

ลักษณะของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ออโตไจโรแบบเพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางกับแบบเพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียว

สัมพันธ์ ไชยเทพ¹ นิกราน หอมดวง² และ ณัฐ วรยศ³

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

รับเมื่อ 19 กันยายน 2550 ตอรับเมื่อ 11 สิงหาคม 2551

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลการทดลองเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้าน ของโรเตอร์ออโตไจโรแบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทาง กับแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียว โดยชุดเพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ประกอบด้วยชุดคุดโรเตอร์จำนวน 2 ชุด โรเตอร์ชุดล่างกับชุดบนนั้นแต่ละชุดประกอบด้วยใบโรเตอร์ 2 ใบ ส่วนแบบเพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวมีคุดโรเตอร์ 1 ชุด ประกอบด้วยใบโรเตอร์ 2 ใบ โรเตอร์ทั้ง 2 แบบนั้น ใช้ภาคตัดปีกแบบ Clark Y ขนาดคอร์ด 6 ซม. คองที่ อัตราส่วนความหนาต่อความยาวคอร์ดของกลีบใบโรเตอร์เท่ากับ 0.116 ความยาวใบโรเตอร์ 35.7 ซม. ได้ทดลองในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด โดยศึกษาผลกระทบมุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ในช่วง 0° ถึง -15° ผลการเอียงมุมแกนเพลารอโรเตอร์ในช่วง 0° ถึง 45° และความเร็วลมเข้าหาชุดโรเตอร์ในช่วงไม่เกิน 9 ม./วินาที ได้พบว่าโรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางและแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวนั้น มีสองกรณีที่โรเตอร์ทั้งสองแบบนี้ไม่เกิดการหมุน ได้แก่ กรณีแรกเมื่อมุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 0° และมีมุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ 0° ถึง -15° และกรณีที่สองที่มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 45° และมีมุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ 0° ได้พบว่าการเพิ่มความเร็วลม เพิ่มมุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์และเพิ่มมุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ ส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านโรเตอร์ทั้ง 2 แบบ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีผลให้อัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์ลดลง พบว่ามุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ที่ 0° ณ มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 15° และ 30° นั้น ให้สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์สูงสุดในแบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ แต่ที่มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 45° จะเกิดที่มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ -2° ส่วนกรณีใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวพบว่าที่มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 15° 30° และ 45° จะเกิดที่มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ -2° ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดในกรณีใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางเท่ากับ 4.130 และเกิดที่มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 45° มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ -2° แต่กรณีใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวค่าสัมประสิทธิ์แรงทั้งสองนั้นเท่ากับ 2.471 ซึ่งเกิดที่มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 45° มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ -2° โดยสรุปผลพบว่าโรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนนั้นให้สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน ที่สูงกว่าแบบใช้เพลากแกนเดียวประมาณร้อยละ 54.21 52.53 และร้อยละ 47.25 ที่มุมเอียงแกนเพลารอโรเตอร์ 15° 30° และ 45° ตามลำดับ

คำสำคัญ : โรเตอร์ออโตไจโร / เพลาร่วมแกนหมุนสวนทาง / เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียว / สัมประสิทธิ์แรงยก / สัมประสิทธิ์แรงต้าน

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

² นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

Lift Coefficient and Drag Coefficient Characteristics of Autogiro Rotors of Coaxial Shafts - Two Rotors Contra-rotating Type and Single Shaft - Single Rotor Type

Sumpun Chaitep¹, Nigran Homdoug², and Nat Vorayos³

Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

Received 19 September 2007 ; accepted 11 August 2008

Abstract

This article reported the comparative experimental study of lift and drag coefficients of 2 types autogiro rotors, i.e., the co-axial 2-rotors contra-rotating and the conventional single shaft rotor. The contra-rotating type consisted of 2 hubs, whereas the single shaft rotor engaged only 1 hub. Each hub of any particular rotor type was identical in size and attached with a similar size of 2 rotor blades. Each blade was Clark Y airfoil section, rectangular platforms, non-twist with a constant chord of 6 cm. and 37.5 cm. length. With the thickness-to chord ratio of 0.116. Test was conducted using an open type low speed wind tunnel. Three combinations of dependent parameters were emphasized, i.e., the effective setting pitch angle of blade in the range of 0° to -15° , the tilt angle of rotor shaft setting in the range of 0° to 45° and variable of free air stream to the maximum of 9 m/s. The result showed that both rotor types did not rotate if setting at the tilt angle of 0° and any blade pitch angle of 0° to -15° , as well as the particular tilt angle of 45° but with the blade pitch angle of 0° . It was also being observed that the increasing magnitudes of air velocity, including the blade pitch angle, as well as the tilt angle caused the escalating of lift and drag coefficients for both rotor types, however those action caused retreating of the tip speed ratio. For the contra-rotating rotor, the best lift and drag coefficients can be obtained under the following combination; that blade pitch angle of 0° with tilt rotor shaft angles of 15° and 30° , and at the blade pitch angle of -2° with the tilt rotor shaft angle of 45° . For the contra-rotating rotor, maximum identical values of the lift and drag coefficients were reached at 4.130, at the particular tilt angle of 45° and with the blade pitch angle being set at -2° . Correspondingly, at the same tilt angle of 45° and the blade pitch angle of -2° , for the single shaft-single rotor can be accessible to the lift and drag coefficients at the vicinity of 2.471. In conclusion, contra-rotating rotor when compare to a single rotor, offered higher values of both lift and drag coefficients at 54.21%, 52.53% and 47.25% at the tilt of rotor shaft of 15° , 30° and 45° respectively.

