

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการดำเนินการทดสอบให้เป็นที่ไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็นดังนี้ ตัวแปรสำหรับการทดสอบ, อุปกรณ์และเครื่องมือวัด ขั้นตอนการทดสอบ และวิธีการวิเคราะห์ผล สามารถอธิบายในรายละเอียดดังต่อไปนี้

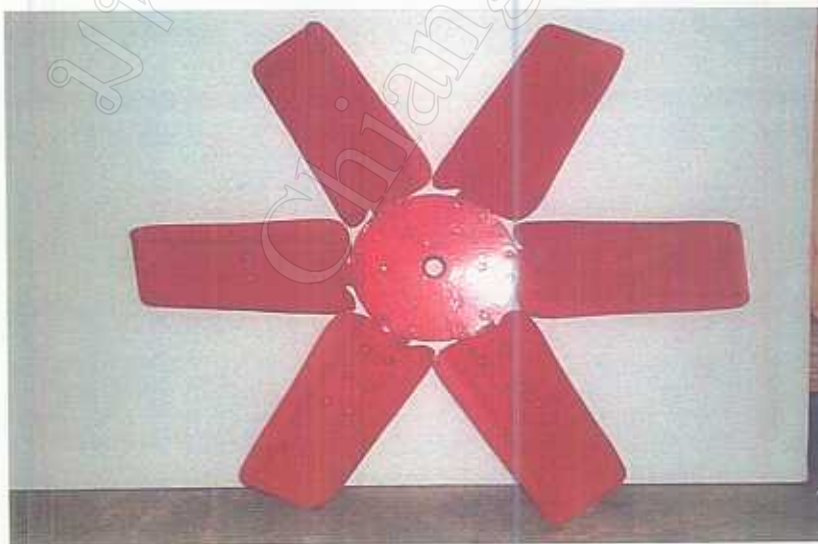
3.1 ตัวแปรสำหรับการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมแบบเปิด โดยจะเน้นสองตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ คือ ลักษณะภาคตัดของใบพัด และมุมพิทช์

3.1.1 ลักษณะภาคตัดของใบพัด

3.1.1.1 ภาคตัดใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น

ใบพัดอุโมงค์ลมใช้อยู่เป็นใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร มีภาคตัดใบพัดเป็นแบบแผ่นเรียบ บิดเกลียว มุมพิทช์โดยเฉลี่ย 23 องศา ไม่สามารถปรับมุมพิทช์ ความยาวคอร์ด 180 มิลลิเมตร จำนวนใบพัด 6 ใบพัด และขนาดของคุมใบพัด 270 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูป 3.1 [สัมพันธ์, 2527]



รูป 3.1 แสดงใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นเรียบที่ใช้อยู่เดิม

3.1.1.2 ภาคตัดใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ

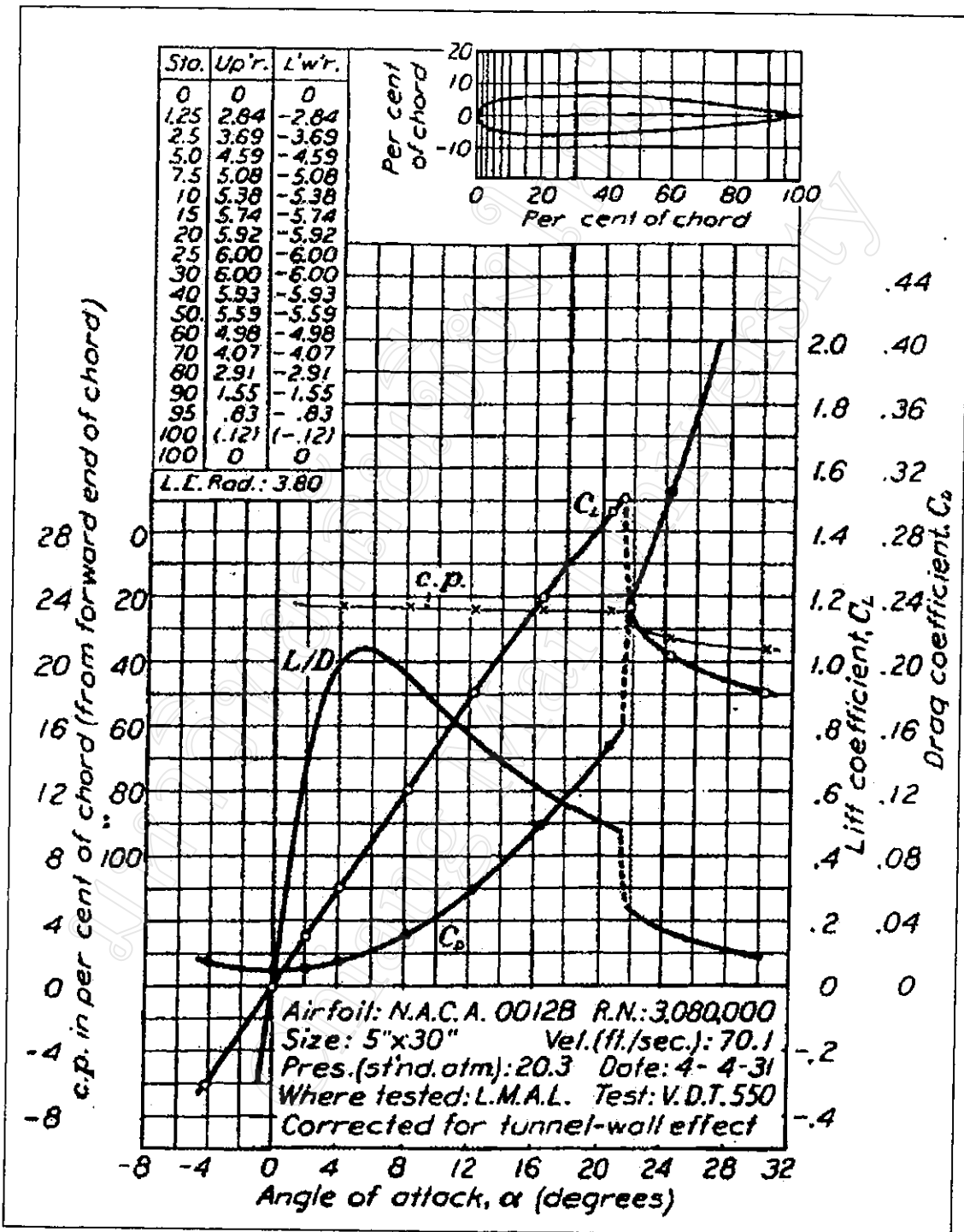
จากแนวคิดที่พยายามปรับปรุงให้อูโมงค์ลมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงได้นำภาคตัดแบบรูปแพนอากาศมาใช้เพื่อลดแรงต้านที่กระทำกับใบพัด และลดโอกาสที่จะเกิดอากาศหมุนวนหลังใบพัด (Stall) หน้าตัดแพนอากาศที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ N.A.C.A.0012-B ขนาดคอรัค 100 มิลลิเมตร โดยโมเดลที่สร้างขึ้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มิลลิเมตร ขนาดคุมใบพัด 270 มิลลิเมตร ลักษณะกลีบใบเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ไม่บิดเกลียว ดังแสดงในรูป 3.2 โดยมีขั้นตอนการพิจารณา ดังนี้



รูป 3.2 แสดงลักษณะของใบพัดหน้าตัดแบบแพนอากาศ

ก. อัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (L/D)

ในการเลือกหน้าตัดรูปแพนอากาศ จะพิจารณาให้มีค่าอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านมากกว่า 20 [Douglas and Saarlax, 1996] ผลจากการพิจารณาคูณสมบัติของหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B พบว่ามีค่าอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านมากกว่า 20 ในช่วงมุมปะทะ 4 -7 องศา ดังแสดงในรูป 3.3 [Rice, 1971]



รูป 3.3 แสดงข้อมูลคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ภาคตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B
 ที่มา : Rice , 1971

ข. อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางคัมไบพัต (Hub) กับเส้นผ่าศูนย์กลางไบพัต

ในการออกแบบพัดลมตามแนวแกน จะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางคัมไบพัตกับเส้นผ่าศูนย์กลางไบพัต ต้องไม่เกิน 0.5 [Eck, 1973] เพื่อหลีกเลี่ยงผลของขนาดคัมไบพัตที่แตกต่างกัน จึงให้ขนาดของคัมไบพัตหน้าตัดแทนอากาศที่สร้างขึ้นใหม่มีขนาดเท่ากับขนาดคัมไบพัตแบบแผ่นเรียบเดิม ซึ่งเท่ากับ 270 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มิลลิเมตร ดังนั้นค่าอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางคัมไบพัตกับเส้นผ่าศูนย์กลางไบพัตเท่ากับ 0.27

