บทที่ 4
อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

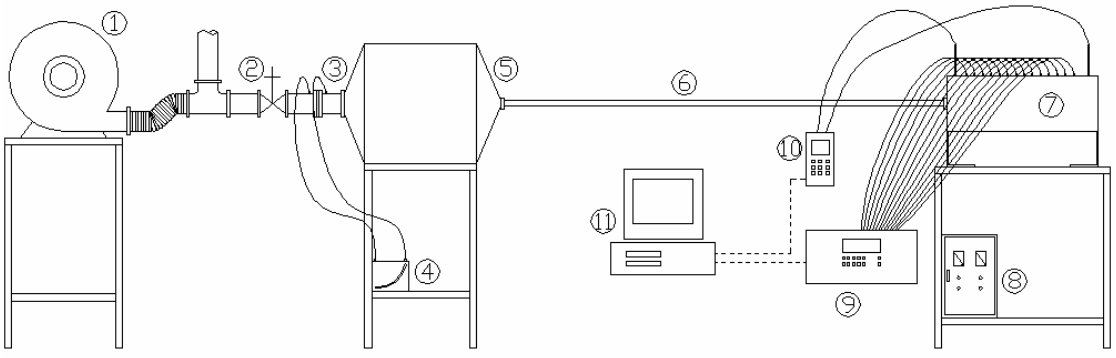
4.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะได้แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมรูปแบบต่าง ๆ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ซึ่งประกอบด้วยพัดลมขนาด 2.20 กิโลวัตต์, กล่องปรับรูปแบบการไหลสำหรับเปลี่ยนการไหลจากท่อกลมมาเป็นการไหลในช่องขนาน, ช่องขนานสำหรับปรับสภาพของการไหลทำจากแผ่นโลหะขนาดหน้าตัดกว้าง 0.20 เมตร และมีความยาว 1.60 เมตร และส่วนทดลองจะเป็นแผ่นโลหะกว้าง 0.20 เมตร และยาว 0.55 เมตร ทำการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมกว้าง 0.01 เมตร และลึก 0.005 เมตร ตลอดหน้าตัด โดยมีระยะห่างระหว่างร่องที่เซาะ (Pitch) เท่ากับ 0.04 เมตร

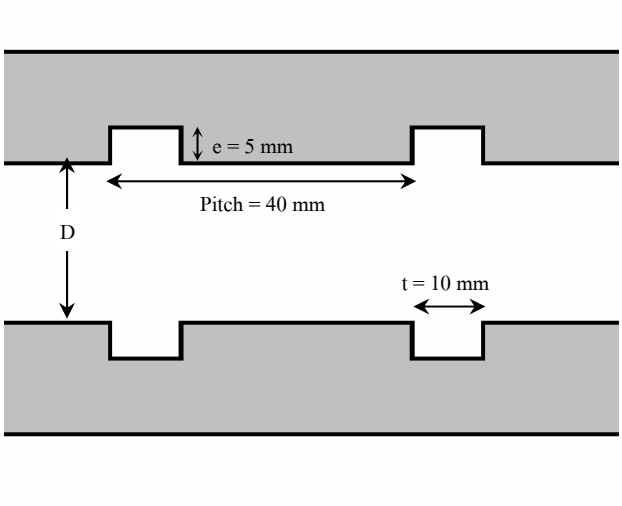
การปรับอัตราการไหลของของไหลจะใช้การควบคุมด้วยวาล์วเพื่อให้ได้การไหลทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน อากาศในชุดทดลองถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2.00 กิโลวัตต์ โดยติดแผ่นฮีตเตอร์ซึ่งมีพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.09 เมตร และยาว 0.45 เมตร ที่ผิวบนและผิวล่างของช่องขนาน ผิวภายนอกของส่วนทดลองถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนของชุดทดลอง การวัดอุณหภูมิผิวช่องขนานและอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและออกถูกวัดด้วยเทอร์โมคัพเปิลชนิด K จำนวน 16 ตัว ด้วย Data logger (Fluke-Model 2680A ซึ่งสามารถวัดค่าได้ 40 Channels) และบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ ส่วนค่าความดันลดระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดลองอ่านและบันทึกค่าด้วย Digital differential pressure recorder (Testo-Model 350-M/XL-Testo 454)

