

อิทธิพลของตำแหน่งของสันใบพัดแบบโค้งต่อประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้ง เพลาร่วมหมุนสวนทางกัน

Effect of Ridge Position to Power Coefficient of Curved Blade Vertical Co-Axis Counter-Rotation Wind Turbine Type

ธนศ ไชยชนะ^{1*} และสัมพันธ์ ไชยเทพ²
Tanate Chaichana^{1*} and Sumpun Chaitep²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้ง หรือสันของใบพัดกังหันลมแบบโค้ง ต่อความเร็วลมเริ่มหมุนของกังหัน และประสิทธิภาพของกังหัน โดยกังหันที่ใช้ในการศึกษาเป็นกังหันลมแกนตั้งแบบเพลาร่วมหมุนสวนทางกัน ทำการศึกษาในอุโมงค์ลมแบบเปิดความเร็วต่ำ ทดสอบที่ความเร็วลม 1-7 เมตร/วินาที และภาระที่กระทำที่เพลากังหัน 100-1,000 กรัม ใบพัดของกังหันสร้างจากไม้โดยมีตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้ง หรือสันของใบพัดกังหันที่ตำแหน่ง 25% 50% และ 75% ของความกว้างของใบกังหันวัดจากปลายของใบกังหัน ผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งสูงสุดของส่วนโค้ง หรือสันของใบพัดกังหันแบบโค้งที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ตำแหน่ง 50% ซึ่งมีค่าความเร็วลมเริ่มทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 1.85 เมตร/วินาที โดยมีค่าน้อยกว่ากรณีตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันที่ 25% และ 75% ของความกว้างของใบกังหันประมาณ 8-10% และให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังและสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 6.2% และ 31.8% ตามลำดับ

คำสำคัญ: กังหันลมแกนตั้งเพลาร่วมหมุนสวนทางกัน ใบพัดโค้ง สันใบพัด

Abstract

The objective of this research was to study the effect of ridge position of curved blade to cut in speed and power coefficient. The Vertical Co-Axis Counter-Rotating Wind Turbine type was used to study. The turbine was examined in open flow and low wind speed wind tunnel type of 1-7 m/s. Moreover, sizes of load in a range of 100 to 1,000 g were varied. The blades were made from wood and the position of ridge at 25%, 50% and 75% of length from tip of rotor. It was found that the suitable position of ridge was 50% of

¹ อาจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จังหวัดพัทลุง 93110

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

* Corresponding author : E-mail : Tanatecha@Gmail.com, Tanatecha@hotmail.com โทรศัพท์ 081-540676

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

length from tip of rotor or symmetry blade. The average cut in wind speed was 1.85 m/s, which less than 25% and 75% of length from tip 8-10%. The highest power and torque coefficient was 6.2% and 31.8%, respectively.

Keywords: Vertical Co-Axis Counter-Rotating Wind Turbine, Curved blade, Ridge blade

คำนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพค่อนข้างสูงในประเทศไทย และได้มีการศึกษาเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมทั้งด้านศักยภาพพลังงาน ความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ รวมถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ทั้งนี้พบว่าพื้นที่ที่มีความเหมาะสมจะอยู่ในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยและฝั่งอันดามันทางภาคใต้ของประเทศไทย รวมถึงในพื้นที่สูง และหุบเขาในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ทั้งนี้ในเขตชายฝั่งทะเลจังหวัดนครศรีธรรมราช มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมอยู่ในช่วง 4.5 – 86.0 GWh/year มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 1 – 11 Bath/kWh [1] และในพื้นที่ฝั่งอันดามันพบว่ามีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเท่ากับ 1.33 - 4.22 Bath/kWh [2] ส่วนในพื้นที่ภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่มีค่าพลังงานลมเฉลี่ยเท่ากับ 128.95 W/m² [3]

การใช้ประโยชน์จากพลังงานในรูปของพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย เริ่มโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ณ แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ในปี พ.ศ.2526 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 5 m/s โดยใช้ชื่อว่าสถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของแหลมพรหมเทพ ประมาณ 1 km และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าได้รวมทั้งสิ้น 170 kW [4] ส่วนกังหันลมที่มีกำลังการผลิตสูงสุดของประเทศไทย คือกังหันลมที่ติดตั้ง ณ อ่างพักน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา โดยมีกำลังการผลิตรวม 2,500 kW ดังแสดงในรูปที่ 1 [4]