ค. อัตราส่วนระหว่างช่องว่างระหว่างไบพัตกับความยาวคอर्ड

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเบลคอดิเมนต์ที่หาสมรรถนะของไบพัต ค่าอัตราส่วนระหว่างช่องว่างระหว่างไบพัตกับความยาวคอर्डต้องมากกว่า 1 [Douglas and Saarlal, 1996] จากการพิจารณาพบว่าจำนวนไบพัตที่เหมาะสมคือ 6 ไบ ซึ่งไบพัตจะมีค่าอัตราส่วนระหว่างช่องว่างระหว่างไบพัตกับความยาวคอर्डเท่ากับ 1.4

ง. ค่าโซลิดิตี (Solidity)

ค่าโซลิดิตี คือ ค่าอัตราส่วนพื้นที่ของกลีบไบพัตต่อพื้นที่กวาดของไบพัต โดยในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเบลคอดิเมนต์ค่าโซลิดิตี ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 [Douglas and Saarlal, 1996] จากการพิจารณาพบว่า ไบพัตที่ใช้มีพื้นที่ของกลีบไบพัตเท่ากับ 0.3 ตารางเมตร และพื้นที่กวาดของไบพัตเท่ากับ 0.785 ตารางเมตร ดังนั้นค่าโซลิดิตีของไบพัตเท่ากับ 0.38

3.1.2 มุมพิทช์

ต่อเนื่องจากหัวข้อข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม คือ มุมพิทช์ของไบพัต สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ประเมินหาค่ามุมพิทช์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดก่อนทำการทดสอบ โดยการหาประสิทธิภาพของไบพัตสูงสุดจากสมการเส้นแนวโน้มของประสิทธิภาพของไบพัตกับค่ามุมพิทช์ ซึ่งได้จากการประเมินหาค่าประสิทธิภาพของไบพัตที่ค่ามุมพิทช์ 0 จนถึง 50 องศา โดยใช้ทฤษฎี เบลคอดิเมนต์ และ โปรแกรมสมรรถนะปีกหมุนรายละเอียดยตามภาคผนวก ก. [ธวัชชัย, 2543]

3.1.2.1 การประเมินค่าประสิทธิภาพ

การประเมินค่าประสิทธิภาพของไบพัตจะประยุกต์ใช้ทฤษฎีเบลคอดิเมนต์ และหาคำตอบด้วยวิธีการคำนวณแบบทำซ้ำ (Iteration) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ [ธวัชชัย, 2543]

ก. สมมุติค่ามุมปะทะ α เริ่มต้น และคำนวณค่ามุมที่ความเร็วลัพท์กระทำกับ
ระนาบการหมุน (ϕ) จากสมการ $\alpha = \beta - \phi$

ข. หาค่าสัมประสิทธิ์แรงยก (C_L) และหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D)
จากความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านกับมุมปะทะ ดังรูป 3.3 เขียน
เป็นสมการได้ดังนี้

$$C_L = -0.000355 \times \alpha^2 + 0.077671 \times \alpha$$

$$C_L = 0.003214 \times \alpha^2 - 0.194142 \times \alpha + 3.843142$$

$$C_D = 0.000365 \times \alpha^2 + 0.000240 \times \alpha + 0.010290$$

$$C_D = 0.000857 \times \alpha^2 - 0.012071 \times \alpha + 0.092171$$

ค. หาค่าปัจจัยการไหลเข้าในแนวรัศมีของใบพัด (b) จากสมการ

$$\frac{b}{(1-b)} = \frac{N(C_L \sin \phi + C_D \cos \phi)c}{8\pi r^2 \sin \phi \cos \phi}$$

ง. หาค่าความเร็วเหนี่ยวนำ (V_{ia}) จากความสัมพันธ์ขององค์ประกอบความเร็ว

$$V_{ia} = \left(\sqrt{b(1-b)(\Omega r)^2} \right)$$

จ. หาค่าความเร็วลัพท์ของลมที่กระทำกับปีก (V_R) จากสมการ

$$V_R = \sqrt{V_{ia}^2 + (r\Omega(1-b))^2}$$

ฉ. หาค่ามัคนิมเบอร์ (M) จากสมการ

$$M = \frac{V_R}{V_s}$$

ช. หาค่ามุมที่ความเร็วลัพท์กระทำกับระนาบการหมุน (ϕ) จากสมการ

$$V_{ia} = r\Omega(1-b)\tan \phi$$

ซ. หาค่ามุมปะทะ (α) จากสมการ $\alpha = \beta - \phi$

ฉ. เปรียบเทียบค่ามุมปะทะจากข้อ ก. และข้อ ซ. หากค่ามุมปะทะ จากข้อ ซ. แตกต่างจากในข้อ ก. มากกว่า 10^{-8} นำค่ามุมปะทะ จากข้อ ซ. แทนใน ข้อ ก.แล้วทำตามลำดับไป จนกระทั่งค่ามุมปะทะจากข้อ ซ. แตกต่างจากในข้อ ก. น้อยกว่า 10^{-8}

3.1.2.2 ค่ามุมพิทช์ที่ทำให้ประสิทธิภาพใบพัดสูงสุด

ค่าประสิทธิภาพของใบพัดที่ประเมินได้ที่ตำแหน่งมุมพิทช์ 0 10 20 30 40 และ 50 องศา ได้นำมา หาสมการแนวโน้มด้วยวิธีประมาณค่าในช่วง (Interpolation) โดยใช้รูปแบบสมการเป็น โพลีโนเมียล (Polynomial) 2 รูปแบบ คือ ดีกรี 3 และ ดีกรี 4

ก. สมการโพลีโนเมียลดีกรี 3

จากการประมาณค่าในช่วงสมการแนวโน้มที่ความเร็วรวมต่าง ๆ แสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 แสดงสมการแนวโน้มแบบ โพลีโนเมียล ดีกรี 3

ความเร็วรอบ	สมการ	R ²	ค่ามุมพิทช์ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด
600	$\eta_f = 0.0027\beta^3 - 0.2292\beta^2 + 5.2636\beta + 3.7641, n=5$	0.693	16.42
800	$\eta_f = 0.0021\beta^3 - 0.1881\beta^2 + 4.645\beta, n=5$	0.802	17.44
1,000	$\eta_f = 0.0019\beta^3 - 0.1685\beta^2 + 4.2849\beta, n=5$	0.846	18.51
1,200	$\eta_f = 0.0018\beta^3 - 0.16\beta^2 + 4.1238\beta, n=5$	0.869	18.94
1,500	$\eta_f = 0.0017\beta^3 - 0.1537\beta^2 + 4.0056\beta, n=5$	0.8852	19.05

ข. สมการโพลีโนเมียลดีกรี 4

จากการประมาณค่าในช่วงสมการแนวโน้มที่ความเร็วรวมต่าง ๆ แสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 แสดงสมการแนวโน้มแบบโพลีโนเมียล ดีกรี 4

ความเร็วรอบ	สมการ	R ²	ค่ามุมพิทซ์ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด
600	$\eta_f = 0.0002\beta^4 - 0.0217\beta^3 + 0.8147\beta^2 + 0.753\beta, n=5$	0.940	10.30
800	$\eta_f = 0.0001\beta^4 - 0.0143\beta^3 + 0.5560\beta^2 + 7.8939\beta, n=5$	0.957	12.08
1,000	$\eta_f = 0.0001\beta^4 - 0.0121\beta^3 + 0.4781\beta^2 + 7.0139\beta, n=5$	0.976	12.30
1,200	$\eta_f = 0.00009\beta^4 - 0.011\beta^3 + 0.4395\beta^2 + 0.588\beta, n=5$	0.980	12.75
1,500	$\eta_f = 0.00005\beta^4 - 0.0102\beta^3 + 0.4122\beta^2 + 6.2846\beta, n=5$	0.983	12.758

จากสมการแนวโน้มที่ได้สามารถหาค่ามุมพิทซ์ที่ทำให้ประสิทธิภาพใบพัดสูงสุดด้วย วิธีหาค่าความชันที่เป็นศูนย์ ซึ่งค่ามุมพิทซ์ที่ได้แสดงดังตาราง 3.1 และ 3.2 ค่ามุมพิทซ์ที่ความเร็วรอบ ตั้งแต่ 600 ถึง 1,500 รอบต่อนาที ค่ามุมพิทซ์ที่ได้อยู่ในช่วง 16.4 - 19.1 องศา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 18 องศา ค่ามุมพิทซ์ที่ได้อยู่ในช่วง 10 - 12.8 องศา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12 องศา

