บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งส่งผ่านความร้อนจากแหล่งสะสมความร้อนอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งรับความร้อนอุณหภูมิต่ำโดยอาศัยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงาน (Working fluid) ที่บรรจุอยู่ภายในท่อความร้อน เนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนภายในท่อความร้อนมีค่าต่ำมาก ดังนั้นท่อความร้อนจึงเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสมรรถนะสูง และ เป็นที่นิยมในงานทางวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายความร้อนในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) และ หน่วยประมวลการแสดงผล (GPU) ซึ่งท่อความร้อนถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย โดยปัจจุบันแนวโน้มของการใช้งานท่อความร้อนในการระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องการท่อความร้อนที่มีสมรรถนะสูงขึ้น ลักษณะทางกายภาพซับซ้อนขึ้น ความหนาลดลง และ ราคาที่แข่งขันได้ในตลาดโลก ซึ่งความต้องการเหล่านี้เป็นเหตุผลให้กระบวนการผลิตท่อความร้อนต้องการความละเอียด และเที่ยงตรงมากขึ้น โดยส่วนประกอบของท่อความร้อนจะประกอบไปด้วย

1. ท่อบรรจุ (Container) ทำหน้าที่บรรจุสารทำงานและวัสดุพรุนของท่อความร้อน
2. สารทำงาน (Working fluid) เป็นตัวกลางส่งผ่านความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น
3. วัสดุพรุน (Porous media) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงสารทำงานที่ควบแน่นในส่วนควบแน่นกลับมายังส่วนทำระเหย โดยใช้หลักการของแรงคาปิลลารี่

โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปริมาณสารทำงานภายในท่อความร้อน เนื่องจากสมรรถนะของท่อความร้อนมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารทำงานในลักษณะพหุนาม กล่าวคือ สมรรถนะของท่อความร้อนดีที่สุดที่ปริมาณสารทำงานค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น

ซึ่งเมื่อพิจารณาปัญหาของสมรรถนะของท่อความร้อนแล้ว พบว่า กระบวนการผลิตท่อความร้อนแบบ กลม-ตรง จะมีส่วนเกี่ยวข้องมากที่สุด ดังนั้น การปรับปรุงและพัฒนาจะดำเนินการที่กระบวนการผลิตท่อความร้อนแบบกลม-ตรงเป็นหลัก รายละเอียดขั้นตอนในการผลิต ท่อความร้อน มีดังนี้

ขั้นตอนที่1 : ตัดท่อทองแดงให้ได้ความยาวที่ต้องการ
ขั้นตอนที่2 : ทำการประกอบวัสดุพรุนแบบเส้นใยเข้าไปภายในท่อ
ขั้นตอนที่3 : ทำท่อลดที่ปลายด้านหนึ่งก่อนเชื่อมปิด
ขั้นตอนที่4 : เชื่อมปิดปลายท่อที่ได้จากขั้นตอนที่3
ขั้นตอนที่5 : ทำท่อลดอีกด้านหนึ่งให้ปลายท่อมีความยาวเพียงพอต่อการเติมสารทำงาน
ขั้นตอนที่6 : เติมสารทำงานพร้อมทำสุญญากาศแล้วปิดท่อชั่วคราว
ขั้นตอนที่7 : ตัดท่อลดส่วนเกินออก
ขั้นตอนที่8 : ทำการเชื่อมปิดท่อด้านบน