รูปที่ 4.1 แสดงชุดทดลอง

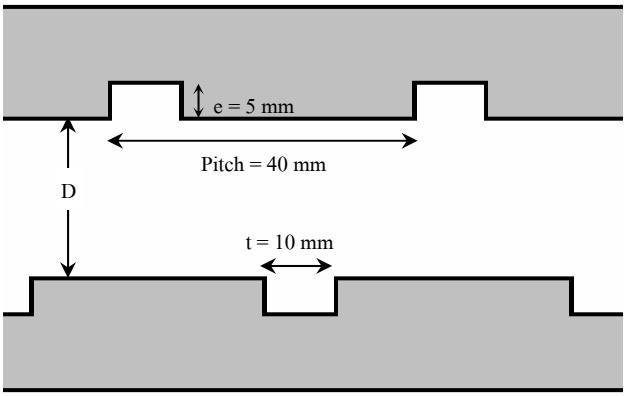


1. พัดลม
2. วาล์วปรับปริมาณลม
3. แผ่นออริฟิส
4. มานอมิเตอร์
5. กล่องปรับการไหล
6. ช่องขนานปรับสภาพการไหล
7. ชุดทดลอง
8. ชุดควบคุมฮีตเตอร์ไฟฟ้า
9. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Fluke)
10. เครื่องวัดความดัน (Testo)
11. คอมพิวเตอร์

รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพของชุดทดลอง



รูปที่ 4.3 แสดงภาพด้านข้างของแผ่นขนานที่มีการเซาะร่องสี่เหลี่ยมวางแนวร่องตรงกัน



รูปที่ 4.4 แสดงภาพด้านข้างของแผ่นขนานที่มีการเซาะร่องสี่เหลี่ยมวางแนวร่องเยื้องกัน

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

4.2.1 กำลังของเครื่องทำความร้อน

การคำนวณหากำลังของเครื่องทำความร้อนจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบก่อนแล้วจึงจะสามารถหากำลังของเครื่องทำความร้อนได้ โดยกำลังของเครื่องทำความร้อนสามารถหาได้จากอัตราการไหลเชิงมวลคูณกับค่าความจุความร้อนจำเพาะและผลต่างของอุณหภูมิก็จะได้สมการดังนี้

$$Q = \dot{m}C_p\left(T_i - T_o\right) \tag{4.1}$$

เมื่อ Q คือ กำลังของเครื่องทำความร้อน, kW

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/s

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, kJ/kg ^{o}C

T_i คือ อุณหภูมิภายใน, ^{o}C

T_o คือ อุณหภูมิภายนอก, ^{o}C

4.2.2 กำลังของพัดลม

การคำนวณหากำลังของพัดลมจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบก่อนแล้วจึงจะสามารถหากำลังของพัดลมได้ โดยการคำนวณหากำลังของพัดลมหาได้จากนำอัตราการไหลโดยน้ำหนักคูณกับเฮดของพลังงานก็จะได้สมการดังนี้