Keywords : Autogiro Rotor / Coaxial Shafts - Two Rotors Contra-rotating / Single Shaft-Single Rotor / Lift Coefficient / Drag Coefficient

¹ Associate Professor, Department of Mechanical, Faculty of Engineering.

² Graduated Student, Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering.

³ Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering.

1. บทนำ

ยานอโตโรเป็นอากาศยานแบบปีกหมุนที่ถูกสร้างและใช้งานในช่วงปี ค.ศ. 1920 ถึง ค.ศ.1940 Leishman [5] จากนั้นยานก็มีการนำมาใช้งานน้อยลงสาเหตุเกิดจากการเข้ามาแทนที่ของเฮลิคอปเตอร์ ในปัจจุบันลักษณะของงานมีหลายรูปแบบทำให้มีแนวคิดที่จะนำยานอโตโรมาใช้งานอีกครั้ง โดยอโตโรมีหลักการทำงานคือ เมื่อมีกระแสลมไหลผ่านชุดโรเตอร์หรือใบพัดหลัก จะเกิดการหมุนด้วยตัวเองอย่างอัตโนมัติ (Autorotation) และเกิดแรงยกขึ้นที่โรเตอร์ แรงยกของโรเตอร์เกิดจากความแตกต่างความดันที่บริเวณผิวด้านล่างกับความดันบริเวณผิวด้านบนของกลีบโรเตอร์ ส่วนแรงขับของยานเกิดจากใบพัดขับตามแนวการเคลื่อนที่ของยานซึ่งได้รับกำลังจากเครื่องยนต์ สัมพันธ์ ไชยเทพ [4] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีผู้สนใจและศึกษางานด้านนี้หลายกรณีที่สำคัญมีดังนี้ชาติรีคอยแก่น [1] ได้ศึกษาถึงสมรรถนะแรงยกโรเตอร์ในสภาวะอโตโรโดยใช้ภาคตัดปีกแบบ NACA 0015 พบว่าสมรรถนะแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียงแกนเพลลา 15° , 30° และ 45° แรงยกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและตำแหน่งมุมเอียงของแกนเพลลาโรเตอร์เพิ่มขึ้น ธวัชชัย พัฒนชนะ [2] ได้รายงานผลการศึกษาการประเมินสมรรถนะปีกหมุนที่ใช้ภาคตัดปีกแบบ

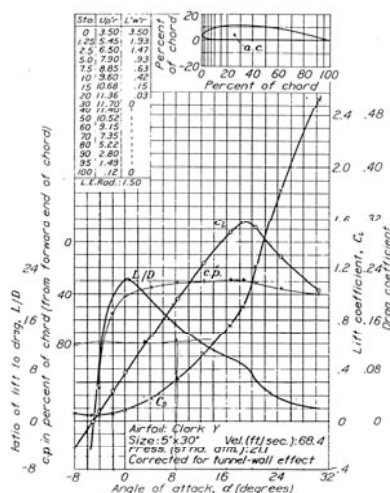
NACA0012-B พบว่าแรงยกในแนวแกนและแรงบิดที่ได้จากการประเมินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของปีกหมุนที่เพิ่มขึ้น

ความเร็วลม มุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ และมุมพิทช์ ปีกกลีบใบโรเตอร์ มีผลต่อแรงยก แรงต้าน และความเร็วรอบการหมุนของโรเตอร์ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจทดลองศึกษาเปรียบเทียบผลของปัจจัยที่กล่าวถึงนี้โดยเปรียบเทียบลักษณะ สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสอง โรเตอร์หมุนสวนทางกับแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวที่สภาวะอโตโร

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะของภาคตัดปีกแบบ Clark Y

ภาคตัดปีกแบบ Clark Y เป็นภาคตัดปีกที่มีผิวล่าง (Lower surface) ราบตรงและเป็นภาคตัดปีกที่มีแคมเบอร์สูง ลักษณะเด่นของผิวล่างที่ตรงจะช่วยให้การสร้างใบโรเตอร์ทำได้ง่ายและภาคตัดปีกที่มีแคมเบอร์สูงจะมีผลต่ออากาศของอากาศผ่านที่ความเร็วต่ำซึ่งจะทำให้มีแรงยกสูงกว่าภาคตัดปีกแบบสมมาตร รูปที่ 1 แสดงเส้นแนวโน้มสัมประสิทธิ์แรงยกกับสัมประสิทธิ์แรงต้านเทียบกับมุมปะทะของภาคตัดปีกแบบ Clark Y