จากขั้นตอนที่กล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่ 1-5 และ 7-8 จะเป็นขั้นตอนส่วนการทำโครงสร้างท่อและวัสดุพรุนซึ่งไม่ส่งผลต่อสมรรถนะทางความร้อนมากนัก ในขณะที่ขั้นตอนที่6 เป็นการเติมสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศภายในท่อซึ่ง ท่อความร้อนมีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและสมรรถนะท่อความร้อนเป็นแบบพหุนามกำลังสอง (Quadratic polynomial) ซึ่งท่อความร้อนจะมีสมรรถนะทางความร้อนดีเพียงช่วงปริมาณสารทำงานช่วงๆหนึ่งเท่านั้น และสภาวะสุญญากาศภายในท่อความร้อนที่สมบูรณ์จะส่งผลให้การเดือดและการควบแน่นของสารทำงานสมบูรณ์ตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากการผลิต และ การทดลองต่างๆ ของบริษัทผู้ผลิตท่อความร้อน [ผนวก ค] แสดงผลว่ามีหลายขั้นตอนการผลิตที่มีค่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability, Cpk) ต่ำกว่าค่า 1.33 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของค่าความสามารถของ โดยขั้นตอนการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 0.98 ซึ่งเป็นขั้นตอนการผลิตที่มีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของท่อความร้อน เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตของงานวิจัยให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนากระบวนการผลิตท่อความร้อนในขั้นตอนการเติมสารทำงานพร้อมทำสุญญากาศแล้วปิดท่อชั่วคราวเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ เพื่อที่จะให้สมรรถนะท่อความร้อนที่ดีขึ้น รวมถึงคำนึงถึงการเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนนี้อีกด้วย

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาที่ผ่านมามีนักวิจัยไม่มากนักที่ได้ศึกษาถึง การปรับปรุงกระบวนการการผลิตท่อความร้อน แต่มักจะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงโครงสร้างของท่อความร้อน ทั้งวัสดุ และ รูปแบบของท่อ, วัสดุพรุน และ สารทำงาน ดังนั้นงานวิจัยที่ได้ศึกษาจึงมีความเกี่ยวข้องโดยอ้อม โดยจะมุ่งไปที่งานวิจัยที่ชี้ให้เห็นความสำคัญและผลของกระบวนการเติมสารและควบคุมปริมาณสารทำงาน และ สภาวะสุญญากาศ ต่อสมรรถนะของท่อความร้อน ดังต่อไปนี้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะสุญญากาศภายในท่อ

เนื่องจากสภาวะสุญญากาศภายในท่อความร้อนมีความสำคัญต่อสมรรถนะท่อความร้อน Dunn and Reay (1982) แนะนำให้ในขั้นตอนการเตรียมสารทำงานเพื่อเติมลงในท่อความร้อนนั้น สารทำงานทุกชนิดควรผ่านการไล่ก๊าซ เพื่อที่จะแยกก๊าซที่ไม่ละลายในของเหลวออกจากสารทำงาน และถ้าไม่สามารถแยกก๊าซเหล่านี้ออกจากสารทำงานได้ จะทำให้ก๊าซเหล่านี้ปรากฏขึ้นระหว่างการใช้งานท่อความร้อน และจะสะสมอยู่ที่ส่วนควบแน่น ซึ่งในกระบวนการเติมสารทำงานได้แสดงการไล่ก๊าซไว้ 2 ลักษณะ คือ การไล่ก๊าซในสารทำงาน และการไล่ก๊าซที่ท่อความร้อน ดังนั้นถ้าการไล่ก๊าซไม่สมบูรณ์และเกิดการสะสมของก๊าซที่ไม่ละลายในของเหลวจะส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของท่อความร้อน (Dunn and Reay, 1982)

ในขณะเดียวกัน ในงานวิจัยของ Ahamed et al.(2008) ได้แนะนำให้ทำความสะอาดและการไล่ก๊าซควรจะทำก่อนการเติมสารทำงาน เพราะก๊าซที่ไม่ควบแน่น (Non-Condensible gas) จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะท่อความร้อนที่ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ

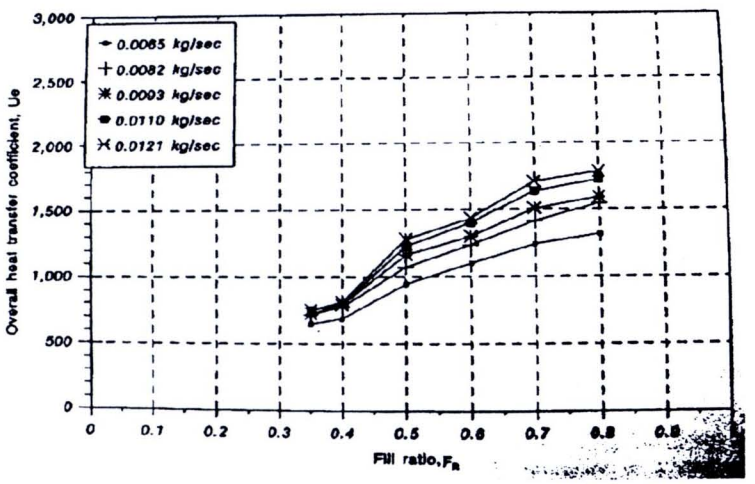
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารทำงาน

ในส่วนของปริมาณสารทำงานก็มีความสำคัญต่อสมรรถนะท่อความร้อนเช่นกันโดย Shahed et al. ได้รายงานว่าหลังจากการทำสุญญากาศภายในท่อความร้อนแล้ว ได้เติมสารทำงานปริมาณ 30% ของปริมาตรภายในท่อความร้อน ด้วยน้ำ De-ionized ปริมาณของสารทำงานเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งยวดต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อน (Ahamed et al., 2008)

ส่วนงานวิจัยของ Moon et al.(2001) ที่ศึกษาสมรรถนะของท่อความร้อนเมื่อท่อความร้อนถูกดัดโค้งและทับแบน ได้กล่าวถึงท่อความร้อน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ว่าเมื่อทำการทับแบนเหลือ 2 มิลลิเมตร จะมีผลให้พื้นที่หน้าตัดของท่อความร้อนลดลง 30% จากพื้นที่เดิมก่อน

ทับแบน ซึ่งส่งผลต่อช่องว่างไอ และ สัดส่วนการเติมสารทำงาน โดยสัดส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 31% ของปริมาตรภายในของท่อความร้อนทั้งหมด เมื่อใช้งานในช่วงมุมเอียงระหว่าง –5° ถึง +5° (Moon et al.,2001)

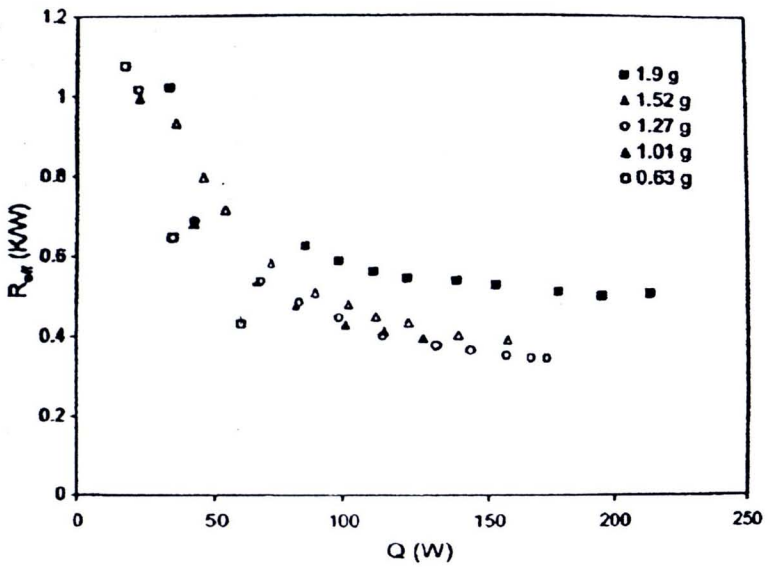
ในขณะที่ K.S. Ong and Md. Haider-E-Alahi (2003) ได้ทดลองใช้สัดส่วนการเติมสารทำงาน R-134a ที่มากขึ้น ซึ่งมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนรวม (Ue) แบบเชิงเส้น ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนรวม (Ue) สูงสุด ที่สัดส่วนการเติม 0.8 (สัดส่วนการเติม(F_R) = ปริมาตรของสารทำงานในท่อความร้อนเทียบกับปริมาตรภายในของส่วนทำระเหย) อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมจากสัดส่วนการเติม ที่มากกว่า 0.8 (K.S. Ong and Md. Haider-E-Alahi, 2003) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพถ่ายเทความร้อนรวม และ สัดส่วนการเติม (K.S. Ong and Md. Haider-E-Alahi, 2003)

