

การประเมินความดันสูญเสียของอากาศไหลในอุโมงค์ลมและประสิทธิภาพของใบพัดหน้าตัดแบบรูปแพน
อากาศใช้กับอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด

**Evaluation of Air Pressure Loss in Wind Tunnel and Propeller Performance with
Airfoil Section for an Open Type Low Speed Wind Tunnel**

สัมพันธุ์ ไชยเทพ และ พงษ์ศิริ จารุยนนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0-5394-2005 โทรสาร 0-5394-2062 E-mail : sumpun@eng.cmu.ac.th

Sumpun Chaitep and Pongsiri Jaruyanont

Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

Tel.: 66-0-5394-2005 Fax.: 66-0-5394-2062 E-mail : sumpun@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงสมรรถนะ ประสิทธิภาพ และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดที่มีหน้าตัดช่วงทำงานขนาด 90x120 ตารางเซนติเมตร และใช้กำลังขับโดยใช้มอเตอร์ 3 เฟส 4 โพล ขับตรงขนาด 3.7 กิโลวัตต์ โดยออกแบบและสร้างใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศแบบ N.A.C.A.0012-B แปลนปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาวคอร์ดคงที่ 0.1 เมตร รัศมีของใบพัด 0.5 เมตร และจำนวนใบพัด 6 ใบ เพื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น แปลนปีกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มุมพิทช์ 23 องศา ความยาวคอร์ดคงที่ 0.18 เมตร รัศมีของใบพัด 0.5 เมตร และจำนวนใบพัด 6 ใบ โดยแปรเปลี่ยนความเร็วรอบที่ตั้งคงที่ไว้ที่ค่าต่างกัน 6 ค่าความเร็วรอบ และมุมพิทช์ 12 18 และ 23 องศา จากผลการวิจัย พบว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมเพิ่มจาก 15.2 % เป็น 19.0 % และความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเพิ่มจาก 7.17 เมตรต่อวินาที เป็น 9.36 เมตรต่อวินาที ณ ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มีมุมพิทช์ 23 องศา บริเวณพื้นที่ใช้งานของอุโมงค์ลมมีขนาดหน้าตัด 420x720 ตารางมิลลิเมตร โดยมีความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 % แตกต่างกันเพียง 0.09 % และความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำที่หน้าตัดทำงานแสดงเป็นสมการโพลีโนเมียลอันดับที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียเฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆตามลำดับดังนี้ ในช่วงปรับสภาพการไหลเป็น 0.2485 ในช่วงทำงานเป็น 0.3187 และในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลเป็น 0.4882

ABSTRACT

The objective of this research was aimed to improve the performance, efficiency and the development of

a relationship between pressure drop and velocity at test section of the open type low-speed wind tunnel. The wind tunnel has a cross-section area of 90x120 square centimeters directly driven by a 3 phase 3.7 kilowatt 4 pole motor. The experiments were conducted on N.A.C.A.0012-B airfoil type propeller, with non-twisted rectangular plan-view shape and a constant chord length of 0.10 meters. The propeller has a radius of 0.5 meters and consists of 6 blades. Experimental result was compared with a conventional flat plate-type propeller that has a similar rectangular plan-view shape and constant pitch angle of 23° with a constant chord length of 0.18 meters. The latter propeller has a radius of 0.5 meters and 6 blades. Experiment was conducted by setting combination of variable parameters, i.e., 6 different rotation speeds and 3 pitch angles of airfoil type propeller set at 12° 18° and 23°. The results showed that airfoil type propeller, offered the efficiency improvement of the wind tunnel from 15.2 % to 19.0 % and the maximum air velocity at the test section was increased from 7.17 m/s to 9.36 m/s at a particular fixed pitch angle of 23° of which the effective cross-section area of 420 x 720 square millimeters. The relationship between pressure drop with respect to the air velocity at the test section could be represented by a second degree polynomial equation with coefficients of the pressure drop in the flow developing section, the test section and the transition section are 0.2485, 0.3187 and 0.4882 respectively.