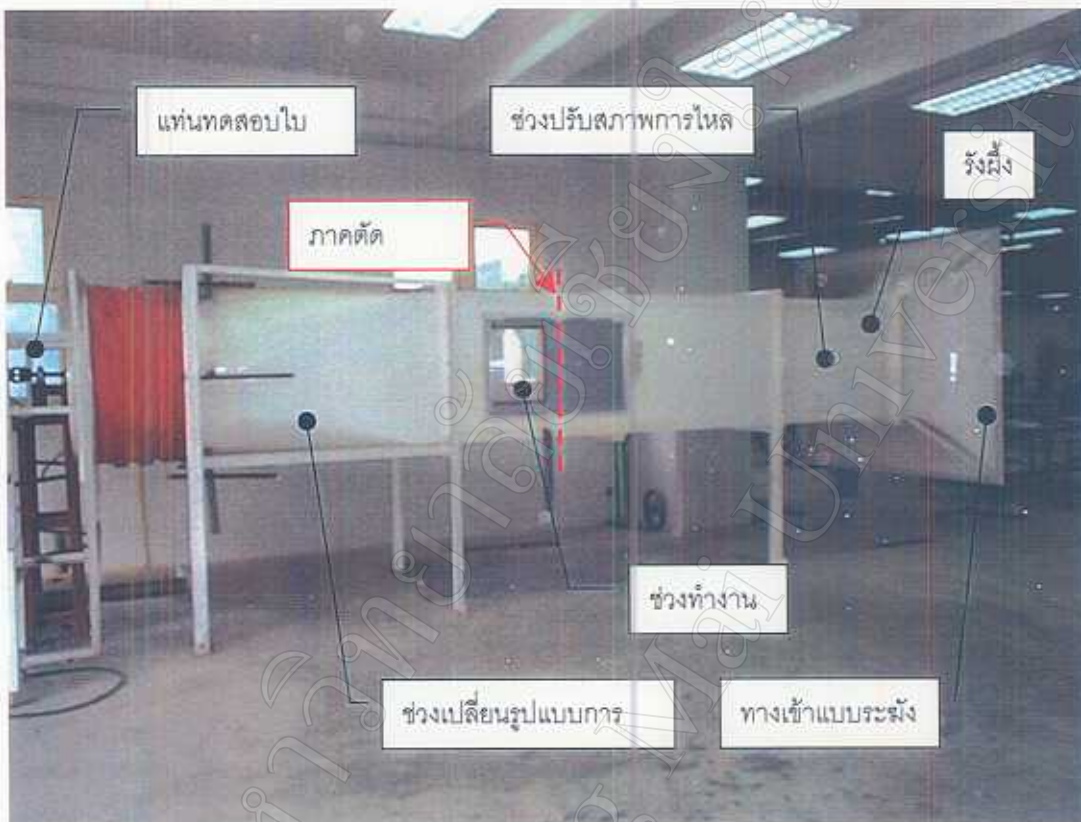
ดังนั้นจากการประเมินเบื้องต้นและเพื่อเปรียบเทียบกับใบพัดแบบแผ่นเรียบที่ใช้อยู่เดิม จึงได้หาค่ามุมพิทซ์ที่ใช้ทดสอบใบพัดเป็น คือ 12 18 และ 23 องศา ซึ่งที่ 23 องศา เป็นมุมที่เท่ากับ ใบพัดเดิม

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.2.1 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ

อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบเป็นอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด ดังแสดงในรูป 3.4 มีขนาดหน้าตัดทำงาน 0.9x1.2 เมตร และมีความยาวตลอดประมาณ 6 เมตร ซึ่งคิดระยะตั้งแต่ปากทางเข้าตลอดจนถึงปากทางออกของลม ภายในจะบุผนังด้วยไม้อัดหนา 0.01 เมตร เคลือบด้วยฟอรัมเมกา มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ปากทางเข้าแบบปากกระฆังหน้าตัด 1.8x2.1 เมตร มีรังผึ้งพลาสติกโดยมีขนาดของช่องเล็กๆ (พื้นที่หน้าตัด x ความลึก) เป็น 0.1x0.1x0.2 เมตร ติดตั้งที่ด้านทางเข้า มีลวดกรงไก่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดประมาณ 0.0016 เมตร ขนาดช่อง 0.025x0.025 เมตร เพื่อใช้สำหรับกันวัสดุหลุดจากชุดแทนทดสอบที่อาจจะไปทำอันตรายชุดใบพัดชุด ช่วงจัดรูปแบบการไหล ขนาดหน้าตัด 90 x 120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 120 เซนติเมตร ช่วงทำงาน

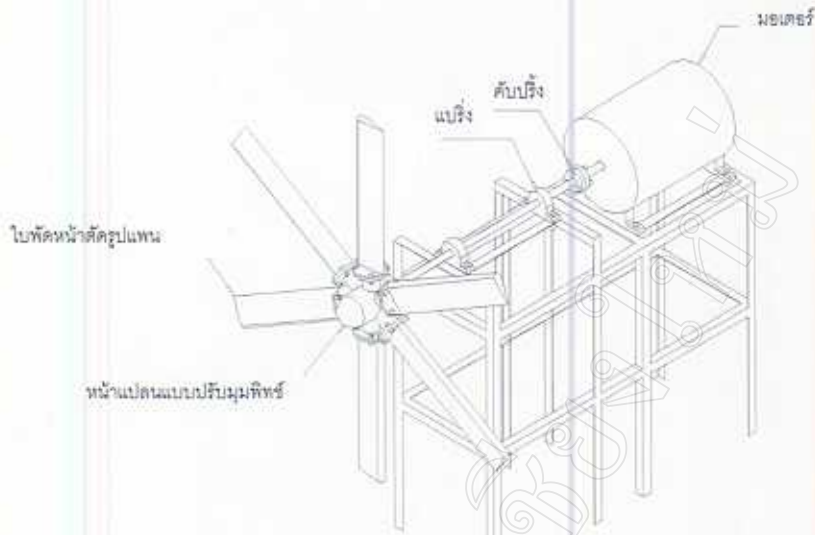
ขนาดหน้าตัด 90 x 120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 240 เซนติเมตร และช่วงเปลี่ยนหน้าตัดหรือเปลี่ยนรูปแบบการไหล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออก 90 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดทางเข้า 102 x 120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร



รูป 3.4 อุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.2 ชุดแท่นทดสอบใบพัด

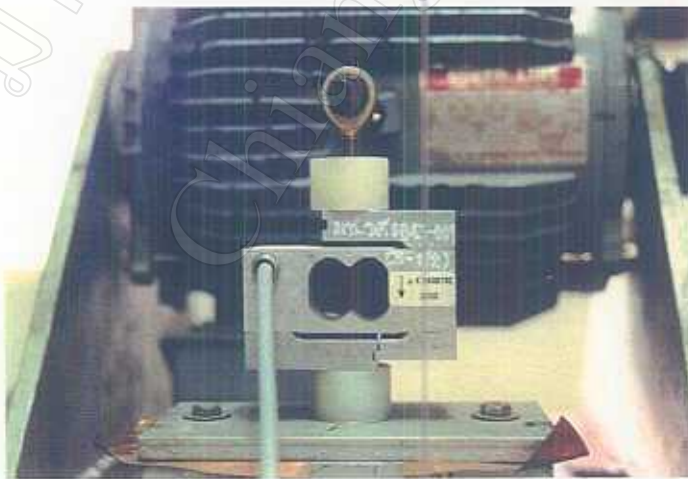
ชุดแท่นทดสอบใบพัดมีลักษณะดังรูป 3.5 ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ (5 แรงม้า) 3 เฟส ยี่ห้อ MITSUBISHI ต่อเข้ากับใบพัดดูดอากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด 1 เมตร จำนวน 6 ใบ โดยผ่านชุดเบริง 2 ชุดและมีคู่มือใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.27 เมตร



รูป 3.5 ชุดแทนทดสอบใบพัด

3.2.3 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดแรง (Force Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดแรง ชี่ห้อ HBM ชนิด S2 ขนาดวัดแรง 0 ถึง 1,000 N ค่าความแม่นยำ 50 N มีค่า Sensitivity เท่ากับ 2 mV/V วัดแรงได้ทั้งแรงกดและแรงดึง ลักษณะของทรานส์ดิวเซอร์วัดแรง แสดงในรูป 3.6



รูป 3.6 แสดงทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดแรงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.2.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ

อุปกรณ์ขยายสัญญาณที่เรียกว่า Weight Transmitter รุ่น WT95 ชื่อ Wisco สามารถรับสัญญาณจากสเตรนเกจที่มีค่า Sensitivity 0.4 ถึง 3 mV/V ความต่างศักย์กระตุ้น 12 โวลต์ DC สัญญาณออก 0 ถึง 10 โวลต์ ค่า Linearity น้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัด ลักษณะของ WT95 แสดงในรูป 3.7

3.2.5 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เรียกว่า Online Excel Datalogger รุ่น OD95 ชื่อ Wisco สามารถเก็บข้อมูลโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย RS232 เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลลงในฮาร์ดดิสก์ โดยมีซอฟต์แวร์ควบคุมและแสดงค่า สามารถรับสัญญาณ Analog ได้ 8 ช่องสัญญาณ ลักษณะของ OD95 แสดงในรูป 3.7



