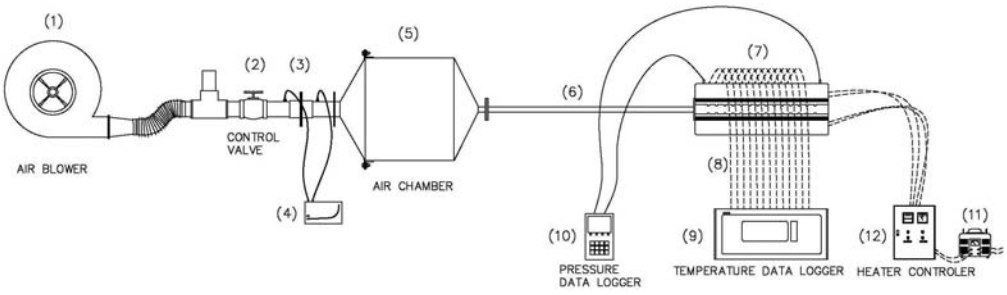
บทที่ 4
การออกแบบและการคำนวณ

4.1 บทนำ

การทดลองเรื่องการถ่ายเทความร้อนนี้ต้องมีการออกแบบและคำนวณชุดอุปกรณ์การทดลองให้ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในด้านการทำงานและการลงทุน โดยการคำนวณจะเน้นส่วนที่สำคัญต่อการทำงานและการลงทุน เช่น ขนาดของเครื่องกำเนิดร้อน (Heater) ขนาดของพัดลม (Blower) ขนาดของฉนวน ขนาดของท่อ และขนาดของมาโนมิเตอร์ (Manometer) เป็นต้น



รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์การทดลอง

4.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์ทดลอง

ส่วนประกอบอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. พัดลมเป่าอากาศ (Blower) ทำหน้าที่ ดูดอากาศจากภายนอกแล้วส่งเข้าไปภายในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมก่อนส่งผ่านไปยังชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2. อุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมไหลเข้าชุดทดลอง เลือกใช้เกตวาล์วขนาด 75 มิลลิเมตร สำหรับเปิด-ปิดเพื่อปรับปริมาณลมที่ไหลเข้าสู่ชุดทดลองให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

3. ชุดออริฟิค เป็นอุปกรณ์สร้างความดันตกคร่อม ให้กับอากาศที่ไหลผ่าน เพื่อนำผลที่ได้ไปพิจารณาอัตราการไหลต่อไป

4. มาโนมิเตอร์ชนิดเอียง (Inclined manometer) ทำหน้าที่วัดความดันตกคร่อมของอากาศที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านชุด Orifice เพื่อนำไปเปรียบเทียบหาปริมาณลมที่ไหลผ่านชุดทดลองต่อไป

5. ชุดจัดเรียงอากาศ (Air chamber) ทำหน้าที่ จัดเรียงลักษณะการไหลของอากาศให้มีความเร็วสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดท่อ

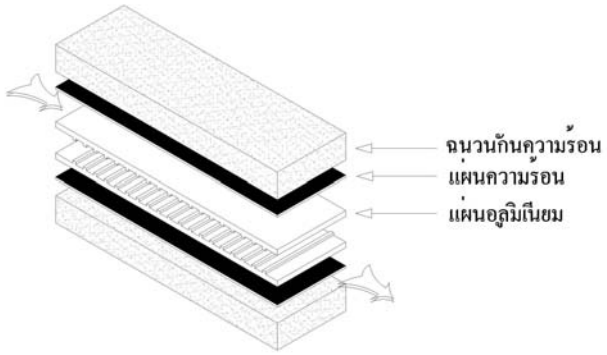
6. ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม ทำหน้าที่ ลำเลียงอากาศจากชุดจัดเรียงอากาศเข้าไปยังชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและปรับสภาพการไหลให้เป็นลักษณะพัฒนาสมบูรณ์ (Fully Developed)

7. ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนจากแผ่นทำความร้อนให้กับอากาศที่ไหลอยู่ภายในช่องขนานหน้าตัดสี่เหลี่ยม ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะประกอบส่วนต่างๆ คือ

7.1 แผ่นอลูมิเนียม เป็นแผ่นอลูมิเนียมที่มีรูปแบบครีบทางด้านในที่แตกต่างกัน โดยให้อากาศไหลผ่านช่องขนานดังกล่าว

7.2 แผ่นกำเนิดความร้อน โดยวางแผ่นความร้อนประกบแผ่นอลูมิเนียม เพื่อให้ความร้อนที่เกิดขึ้นถ่ายเทสู่อากาศที่ไหลผ่านช่องขนาน

7.3 แผ่นฉนวนกันความร้อน ทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนโดยรอบเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอก



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อน

8.เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ทำหน้าที่ วัดอุณหภูมิของอากาศที่ถูกส่งเข้าไปภายในชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิผิวของแผ่นอลูมิเนียม

9.เครื่องบันทึกและแสดงผลอุณหภูมิ (Data logger) ทำหน้าที่แสดงผลและบันทึกค่าการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศที่เข้าและออกชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นอลูมิเนียมโดยผ่านเทอร์โมคัปเปิล

10. เครื่องบันทึกค่าความดันตกคร่อม ทำหน้าที่ตรวจวัดความดันตกคร่อมชิ้นงานทดสอบในแต่ละกรณีศึกษา

11. อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า เพื่อควบคุมความร้อนที่ให้กับชิ้นงานทดสอบมีค่าเท่ากันทุกกรณีศึกษา

12. ระบบควบคุมเครื่องทำความร้อน (Heater controller) ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดระบบการรับจ่ายไฟฟ้าและตรวจวัดปริมาณทางไฟฟ้าในระบบได้แก่ค่ากระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่แผ่นกำเนิดความร้อน

4.3 อุปกรณ์และการคำนวณออกแบบ

4.3.1 พัดลมเป่าอากาศ

การหาขนาดพัดลมเป่าอากาศจะต้องพิจารณาจากกรณีที่พัดลมเป่าอากาศรับภาระมากที่สุด โดยจะพิจารณาจากค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทานและอุปกรณ์ต่างๆ และกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบคือที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์สูงสุดที่เท่ากับ 20,000 พื้นที่หน้าตัดชุดทดสอบเท่ากับ 200 x 25 ตารางมิลลิเมตร

จากสมการ $$D_h = \frac{4bh}{2(b+h)}$$

$$= \frac{4(200\times10^{-3}\text{m}\times25\times10^{-3}\text{m})}{2(200\times10^{-3}+25\times10^{-3})\text{m}}$$

$$= 0.0444 \ m$$

$$A = bh$$

$$= 200\times10^{-3}\text{m}\times25\times10^{-3}\text{m}$$

$$= 0.005 \ m^2$$

ประมาณการเบื้องต้นที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 320 K

$$V = \frac{Re\mu}{\rho D}$$

$$= \frac{(20000)\text{ x }(1.908\text{x}10^{-5}\ kg/m.s)}{(1.1176\ kg/m^3)\text{ x }(0.0444\ m.)}$$

