จำนวน 5 จุด

- **กำลังความร้อนเข้า (Qin) 10,20 และ 35 วัตต์**
- **จุดวัดอุณหภูมิส่วนควบแน่นจุดปลายสุด ให้ห่างจากปลายท่อที่ 15 มม.**
- **เวลาในการทดสอบ 300 วินาที และ/หรือ เข้าสู่สภาวะคงตัว**

รูปที่ 3.6 เงื่อนไขการทดสอบทดสอบด้วยฮีตเตอร์สำหรับท่อความร้อนในแนวระดับ

3.5 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

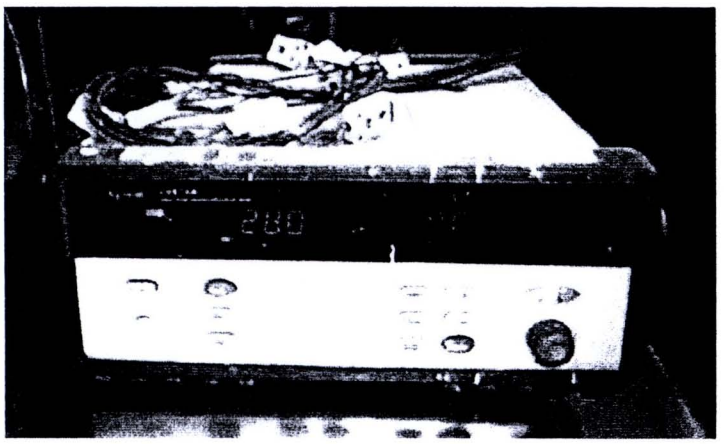
3.5.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อGood Will รุ่น GPR-7550D มีช่วงการใช้งานที่ 0-75 โวลท์ มีความคลาดเคลื่อนที่ ≤0.01%+5 mV และ 0-5 แอมป์ มีความคลาดเคลื่อนที่ ≤0.2%+5 mA ซึ่งใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้แท่งฮีตเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและส่งไปยังกล่องทองแดงเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อ Good Will รุ่น GPR-7550D

3.5.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อ Good Will รุ่น GPC-3030D มีช่วงการใช้งานที่ 0-30 โวลท์ มีความคลาดเคลื่อนที่ ≤0.01%+3mV และ 0-3 แอมป์ มีความคลาดเคลื่อนที่ ≤0.2%+3mA ซึ่งใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้พัดลมระบายความร้อนให้กับชุดฮีตซิ้งค์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

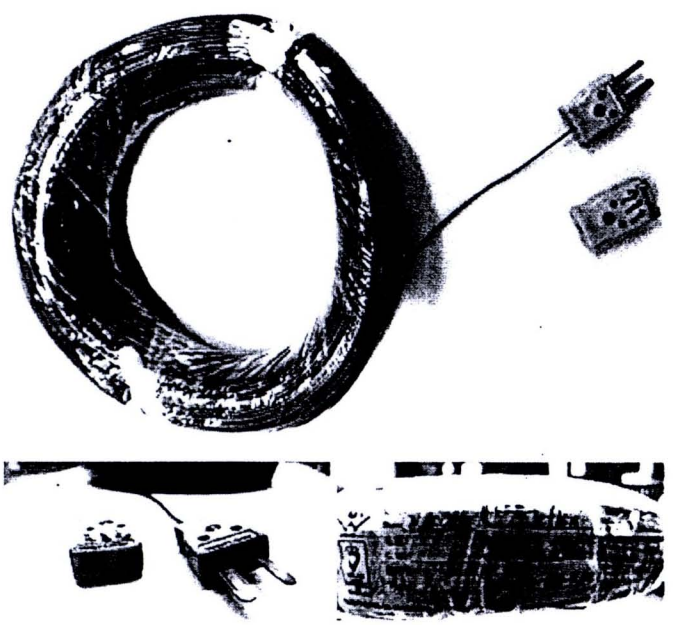
รูปที่ 3.8 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อ Good Will รุ่น GPC-3030D

3.5.3 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data acquisition) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 3470A ขนาดช่องสัญญาณสูงสุด 60 ช่อง มีความแม่นยำ ± 1 ^{o}C ดังแสดงในรูปที่ 3.9