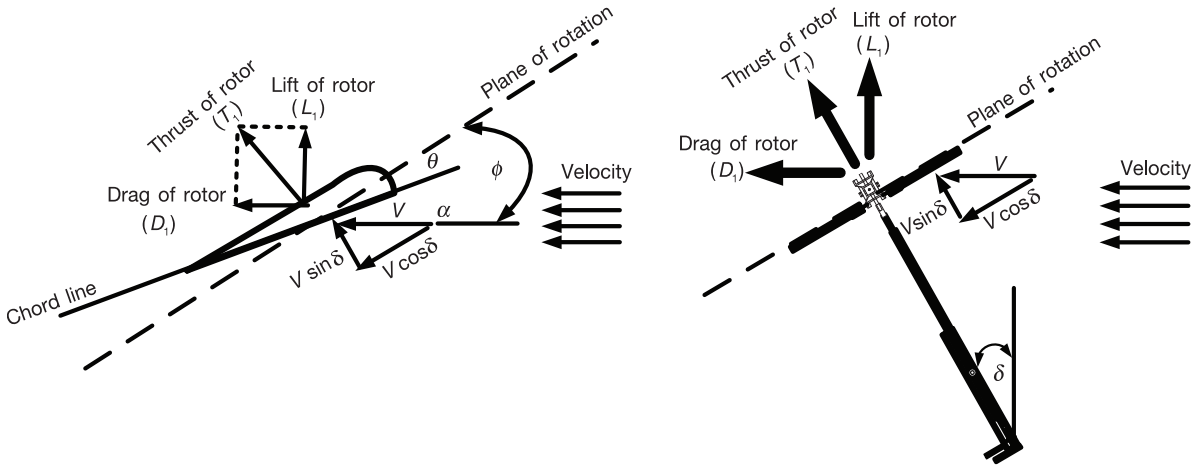
CLARK Y

รูปที่ 1 เส้นแนวโน้มค่า C_L กับ C_D เทียบกับมุมปะทะของภาคตัดปีกแบบ Clark Y Rice [6]

2.2 สัมประสิทธิ์แรงยกและ สัมประสิทธิ์แรงต้าน โรเตอร์

เป็นตัวเลขไร้หน่วยทางอากาศพลศาสตร์ใช้อธิบายการเกิดแรงที่กระทำต่อภาคตัดปีก เมื่อกระแสลมไหลผ่านภาคตัดปีก แรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับความเร็ว

กระแสลมอิสระเรียกว่าแรงยก และแรงที่มีทิศทางเดียวกับความเร็วกระแสลมอิสระเรียกว่าแรงต้าน พิจารณารูปที่ 2 จะได้ สัมประสิทธิ์แรงยก (C_{L_1}) และสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_{D_1}) ของโรเตอร์แบบเพลาแกนเดียวโรเตอร์เดี่ยวดังนี้ Leishman [5]



รูปที่ 2 แรงยก แรงต้านและแรงขับที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์แบบเพลาแกนเดียวโรเตอร์เดี่ยว

$$C_{L_1} = \frac{L_1}{\frac{1}{2} \rho 2A [(V \sin \delta)^2 + (V \cos \delta)^2]} \quad (1)$$

$$C_{D_1} = \frac{D_1}{\frac{1}{2} \rho 2A [(V \sin \delta)^2 + (V \cos \delta)^2]} \quad (2)$$

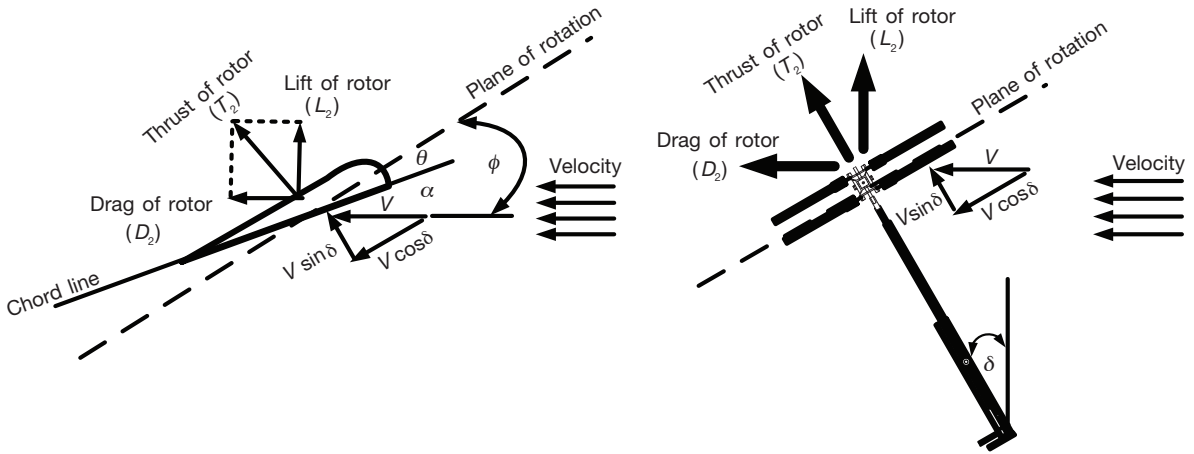
$$L_1 = T_1 \cos \delta \quad (3)$$

$$D_1 = T_1 \sin \delta \quad (4)$$

- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ, กก./ลบ.ม.
- A คือ พื้นที่โรเตอร์, ตร.ม.
- V คือ ความเร็วลมที่พัดเข้าหาโรเตอร์, ม./วินาที
- δ คือ มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์, °
- θ คือ มุมพิทช์ปีก, °
- α คือ มุมปะทะ, °