$$= 7.690 \ m/s$$

จากสมการ $$\dot{Q} = AV$$

$$= 0.005\ m^2 \text{ x } 7.690\ m/s$$

$$= 0.03845\ m^3/s$$

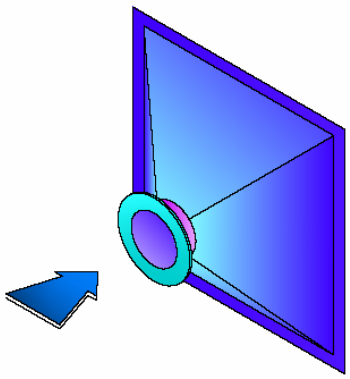
$$= 2.307\ m^3/min$$

พิจารณาเลือกพัดลมเป่าอากาศขนาดปริมาณการไหลไม่ต่ำกว่า 2.307 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที โดยพัดลมที่เลือกใช้มีขนาด 1.5 กิโลวัตต์ 3 เฟส ชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Blower) การควบคุมปริมาณลมที่ไหลเข้าชุดทดลองแลกเปลี่ยนความร้อนในแต่ละกรณีศึกษา สามารถทำได้โดยการปรับหรี่วาล์วเพื่อลดหรือเพิ่มปริมาณลมที่ไหลเข้าสู่ชุดทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3

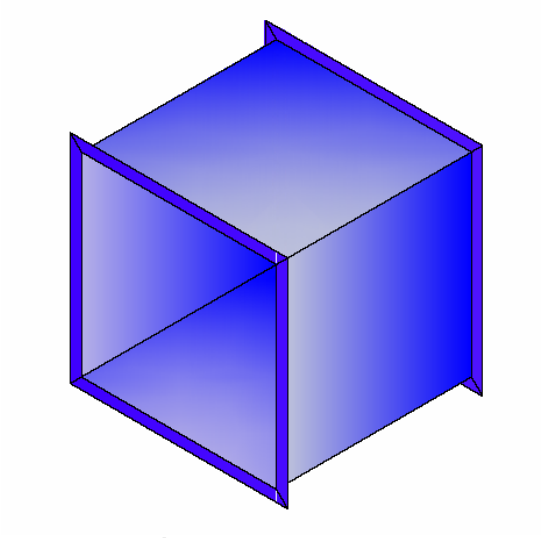
รูปที่ 4.3 พัดลมเป่าอากาศ

4.3.2 ชุดจัดเรียงอากาศ

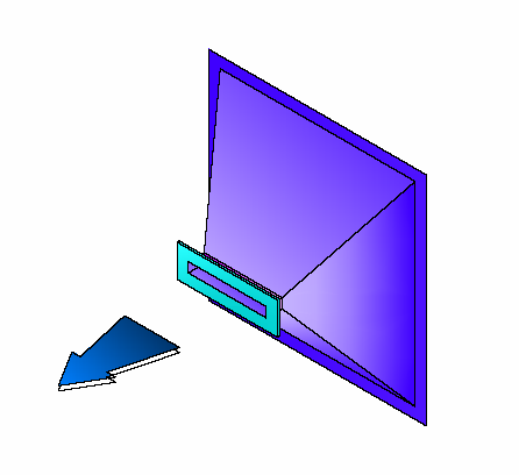
อากาศที่ออกจากพัดลมเป่าอากาศโดยจะมีความเร็วแตกต่างกันในแต่ละหน้าตัดท่อลม ดังนั้นเพื่อให้ความเร็วของอากาศมีค่าใกล้เคียงกันตลอดพื้นที่หน้าตัด จึงต้องมีการติดตั้งชุดเรียงอากาศก่อนจะเข้าสู่ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การออกแบบชุดจัดเรียงอากาศจะแบ่งออกเป็นท่อเพิ่มขนาด ห้องจัดเรียงอากาศ และท่อลดขนาด ดังแสดงในรูป 4.4 – 4.6