$$Q_{flow} = AV \tag{4.2}$$

$$Power = \rho g Q_{flow} H_P \tag{4.3}$$

$$H_p = \frac{\Delta hg + \frac{V^2}{2} + h_f + h_m}{g} \tag{4.4}$$

เมื่อ Q_{flow} คือ อัตราการไหลของของไหล, m^3/s

A คือ พื้นที่, m^2

V คือ ความเร็วของของไหล, m/s

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s^2

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

H_p คือ เฮดของพลังงาน, m

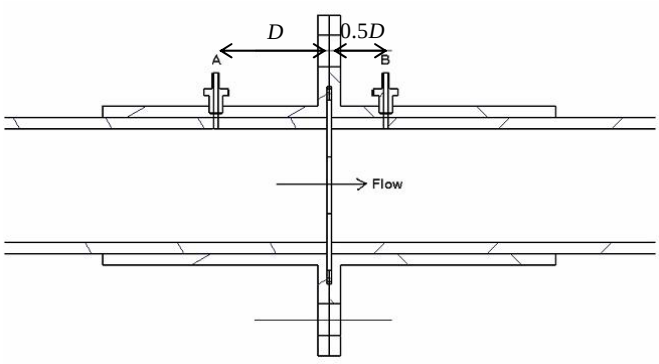
ในการทดลองจะใช้พัดลมสำหรับทำการส่งอากาศเข้าไปในชุดทดลองเป็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal fan) ดังแสดงในรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 แสดงชุดพัดลมที่ใช้ในการทดลอง

4.2.3 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

การวัดอัตราการไหลของของไหลภายในท่อจำเป็นต้องเลือกประเภทและชนิดของเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน สำหรับการศึกษาทดลองนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบออริฟิส และ แบบ Hot wire ซึ่งสามารถใช้วัดอัตราการไหลได้มีความถูกต้องสูง

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสเป็นเครื่องมือสำหรับของไหลที่ไหลภายในท่อแบบหนึ่ง ซึ่งออกแบบเป็นแผ่นออริฟิสมีลักษณะเจาะรูกลมตรงกลาง และเจาะบากคมพร้อมติดตั้งมานอมิเตอร์แบบวัดผลต่างความดัน โดยพิจารณาจุดวัดที่ A อยู่ด้านหน้าแผ่นออริฟิสเป็นระยะ D และจุดที่ B อยู่ด้านหลังแผ่นออริฟิสเป็นระยะ $0.5D$ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ออริฟิส

Hot wire เป็นอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลแบบหนึ่ง ซึ่งมีการทำงานพื้นฐาน คือ เมื่อของไหลไหลผ่านช่อง Hot wire ความเร็วที่ไหลผ่านจะถูกแปรเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปที่อุปกรณ์ Testo454 ซึ่งจะแปรสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาเป็นความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบ Hot wire – Testo445

4.2.4 เครื่องมือวัดความดัน

การวัดความดันของไหลที่กำลังเคลื่อนที่ให้มีความถูกต้องแม่นยำนั้นจะต้องใช้เครื่องมือที่สามารถเข้ากับ Streamline ได้เป็นอย่างดี เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องมือไปรบกวนการไหลนั้น และรูที่เจาะไว้สำหรับวัดความดันภายในของท่อจะต้องตั้งฉากกับผิวภายในท่อ กรณีวัดของไหลที่มีความดันสูงมาก ๆ ด้วยท่อปิโซมิเตอร์ปลายเปิดก็จะต้องใช้ท่อที่มีความยาวมาก ดังนั้นเพื่อความ

สะดวกในการใช้งานจึงได้เลือกใช้มาโนมิเตอร์สำหรับการวัดความดันภายในท่อ กรณีต้องการทราบความแตกต่างของความดันก็จะสามารถหาได้โดยอาศัย Differential manometer โดยตำแหน่งที่วัดความดันอยู่ระดับเดียวกันจะได้สมการดังนี้