1. บทนำ

อุโมงค์ลม เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมการไหลของอากาศ โดยให้อากาศที่ทราบอุณหภูมิ ความดัน และ ความเร็ว เคลื่อนที่ผ่านแบบจำลอง และบังคับการไหลมีความราบเรียบมากที่สุดและเกิดการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด

งานวิจัยที่จะดำเนินการครั้งนี้เป็นการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมต่อจาก สัมพันธ์ ไซเทเพ ได้ออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ แบบเปิด ขนาด 90x120 ตารางเซนติเมตร โดยการออกแบบกลไกใบพัดใหม่มีภาคตัดเป็นรูปแพนอากาศซึ่งคอรัตและภาคตัดปีกคงที่ตลอดความยาวใบพัด ไม่มีการบิด และสามารถปรับมุมพิทช์ได้จำนวน 3 มุมพิทช์ รวมถึงศึกษาความสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นภายในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลม ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของปีก

คุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ของภาคตัดปีกชนิด N.A.C.A.0012-B [10] ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน สามารถเขียนความสัมพันธ์กับมุมปะทะได้คือ [1]

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

$$; 4^\circ < \alpha < 21.7^\circ \quad (1)$$

$$C_L = 3.21 \times 10^{-3} \times \alpha^2 - 194 \times 10^{-3} \times \alpha + 3.84$$

$$; 21.7^\circ < \alpha < 30^\circ \quad (2)$$

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

$$; 4^\circ < \alpha < 21.7^\circ \quad (3)$$

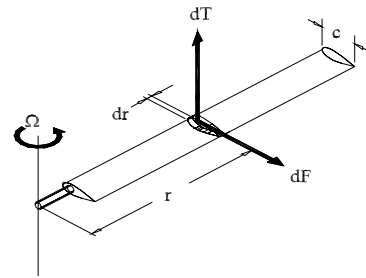
$$C_D = 857 \times 10^{-6} \times \alpha^2 - 12.1 \times 10^{-3} \times \alpha + 92.1 \times 10^{-3}$$

$$; 21.7^\circ < \alpha < 30^\circ \quad (4)$$

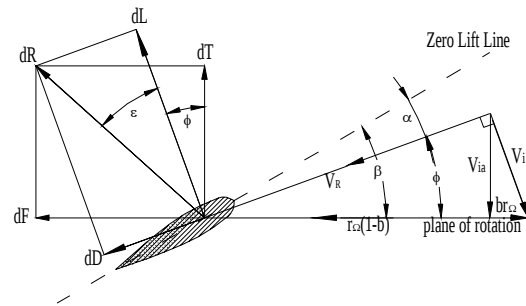
2.2 ทฤษฎีเบลตอิลิเมนต์ (Blade Element Theory)

ทฤษฎีเบลตอิลิเมนต์จะพิจารณาส่วนเล็กๆของปีกที่มีความหนา dr ความยาวคอรัต c มีอากาศไหลเข้าหาด้วยความเร็วลัพธ์ V_R ในทิศทางที่ทำมุม ϕ กับระนาบการหมุน มีมุมพิทช์ (Pitch Angle) β และมีมุมปะทะ α

$$\alpha = \beta - \phi \quad (5)$$



รูป 1 แสดงส่วนเล็กๆของปีกที่ถูกแบ่งตามแนวเส้นคอรัต มีความหนา dr มีคอรัตยาว c



รูป 2 แสดงความเร็วอากาศและแรงกระทำบนปีก

เมื่อกระจายแรงยกและแรงต้านให้อยู่แนวตั้งฉากและขนานกับระนาบการหมุน จะได้แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นคือ แรงขับ dT และแรงในระนาบการหมุน dF ดังรูป 1 และ 2 มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$dT = \frac{1}{2} \rho V_R^2 (C_L \cos \phi - C_D \sin \phi) c dr \quad (6)$$

$$dF = \frac{1}{2} \rho V_R^2 (C_L \sin \phi + C_D \cos \phi) c dr \quad (7)$$

แรงบิด (Torque) จะเป็น

$$dQ = \frac{1}{2} \rho V_R^2 (C_L \sin \phi + C_D \cos \phi) c r dr \quad (8)$$

2.3 ทฤษฎีการหาประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม

การหาประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมจะขึ้นอยู่กับกำลังที่เป็นประโยชน์เกิดการขับเคลื่อนมวลอากาศให้ไหลในช่วงทำงานด้วยความเร็วต่อกำลังที่ต้องป้อนให้แก่พัดลมที่เพลจะได้ค่าประสิทธิภาพกำลังพัดลม (η_f) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [3]

$$\eta_f = \frac{P_o}{P_s} \times 100 \quad (9)$$

2.4 ทฤษฎีความสูญเสียภายในอุโมงค์ลม

ประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมในทางปฏิบัติจะแตกต่างจากทฤษฎี สาเหตุมาจากความสูญเสียต่าง ๆ เช่น แรงเสียดทาน