รูปที่ 4.4 ท่อเพิ่มขนาดของชุดจัดเรียงอากาศ

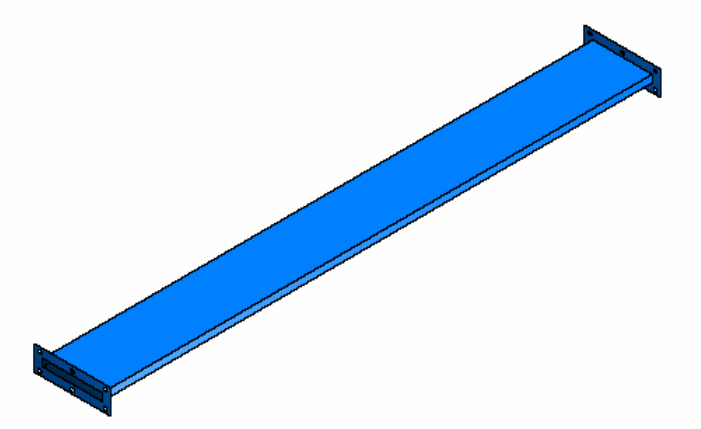


รูปที่ 4.5 ห้องจัดเรียงอากาศ



รูปที่ 4.6 ท่อลดขนาดของชุดจัดเรียงอากาศ

4.3.3 ท่อส่งลมหน้าตัดสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.7 ท่อส่งลมหน้าตัดสี่เหลี่ยม

ท่อส่งลมหน้าตัดสี่เหลี่ยมมีหน้าที่ปรับสภาพของของไหลให้เป็นลักษณะพัฒนาแบบสมบูรณ์ (Fully developed) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยระยะความยาวท่อหน้าตัดต้องมีระยะไม่น้อยกว่าระยะปากทางเข้าท่อ (Entry length , L_e) ซึ่งระยะดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

จากสมการที่สภาวะการไหลแบบปั่นป่วน $10 < L_e < 30$

พิจารณาที่ $L_e = 30D_h$

$= 30 \times 0.0444$

$= 2.58$ m.

ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดความยาวของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมสำหรับการทดลองนี้ คือ 2.6 m

4.3.4 เครื่องกำเนิดความร้อน

การทดลองนี้ใช้เครื่องกำเนิดความร้อนแบบแผ่น (Plate heater) ดังรูปที่ 4.8 โดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน โดยชุดเครื่องทำความร้อนจะจัดวางอยู่บนแผ่นอลูมิเนียม ซึ่งจะถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นอลูมิเนียมแล้วถ่ายเทความร้อนดังกล่าวโดยการพาไปยังของไหลภายในท่อต่อไป

รูปที่ 4.8 เครื่องกำเนิดความร้อนแบบแผ่น

การหาขนาดของเครื่องทำความร้อนจะต้องพิจารณากรณีเครื่องทำความร้อนรับภาระมากที่สุด โดยจะพิจารณาจากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) และต้องกำหนดเงื่อนไขสำหรับการออกแบบ คือ อุณหภูมิที่ทางเข้า (T_i) อุณหภูมิที่ทางออก (T_o) อุณหภูมิที่ผิว (T_w) และค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re)

เงื่อนไขการออกแบบเบื้องต้น คือ $T_i = 30\ ^oC,\ T_o = 50\ ^oC, T_w = 50\ ^oC,\ Re = 20{,}000$

$$T_f = \frac{T_i + T_o}{2}$$

$$= \frac{(30+50)^{\circ}\mathrm{C}}{2}$$

$$= 40.0\ {}^{o}C$$

จากตารางคุณสมบัติของอากาศ ณ $T_f = 40.0\ {}^{o}C$ จะได้ $\mu = 1.908\text{x}10^{-5}\ kg/m.s$

$\rho = 1.1176\ kg/m^3$, $C_p = 1007.53\ J/kg.{}^{O}C$

จากการคำนวณเบื้องต้นที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000 ต้องมีอัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.03845 m^3/s

จากสมการ $\dot{m} = \rho Q$

$= 1.1176 \text{ x } 0.03845$

$= 0.0426\ kg/s$

จากสมการ $\dot{Q} = \dot{m}\, C_p(T_o - T_i)$

$= (0.0426)\ kg/s \text{ x } (1007.53)\ J/kg{}^{O}C \text{ x } (50 - 30){}^{o}C$

$= 858.41\ Watt$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดกำลังของเครื่องทำความร้อนสำหรับการทดลองนี้ คือ 1,000 *Watt*