$$P_A - P_B = \rho g h \tag{4.5}$$

เมื่อ P_A คือ ความดันที่ตำแหน่ง A, N/m^2

P_B คือ ความดันที่ตำแหน่ง B, N/m^2

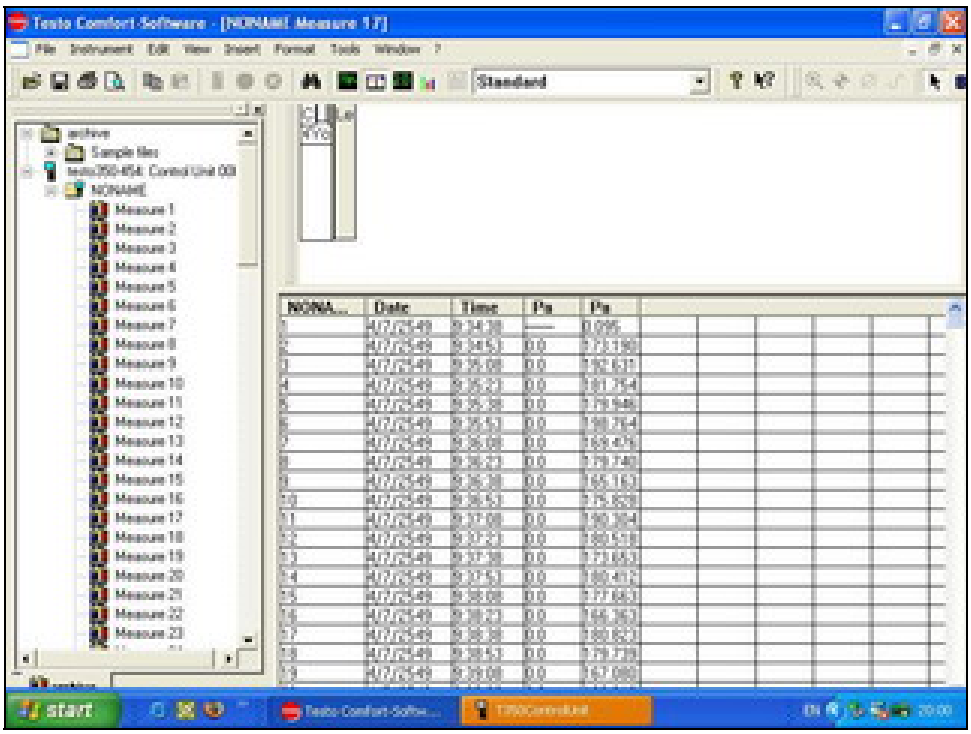
ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลภายในท่อ, kg/m^3

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s^2

h คือ ความแตกต่างของความระดับของเหลว, m

ในการทดลองเครื่องมือที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จะเป็นการวัดความดันทางด้านเข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วเปลี่ยนเป็นกระแสไฟส่งมายังเครื่องวัดความดันตกคร่อม ซึ่งเครื่องวัดจะทำการเปลี่ยนข้อมูลความดันด้านเข้าและออกที่ส่งมาให้เป็นตัวเลขดิจิตอลแสดงเป็นค่าความดันตกคร่อมเพื่อสะดวกในการอ่านและบันทึกข้อมูล โดยรูปที่ 4.9 จะแสดงโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความดันตกคร่อม

รูปที่ 4.8 แสดงรูปของเครื่องบันทึกความดันตกคร่อม – Testo350-M/XL-Testo454



รูปที่ 4.9 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความดันตกคร่อม

4.2.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิของของไหลภายในท่อจำเป็นต้องเลือกประเภทและชนิดของเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งเครื่องมือวัดอุณหภูมิในทางอุตสาหกรรมมีให้เลือกหลายชนิดขึ้นอยู่กับช่วงของอุณหภูมิที่จะทำการวัด ความถูกต้องและแม่นยำ และความเร็วในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิซึ่งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม คือ เทอร์โมคัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยเทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้จาก –295°C ถึง 1929°C การเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลจะเลือกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันไป โดยหากเส้นผ่านศูนย์กลางโตจะมีช่วงการวัดอุณหภูมิที่สูงกว่าเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน หลักการพบว่าเมื่อนำลวดโลหะสองเส้นทำด้วยโลหะที่ต่างกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกันจะเกิดกระแสกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของเส้นลวดทั้งสอง ปริมาณของกระแสไฟนี้จะเปลี่ยนตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายเปิด

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Type K Chromel Alumel) สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -200°C ถึง 1370°C สายบวกทำมาจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 90% บวกโครเมี่ยม 10% และสายลบทำมาจากโลหะผสมนิกเกิล 95% + 5% ของผสมระหว่างอลูมิเนียมแมงกานีสและซิลิคอน คุณสมบัติเด่นของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือการให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูง

การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลนั้นมักจะมีชิ้นส่วนอื่นประกอบเพิ่มเติมอีกเพื่อให้สามารถใช้งานเทอร์โมคัปเปิลได้ในสภาวะที่ต้องการและมีระยะเวลาการใช้ยาวนาน ซึ่งเทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

1) ตัวเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน โดยเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากขึ้นจะทำให้ช่วงอุณหภูมิการใช้งานสูงขึ้น

2) ฉนวนหุ้มเทอร์โมคัปเปิล ฉนวนจะทำหน้าที่ป้องกันมิให้สายของเทอร์โมคัปเปิลเกิดการลัดวงจรและช่วยป้องกันไม่ให้สัมผัสกับปลอกหุ้มโลหะ (Protection tube) โดยฉนวนจะทำมาจากสารเคมีจำพวกแมกนีเซียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น

3) ท่อหุ้มป้องกัน ท่อที่หุ้มอยู่จะช่วยเสริมความแข็งแรงของตัวเทอร์โมคัปเปิลและยังช่วยยืดอายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลจากสภาพภายนอกอีกด้วย

รูปที่ 4.10 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์เทอร์โมคัพเพิล

4.2.6 ระบบบันทึกข้อมูล

ระบบบันทึกข้อมูล (Data acquisition system) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและบันทึกอุณหภูมิที่ทำการต่อมาจากเทอร์โมคัพเพิล ซึ่งเทอร์โมคัพเพิลจะรับอุณหภูมิจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วเปลี่ยนเป็นกระแสไฟส่งมายังระบบบันทึกข้อมูล ซึ่งระบบบันทึกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.11 จะทำการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาจากเทอร์โมคัพเพิลให้เป็นตัวเลขดิจิตอลเพื่อสะดวกในการอ่านและบันทึกข้อมูล รูปที่ 4.12 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

รูปที่ 4.11 แสดงรูปของระบบบันทึกข้อมูล – Fluke Model 2680A

รูปที่ 4.12 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกค่าอุณหภูมิ

4.2.7 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับลดหรือเพิ่ม ขนาดระดับของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากค่าหนึ่งเป็นอีกค่าหนึ่ง โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำผ่านวงจรแม่เหล็ก เช่นเดียวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่งมีประโยชน์มากในด้านระบบส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่ง นอกจากนั้นหม้อแปลงไฟฟ้ายังสามารถใช้ประโยชน์สำหรับทำเป็นตัวกลางแปลงค่า Impedance ของ Load ให้มีค่าเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน Variac ยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.13 แสดงรูปของ Variac