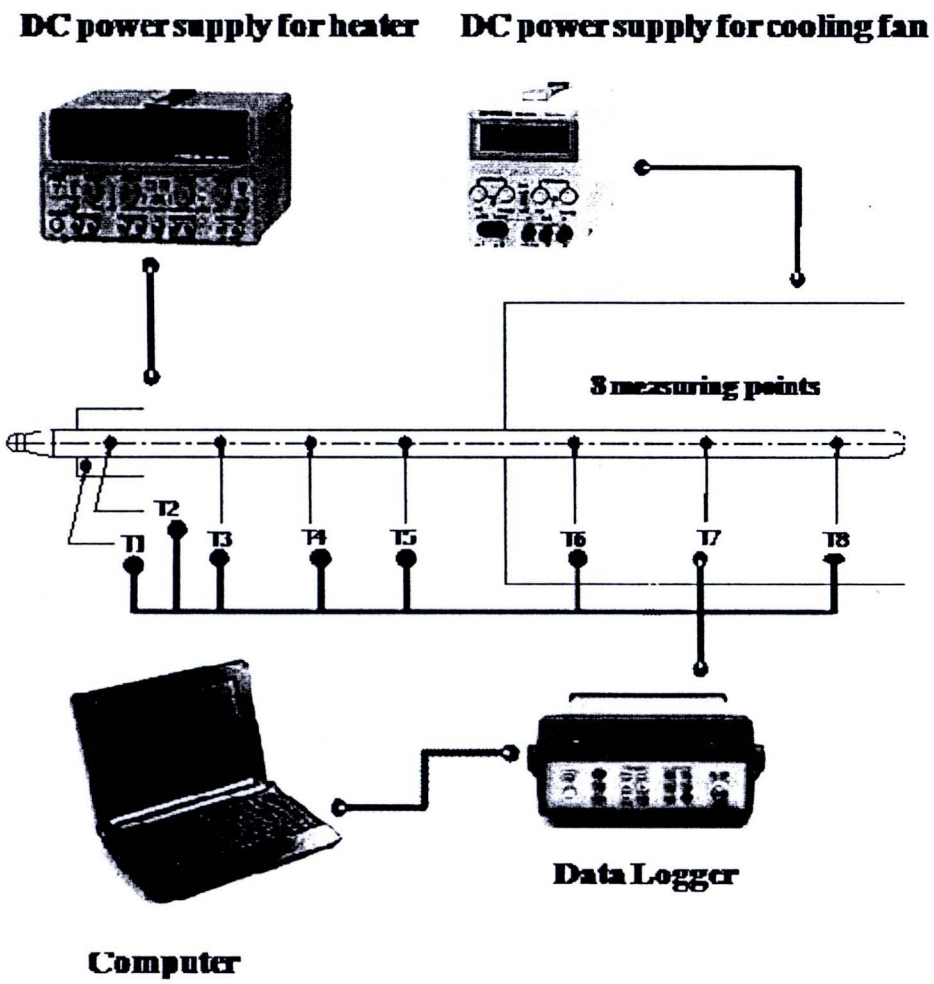
รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data acquisition)

3.5.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และ ตัวต่อ (Thermal connector) Type K ชนิด Chromel-Alumel ยี่ห้อ Omega ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.5.3 ใช้วัดอุณหภูมิกล่องทองแดงและท่อความร้อนที่ตำแหน่งทำระเหยและส่วนควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.10



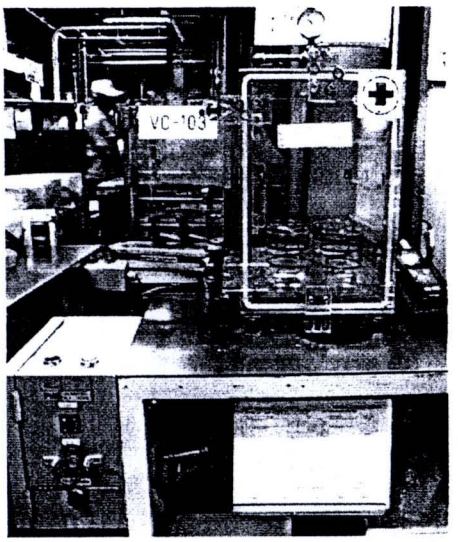
รูปที่ 3.10 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และ ตัวต่อ (Thermal connector) Type K

ส่วนของชุดทดสอบและเครื่องมือวัดจะถูกนำมาประกอบและติดตั้งดังรูป 3.11



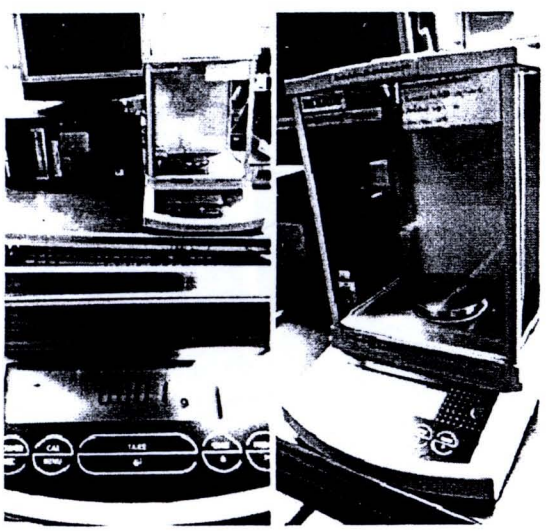
รูปที่ 3.11 ลักษณะการติดตั้งชุดทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆ

3.5.5 เครื่องเติมสารทำงาน เป็นเครื่องที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump), วาล์ว (Valve), เกจ์วัดความดัน (Pressure gauge), ถ้วยตวง (Beaker) และ ตู้อะครีลิค (Acrylic chamber) ดังแสดงในรูปที่ 3.12



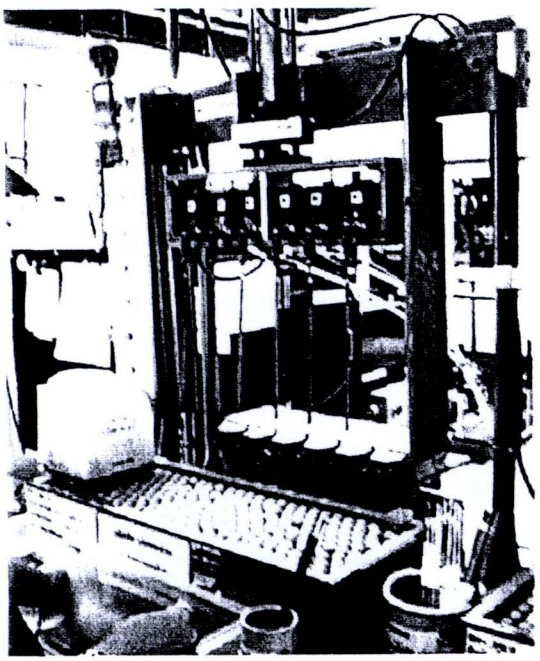
รูปที่ 3.12 เครื่องเติมสารทำงาน

3.5.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AY-220 มีช่วงใช้งานที่ 0-220 กรัม ความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ใช้ในการชั่งน้ำหนักของท่อทองแดง และท่อทองแดงที่มีสารทำงานภายในเพื่อหาปริมาณสารทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.13