การเปลี่ยนความเร็วในการไหล การเปลี่ยนทิศทางการไหลของ
อุโมงค์ลม เป็นต้น ในการหาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายใน
อุโมงค์ลมจะแยกคิดเป็นส่วน ๆ ในทอมความสัมพันธ์ระหว่าง
ความดันสูญเสียกับความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ผ่านแต่ละส่วนของ
อุโมงค์ เขียนความสัมพันธ์ดังนี้ [8]

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \sum K_i \frac{V^2}{2} \quad (10)$$

การพิจารณาความสูญเสียส่วนต่าง ๆ ของอุโมงค์ลม มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน

ในช่วงทำงาน และปรับสภาพการไหล การวิเคราะห์อุโมงค์ลมที่ใช้งานอยู่สมมุติว่า การไหลของอากาศภายในอุโมงค์ลมเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ ผนังเรียบ และความเร็วสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [3]

$$\Delta p_f = 1.609 \lambda_f \rho V_T^2 \quad (11)$$

$$\text{โดยที่ } \lambda_f = \frac{0.3164}{4\sqrt{\text{Re}}} ; \text{ ที่ } 4,000 < \text{Re} < 100,000$$

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

2.4.2 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากรังผึ้ง

การวิเคราะห์จะสมมติให้ความเร็วอากาศในการไหลในช่วงทำงานเท่าความเร็วในช่วงปรับสภาพการไหล และสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด และค่าความขรุขระในผนังของรังผึ้งอยู่ในช่วง 0.0015 - 0.001 มิลลิเมตรเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [6]

ช่วงปรับสภาพการไหล, Δp_{h1}

$$\Delta p_{h1} = (5.86\lambda_h + 6.95 \times 10^{-3}) \rho V_T^2 \quad (12)$$

ช่วงเปลี่ยนทิศทางการไหล, Δp_{h2}

$$\Delta p_{h2} = (3.45\lambda_h + 1.02 \times 10^{-4}) \rho V_T^2 \quad (13)$$

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

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

2.4.3 การวิเคราะห์ความสูญเสียเนื่องจากปากทางเข้า

ความสูญเสีย ณ ปากทางเข้าแบบระฆังจะพิจารณาอัตราส่วนระหว่างรัศมีความโค้ง และเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ลมพบว่าอุโมงค์ลมที่ใช้งานมีค่า R/D_h เท่ากับ 0.15 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเท่ากับ 0.04 ความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [2]

$$\Delta P_b = 0.04 \rho V_T^2 \quad (14)$$

2.4.4 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากตะแกรงลวด

การวิเคราะห์ค่าความสูญเสียตามสมการ ที่ขนาดเมช (Mesh) 2 ช่องต่อตารางนิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด 0.8 มิลลิเมตร สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [5]

$$\Delta P_w = 0.158 \rho V_T^2 \quad (15)$$

2.4.5 การวิเคราะห์ความดันสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบการไหล

การวิเคราะห์ค่าความดันสูญเสียจะพิจารณาอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดทางเข้าและทางออกของจุดเปลี่ยนทิศทางการไหล และค่ามุมระหว่างทางเข้าและทางออก (θ) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [5]

$$\Delta P_t = 0.045 \rho V_T^2 \quad (16)$$

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ตัวแปรสำหรับการทดสอบ

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพ คือ ลักษณะภาคตัดของใบพัด และมุมพิทช์