อีกทั้ง Kampers et al.(2005) ได้ทำการทดลองผลของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน ที่ทำงานในแนวระดับพบว่าเมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า 100 วัตต์ ขึ้นไป การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางความร้อนไม่มากนักสำหรับทุกๆสัดส่วนการเติม และ ในช่วงปริมาณการเติมสารทำงานที่ 1.01 – 1.52 กรัม ซึ่งคิดเป็น 80-120% ของปริมาตรที่อิ่มตัวภายในวัสดุพรุน จะพบว่าค่าความต้านทานทางความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันมากในทุกช่วงอัตราการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแตกต่างจากปริมาณการเติมสารทำงานที่ 1.9 กรัม ที่ให้ค่าความต้านทานความร้อนสูงสุดในกลุ่ม จะเห็นได้ว่าผลกระทบของสัดส่วนการเติมสารทำงาน ในลักษณะมากกว่าค่าที่เหมาะสมและน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมยังส่งผลโดยตรงต่ออัตรา

การถ่ายเทความร้อน และ ความต้านทานทางความร้อนโดยที่การเติมมากกว่าค่าที่เหมาะสมให้ผลในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างมีช่วงกว้าง ในขณะที่การเติมน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมให้ผลในการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างชัดเจน และ ส่งผลให้สภาวะการเกิด Dry-out ซึ่งเป็นผลให้ความต้านทานทางความร้อนสูงขึ้น (Kemper et al., 2005) ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ผลของการเติมสารทำงานต่อความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ทำงานในแนวระดับ (Kemper et al., 2005)

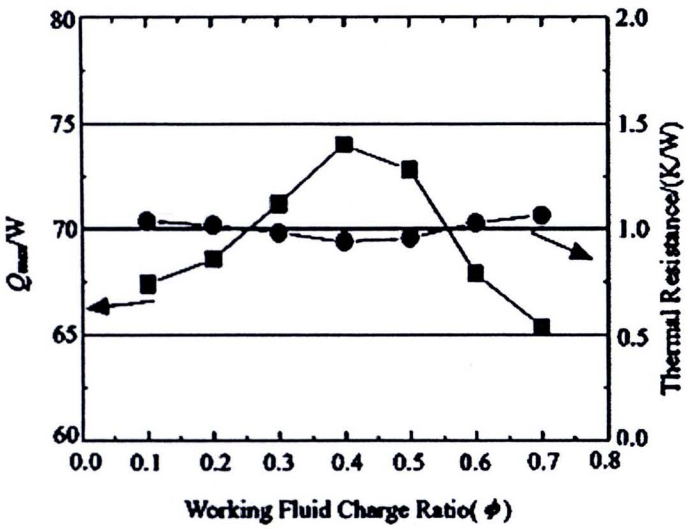
และจากการทดลองของ Wong and Kao (2007) ได้จัดการตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะท่อความร้อนไว้หลายตัวแปรและหนึ่งในนั้นคือสัดส่วนการเติมสารทำงานซึ่งได้เลือกใช้ ที่ 3 สัดส่วนเมื่อเทียบกับช่องว่างของวัสดุพรุน คือ 80% 100% และ 120% โดยที่

สัดส่วนการเติมสารทำงานที่ 100% = ปริมาตรของวัสดุพรุน × ความพรุนของวัสดุพรุน

การเกิดฟองอากาศจากการเดือดที่อัตราส่วนการเติม 80, 100 และ 120% ตามลำดับ เป็นคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ข้อมูลไว้ว่า การเติมสารทำงานจริง มีความแตกต่าง ผันแปรเล็กน้อยจากค่าที่ต้องการในแต่ละการทดสอบ โดยทั่วไป ค่าแตกต่าง และ ผันแปรนี้ถูกควบคุมและยอมรับได้อยู่ที่ ±6% (Wong and Kao, 2007)

โดยจากการทดสอบท่อความร้อน Lee et al.(2004) ก็ได้ศึกษา ฟลักซ์ความร้อน และ สัดส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมที่สุด ในการทำงานแบบแนวนอน โดยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้