รูป 3.7 แสดงชุดอุปกรณ์ WT95 และ OD95

อุปกรณ์แต่ละตัวในชุดวัดแรงจะต่อเชื่อมกันและต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อรับสัญญาณแรง แสดงผล และเก็บบันทึกค่าสัญญาณ อุปกรณ์แต่ละตัวจะมีค่าผิดพลาดดังที่แสดงไว้ในรายละเอียดของอุปกรณ์ ค่าผิดพลาดรวม [Dally, *et al*, 1993] ของชุดอุปกรณ์วัดแรงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\varepsilon_T = \sqrt{\varepsilon_F + \varepsilon_A} \quad (3.1)$$

เมื่อใช้สมการ (3.1) หาค่าผิดพลาดของชุดอุปกรณ์วัดแรงได้เท่ากับ 0.58 นิวตัน จึงกำหนดค่านี้เป็นค่าน้อยที่สุดที่ชุดอุปกรณ์วัดแรงจะวัดได้ ถ้าค่าแรงที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่านี้จะไม่นำมาพิจารณา สำหรับค่าแรงบิดน้อยที่สุดที่จะเริ่มพิจารณาคือ 0.33 นิวตัน.เมตร เนื่องจากแขนของไดนาโมมิเตอร์ยาว 0.115 เมตร วัดจากจุดศูนย์กลางเพลาลงถึงตำแหน่งที่แกนกดอุปกรณ์วัดแรง

3.2.6 เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

เพื่อให้ได้ความเร็วรอบของชุดใบพัดตามที่ต้องการในครั้งนี้นำชุดควบคุมรอบมอเตอร์ยี่ห้อ YASKAWA รุ่น 606PC3 ขนาด 5 แรงม้า 3 เฟส ดังแสดงในรูป 3.8 สามารถปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าได้ละเอียดสุดที่ 0.1 เฮิรตซ์ อย่างไรก็ตามในการควบคุมความเร็วรอบนั้นต้องใช้เครื่องวัดความเร็วรอบมาวัดเพื่อตรวจสอบความเร็วรอบจริงของปีกหมุน เนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่ที่กำหนดไว้ที่มอเตอร์เพียงอย่างเดียวยังขึ้นอยู่กับภาระที่ทำงานด้วย



รูป 3.8 แสดงชุดเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

3.2.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ

การวัดความเร็วรอบของชุดใบพัดเป็นการตรวจสอบสภาวะการทำงาน ว่าใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบที่ต้องการทดสอบหรือไม่ เนื่องจากความเร็วรอบของใบพัดเป็นตัวแปรหนึ่งที่บอกสภาวะการทำงานของปีกหมุน เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วรอบนี้เป็นเครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงสะท้อนยี่ห้อ DIGICON DIGITAL TACHO รุ่น DT-230T มีช่วงการทำงานระหว่าง 5 ถึง 100,000 รอบต่อนาที มีความแม่นยำ ± 1 รอบต่อนาที สำหรับความเร็วรอบ 5 ถึง 5,000 รอบต่อนาที และ ± 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเร็วรอบมากกว่า 5,000 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูป 3.9



รูป 3.9 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงสะท้อน

3.2.8 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน

ยี่ห้อ TSI รุ่น VelociCalc Plus ใช้ในการวัดความเร็วลม (v) อุณหภูมิของกระแสลม (T) สามารถแสดงผลของความเร็วได้ถึง 1/100 เมตรต่อวินาที และสามารถบันทึกความเร็วลมได้ทุกๆ 2 5 10 15 และ 20 วินาที ลงในคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูป 3.10



รูป 3.10 แสดงชุดเครื่องวัดความเร็วแบบลวดร้อน

3.2.9 น้ำหนักมาตรฐาน

ในการสอบเทียบชุดอุปกรณ์วัดแรงดึงใช้น้ำหนักมาตรฐานมาทำสอบเทียบ สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำหนักมาตรฐานชนิดเหล็กหล่อขนาดพิคัดกำลัง 20 10 5 2 และ 1 กิโลกรัม มีความไม่แน่นอน ± 0.2 ± 0.1 ± 0.0 ± 0.0 และ ± 0.0 กรัมตามลำดับ และ ใช้น้ำหนักมาตรฐานชนิดทองเหลืองขนาดพิคัดกำลัง 0.50 0.20 0.10 0.05 0.02 0.01 0.005 0.002 0.001 0.0005 กิโลกรัม มีความไม่แน่นอน ± 2.5 ± 1.1 ± 0.6 ± 0.5 ± 0.4 ± 0.4 ± 0.4 ± 0.4 ± 0.4 และ ± 0.4 มิลลิกรัมตามลำดับ



รูป 3.11 แสดงน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.2.10 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ

ความดันบรรยากาศเป็นตัวแปรบอกสภาวะอีกตัวหนึ่ง จึงจำเป็นต้องทราบความดันบรรยากาศที่กำลังทำงานอยู่ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องวัดความดันบรรยากาศที่สามารถแสดงผลได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตรปรอท ดังแสดงในรูป 3.12



รูป 3.12 แสดงชุดเครื่องวัดความดันบรรยากาศ

3.2.11 ไมโครมานิเตอร์

การวัดความดันรวมที่หน้าตัดของอุโมงค์ลม จะใช้ไมโครมานิเตอร์เพื่อวัดค่าความดันรวม โดยต้องเข้าสู่ท่อพิโตทิวป์ (Pitot tube) โดยวัดความดันแตกต่างของความดันอากาศ 2 จุด ในแนวแกนไหลของอุโมงค์ลม ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียด 0.05 มิลลิเมตรของน้ำ ดังแสดงในรูป 3.13

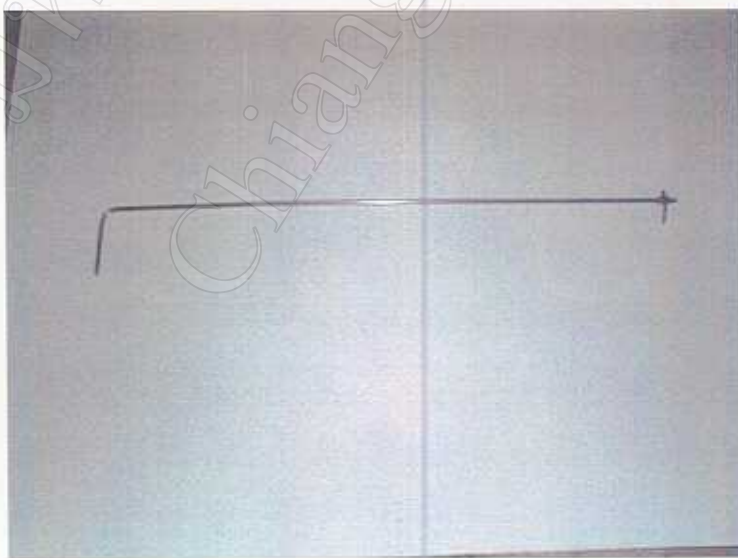


รูป 3.13 แสดงชุดโครมาโทกราฟี

3.2.12 พิโดทิวป์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความดันรวม ความดันสถิต โดยประกอบด้วยท่อ 2 ชั้น โดยท่อชั้นนอกมีขนาดใหญ่กว่า และเจาะรูขนาดเล็กโดยรอบ ใช้สำหรับวัดความดันสถิต ส่วนท่อชั้นในใช้สำหรับวัดความดันรวมซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 51-1985 ดังแสดงในรูป

3.14



รูป 3.14 แสดงชุดพิโดทิวป์

3.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อดังนี้ คือ การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงาน และความดันสูญเสียของอุโมงค์ลม และการสอบเทียบมาตรฐาน

3.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และความดันสูญเสียของอุโมงค์ลม

การทดสอบ และการเก็บข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

3.3.1.1 การทดสอบ และการเก็บข้อมูลของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดก่อนเปลี่ยนใบพัด

ก. ปรับสภาพอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด ที่ทดสอบให้มีความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ โดยการปรับความถี่ของเครื่องปรับรอบให้ได้ความเร็วรอบในช่วง 0-1500 รอบต่อ นาที ทำการบันทึกค่า โดยวัดความเร็วรอบที่เพลลาของชุดใบพัดด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ

ข. ทำการทดสอบโดยการวัดการแจกแจงความเร็วบนหน้าตัดช่วงทำงานอยู่ ห่างจากชุดปรับสภาพการไหล 15 เซนติเมตร ดังรูป 3.15 แบ่งพื้นที่ภาคตัดภายในช่วงทำงานเป็น ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 41.2-1987 และทำการวัดความเร็วลมที่พิกัดต่างๆ ดังรูป 3.16 โดยจะบันทึกค่าของความเร็วลม เมื่อค่าความเร็วลมที่อ่านได้เริ่มมีค่าสม่ำเสมอ โดยจะทำการอ่าน และบันทึกค่าลงทุก ๆ 2 วินาที อย่างน้อย 3 ค่า ในแต่ละพิกัด