4.3.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลจะเลือก ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกันไป โดยหากเส้นผ่านศูนย์กลางโตจะมีช่วงการวัดอุณหภูมิที่สูงกว่าเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน โดยมีหลักการคือ เมื่อนำลวดโลหะสองเส้นทำด้วยโลหะที่ต่างกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของเส้นลวดทั้งสอง ปริมาณของกระแสไฟนี้จะเปลี่ยนตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายเปิด เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ดังรูปที่ 4.9 (Type K Chromel V.S alumel) ชนิดนี้ สายบวกทำมาจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 90% และโครเมี่ยม 10% และสายลบทำมาจากโลหะผสมนิกเกิล 95% + 5% ของผสมระหว่างอลูมิเนียมแมงกานีสและซิลิคอน ในปัจจุบันเทอร์โมคัปเปิลมีหลายแบบหลายชนิดให้เลือกใช้โดยจะส่งสัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้มายังเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

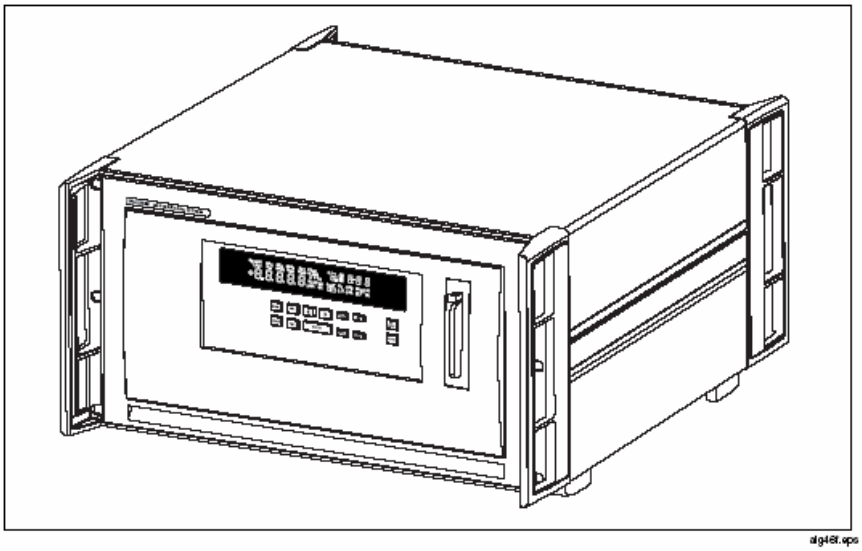
1) ตัวเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน โดยเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้นจะทำให้ช่วงอุณหภูมิการใช้งานสูงขึ้น

2) ฉนวนหุ้มเทอร์โมคัปเปิล ฉนวนจะทำหน้าที่ป้องกันมิให้สายของเทอร์โมคัปเปิลเกิดการลัดวงจรและช่วยป้องกันไม่ให้สัมผัสกับปลอกหุ้มโลหะ (Protection tube) โดยฉนวนจะทำมาจากสารเคมีจำพวกแมกนีเซียมออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น

3) ท่อหุ้มป้องกัน ท่อที่หุ้มอยู่จะช่วยเสริมความแข็งแรงของตัวเทอร์โมคัปเปิลและยังช่วยยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลจากสภาพภายนอกอีกด้วย

รูปที่ 4.9 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

4.3.6 อุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิ

การบันทึกค่าอุณหภูมิผิวภายในชุดทดลองและอุณหภูมิอากาศเข้าออก โดยใช้อุปกรณ์บันทึกค่า (Data logger) Fluke model 2680A ดังรูปที่ 4.10 เป็นตัวรับสัญญาณอุณหภูมิในแต่ละจุด

ผ่านทางสายที่ต่อเข้ากับเทอร์โมคัปเปิล สามารถรองรับสัญญาณเข้า (Input data) ได้ถึง 120 ช่องสัญญาณ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลชนิด Real time และบันทึกค่าชนิด Real time