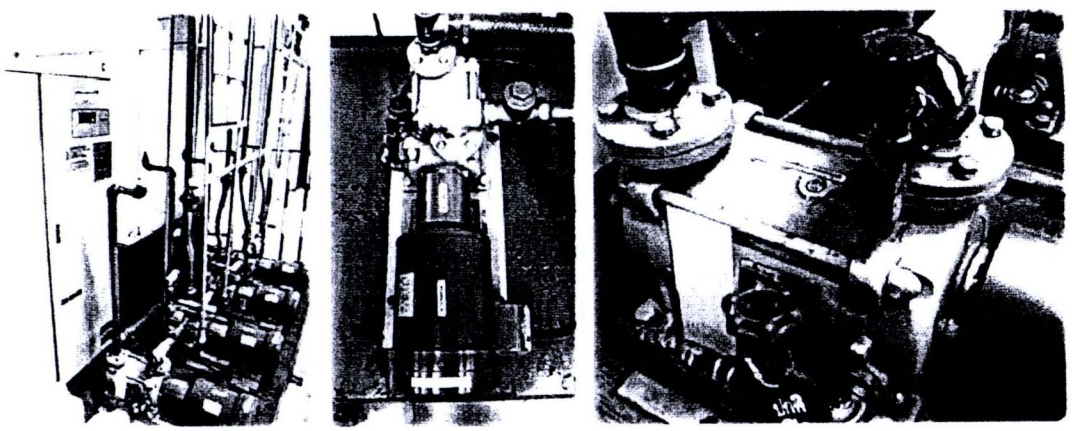


รูปที่ 3.13 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AY-220

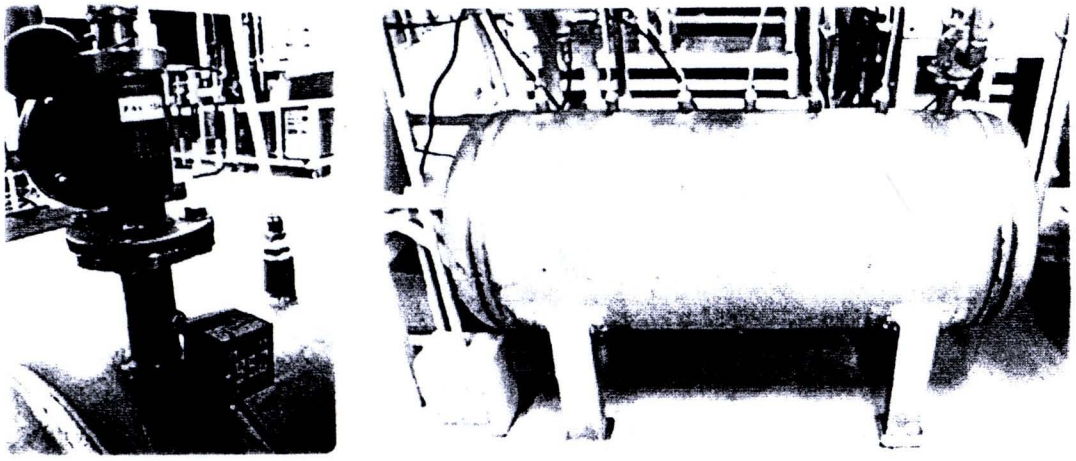
3.5.7 เครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ แสดงในรูปที่ 3.14-3.17 ซึ่งประกอบไปด้วยปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid ring (Vacuum pump – Liquid ring type), ชิลเลอร์ (Chiller), ถังสำรองแรงดัน (Buffer tank), เกจ์วัดความดันแบบดิจิตอล (Digital pressure gauge), โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) และชุดควบคุมซึ่งเป็นแบบ PLC (Programmable logic controller) โดยใช้เครื่องตั้งเวลา (Timer) ควบคุมการทำงานแต่ละช่วง ดังแสดงในรูปที่ 3.18



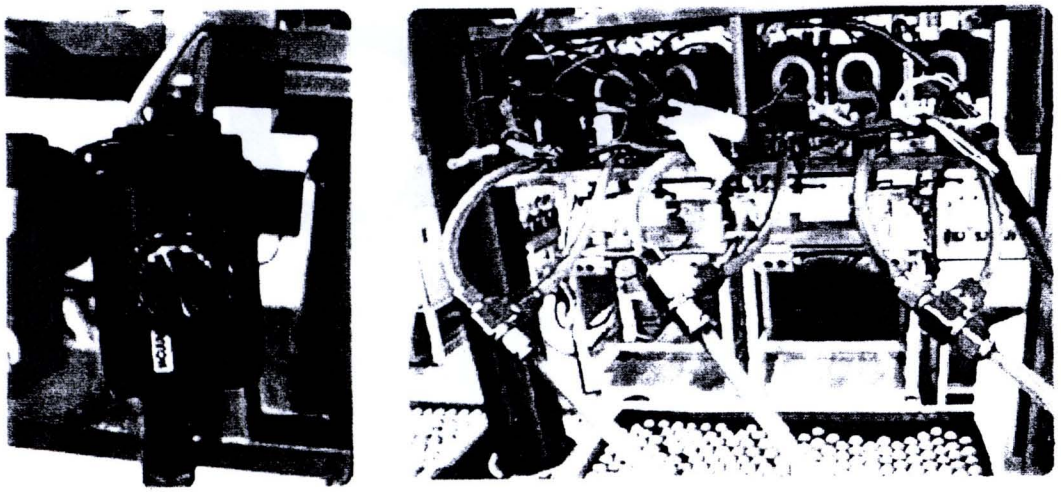
รูปที่ 3.14 เครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ



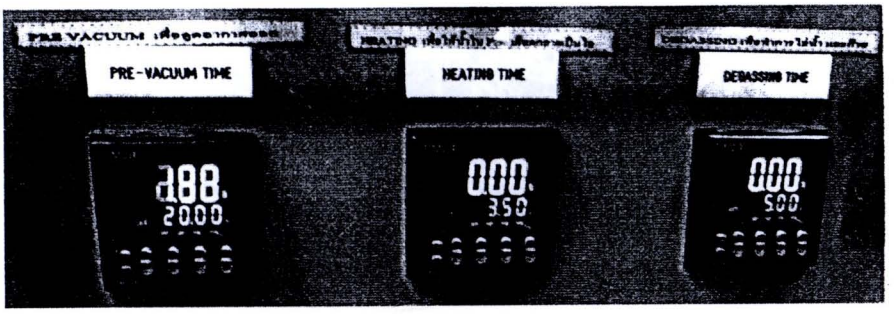
รูปที่ 3.15 ปั๊มสุญญากาศชนิด Liquid ring และ ชิลเลอร์ (Chiller) ทำงานร่วมกันเพื่อดูดอากาศออกจากท่อความร้อน , ถังสำรองแรงดัน และระบบท่อต่างๆ เพื่อสร้างสุญญากาศในท่อความร้อน