เมื่อ L_1 คือ แรงยกโรเตอร์แบบใช้เพลาแกนเดียว, N
 D_1 คือ แรงต้านโรเตอร์แบบใช้เพลาแกนเดียว, N
 T_1 คือ แรงรูนแนวแกนเพลารอเตอร์แบบใช้เพลาแกนเดียว, N

รูปที่ 3 เป็นสัมประสิทธิ์แรงยก (C_{L_2}) และสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_{L_2}) โรเตอร์แบบเพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทาง ทั้งนี้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางการกวาดโรเตอร์มีขนาดเท่ากันทั้งโรเตอร์ล่างและโรเตอร์บนโดยกำหนดว่าพื้นที่การกวาดของโรเตอร์ทั้งสองมีขนาดเท่ากับแบบเพลาแกนเดียว



รูปที่ 3 แรงยก แรงต้านและแรงขับที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์แบบเพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทาง

$$C_{L_2} = \frac{L_2}{\frac{1}{2} \rho 2A [(V \sin \delta)^2 + (V \cos \delta)^2]} \quad (5)$$

$$C_{D_2} = \frac{D_2}{\frac{1}{2} \rho 2A [(V \sin \delta)^2 + (V \cos \delta)^2]} \quad (6)$$

$$L_2 = T_2 \cos \delta \quad (7)$$

$$D_2 = T_2 \sin \delta \quad (8)$$

$$\mu_1 = \frac{V \cos \delta}{\Omega_1 r} \quad (9)$$

เมื่อ Ω_1 คือ ความเร็วรอบโรเตอร์แบบใช้เพลากแกนเดียว, rpm
 r คือ รัศมีโรเตอร์, เมตร

และขอกำหนดอัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์เฉลี่ยกรณีแบบเพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทาง (μ_2) ว่า

$$\mu_2 = \left| \frac{\mu_B + \mu_T}{2} \right| \quad (10)$$

โดยที่อัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์ล่างคือ

$$\mu_B = \frac{V \cos \delta}{\Omega_B r} \quad (11)$$

และอัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์บน

$$\mu_T = \frac{V \cos \delta}{\Omega_T r} \quad (12)$$

2.3 อัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์ (Rotor Advance Ratio, μ)

คือความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่พัดเข้าหาชุดโรเตอร์กับความเร็วรอบการหมุนของใบโรเตอร์ซึ่งอัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์แบบเพลากแกนเดียว (μ_1) สามารถเขียนได้ดังนี้ Leishman [5]

เมื่อ μ_B คือ อัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์ชุดล่างแบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทาง

μ_T คือ อัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์ชุด

บนแบบใช้เฟลาพร้อมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทาง

Ω_B คือ ความเร็วรอบโรเตอร์ชุดล่างแบบใช้เฟลาพร้อมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทาง, rpm

Ω_T คือ ความเร็วรอบโรเตอร์ชุดบนแบบใช้เฟลาพร้อมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทาง, rpm

3. อุปกรณ์ เครื่องมือวัดและวิธีการทดสอบ

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือวัด

รูปที่ 4 แสดงชุดทดสอบโรเตอร์ในอุโมงค์ลม และการติดตั้งเครื่องมือวัด อุปกรณ์หลักประกอบด้วย

1. อุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด ชนิดดูด ขนาดหน้าตัดทำงาน 0.9×1.2 ม. พงษ์ศิริ จริญนท์ [3] ได้ประเมินความเร็วลมเฉลี่ยที่หน้าตัดช่วงการทำงานมีค่าอยู่ระหว่าง 1.89 - 8.5 ม./วินาที มอเตอร์ขับใบพัดดูดอากาศขนาด 3.7 กิโลวัตต์ (3 เฟส) ติดตั้งร่วมกับชุดควบคุมความเร็วรอบที่สามารถเปลี่ยนความเร็วไฟฟ้าได้ในช่วง 0-50 เฮิร์ตซ

2. โรเตอร์อโตใจโรแบบใช้เฟลาพร้อมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทาง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85

ซม. ใช้ปีกแบบ Clark Y โดยคุมโรเตอร์จัดทำเป็น 2 ชุด แต่ละชุดมีภาคตัดปีกชุดละ 2 ใบวางซ้อนอยู่บนเฟลาเดียวกัน

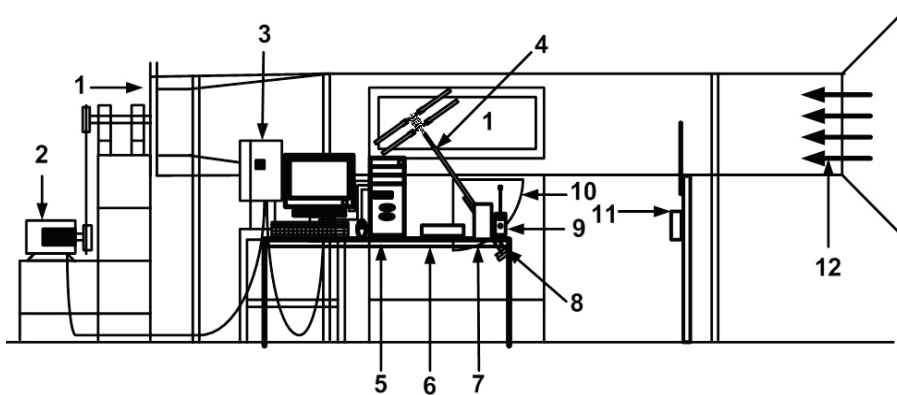
3. โรเตอร์แบบใช้เฟลาแกนเดียวโรเตอร์เดี่ยวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 ซม. ใช้ปีกแบบ Clark Y มีคุมโรเตอร์จำนวน 1 ชุด แต่ละชุดมีภาคตัดปีกชุดละ 2 ใบโรเตอร์ทั้ง 2 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 5