3.1.1 ลักษณะภาคตัดของใบพัด

1. ภาคตัดใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นราบซึ่งเป็นใบพัดแบบเดิมที่อุโมงค์ลมใช้อยู่เป็นใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร บิดเกลียว มุมพิทช์โดยเฉลี่ย 23 องศาไม่สามารถปรับมุมพิทช์ ความยาวคอร์ด 180 มิลลิเมตร จำนวนใบพัด 6 ใบ และขนาดของดุมใบพัด 270 มิลลิเมตร [3]

2. ภาคตัดใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ N.A.C.A.0012-B ความยาวคอร์ด 100 มิลลิเมตร. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,000 มิลลิเมตร ขนาดดุมใบพัด 270 มิลลิเมตร ลักษณะกลีบใบเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ไม่บิดเกลียว

3.1.2 มุมพิทช์

การประเมินหาค่ามุมพิทช์ที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดก่อนทำการหาประสิทธิภาพของใบพัดสูงสุดจากสมการเส้นแนวโน้มโพลีโนเมียล (Polynomial) อันดับที่ 3 และ อันดับที่ 4 ระหว่างประสิทธิภาพของใบพัดกับค่ามุมพิทช์ ซึ่งได้จากการประเมินหาประสิทธิภาพของใบพัดที่มุมพิทช์ 0 จนถึง 50 องศา โดยใช้ทฤษฎี เบลดอิลิเมนต์ และโปรแกรมสมรรถนะปีกหมุน หาคำตอบด้วยวิธีการคำนวณแบบทำซ้ำ และวิธีหาค่าความชันที่เป็นศูนย์ พบว่าค่ามุมพิทช์ที่ความเร็วรอบ ตั้งแต่ 600 ถึง 1,500 รอบต่อนาที ค่ามุมพิทช์ที่ได้อยู่ในช่วง 16.4 - 19.1 องศา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 18 องศา สำหรับสมการโพลีโนเมียลอันดับที่ 3 และค่า

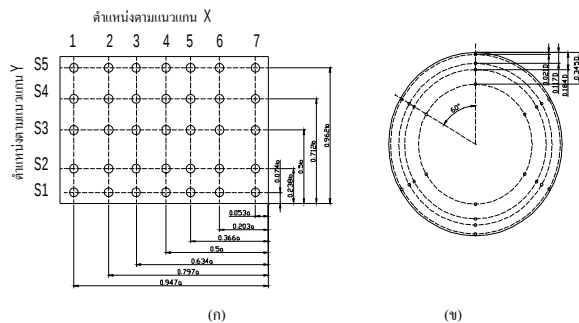
มุมพิทช์ที่ได้อยู่ในช่วง 10 - 12.8 องศา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12 องศาสำหรับสมการโพลีโนเมียลอันดับที่ 3

3.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะเป็นการทดสอบหา ประสิทธิภาพการทำงาน และความดันสูญเสียของอุโมงค์ลม ข้อมูลจะแบ่งเป็น 4 ชุด คือ ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นราบ และ ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ ณ มุมพิทช์ 12 18 และ 23 องศาโดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

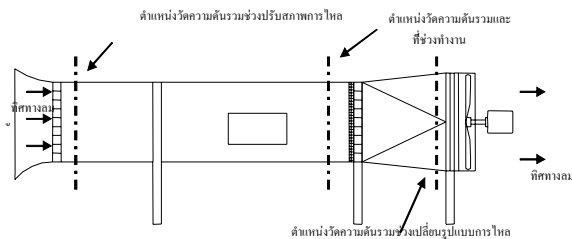
3.2.1 ปรับสภาพอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด ที่ทดสอบ ให้มีความเร็วรอบของมอเตอร์ครั้งที่ ในช่วง 0-1,500 รอบต่อนาที จำนวน 6 ความเร็วรอบ

3.2.2 ทำการวัดการแจกแจงความเร็วบนหน้าตัดช่วงทำงานอยู่ห่างจากชุดปรับสภาพการไหล 15 เซนติเมตร แบ่งพื้นที่ภาคตัดภายในช่วงทำงาน ดังรูป 3



รูป 3 แสดงตำแหน่งการวัดการแจกแจงความเร็ว

3.2.3 บันทึกผลต่างความดันรวมในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดของช่วงปรับสภาพการไหล ช่วงทำงาน และช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล ตามพิทช์ต่าง ๆ ดังรูป 4 โดยใช้ท่อพีไอ-สแตติกครวม กับไมโครมาโนมิเตอร์