รูปที่ 3.16 เกจ์วัดความดันแบบดิจิตอลและถังสำรองแรงดัน ซึ่งประกอบเข้าด้วยกันเพื่อลดเวลาในการดูดอากาศพร้อมทั้งเพิ่มความเสถียรของแรงดันสุญญากาศให้กับระบบ โดยมีเกจ์วัดความดันแบบดิจิตอลเป็นส่วนตรวจสอบแรงดันภายในของถังสำรองแรงดัน

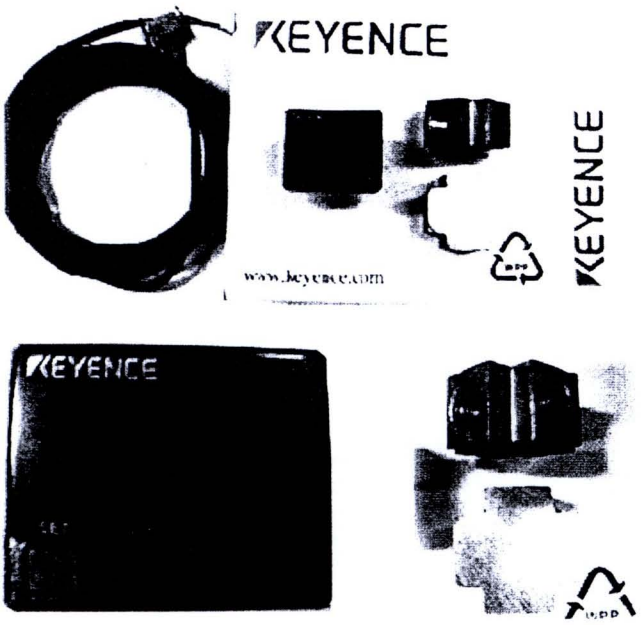


รูปที่ 3.17 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) เป็นวาล์วแบบแม่เหล็ก โดยสั่งการเปิดและปิดด้วยเครื่องตั้งเวลา (Timer) และชุดควบคุมซึ่งเป็นแบบ PLC (Programmable logic controller) เพื่อตัดหรือต่อท่อความร้อนเข้ากับระบบทำสุญญากาศ

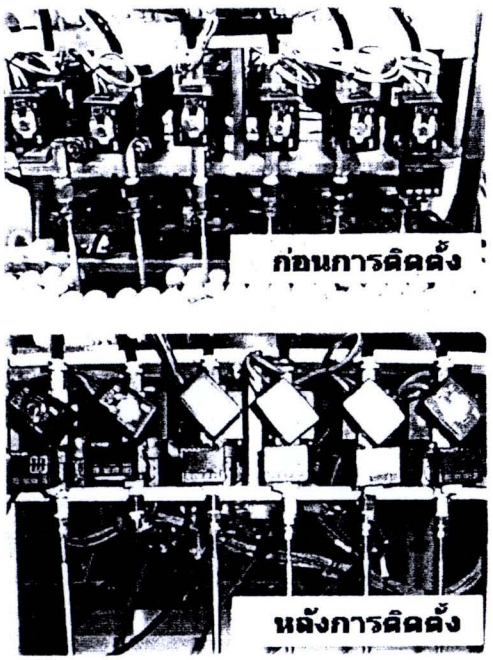


รูปที่ 3.18 เครื่องตั้งเวลา (Timer) ควบคุมการทำงานแต่ละช่วงของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ

3.5.8 เกจ์วัดความดันแบบดิจิตอล (Digital pressure sensor) ยี่ห้อ Keyence, รุ่น AP-C30W และข้อต่อทองเหลืองแบบ 4 ทาง สำหรับการติดตั้งเพื่อทดสอบการกระจายตัวของความดันสุญญากาศภายในท่อความร้อน

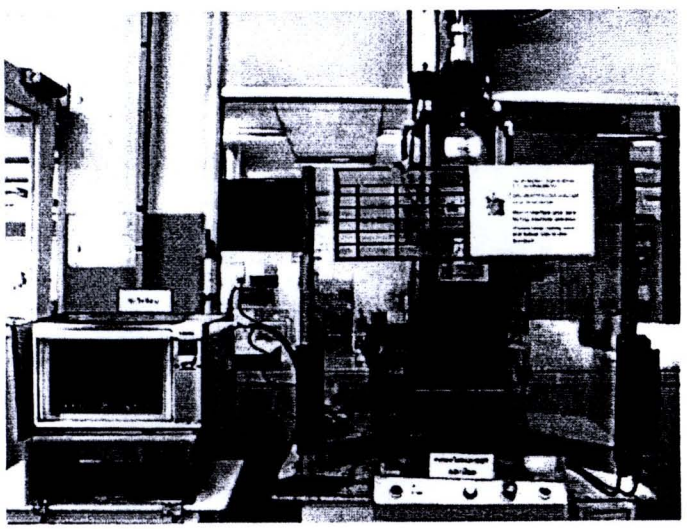


รูปที่ 3.19 เกจวัดความดันแบบดิจิตอล (Digital pressure sensor) ยี่ห้อ Keyence, รุ่น AP-C30W และข้อต่อทองเหลืองแบบ 4 ทาง