เครื่องมือวัดประกอบด้วย

1. เครื่องวัดแรงยกของโรเตอร์ ใช้โหลดเซลล์มีช่วงการวัดแรงยก 0 - 5,000 ก. ความละเอียดในการวัด 0.1 ก. ความแม่นยำ 1 ก. โดยใช้ Data Logger เป็นตัวแปลงสัญญาณการวัดและเก็บข้อมูล ซึ่งแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

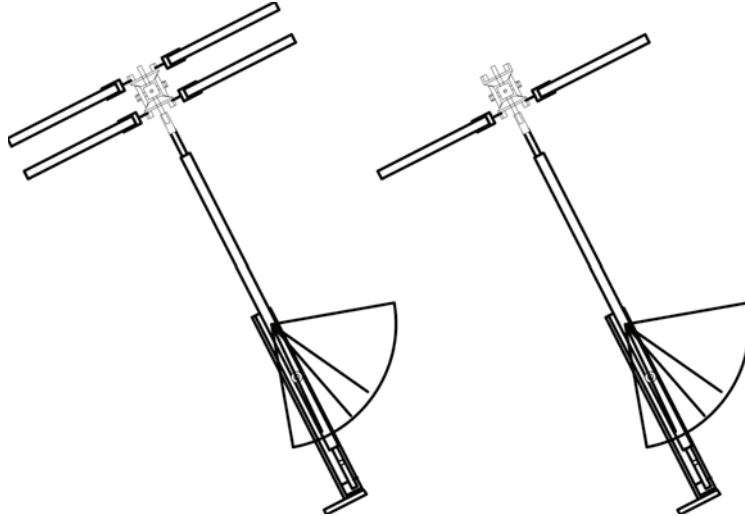
2. เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน (hot wire anemometer) มีช่วงการวัด 0.2 - 20 ม./วินาที ความละเอียดในการวัด 0.1 ม./วินาที และความแม่นยำ $\pm 3 \%$

3. เครื่องวัดความเร็วรอบของโรเตอร์แบบเลเซอร์ ช่วงการวัด 5 - 200,000 rpm, ความแม่นยำ $\pm 0.01 \%$ ของค่าที่อ่านได้



- | | | |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1. พัดลมอุโมงค์ลม | 5. คอมพิวเตอร์ | 9. เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน |
| 2. มอเตอร์พัดลมอุโมงค์ลม | 6. เครื่องปรับอากาศ | 10. แผ่นระนาบปรับมุมเอียง |
| 3. สวิตช์อุโมงค์ลม | 7. แบริด | 11. เครื่องวัดความเร็วลมแบบลวดร้อน |
| 4. โรเตอร์อโตใจโร | 8. โหลดเซลล์ | 12. ความเร็วลม |

รูปที่ 4 ชุดทดสอบโรเตอร์ในอุโมงค์ลมและการติดตั้งเครื่องมือวัด



รูปที่ 5 โรเตอร์อัตโนมัติโรแบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์และโรเตอร์แบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียว

3.2 วิธีการทดสอบ

ได้ทดสอบผลของมุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ ความเร็วลมในอุโมงค์ และมุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ที่มีต่อสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ในสภาวะอัตโนมัติโรแบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางกับแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียว โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วลมอยู่ในช่วง 3.5 - 8.5 ม./วินาที มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 0°, 15°, 30° และ 45° และมุมพิทช์ปีกของโรเตอร์ 0°, -2°, -4°, -6°, -8°, -10°, -12° และ -15°

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากการทดสอบผลของมุมพิทช์ปีกของโรเตอร์ ความเร็วลมในอุโมงค์ลมและมุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ที่มีต่อสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางกับแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียว พบว่ามุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ 0° ถึง -15° ที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 0° และ มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ 0° ที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 45° โรเตอร์ไม่เกิดการหมุน สาเหตุเกิดจากมีการไหลปั่นป่วนเกิดขึ้นบริเวณด้านหลังกลีบใบโรเตอร์ทำให้เกิดแรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทานซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแนวทิศทางการไหลของกระแสลม ส่งผลให้แรง