4.3.7 อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ

ปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วชนิด Hot wire Anemometer ดังรูปที่ 4.11 ตรวจวัดบริเวณทางออกของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน โดยเครื่องดังกล่าวจะวัดผลต่างการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปแล้วเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกหรือสัญญาณดิจิตอลเพื่อแสดงค่าความเร็วของอากาศต่อไป

รูปที่ 4.11 เครื่องวัดความเร็วอากาศแบบ HOT WIRE

4.3.8 อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง

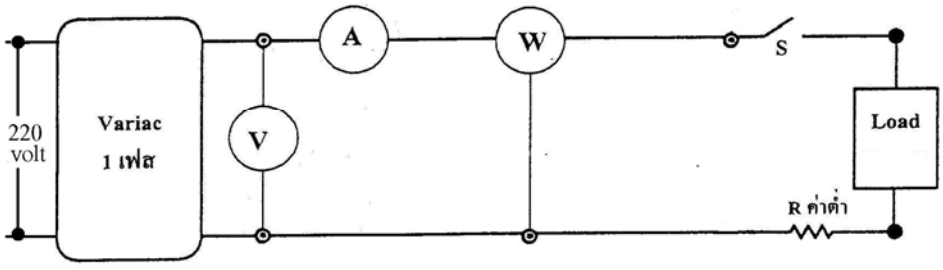
อุปกรณ์วัดความดันแตกต่างประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ Differential pressure transmitter และอุปกรณ์ Testo model 350M/XL – Testo 454 ซึ่งเป็นส่วนประมวลจากค่าสัญญาณที่ได้จาก Transmitter ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าว สามารถวัดความดันแตกต่างได้ระหว่าง 10-30,000 Pa โดยมีความแม่นยำ +/- 0.20% สามารถบันทึกค่าที่ตรวจวัดได้ถึง 250,000 ค่า

รูปที่ 4.12 อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง

4.3.9 อุปกรณ์ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

อุปกรณ์ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า Variac ดังรูปที่ 4.14 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับลดหรือเพิ่ม ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากค่าหนึ่งเป็นอีกค่าหนึ่ง โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำผ่านวงจรแม่เหล็ก นอกจากนั้นหม้อแปลงไฟฟ้ายังสามารถใช้ประโยชน์สำหรับทำเป็นตัวกลางแปลงค่า Impedance ของ load ให้มีค่าเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน Variac ยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้อีกด้วย

การควบคุมการลดหรือเพิ่มขนาดระดับของแรงดันไฟฟ้าสำหรับชุดสร้างความร้อน Heater ให้มีความเหมาะสมกับการทดลอง โดยอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0 – 250 โวลต์ โดยการสังเกตุจากค่ากระแสที่มิเตอร์เครื่อง โดยการทำงานจะติดตั้ง Variac อนุกรมกับวงจรไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.13 กระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปยังเครื่องทำความร้อน Heater ซึ่งการวัดกระแสไฟฟ้าจะต้องต่อแอมมิเตอร์ (Amp meter) แบบอนุกรมกับวงจร การวัดความต่างศักดิ์จะต้องต่อโวล์ทมิเตอร์ (Volt meter) แบบขนานกับวงจร และการวัดกำลังไฟฟ้าจะต้องต่อวัตต์มิเตอร์ (Watt meter) เข้ากับวงจร