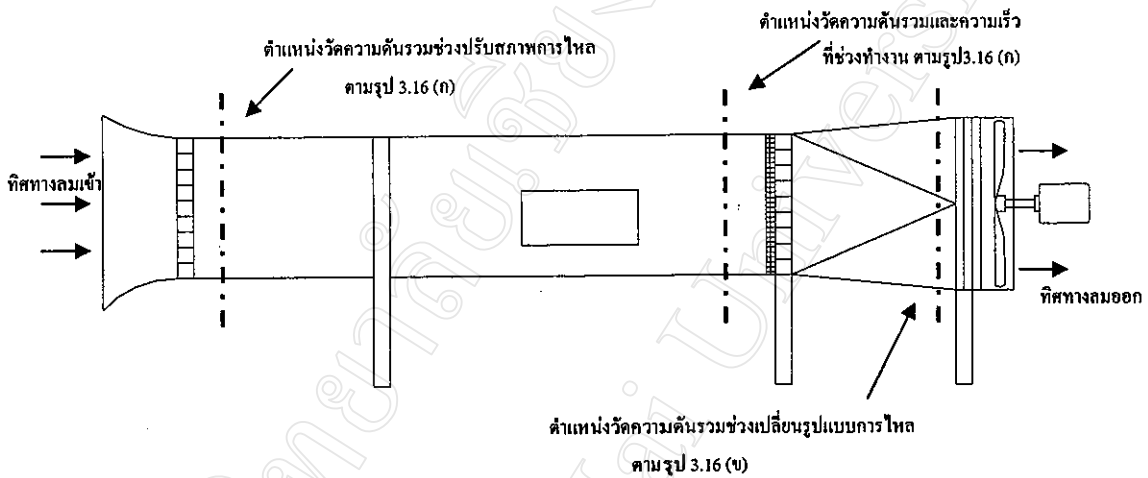
ค. บันทึกค่าความดันรวมในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดของ ช่วงปรับสภาพการไหล ช่วงทำงาน และช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล ดังรูป 3.15 ตามพิกัดต่าง ๆ ดังรูป 3.16 โดยใช้พีโดทิวป์ร่วม กับไมโครมาโนมิเตอร์ในการเก็บข้อมูล โดยจะบันทึกค่า ความดันเมื่อความดันที่อ่านได้สม่ำเสมอ

ง. ทำการบันทึกแรงบิดของมอเตอร์ โดยการวัดแรงที่กระทำจากแกนของ มอเตอร์ที่ต่อเข้ากับชุดทรานซ์ดิวเซอร์และอุปกรณ์วัดแรง ดังรูป 3.17 ซึ่งจะบันทึกค่าแรงที่กระทำ ทุก ๆ 1 วินาที รายละเอียดตามภาคผนวก ข.

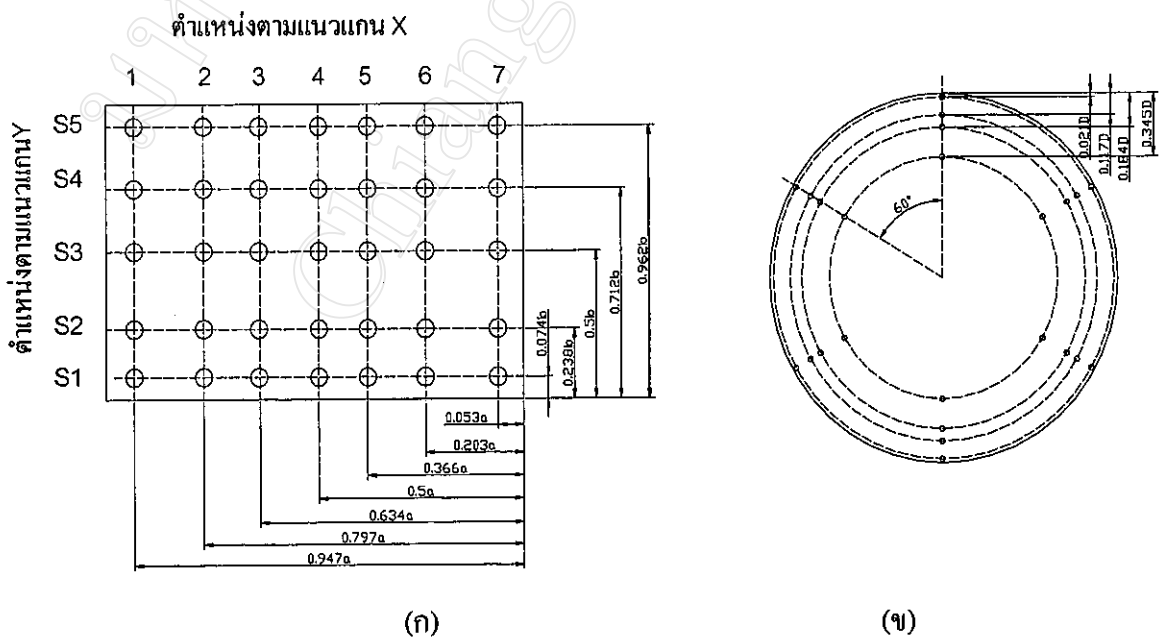
จ. ทำการบันทึกอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศ ก่อนและหลังการทดสอบ

ฉ. เปลี่ยนค่าความเร็วรอบอย่างน้อย 6 ค่า และทำการทดสอบตาม ข้อ ก ถึง ง

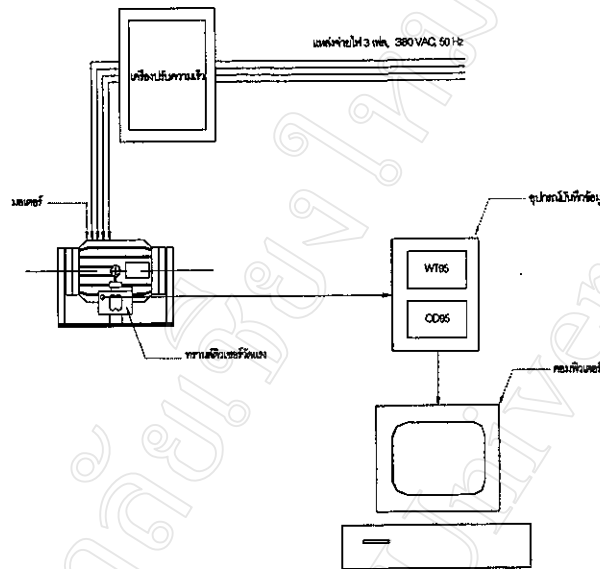
- 3.3.1.2 การทดสอบ และการเก็บข้อมูลของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด หลังเปลี่ยนใบพัดของพัดลมตามแนวแกนจากแบบแผ่น (Flat plate) เป็นแบบหน้าตัดรูปแพนอากาศ
- ก. ทำการปรับมุมพิทช์ของใบพัด 3 ค่า ที่มุม 12, 18 และ 23 องศา
 - ข. ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 3.3.3.1 และเปลี่ยนมุมพิทช์ของใบพัด
 - ค. ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ ก. และ ข. โดยปรับมุมพิทช์เป็น 18 และ 23 องศา



รูป 3.15 แสดงตำแหน่งการวัดความเร็วและความดันรวมที่ตำแหน่งต่างๆในอุโมงค์ลม



รูป 3.16 แสดงตำแหน่งการวัดการแจกแจงความเร็ว และความดันรวม



รูป 3.17 แสดงการวัดความเร็วรอบการหมุนของพัดลมและการวัดแรงบิด

3.3.2 การสอบเทียบมาตรฐาน

ในการทดสอบจะต้องทำการสอบเทียบมาตรฐานแน่ใจว่าเครื่องมือวัดนั้นสามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้อง การดำเนินการสอบเทียบมาตรฐานจะนำเสนอแยกเป็นข้อดังนี้