น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน และ ออกแบบให้ความสูงของของเหลวอยู่เหนือวัสดุพรุน ซึ่งสัดส่วนการเติมอยู่ที่ 40-60% โดยปริมาตร และ ผลสรุปว่า ที่สัดส่วนการเติม 51.3% ให้ค่าดีที่สุดทั้งในแง่อัตราการถ่ายเทความร้อน และ ค่าความต้านทานทางความร้อน ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ผลของสัดส่วนการเติมสารทำงานต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และความต้านทานทางความร้อน (เมทานอล – 1.0 ไมครอน) (Boo and Chung, 2004)

สุดท้ายนี้ Boo and Chung (2004) ได้ทดลองทำท่อความร้อน โดยใช้ Methanol เป็นสารทำงาน แม้ว่าจะไม่ได้ศึกษาผลของสมรรถนะท่อความร้อนต่อสัดส่วนการเติม แต่จากผลการทดลองก็สรุปได้ว่า สัดส่วนการเติมที่เหมาะสมที่สุดคือ 40-50% เช่นกัน (Launay et al., 2006)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดข้างต้น จะเห็นว่าสัดส่วนการเติมสารทำงานและการควบคุมสภาวะสุญญากาศเป็นตัวแปรที่มีบทบาทสูงมากต่อสมรรถนะของท่อความร้อน โดยถ้าสัดส่วนการเติมสารทำงานไม่เหมาะสม กล่าวคือ เมื่อเติมสารทำงานมากเกินหรือน้อยเกินกว่าช่วงที่เหมาะสม จะทำให้สมรรถนะของท่อความร้อนลดลง อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาโดยมากกล่าวถึงเพียงผลกระทบของสัดส่วนการเติมสารทำงานและการควบคุมสภาวะสุญญากาศดังนั้นจึงควรมีการศึกษาว่าทำอย่างไรให้ควบคุมสัดส่วนการเติมสารทำงานและการควบคุมสภาวะสุญญากาศได้อย่างเที่ยงตรง ซึ่งจะทำให้ท่อความร้อนมีสมรรถนะดีตอบสนองความต้องการของตลาดได้ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลของปริมาณสารทำงานและ

สภาวะสุญญากาศที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใย และนำผลที่ได้ไปออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตท่อความร้อนต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 เพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตท่อความร้อนที่ใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใยในส่วนของการควบคุมปริมาณการเติมสารทำงานและการสร้างสภาวะสุญญากาศภายในท่อความร้อนเพื่อให้มีความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น

1.3.2 เพื่อวิเคราะห์ผลของปริมาณสารทำงาน และ สภาวะสุญญากาศ ที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.4.1 ได้กระบวนการผลิตที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้น

1.4.2 สามารถลดขั้นตอนของกระบวนการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศและได้ผลที่เที่ยงตรงขึ้น

1.4.3 สามารถผลิตท่อความร้อนคุณภาพสูงในเชิงพาณิชย์เพื่อส่งเสริมให้มีการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนอย่างแพร่หลายกับการใช้งานแบบอื่นๆ

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 เครื่องต้นแบบในขบวนการผลิตที่สร้างขึ้น สามารถรองรับการปรับเปลี่ยน ความดันสุญญากาศ ปริมาณสารทำงาน และ สามารถรองรับการผลิตท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อความร้อนไม่น้อยกว่าอย่างละ 3 ขนาด ให้มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้น

1.5.2 ท่อความร้อนที่ทดสอบทำมาจากท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อความร้อน เพียงขนาดเดียว จำนวนไม่น้อยกว่า 2,000 ชิ้น

1.5.3 สารทำงานที่ใช้คือ น้ำดีไอออไนซ์ (De-ionized, DI water)

1.5.4 โครงสร้างวัสดุพรุนเป็นแบบเส้นใย ทำด้วยเส้นทองแดง ขนาด 0.05 มิลลิเมตร

1.5.5 ให้ความร้อนส่วนทำระเหยด้วยน้ำร้อนเมื่อท่อความร้อนทดสอบในแนวดิ่ง

1.5.6 ให้ความร้อนส่วนทำระเหยด้วยฮีตเตอร์เมื่อท่อความร้อนทดสอบในแนวนอน

1.5.7 ระบายความร้อนด้วยฮีตซิ้งค์และพัดลม