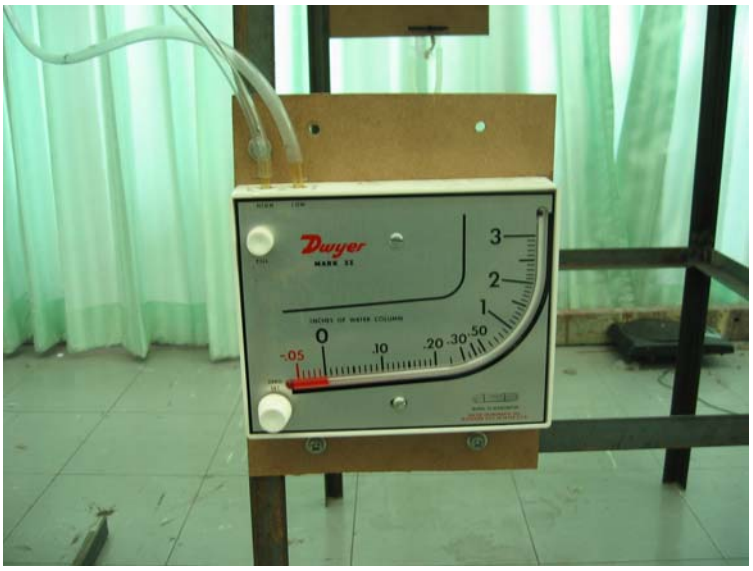


รูปที่ 4.13 แผนผังวงจรอุปกรณ์ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 4.14 อุปกรณ์ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า (Variac)

4.3.10 มาโนมิเตอร์

เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดผลต่างความดันตกคร่อมของทางเข้าก่อนเข้ากับทางออกของชุด Orifice ของท่อส่งลม โดยความแตกต่างของระดับของเหลวในมาโนมิเตอร์จะต้องมีการสอบเทียบกับปริมาณลมจริงที่ไหลผ่านชุดทดลอง และเพื่อควบคุมปริมาณลมในแต่ละกรณีศึกษาให้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 มาโนมิเตอร์ชนิดเอียง (Inclined Manometer)

4.3.11 ฉนวนของเครื่องทำความร้อน

เนื่องจากการทดลองกำหนดให้เป็นชนิดการถ่ายเทความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นช่องขนานออกสู่บรรยากาศภายนอก จึงต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนโดยรอบชิ้นงาน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนดังกล่าว

รูปที่ 4.16 ฉนวนกันความร้อน

4.3.12 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

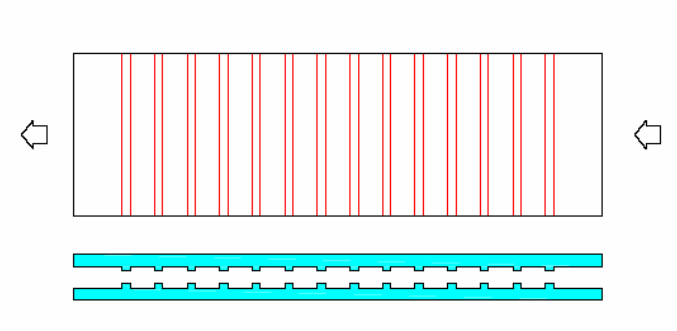
ชิ้นงานทดสอบทำด้วยอลูมิเนียมมีขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร และความยาวช่วงทดสอบ 550 มิลลิเมตร ครีบสี่เหลี่ยมมีระยะความสูงพิต (e) เท่ากันทุกกรณีทดสอบ คือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบมีระยะห่าง (D) ของแผ่นบนและล่าง เท่ากับ 15 , 20 และ 25 มิลลิเมตร การจัดวางรูปแบบครีบมีการจัดวางในลักษณะแนวครีบตรงกันคือครีบบนล่างอยู่ตรงกันทำมุม 0 องศา และแนวครีบเยื้องคือครีบบนและครีบล่างทำมุม 180 องศา

4.4 ประเภทชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

รูปแบบช่องขนานที่มีครีบที่ทำการศึกษาจะมีรูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของครีบแต่ละประเภทว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากน้อยเพียงใดเปรียบเทียบกับช่องขนานผิวเรียบ โดยประเภทของครีบที่ศึกษาแบ่งเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