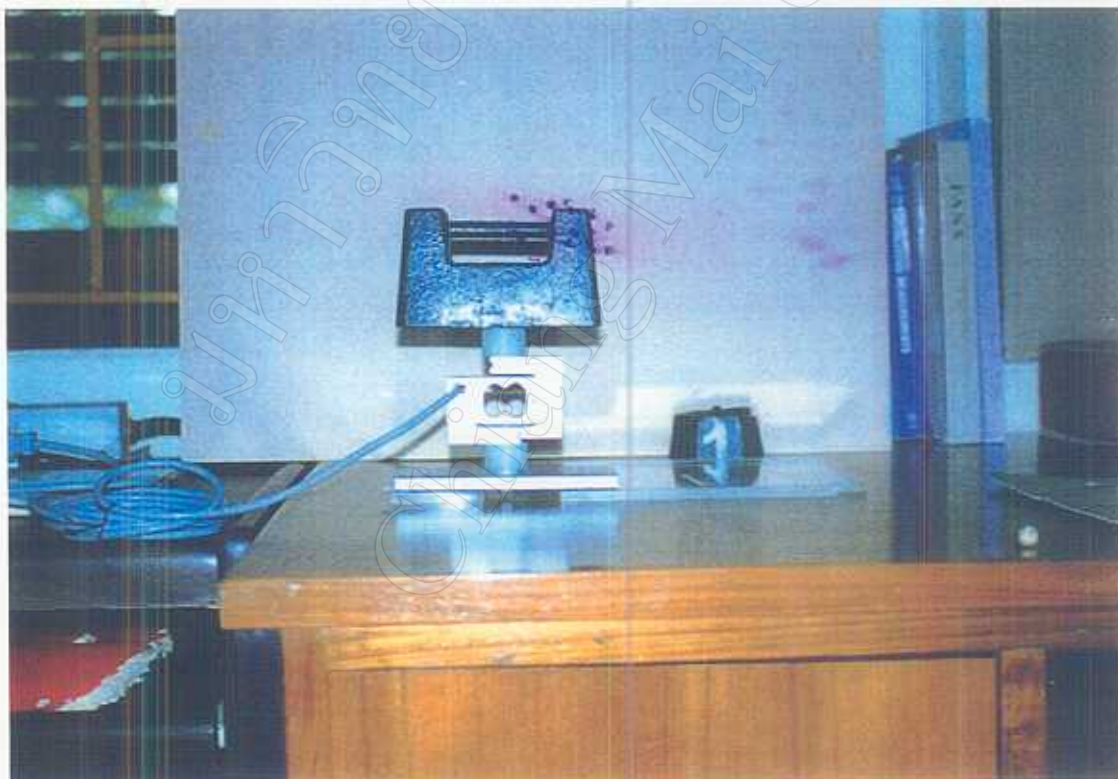
3.3.2.1 การสอบเทียบมาตรฐานของการวัดแรงบิด

การสอบเทียบมาตรฐานของการวัดแรงบิดได้ทำการสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงก่อนการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงเข้ากับแขนของมอเตอร์ของชุดทดสอบ โดยการนำน้ำหนักมาตรฐานวางบนอุปกรณ์วัดแรงทำให้เกิดภาระในแนวตั้งกดลงบนอุปกรณ์วัดแรง ดังแสดงในรูป 3.18 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

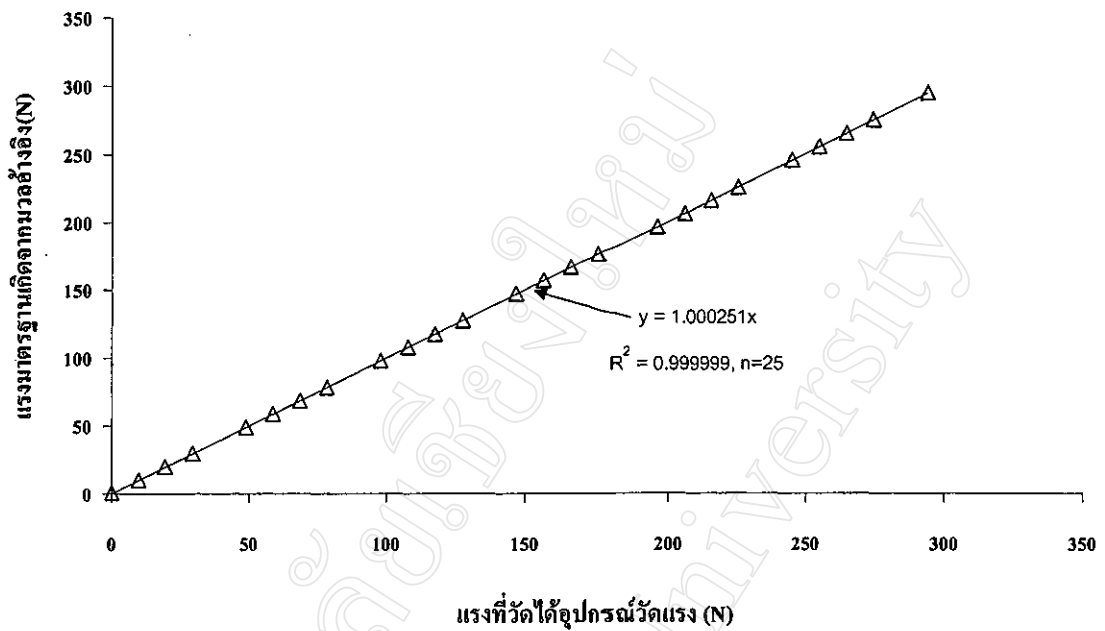
- ก. ยึดอุปกรณ์วัดแรงกับตัวรองรับเพื่อเตรียมรับภาระในแนวตั้ง และตรวจเช็คด้วยระดับน้ำ
- ข. ทำการบันทึกค่าแรงที่ได้จากอุปกรณ์วัดแรงในขณะที่ไม่มีภาระ
- ค. ใส่ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 1 กก. ทำการบันทึกค่าแรง

เพิ่มตุ้มน้ำหนักขึ้นครั้งละ 1 กก. ทำการบันทึกค่าแรง จนกระทั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเป็น 30 กก.

การสอบเทียบแรงบิดได้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในข้อ ก. ถึง ง. ซ้ำกัน 3 ครั้ง เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้นั้นถูกต้อง ข้อมูลที่ได้ทั้ง 3 ครั้ง นำมาเปรียบเทียบโดยใช้วิธีพิจารณาเช่นเดียวกับการสอบเทียบแรงขับ จากการพิจารณาพบว่าข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้งเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง จึงนำข้อมูลทั้ง 3 ครั้ง รวมเข้าด้วยกันและหาค่าเฉลี่ยสำหรับสร้างกราฟแนวโน้มเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงที่ได้จากการวัดแรงกับแรงมาตรฐาน โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งฟังก์ชันที่ได้คือ $y = x$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 1 จากข้อมูลจำนวน 1,440 คู่อันดับ กราฟแนวโน้มของแรงมาตรฐานกับแรงที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดแรง แสดงดังรูป 3.19



รูป 3.18 แสดงการสอบเทียบมาตรฐานอุปกรณ์วัดแรงก่อนทำการวัดแรงบิด



รูป 3.19 แสดงกราฟแนวโน้มของแรงมาตรฐานกับแรงที่อ่านได้จากอุปกรณ์

3.3.2.2 การสอบเทียบมาตรฐานความเร็วลม

การสอบเทียบมาตรฐานการวัดความเร็วลมช่วงทำงานของอุโมงค์ลม ได้ทำการสอบเทียบอุปกรณ์วัดความเร็วลมแบบลวดร้อนเทียบกับไมโครมาโนมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมาตรฐานโดยการวัดความเร็วลมที่พิกัดตำแหน่ง 4-S3 และปรับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยการปรับความถี่ทุก ๆ 5 Hz ตั้งแต่ 10 Hz – 50 Hz จำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยความเร็วดังแสดงในตาราง 3.3

จากตารางพบว่าค่าความเร็วลมที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อนแนวไหนอ่านค่าได้น้อยกว่าไมโครมาโนมิเตอร์ อยู่ในช่วง 0.03-0.19 เมตรต่อวินาที หรือ 0.44% - 3.62% ดังนั้นในการอ่านค่าเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน จะมีค่าผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 3.62 %

ตาราง 3.3 แสดงข้อมูลการสอบเทียบความเร็วลมของอากาศ

ลำดับ ที่	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)								ค่าความผิดพลาด	
		เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน				ไมโครมาโนมิเตอร์					
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ผลต่าง	%
1	10	2.10	2.08	2.10	2.09	2.14	2.10	2.14	2.13	-0.03	-1.52
2	15	3.19	3.19	3.20	3.19	3.26	3.26	3.26	3.26	-0.06	-2.01
3	20	4.24	4.24	4.21	4.23	4.39	4.37	4.39	4.38	-0.15	-3.62
4	25	5.30	5.25	5.25	5.27	5.42	5.42	5.42	5.42	-0.15	-2.93
5	30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.49	6.48	6.49	6.49	-0.19	-2.95
6	35	7.35	7.35	7.30	7.33	7.45	7.45	7.46	7.45	-0.12	-1.65
7	40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.48	8.48	8.48	8.48	-0.08	-0.90
8	45	9.45	9.40	9.40	9.42	9.48	9.48	9.48	9.48	-0.06	-0.63
9	50	10.40	10.40	10.40	10.40	10.46	10.42	10.46	10.45	-0.05	-0.44