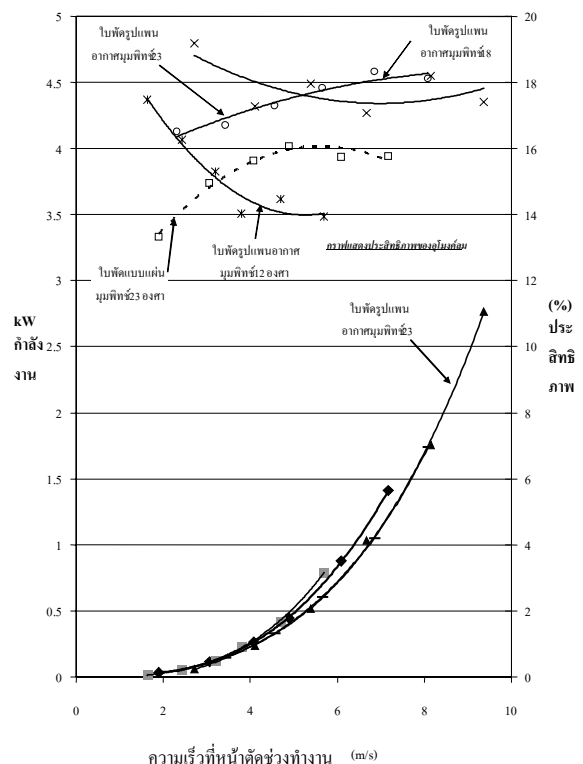
รูป 4 แสดงตำแหน่งของอุโมงค์ลมในการวัดความดันรวม

3.2.4 ทำการบันทึกแรงบิดของมอเตอร์ อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศ ก่อนและหลังการทดสอบ

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลม

เมื่อนำผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลมมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลม และประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม กับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูป 5 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงมีลักษณะเป็นแบบโพลีโนเมียลอันดับที่ 3 โดยใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทช์ 18 และ 23 องศาจะใช้กำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลมน้อยกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่มุมพิทช์ 23 องศา ที่ความเร็วต่ำกว่า 3.2 เมตรต่อวินาที และในส่วนของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทช์ 12 องศา จะใช้กำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลมมากกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่มุมพิทช์ 23 องศา ที่ความเร็วตั้งแต่ 3.2 เมตรต่อวินาที ลักษณะแนวโน้มของความเร็วมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นที่ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานสูงขึ้น คือ ตั้งแต่ 4 เมตรต่อวินาที และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันที่ความเร็วต่ำคือในช่วงความเร็วตั้งแต่ 0 - 4 เมตรต่อวินาที



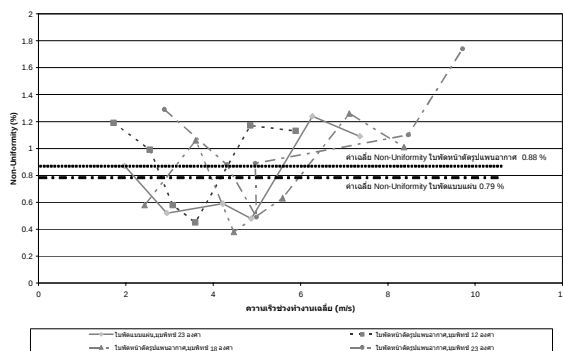
รูป 5 แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับกำลังงานและประสิทธิภาพ

ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมมีลักษณะเป็นแบบโพลีโนเมียลอันดับที่ 2 โดยประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมที่ใช้ใบพัดหน้าตัดรูปแบนอากาศมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 16.11% 18.16 % 19.00 % ที่มุมพิทช์ 12 18 และ 23 องศา สูงกว่าที่ใช้ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นเรียบซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.24 % สำหรับที่มุมพิทช์ 12 องศา มีประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมสูงกว่าแบบแผ่นเรียบในช่วงความเร็ว 3.2 m/s และจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า เมื่อความเร็วสูงกว่า 3.2 m/s