บิดลัพท์ที่มีต่อโรเตอร์มีไม่เพียงพอที่จะทำให้โรเตอร์หมุนได้ รูปที่ 6 แสดงผลสัมประสิทธิ์แรงยกสัมประสิทธิ์แรงต้านกับอัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์ที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 15° มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ 0° ถึง -15° พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วลมและมุมพิทช์ปีกทำให้กระแสลมที่พัดเข้าหาชุดโรเตอร์ ($V \sin \theta$) มีค่าเพิ่มขึ้น และส่งผลต่อความเร็วรอบการหมุนให้เพิ่มขึ้น ทำให้แรงยก แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยก สัมประสิทธิ์แรงต้าน ของโรเตอร์แบบเพลาร่วมแกนสอง โรเตอร์หมุนสวนทางและแบบเพลากแกนเดียว โรเตอร์เดียวมีค่าเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดแบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางมีค่า 1.321 และ 0.355 โดยเกิดขึ้นที่มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ 0° ในกรณีแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดมีค่า 0.621 และ 0.166 และเกิดขึ้นที่มุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ -2° เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านโรเตอร์โดยเฉลี่ยทุกค่าของมุมพิทช์ปีกกลีบใบโรเตอร์ โรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสอง โรเตอร์หมุนสวนทางให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงกว่าแบบเพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวร้อยละ 54.21 อัตราส่วนความเร็วปลายกลีบโรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางมีค่าอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 1.01 และ

แบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมีค่าอยู่ในช่วง 0.19 ถึง 1.10 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วลมและมุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ จะส่งผลให้ความเร็วรอบการหมุนของโรเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแต่มีผลทำให้อัตราส่วนความเร็วปลายปีกมีค่าลดลง รูปที่ 7 แสดงผลสัมประสิทธิ์แรงยกสัมประสิทธิ์แรงต้านกับอัตราส่วนความเร็วปลายกลับโรเตอร์ ที่มุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ 30° มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ 0° ถึง -15° พบว่าการเพิ่มความเร็วลม มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ และมุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์มีผลให้สัมประสิทธิ์แรงยก สัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์แบบเพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์ หมุนสวนทางและแบบเพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับมุมเอียงแกนเพลลา 15° เนื่องจากการปรับมุมดังกล่าวมีผลทำให้พื้นที่ในการรับลมของโรเตอร์เพิ่มขึ้นโดยส่งผลให้แรงยกและแรงต้านโรเตอร์เพิ่มขึ้นตาม ทำให้สัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้านสูงสุดของโรเตอร์แบบเพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางเพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 3.215 และ 1.856 โดยเกิดที่มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ 0° ในกรณีแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยว ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุด 1.821 และ 1.051 ตามลำดับ โดยเกิดขึ้นที่มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ -2° เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านโรเตอร์โดยเฉลี่ยทุกค่าของมุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ โรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์ หมุนสวนทางให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงกว่าแบบเพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวร้อยละ 52.53 อัตราส่วนความเร็วปลายกลับโรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสอง โรเตอร์หมุนสวนทางมีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ถึง 0.21 และแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมีค่าอยู่ในช่วง 0.08 ถึง 0.26 ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วลม มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ และมุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ มีผลให้อัตราส่วนความเร็วปลายกลับโรเตอร์ลดลง รูปที่ 8 แสดงผลสัมประสิทธิ์แรงยกสัมประสิทธิ์แรงต้านกับอัตราส่วนความเร็วปลายกลับโรเตอร์ ที่มุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ 45° มุมพิทช์ปีก 0° ถึง -15° พบว่าการเพิ่มความเร็วลม มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ และมุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์มีผลให้สัมประสิทธิ์แรงยก สัมประสิทธิ์แรงต้านของ โรเตอร์แบบเพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางและแบบเพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ

เทียบกับมุมเอียงแกนเพลลา 15° และ 30° ที่มุมนี้สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดของโรเตอร์แบบเพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางมีค่าเท่ากันคือ 4.130 โดยเกิดที่มุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ -2° ในกรณีแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมุมพิทช์ปีกที่ให้สัมประสิทธิ์แรงยกสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดคือมุมพิทช์กลับใบโรเตอร์ -2° โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากันคือ 2.471 และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านโรเตอร์โดยเฉลี่ยทุกค่าของมุมพิทช์ปีกกลับใบโรเตอร์ โรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงกว่าแบบเพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวร้อยละ 47.23 อัตราส่วนความเร็วปลายกลับโรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสอง โรเตอร์หมุนสวนทางมีค่าอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.11 และแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมีค่าอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.13 รูปที่ 9 แสดงภาพถ่ายการทดสอบโรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางในอุโมงค์ลม ความเร็วต่ำแบบเปิด ณ โครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ออโตไจโร แบบใช้เพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางกับแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

(1) ตำแหน่งมุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ 0° ที่มุมพิทช์ปีก 0° ถึง -15° และมุมพิทช์ปีก 0° มุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ 45° โรเตอร์ไม่สามารถหมุน

(2) การเพิ่มความเร็วลม มุมพิทช์ปีกและมุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ทำให้สัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้านโรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางและแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยว โรเตอร์เดี่ยวมีค่าเพิ่มขึ้น