3.4 วิธีการวิเคราะห์ผล

3.4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม

การวิเคราะห์จะเป็นการหาความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนมวลอากาศให้เคลื่อนที่กับความเร็วลมเฉลี่ยบนหน้าตัดทำงาน และ ประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม กับความเร็วลมเฉลี่ยบนหน้าตัดทำงาน แสดงอยู่ในรูปของกราฟแนวโน้มด้วยวิธีถดถอยแบบโพลีโนเมียล ดีกรี 3 และ 2 โดยการเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ในการหาค่ากำลังงานและที่ใช้ในการขับใบพัดความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิด โดยแรงบิดได้จากแรงที่กระทำที่แขนของมอเตอร์ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [สัมพันธ์ ไชยเทพ, 2527]

(ก) แรงบิดที่เกิดขึ้น

$$Q = Fr \quad (3.2)$$

(ข) กำลังงานที่ใช้ในการขับใบพัด

$$P_s = Q\Omega \quad (3.3)$$

การหาค่าแรงที่กระทำที่แขนของมอเตอร์จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ย โดยจะบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนของความเร็วรอบจะเป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบ เริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยสร้างกราฟแนวโน้มระหว่างกำลังงานกับความเร็วมเฉลี่ยบนหน้าตัดช่วงทำงานใช้ในการเปรียบเทียบต่อไป

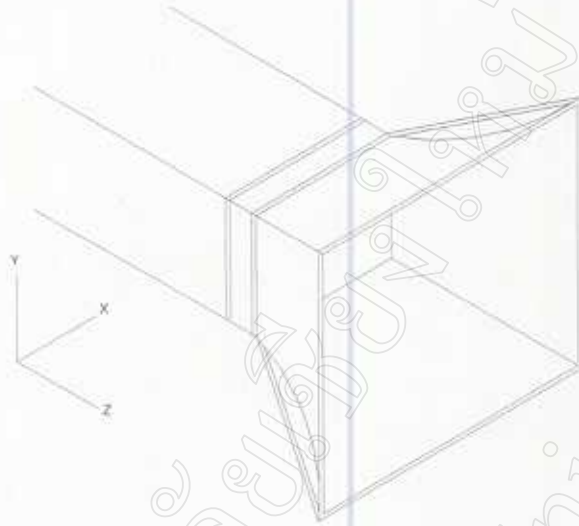
การหาประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนมวลอากาศกับกำลังที่ป้อนให้กับใบพัดตามสมการ (2.10) ซึ่งการทดลองจะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แล้วนำมาเฉลี่ย สร้างกราฟแนวโน้มระหว่างประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมกับความเร็วมเฉลี่ยในช่วงทำงานใช้ในการเปรียบเทียบ

3.4.2 การวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม

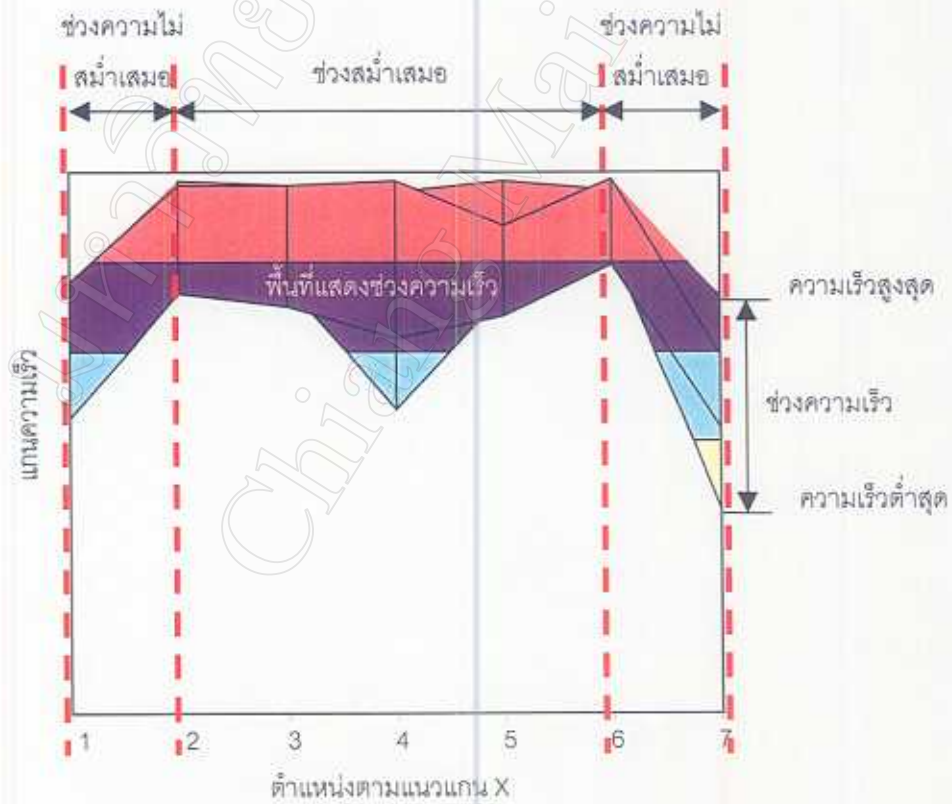
การวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วของอุโมงค์ลมที่ตำแหน่งหน้าตัดทดสอบได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์หาพื้นที่ใช้งาน และหาการกระจายความเร็วอากาศบนพื้นที่ใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.3 การวิเคราะห์หาพื้นที่ใช้งาน

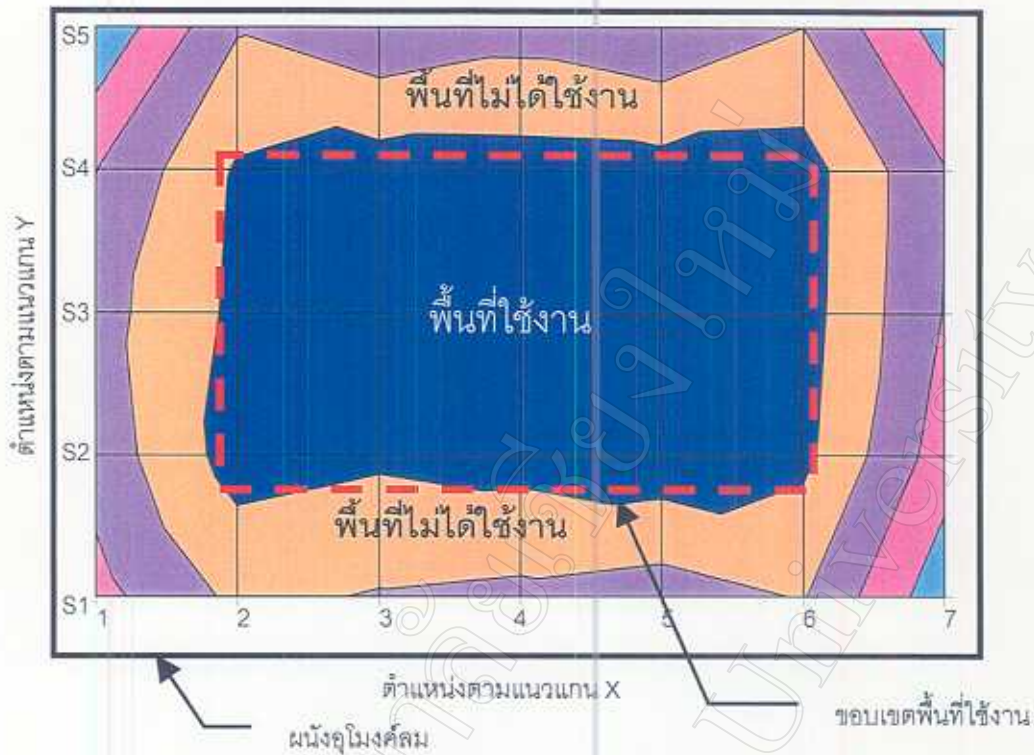
การวิเคราะห์หาพื้นที่ใช้งานได้ทำโดยการพิจารณาการกระจายความเร็วอากาศ บนหน้าตัดทดสอบ โดยได้กำหนดแนวแกน XYZ และระนาบต่าง ๆ เพื่อใช้อ้างอิงดังรูป 3.20 และได้กำหนดข้อสมมุติว่าอากาศเคลื่อนที่ในทิศทางตามแนวนอน Z เท่านั้น การพิจารณาการกระจายความเร็วอากาศได้พิจารณาใน 3 ทิศทาง คือ มองในทิศทางตั้งฉากกับระนาบ XY YZ และ ZX เมื่อมองในทิศทางตั้งฉากกับระนาบแกน XY และ XZ โดยการสร้างกราฟพื้นที่แรงแสดงดังแสดงในรูป 3.21 และรูป 3.22 แสดงความเร็วอากาศกับตำแหน่งต่าง ๆ ในหน้าตัดของอุโมงค์ลม โดยใช้การวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการแบ่งชั้นของความเร็วอากาศ ในหน้าตัดของอุโมงค์ลม พบว่าความเร็วอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณพื้นที่ใช้งาน ซึ่งเป็นบริเวณการแจกแจงความเร็วอากาศค่อนข้างสม่ำเสมอ และบริเวณพื้นที่ไม่ได้ใช้งาน ซึ่งมีการแจกแจงความเร็วอากาศแบบไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อพิจารณาความเร็วอากาศในทิศทางตั้งฉากกับระนาบ XY ทำให้สามารถพิจารณาถึงขอบเขตพื้นที่ที่เป็นบริเวณส่วนกลางได้ชัดเจนขึ้น ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ใช้งานได้