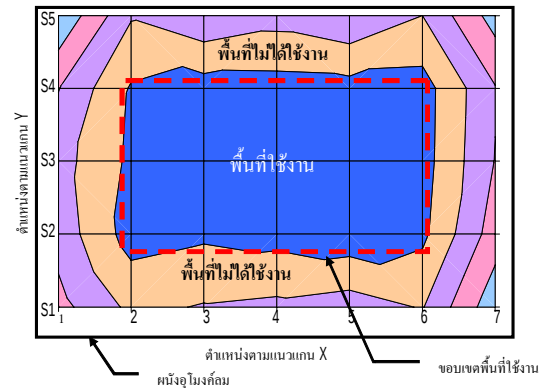
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานใบพัดหน้าตัดรูปแบนอากาศที่มุมพิทช์ 18 และ 23 องศา สามารถทำความเร็วได้ 8.08 และ 9.36 m/s ที่ความเร็วรอบ 1,470 รอบต่อนาที และ 1,453 รอบต่อนาที ซึ่งสูงกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่ทำความเร็วลมสูงสุดเพียง 7.18 m/s ณ ความเร็วรอบสูงสุดเพียง 729 รอบต่อนาที แต่สำหรับใบพัดหน้าตัดรูปแบนอากาศที่มุมพิทช์ 12 องศา มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 5.70 m/s ซึ่งมีค่าต่ำกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น

4.2 ผลความสม่ำเสมอการกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบและการวิเคราะห์การกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม พบว่า ความเร็วอากาศ ณ หน้าตัดทำงานของอุโมงค์ลมที่ใช้ใบพัดแบบแผ่น มีความไม่สม่ำเสมอเฉลี่ยใกล้เคียงมากกับที่ใช้ใบพัดแบบแบนอากาศ โดยมีความแตกต่างกันเพียง 0.09 % ดังรูป 6 ซึ่งหมายความว่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพอุโมงค์ลม มีความสม่ำเสมอของความเร็วอากาศที่กระจายบนหน้าตัดทำงานเหมือนเดิม



รูป 6 แสดงความไม่สม่ำเสมอ ที่ความเร็วเฉลี่ยต่างๆ



รูป 7 แสดงขอบเขตพื้นที่ใช้งานบนหน้าตัดทำงานของอุโมงค์ลม

จากผลการวิเคราะห์การกระจายความเร็วอากาศในอุโมงค์ลมแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้บนหน้าตัดทำงานมีขนาด 420 x 720 ตารางมิลลิเมตร โดยมีขอบเขตห่างจากผนังด้านบนและด้านล่าง 190 มิลลิเมตร และห่างจากผนังด้านซ้ายและด้านขวา 240 มิลลิเมตรดังรูป 7

4.3 ผลการทดสอบความดันสูญเสียภายในอุโมงค์ลม

จากการทดสอบพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการดัดสันใจส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.96 – 0.98 โดยแนวโน้มของสัมประสิทธิ์สมการแนวโน้มในสมการมีค่าสูงขึ้น ในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลมตามลำดับ โดยเฉพาะในช่วงปรับสภาพการไหล และช่วงทำงานของอุโมงค์ลมจะมีค่าความแตกต่างมาก ตั้งแต่ 0.0941 – 1.661 และ 0.1387 – 0.2055 แต่ในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลมีความแตกต่างใกล้เคียงกัน คือ 0.2618 – 0.2816 และที่ค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานสูงขึ้นก็มีแนวโน้มทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ในลักษณะสมการโพลีโนเมียลอันดับที่ 2 เทียบกับความเร็ว เป็นดังนี้

$$\text{ช่วงปรับสภาพการไหล} \quad \Delta P_1 = 0.1398V_T^2, R^2 = 0.99$$

$$\text{ช่วงทำงาน} \quad \Delta P_2 = 0.1793V_T^2, R^2 = 0.99$$

$$\text{ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล} \quad \Delta P_3 = 0.2746V_T^2, R^2 = 0.99$$

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบและทางทฤษฎีมาเปรียบเทียบดังรูป 8 พบว่าค่าความดันสูญเสียที่ได้จากการทดสอบจะมีค่ามากกว่าความดันสูญเสียที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยค่าความดันสูญเสียในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด และ ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียที่ได้จากการทดสอบเทียบกับที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี พบว่าค่าความแตกต่างกันมากที่สุด อยู่ในช่วงทำงานซึ่งเท่ากับ 0.075 และมีความแตกต่างน้อยที่สุด อยู่ในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลเท่ากับ 0.022 และในช่วงปรับสภาพการไหลเท่ากับ 0.062