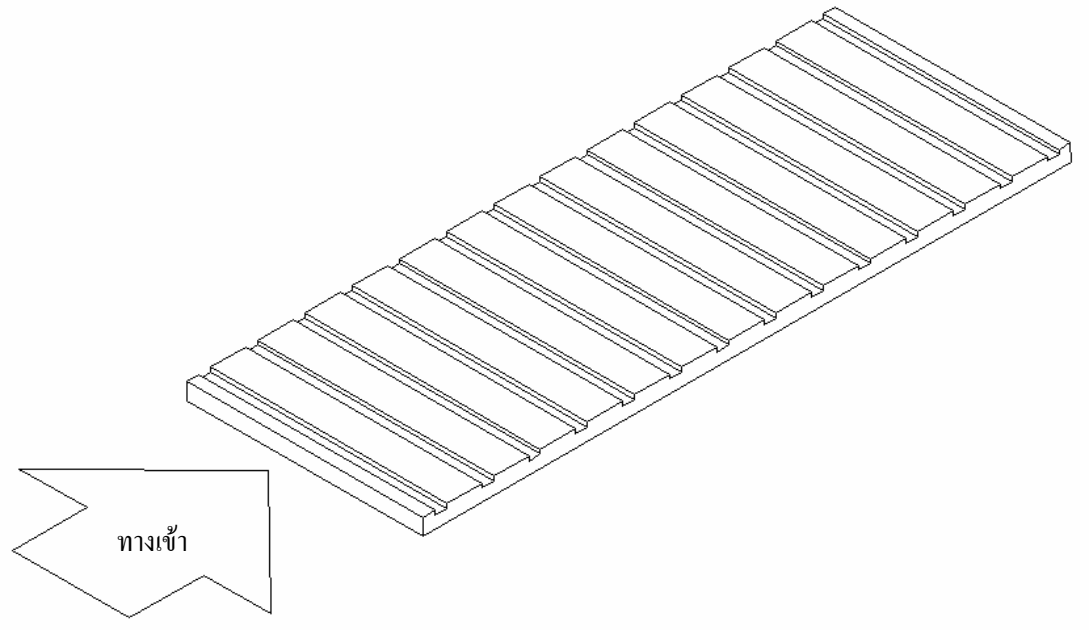
4.3 วิธีการทดลอง

พิจารณาผลของการไหลภายในช่องขนานผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมมีวิธีการทดลองดังนี้

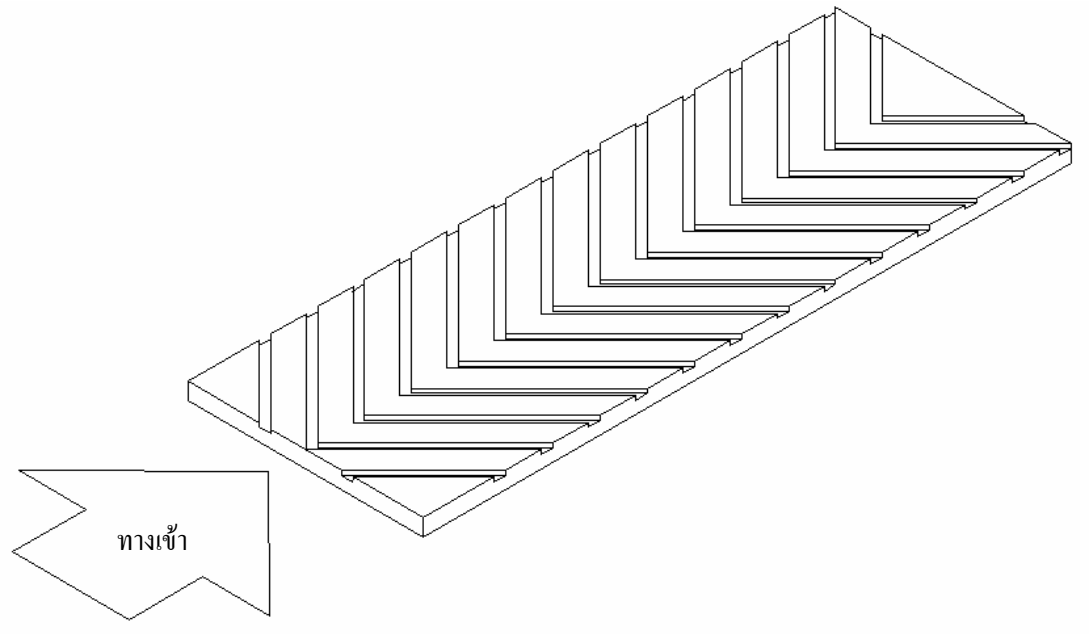
1. เริ่มการทดลองโดยเปิดสวิทช์เดินเครื่องพัดลม ให้อากาศไหลผ่านชุดทดลอง
2. ปรับความสูงของมอนอมิเตอร์ให้อยู่ที่ระดับความสูงที่ต้องการ จากนั้นทำการวัดความเร็วลมของอากาศด้านทางออกจากชุดทดลอง และทำการหรี่วาล์วเพื่อวัดความเร็วลมของอากาศที่ความสูงของมานอมิเตอร์ต่าง ๆ กัน
3. เปิดชุดฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนกับระบบ โดยให้ผิวของช่องขนานได้รับความร้อนด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant heat flux)
4. ปรับความเร็วลมของชุดทดลองโดยการปรับหรี่ที่วาล์วเพื่อให้ได้ความเร็วของของไหลครอบคลุมรูปแบบการไหลในช่วงการไหลทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน (ค่า Re อยู่ในช่วง 500 ถึง 20,000)

5. ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิผิวของช่องขนาน อุณหภูมิอากาศด้านเข้าและออกจากชุดทดลอง และบันทึกค่าความดันตกคร่อมชุดทดลอง
6. เริ่มทำการทดลองใหม่โดยการปรับค่าสัดส่วนความลึกต่อระยะระหว่างแผ่นขนาน (e/D) เท่ากับ 0.33, 0.25 และ 0.20 และที่การจัดวางของร่องที่เซาะแบบแนวตรง และแบบแนวเยื้อง

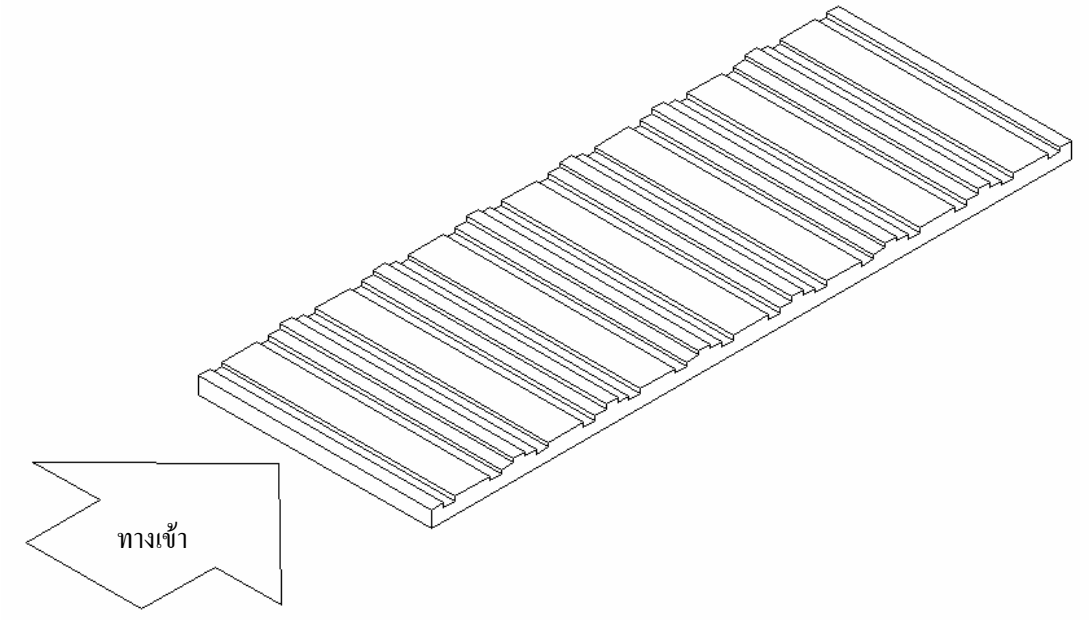
พิจารณาผลของช่องขนานที่มีการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ารูปแบบต่าง ๆ อันได้แก่ การเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมตรง การเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววี และ การเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมตรงที่มีการเพิ่มครีบรูปสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.14 แสดงแผ่นล่างของช่องขนานเซาะร่องสี่เหลี่ยม



รูปที่ 4.15 แสดงแผ่นล่างของช่องขนานเซาะร่องสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววี



รูปที่ 4.16 แสดงแผ่นล่างของช่องขนานเซาะร่องสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีบรูปสี่เหลี่ยม