รูป 3.20 แสดงแกนอ้างอิง XYZ บนอุโมงค์กลม



รูป 3.21 แสดงลักษณะการกระจายความเร็วอากาศตามแนวแกน X



รูป 3.22 แสดงขอบเขตพื้นที่ใช้งานบนหน้าตัดทำงานของอุโมงค์ลม

3.4.4 การวิเคราะห์การกระจายความเร็วอากาศ

การวิเคราะห์การกระจายความเร็วอากาศ ได้พิจารณาความเร็วอากาศในขอบเขตพื้นที่ใช้งานบนหน้าตัดทดสอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าความไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniformity) ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

$$\text{ค่าความไม่สม่ำเสมอ} = \frac{\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ}}{\text{ความเร็วอากาศเฉลี่ย}} \times 100 \% \quad (3.4)$$

3.4.5 ความดันสูญเสียภายในอุโมงค์ลม

3.4.5.1 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากการทดลอง

ในการวิเคราะห์หาค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในอุโมงค์ลม จะทำการวิเคราะห์หาค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละของอุโมงค์ลมดังนี้ ช่วงที่ 1 คือ ช่วงปรับสภาพการไหล, ช่วงที่ 2 คือ ช่วงทำงาน และ ช่วงที่ 3 คือ ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล ดังรูป 3.23



รูป 3.23 แสดงตำแหน่งของอุโมงค์ลมในกรณีวิเคราะห์ความดันสูญเสีย

การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ จะสร้างกราฟแนวโน้ม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลม กับความเร็วช่วงทำงาน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการถดถอย แบบโพลีโนเมียล ดีกรี 2 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของการสร้างอุโมงค์ลมที่ใบพัดชนิดต่าง ๆ และมุมพิทช์ใด ๆ ซึ่งเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียมาเฉลี่ย จะหาค่าสมการทางคณิตศาสตร์การได้ตามสมการ (2.15)

3.4.5.2 การเปรียบเทียบผลทางทฤษฎีและการทดลอง

ก. การวิเคราะห์หาสมการทางทฤษฎีความดันสูญเสีย

การวิเคราะห์หาสมการทางทฤษฎีความดันสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ของอุโมงค์ลม ดังรูป 3.24 สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย

- ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในช่วงทำงานและปรับสภาพการไหล, Δp_f
- ความดันสูญเสียเนื่องจากรังผึ้งในช่วงปรับสภาพการไหล, Δp_{h1}
- ความดันสูญเสียเนื่องจากปากทางเข้าแบบระฆัง, Δp_b
- ความดันสูญเสียเนื่องจากตะแกรงลวด, Δp_w
- ความดันสูญเสียเนื่องจากรังผึ้งในช่วงเปลี่ยนทิศทางการไหล, Δp_{h2}
- ความดันสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการไหล, Δp_r

ก.1 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในช่วงทำงานและปรับสภาพการไหล

การวิเคราะห์อุโมงค์ลมที่ใช้งานอยู่สมมติว่า การไหลของอากาศภายในอุโมงค์ลมเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้, ผนังเรียบ (Smooth Wall) และความเร็วสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_f = 1.609 \lambda_f \rho V_T^2 \quad (3.5)$$

$$\text{โดยที่} \quad \frac{0.3164}{4\sqrt{\text{Re}}} ; \text{ที่ } 4,000 < \text{Re} < 100,000 \quad (3.6)$$

$$\text{และ} \quad \lambda_f = \frac{0.303}{(\log \text{Re} - 0.9)^2} ; \text{ที่ } \text{Re} > 100,000 \quad (3.7)$$

ก.2 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียจากรังผึ้ง

การวิเคราะห์จะสมมติให้ความเร็วอากาศในการไหลในช่วงทำงานเท่าความเร็วในช่วงปรับสภาพการไหล และสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด, และค่าความขรุขระในผนังของรังผึ้งอยู่ในช่วง 0.0015 - 0.001 มิลลิเมตร เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ช่วงปรับสภาพการไหล, Δp_{h1}

$$\Delta p_{h1} = (5.86\lambda_h + 6.95 \times 10^{-3}) \rho V_T^2 \quad (3.8)$$

ช่วงเปลี่ยนทิศทางของการไหล, Δp_{h2}

$$\Delta p_{h2} = (3.45\lambda_h + 1.02 \times 10^{-4}) \rho V_T^2 \quad (3.9)$$

โดยที่ $\lambda_h = 0.375 (\text{Re}_h)^{-0.1} \in^{0.4}$ ที่ $35 < \text{Re}_h < 275$ (3.10)

และ $\lambda_h = 0.2142 \in^{0.4}$ ที่ $275 \leq \text{Re}_h \leq 500$ (3.11)

ก.3 การวิเคราะห์ความสูญเสียเนื่องจากปากทางเข้าแบบระฆัง, Δp_b

การหาความสูญเสียจะพิจารณาค่าอัตราส่วนระหว่างรัศมีความโค้ง (R) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_H) ของอุโมงค์ลม พบว่าอุโมงค์ลมที่ใช้งานมีค่า R/D_H เท่ากับ 0.15 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเท่ากับ 0.04 เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_b = 0.04 V_T^2 \quad (3.12)$$

ก.4 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากตะแกรงลวด, Δp_w

จากการวิเคราะห์ค่าความสูญเสียตามสมการ ที่ขนาดเมช (Mesh) 2 ช่องต่อตารางนิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด 0.8 มิลลิเมตร จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_w = 0.158 V_T^2 \quad (3.13)$$

ก.5 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบการไหล, Δp_t

การหาความสูญเสียจะพิจารณาค่าอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดทางเข้าและทางออกของชุดเปลี่ยนรูปแบบการไหล และค่ามุมระหว่างทางเข้าและทางออก (θ) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_t = 0.045 V_T^2 \quad (3.14)$$

ข. การวิเคราะห์หาค่าสมการแนวโน้มความดันสูญเสียทางทฤษฎี

การวิเคราะห์หาค่าสมการแนวโน้มความดันสูญเสียทางทฤษฎีจะแบ่งเป็น 3 ช่วง ในการวิเคราะห์ดังนี้

ข.1 ช่วงปรับสภาพการไหล ความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ความสูญเสียเนื่องจากปากทางเข้าแบบระฆัง และความสูญเสียเนื่องจากรั้งฝิ่ง เมื่อเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_1 = \Delta p_b + \Delta p_{h1} \quad (3.15)$$

โดยที่ Δp_1 คือ ความดันสูญเสียในช่วงปรับสภาพการไหล

ข.2 ช่วงทำงาน ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น จะประกอบไปด้วย คือ ความดันสูญเสียในช่วงปรับสภาพการไหล และความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในช่วงปรับสภาพการไหล และช่วงทำงาน เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 + \Delta p_f \quad (3.16)$$

$$= \Delta p_b + \Delta p_{h1} + \Delta p_f \quad (3.17)$$

โดยที่ Δp_2 คือ ความดันสูญเสียในช่วงทำงาน

ข.3 ช่วงเปลี่ยนทิศทางการไหล ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วย ความดันสูญเสียของช่วงทำงาน ความดันสูญเสียเนื่องจากตะแครงลวดและรั้งฝิ่ง และความดันสูญเสียเนื่องจากชุดเปลี่ยนรูปแบบการไหล เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta p_3 = \Delta p_2 + \Delta p_w + \Delta p_{h2} + \Delta p_t \quad (3.18)$$

$$= \Delta p_b + \Delta p_{h1} + \Delta p_{h2} + \Delta p_w + \Delta p_t \quad (3.19)$$

โดยที่ Δp_3 คือ ความดันสูญเสียในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล

จากนั้นนำค่าความดันสูญเสีย Δp_1 , Δp_2 และ Δp_3 มาทำการสร้างสมการแนวโน้ม ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบการถดถอย แบบพหุนามดีกรี 2 เทียบกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน และหาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียทางทฤษฎี เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ที่กล่าวมาแล้วใน 3.4.5.1 และนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University