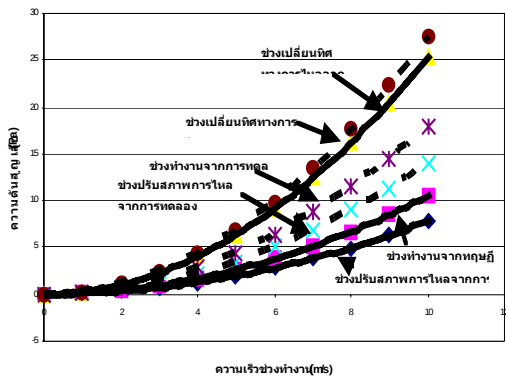
ดังนั้นในการปรับค่าสมการทางคณิตศาสตร์ทางทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียและความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานทางทฤษฎีเท่ากับค่าในทางปฏิบัติหรือจากผลการทดสอบโดยการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ช่วงปรับสภาพการไหล} \quad \Delta P_1 = \Delta P_B + \Delta P_{H1} + 0.062V_T^2$$

$$\text{ช่วงทำงาน} \quad \Delta P_2 = \Delta P_B + \Delta P_{H1} + \Delta P_f + 0.075V_T^2$$

ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล

$$\Delta P_3 = \Delta P_B + \Delta P_{H1} + \Delta P_{H2} + \Delta P_W + \Delta P + 0.022V_T^2$$



รูป 8 แนวโน้มเปรียบเทียบค่าความดันสูญเสียจากการทดลองกับการทำงาน

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในแต่ละส่วนของอุโมงค์ตั้งแต่ปากทางเข้าแบบระฆังจนถึงทางออกของชุดเปลี่ยนรูปแบบการไหล โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงปรับสภาพการไหลเท่ากับ 0.2485 คิดเป็น 50.9 % ช่วงทำงานเท่ากับ 0.07 คิดเป็น 14.3 % และช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลเท่ากับ 0.17 คิดเป็น 34.8 %

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลของสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลม

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมมีลักษณะเป็นแบบโพลีโนเมียลอันดับที่ 3 โดยใบพัดหน้าตัดรูปแฉกอากาศที่มุมพิทช์ 18 และ 23 องศาใช้กำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลมต่ำกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่มุมพิทช์ 23 องศา และใบพัดหน้าตัดรูปแฉกอากาศที่มุมพิทช์ 12 องศา จะใช้กำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์ลมสูงกว่า ที่ความเร็วมากกว่า 3.2 m/s

ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมมีลักษณะเป็นแบบโพลี

โนเมียลอันดับที่ 2 โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดที่ใบพัดหน้าตัดรูปแฉกอากาศมุมพิทช์ 23 องศาเท่ากับ 19.00 % สูงกว่าที่ใช้ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.24 %

ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานใบพัดหน้าตัดรูปแฉกอากาศที่มุมพิทช์ 18 และ 23 องศา มีค่าสูงกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น และมุมพิทช์ 12 องศา มีความเร็วต่ำกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดที่ใบพัดหน้าตัดรูปแฉกอากาศมุมพิทช์ 23 องศาเท่ากับ 9.36 m/s สูงกว่าที่ใช้ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.18 m/s

5.2 ผลของการกระจายความเร็ว และพื้นที่ใช้งานของอุโมงค์ลม

การกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม ณ หน้าตัดใช้งานพบว่าความเร็วอากาศ ณ หน้าตัดทำงานของอุโมงค์ลมที่ใช้ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มีค่าความไม่สม่ำเสมอเท่ากับ 0.79 % และใบพัดหน้าตัดแบบรูปแฉกอากาศมีค่า เท่ากับ 0.88 % แตกต่างกันเพียง 0.09 % และมีพื้นที่ใช้งานขนาด 420 x 720 ตารางมิลลิเมตร ห่างจากผนังด้านบนและล่าง 190 มิลลิเมตร และผนังด้านซ้ายและขวา 240 มิลลิเมตร