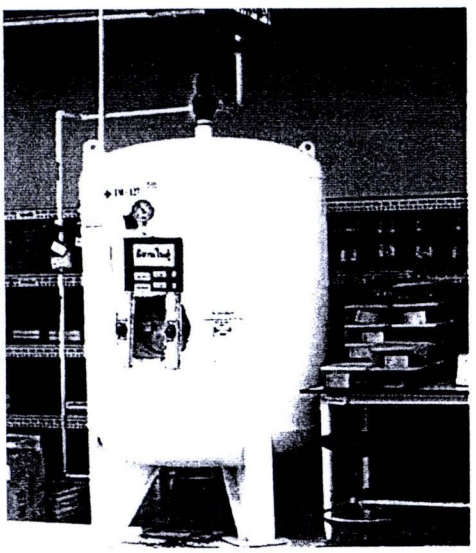
รูปที่ 3.20 การติดตั้งเกจวัดความดันแบบดิจิตอลเข้ากับเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ

3.5.9 เครื่องกดทับแบบแนวดิ่ง (Vertical pressing machine) ขนาดแรงกดสูงสุด 1 ตัน เพื่อทับแบนและควบคุมความหนาให้ชิ้นงานท่อความร้อน โดยใช้ร่วมกับเตาอบซึ่งจะให้ความร้อนกับชิ้นงานก่อนทำการทับแบน (Hot press) เพื่อให้ผลของการควบคุมความหนาและรักษาความเรียบของชิ้นงาน (Flatness) ดีขึ้น



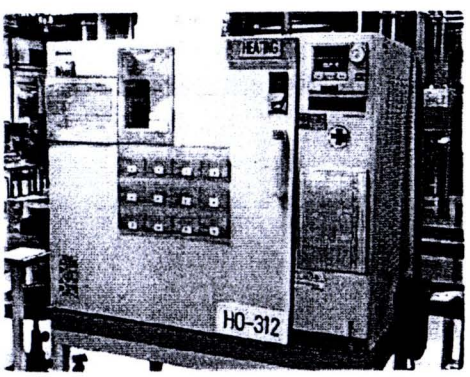
รูปที่ 3.21 เครื่องกดทับเพื่อทับแบนและควบคุมความหนาให้ชิ้นงาน

3.5.10 ถังความดันสำหรับทดสอบการรั่วด้วยวิธีความดันอากาศ โดยใส่ชิ้นงานท่อความร้อนเข้าไปภายในถัง และใช้อากาศอัดที่ความดัน 5-6 kgf/cm^2 จ่ายเข้าไปภายในถังที่มีชิ้นงานท่อความร้อนอยู่ และรักษาความดันนั้นไว้ที่ 2 ชั่วโมง แล้วแต่ขนาดของท่อความร้อน ในกรณีที่ชิ้นงานมีการรั่ว อากาศอัดจะแทรกเข้าไปภายในชิ้นงานท่อความร้อนได้ทำให้สภาวะสุญญากาศภายในท่อความร้อนนั้นล้มเหลว และเมื่อนำไปทดสอบทางความร้อนด้วยน้ำร้อนในแนวดิ่งก็จะสามารถตรวจจับชิ้นงานที่มีการรั่วเหล่านี้ได้