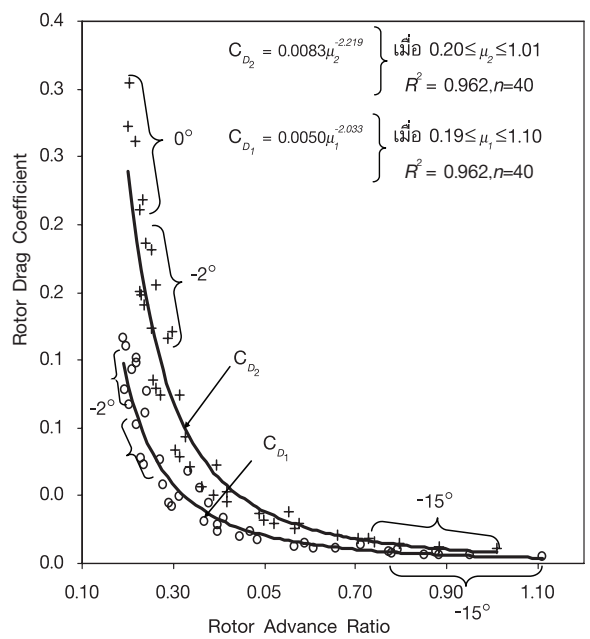
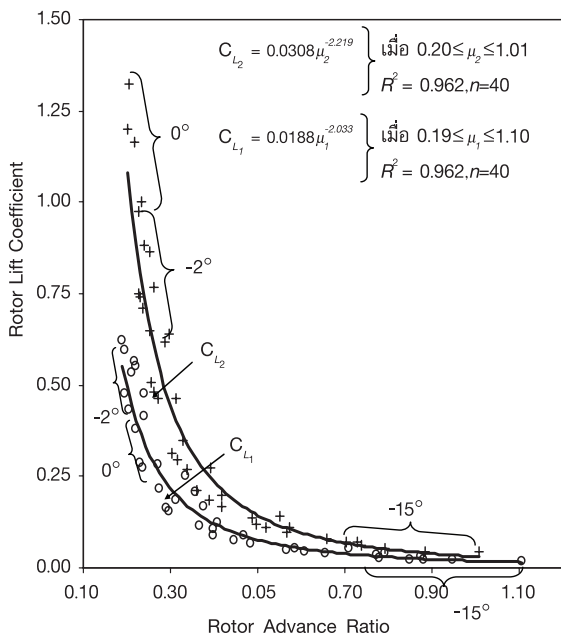
(3) การเพิ่มความเร็วลม มุมพิทช์ปีกและมุมเอียงแกนเพลลาโรเตอร์ทำให้อัตราส่วนความเร็วปลายกลับโรเตอร์แบบใช้เพลลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางและแบบใช้เพลลาแกนเดี่ยวโรเตอร์เดี่ยวมีค่าต่ำลง

(4) สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านโรเตอร์สูงสุดกรณีใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์หมุนสวนทางที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 15° และ 30° อยู่ที่มุมพิทช์ปีก 0° และที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 45° อยู่ที่มุมพิทช์ปีก -2° ส่วนกรณีเพลากแกนเดียวที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 15°, 30° และ 45° อยู่ที่มุมพิทช์ปีก -2°

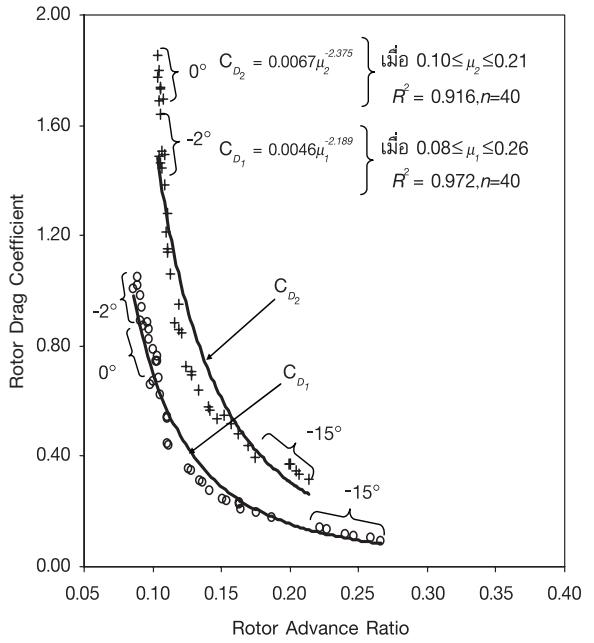
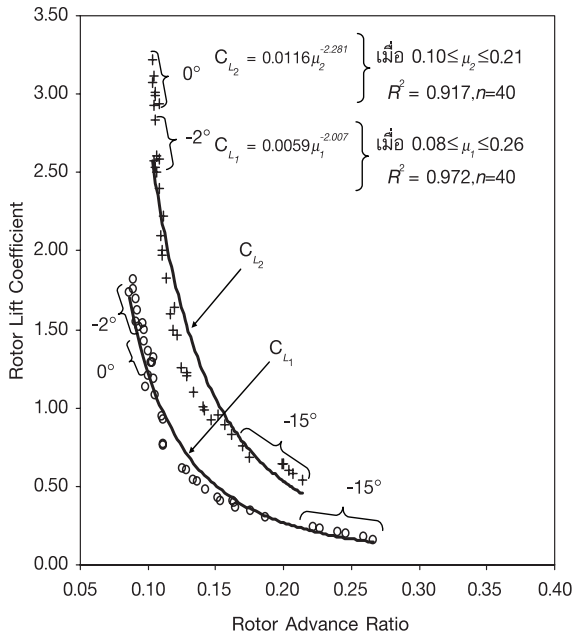
(5) สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงสุดกรณีใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางเท่ากับ 4.130 ซึ่งเกิดขึ้นที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 45° มุม

พิทช์ปีก -2° ในกรณีใช้เพลากแกนเดียว โรเตอร์เดียวเท่ากับ 2.471 โดยเกิดที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 45° มุมพิทช์ปีก -2°