5.3 ผลของความดันสูญเสีย และความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียของอุโมงค์ลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมมีลักษณะเป็นแบบโพลีโนเมียลอันดับที่ 2 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย ดังนี้ ช่วงปรับสภาพการไหลเท่ากับ 0.2485 ช่วงทำงานเท่ากับ 0.3187 และช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลเท่ากับ 0.4882

6. อักษรย่อและสัญลักษณ์

C_D	สัมประสิทธิ์แรงต้าน
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยก
c	ความยาวคอर्ड (m)
D_h	เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่าของอุโมงค์ลม (m)
dF	แรงในส่วนเล็กๆ ระบุหน่วยการหมุน (N)
K_i	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียแต่ละส่วนของอุโมงค์ลม
dL	แรงยกในส่วนเล็กๆ ของใบพัด (N)
dQ	แรงบิดที่เกิดขึ้นกับส่วนเล็กๆ ของใบพัด (N.m)
P_a	พลังงานจลน์ของมวลอากาศ (kW)
P_s	กำลังที่ต้องป้อนให้แก่พัดลมที่เพลลา (kW)
dr	ความหนาของส่วนเล็กๆ ของปีกที่พิจารณา (m)
dT	แรงขับในส่วนเล็กๆ ของปีก (N.m)
V_i	ความเร็วเฉลี่ยที่ผ่านแต่ละส่วนของอุโมงค์ลม (m/s)
V_T	ความเร็วอากาศที่หน้าตัดทำงานของอุโมงค์ลม (m/s)
α	มุมปะทะ (degree)

β	มุมที่วัดระหว่างระนาบการหมุนกับเส้นแรงยกเป็นศูนย์ (degree)
ϕ	มุมที่ความเร็วลัพธ์กระทำกับระนาบการหมุน (degree)
η_f	ประสิทธิภาพกำลังพัดลม (%)
Δp_b	ความดันสูญเสียที่ปากทางเข้าแบบระฆัง (Pa)
Δp_f	ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน (Pa)
Δp_h	ความดันสูญเสียในรังผึ้ง (Pa)
Δp_{h1}	ความดันสูญเสียในรังผึ้งที่ช่วงปรับสภาพการไหล (Pa)
Δp_{h2}	ความดันสูญเสียในรังผึ้งที่ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล (Pa)
Δp_t	ความดันสูญเสียที่ชุดเปลี่ยนรูปแบบการไหล (Pa)
Δp_w	ความดันสูญเสียเนื่องจากตะแกรงลวด (Pa)
Δp_1	ความดันสูญเสียในช่วงปรับสภาพการไหล (Pa)
Δp_2	ความดันสูญเสียในช่วงทำงาน (Pa)
Δp_3	ความดันสูญเสียในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล (Pa)

7. บรรณานุกรม

- [1] รัชชัย พัฒชนะ. (2544). การประเมินสมรรถนะปีกหมุนที่มีหน้าตัดแบบ เอ็น เอ ซี เอ 0012บี ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] ประเสริฐ ฤกษ์เกรียงไกร. (2541). กลศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- [3] สัมพันธ์ ไชยเทพ. (2527). การทดลองสร้างปรับปรุงและประเมินประสิทธิภาพอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ รายงานการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] ASHRAE. (1997). Fundamentals Handbook (SI) Duct Design. 32.29-32.47
- [5] Douglas, A. and Saarlus, M. (1996). Introduction to Aerospace Propulsion. New Jersey : Prentice Hall.
- [6] Gorlin, S. M. and Siennger, I. I. (1966). Wind Tunnels and Their Instrumentation. Jerusalem : S. Monson
- [7] McCormick, B.W. (1995). Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics. New York: John Wiley & son
- [8] Pimpin, A., and Bunyajitradulya, A. (1999). The Design and Development of The FMRL 60 X 18 cm² Wide-Angle Screened-Diffuser Blower Tunnel Part I: General Design Consideration. Proceeding of the 13th National Mechanical Engineering Conference
- [9] Rice, M.S. (1971). Handbook of Airfoil Section. Wiscosin : Hector.
- [10] Streeter, V. L. and Wylie, E. B. (1983). Fluid Mechanics. Singapore : McGraw-Hill