รูปที่ 3.22 ถังความดันสำหรับทดสอบการรั่วด้วยวิธีความดันอากาศ

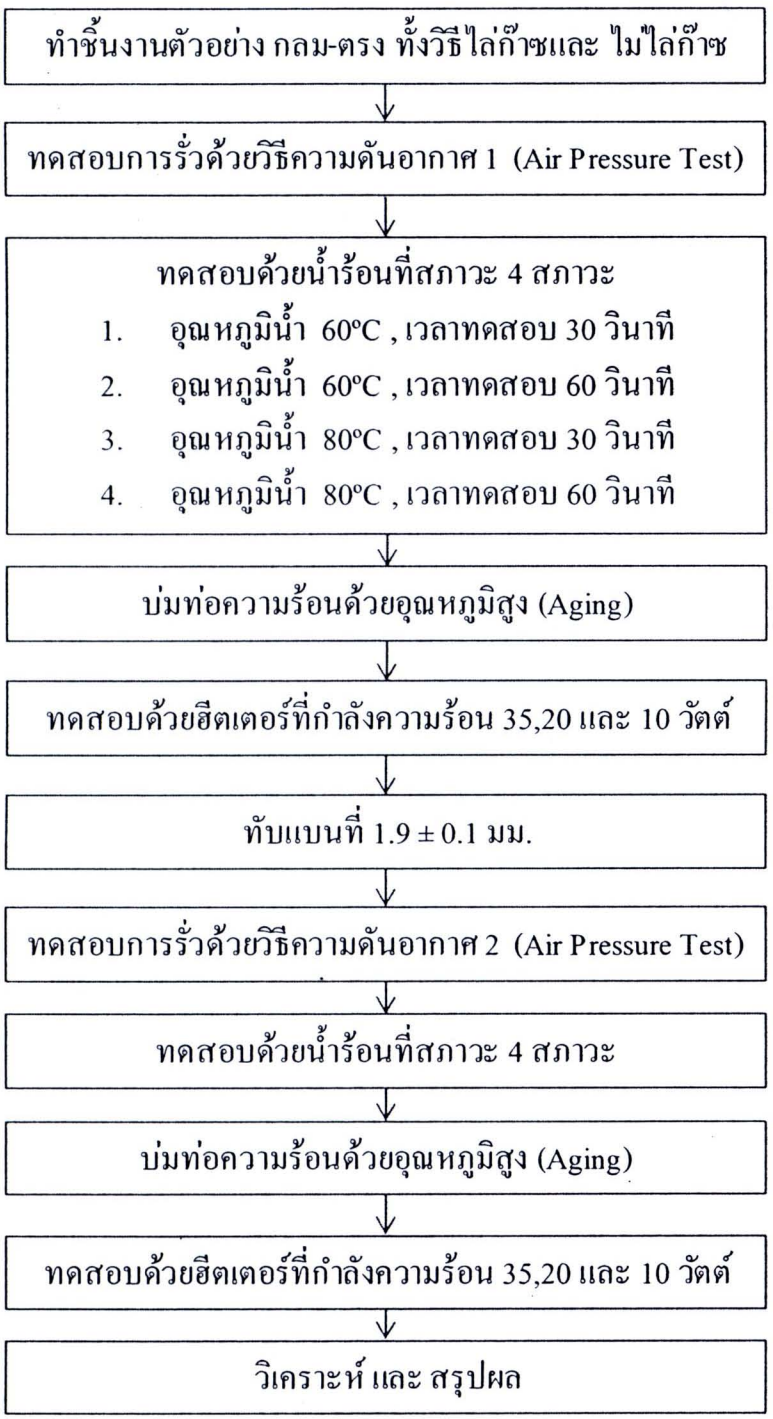
3.5.11 ตู้อบแบบพาความร้อน (Convection heating oven) ใช้สำหรับบ่มท่อความร้อนโดยการทดสอบให้ท่อความร้อนนั้นๆเกิดการทำงานขึ้นจริงโดยสารทำงานภายในจะเกิดการไหลเวียนเป็นวงจรไปมาตลอดช่วงเวลาที่บ่ม ซึ่งการบ่มท่อความร้อนทำได้โดย นำท่อความร้อนเข้าไปในตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 180 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.23 ตู้อบแบบพาความร้อนใช้สำหรับบ่มท่อความร้อน

3.6 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบจะดำเนินการตามผังในรูป 3.24



รูปที่ 3.24 แผนผังขั้นตอนการทดสอบ

3.6.1 ทำการสร้างท่อความร้อนชุดแรกโดยการเติมสารทำงานในช่วง 0.20-1.60 มิลลิลิตร ดังข้อ 3.2.2 และทดสอบทางความร้อนด้วยฮีตเตอร์ที่กำลังความร้อน 35 วัตต์ เพื่อหาปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมเพื่อทำการกำหนดปริมาณสารทำงานสำหรับชิ้นงานตัวอย่างจริงต่อไป

3.6.2 ทำการสร้างท่อความร้อนชุดถัดไปถึงขั้นตอนก่อนการเติมสารทำงาน และทำการเขียนหมายเลขลงบนตัวท่อความร้อนและชั่งน้ำหนักท่อเปล่าพร้อมบันทึกค่า