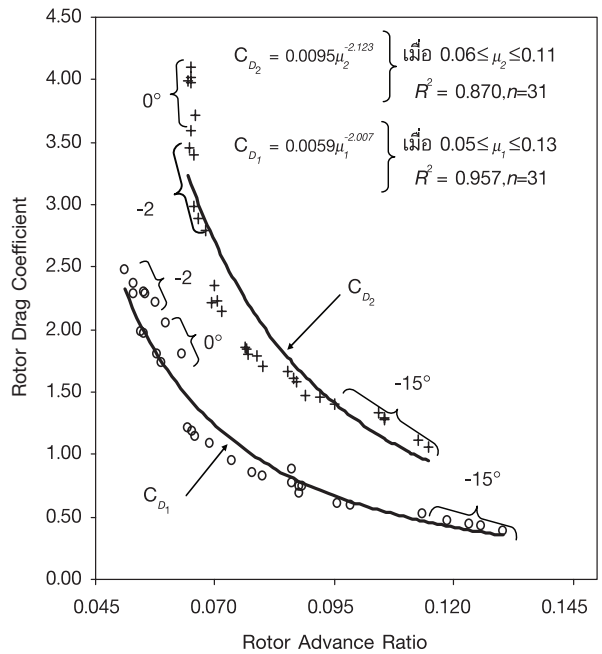
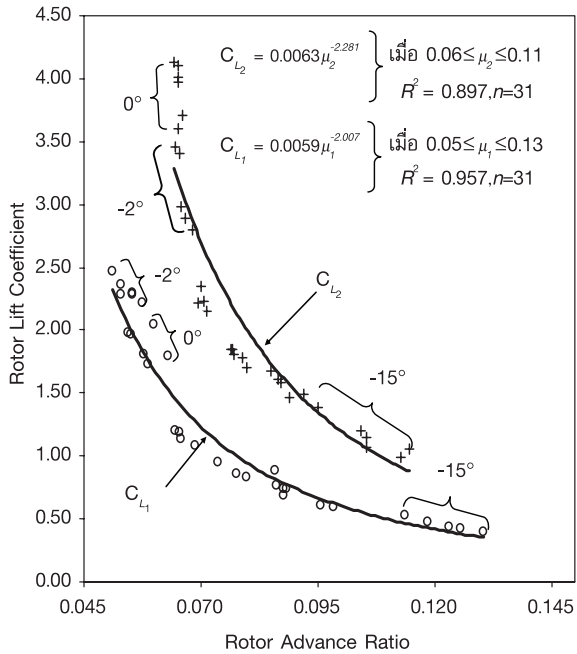
(6) โรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทางจะให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงกว่าแบบใช้เพลากแกนเดียวโรเตอร์เดียวร้อยละ 54.21, ร้อยละ 52.53 และร้อยละ 47.25 ที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 15° 30° และ 45° ตามลำดับ



รูปที่ 6 C_{L_2} , C_{D_2} , C_{L_1} และ C_{D_1} ที่มุมเอียงแกนเพลารอเตอร์ 15° มุมพิทช์ปีก 0° ถึง -15°



รูปที่ 7 C_{L_2} , C_{D_2} , C_{L_1} และ C_{D_1} ที่มุมเอียงแกนเพลาโรเตอร์ 30° มุมพิทช์ปีก 0° ถึง -15°



รูปที่ 8 C_{L_2} , C_{D_2} , C_{L_1} และ C_{D_1} ที่มุมเอียงแกนเพลาโรเตอร์ 45° มุมพิทช์ปีก 0° ถึง -15°



รูปที่ 9 ภาพถ่ายการทดสอบโรเตอร์แบบใช้เพลาร่วมแกนสองโรเตอร์ส่งกำลังหมุนสวนทาง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยและพัฒนาบูรณาการ เรื่อง หุ่นยนต์บินเพื่อการสำรวจทางอากาศ งบประมาณแผ่นดิน 2548-9 และโครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

1. ชาตรี คอยแก่น, 2544, *สมรรถนะแรงยกของโรเตอร์ ออโต้โรโคมอเตอร์โดยใช้ทฤษฎีเบลดอิลิเมนต์*, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 140 หน้า.
2. ธวัชชัย พัฒชนะ, 2544, *การศึกษาและประเมินสมรรถนะปีกหมุนที่ทำงานในไฮเวอร์โหมดด้วยทฤษฎีเบลดอิลิเมนต์*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหา

บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 187 หน้า.

3. พงษ์ศิริ จริญนท์, 2546, *การปรับปรุงและประเมินสมรรถนะของใบพัดรูปแพนอากาศสำหรับอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 123 หน้า.

4. สัมพันธ์ ไชยเทพ, 2549, *อนุกรมวิศวกรรมยานยนต์และการบินอวกาศ เล่มที่ 1 “อากาศพลศาสตร์เบื้องต้น”*, ฉบับฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี, ดารารวรรณการพิมพ์. เชียงใหม่, 366 หน้า.

5. Leishman, J.G., 2006, *Principles of Helicopter Aerodynamics. 2nd ed.*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 826.

6. Rice, M. S., 1971, *Handbook of Airfoil Sections for Light Aircraft*, Hector Cervantes. INC, Wisconsin, p. 93.