4.4.1 ช่องขนานที่มีครีบตรง

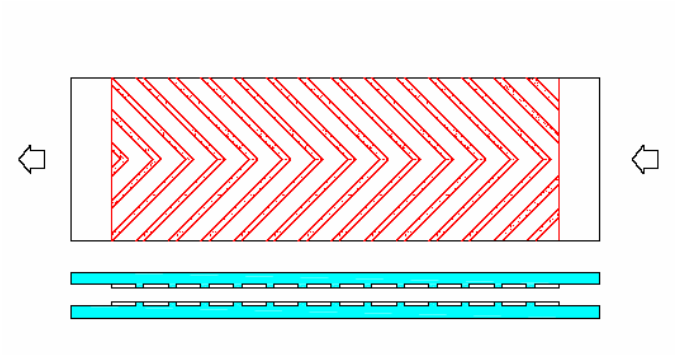
ช่องขนานที่มีครีบตรงสี่เหลี่ยมวางทำมุม 90 องศากับทิศทางการไหลของอากาศ โดยมีระยะพิต (P) เท่ากับ 40 มิลลิเมตร ระยะความสูงพิต (e) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ช่องขนานที่มีครีบตรง

4.4.2 ช่องขนานที่มีครีบตัววี

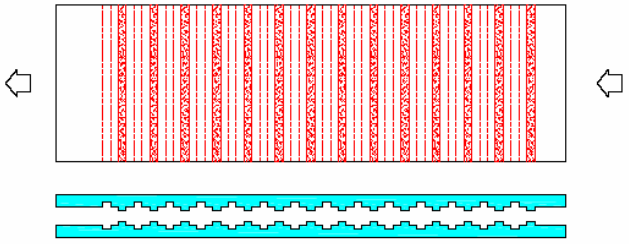
ช่องขนานครีบเหลี่ยมจัดวางรูปตัววีมุม 45 องศา วางทำมุม 90 องศากับทิศทางการไหลของอากาศ โดยมีระยะพิต (P) เท่ากับ 40 มิลลิเมตร ระยะความสูงพิต (e) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ช่องขนานที่มีครีบรูปตัววี

4.4.3 ช่องขนานที่มีครีบและร่องตรง

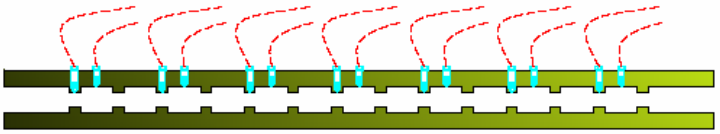
ช่องขนานที่มีครีบเหลี่ยมตรงวางสลับร่องรูปสี่เหลี่ยมในลักษณะ ครีบ-ร่อง วางทำมุม 90 องศากับทิศทางการไหลของอากาศ ระยะความสูงครีบ(e) เท่ากับ 5 มิลลิเมตรและความลึกร่อง (e_d) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นครีบและผิวเซาะร่อง(P_g) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ช่องขนานที่มีครีบและร่องตรง

4.4.4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของแผ่นช่องขนาน

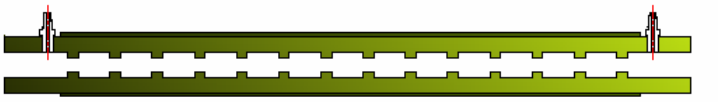
การวัดอุณหภูมิภายในทำการตรวจวัดอุณหภูมิผิว Thermocouple Type K ตลอดความยาวแผ่นทดลอง รวมทั้งสิ้น 14 จุด ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิผิวแผ่นช่องขนาน

4.4.5 ตำแหน่งการวัดความดันตกคร่อมแผ่นช่องขนาน

แผ่นช่องขนานจัดเตียมตำแหน่งที่วัดความดันตกคร่อม สำหรับการทดลองนี้เลือกติดที่ทางเข้าและทางออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อตรวจสอบและทราบค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อน ตามรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งการตรวจวัดความดันแตกต่างแผ่นช่องขนาน