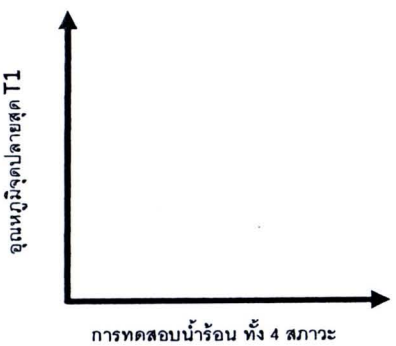
3.6.3 เติมสารทำงานด้วยเครื่องเติมสารทำงาน โดยถ้าเป็นการควบคุมสารทำงานและสุญญากาศแบบไล่ก๊าซให้เติมเกินจากค่าที่ต้องการแต่หากเป็นการควบคุมสารทำงานและสุญญากาศแบบไม่มีการไล่ก๊าซให้เติมเท่ากับค่าที่ต้องการ และทำการชั่งน้ำหนักท่อที่มีสารทำงานพร้อมบันทึกค่า

3.6.4 ต่อท่อความร้อนตัวอย่างกับเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ โดยถ้าเป็นการควบคุมสารทำงานและสุญญากาศแบบไล่ก๊าซจะมีการให้ความร้อนกับสารทำงานด้วยน้ำร้อนแต่หากเป็นการควบคุมสารทำงานและสุญญากาศแบบไม่มีการไล่ก๊าซให้ตวงน้ำร้อนออกจากเครื่องหลังจากนั้นให้ทำการชั่งน้ำหนักท่อที่มีสารทำงานและมีสภาวะสุญญากาศภายในพร้อมบันทึกค่า เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

3.6.5 ทำการเชื่อมปิดท่อความร้อนจะได้ท่อความร้อนแบบกลมตรง

3.6.6 นำเข้าถังความดันเพื่อตรวจสอบรอยรั่ว ตามเงื่อนไขในหัวข้อ 3.5.9

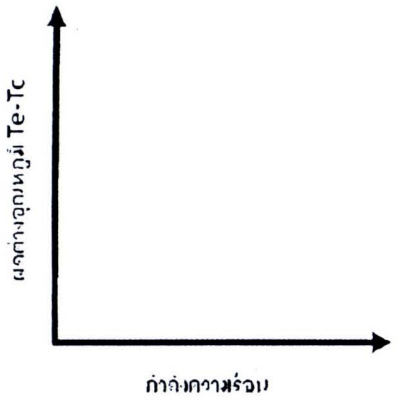
3.6.7 ทดสอบด้วยน้ำร้อนทั้ง 4 สภาวะ ตามผังการทดสอบ พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดปลายเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ผลโดยที่ ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลาย ($T_w - T_1$) ดังรูปที่ 3.3 จะต้องต่างกันเกิน 10 ^{o}C จึงถือเอาว่ามีการรั่วเกิดขึ้น หลังจากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างชิ้นงานที่มีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซ



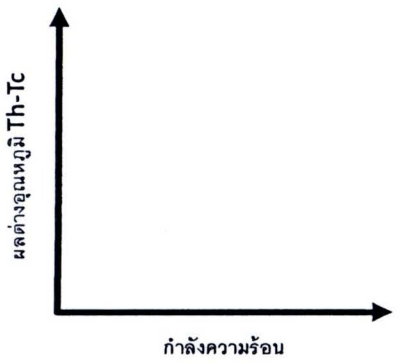
3.6.8 นำเข้าตู้อบเพื่อบ่มท่อความร้อน ตามเงื่อนไขในหัวข้อ 3.5.10

3.6.9 ทดสอบทางฮีตเตอร์ที่กำลังวัตต์ 35, 20 และ 10 วัตต์ พร้อมบันทึกข้อมูลอุณหภูมิทั้ง 8 จุด ตามรูปที่ 3.6 เพื่อตรวจสอบค่าต่างๆ ดังนี้

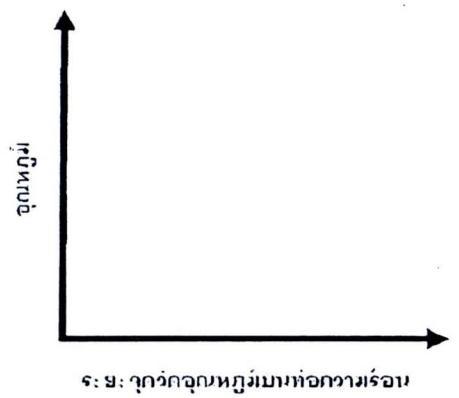
3.6.9.1 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ($T_e - T_c$)



3.6.9.2 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างฮีทเตอร์และส่วนควบแน่น ($T_h - T_c$)



3.6.9.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิของอุณหภูมิทั้ง 8 จุดบนท่อความร้อน



3.6.10 ทำการทับแบนและทำซ้ำขั้นตอนตามหัวข้อ 3.6.6 และ 3.6.9