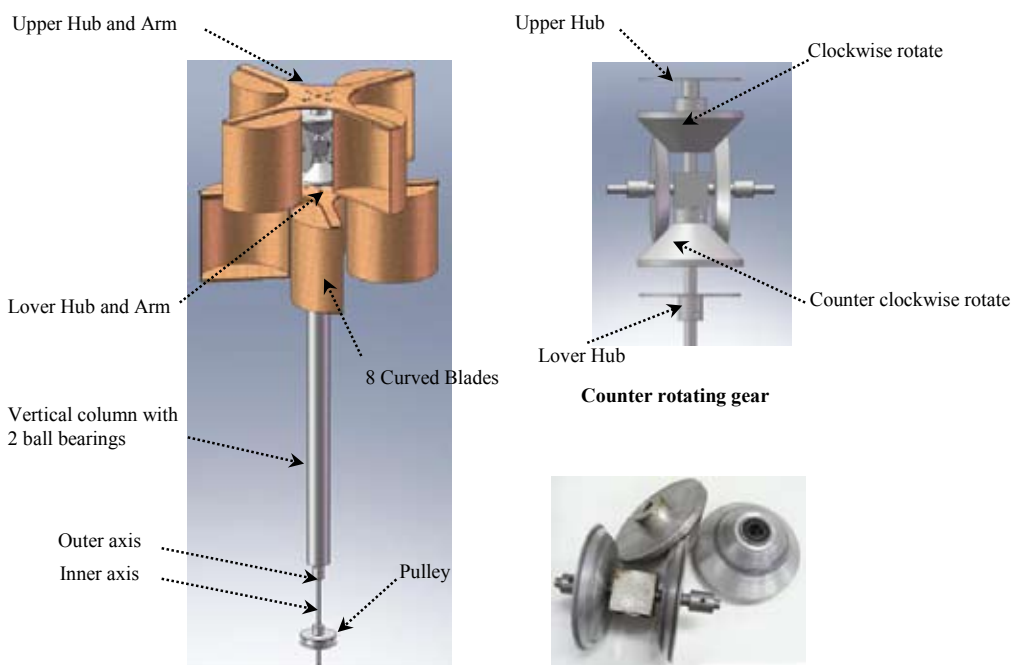


ภาพที่ 1 กังหันลมผลิตไฟฟ้า ณ อ่างพักน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา [4]

เกือบ 100% ของกังหันลมที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นกังหันลมที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งโดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งตามลักษณะของแกนได้ 2 ชนิด คือ กังหันลมแบบแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWTs) และแบบแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine, VAWTs) สำหรับการพัฒนากังหันลมในประเทศ ที่เป็นการออกแบบ สร้าง และพัฒนาได้มีการดำเนินงานภายในประเทศอย่างต่อเนื่องนั้นพบว่ามีปริมาณน้อย ซึ่งพบว่าในปี พ.ศ.2520 [5] ได้มีการทดสอบกังหันแกนตั้งแบบ Savonius แบบ Hybrid และแบบ Savonius ดัดแปลง ซึ่งผลการทดสอบพบว่ากังหันลมแบบ Savonius เป็นกังหันลมที่สร้างได้ง่าย มีประสิทธิภาพสูง แต่ไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ ส่วนแบบ Savonius ดัดแปลงสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ แต่มีความยุ่งยากในการสร้าง ต่อมาในปี พ.ศ.2525 ได้มีการออกแบบ สร้าง พัฒนากังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ [6] ซึ่งมีทั้งกังหันแบบแกนตั้งและกังหันแบบแกนนอน โดยพบว่ากังหันสามารถทำงานได้ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ความเร็วลมค่อนข้างสูง และสามารถใช้งานในการผลิตไฟฟ้าได้

การศึกษาปัจจัยต่างๆ ของกังหันลมต่อประสิทธิภาพการทำงานนั้นมีความสำคัญในการพัฒนากังหันลมของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันลมแบบโค้ง เมื่อเทียบกับรัศมีของแกนกังหันลมต่อความเร็วลมเริ่มหมุนของกังหัน (Cut in wind speed) และประสิทธิภาพของกังหัน โดยกังหันที่ใช้ในการศึกษาเป็นกังหันลมแกนตั้งแบบเพลาร่วมหมุนสวนทางกัน (Vertical Co-Axis Counter-Rotation Wind Turbine)

อุปกรณ์และวิธีการ



ภาพที่ 2 กังหันลมแกนตั้งเพลาร่วมหมุนสวนทางกันและ Counter rotating gear

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

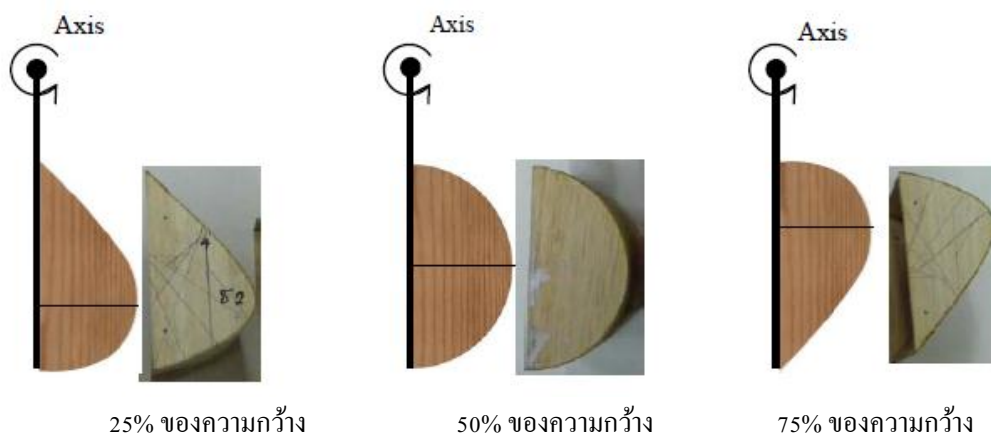
อุปกรณ์

1. กังหันลมแกนตั้งเพลาพร้อมหมุนสวนทางกัน (Vertical Co-Axis Counter-Rotation Wind Turbine)

กังหันลมที่ใช้ในการศึกษาเป็นกังหันลมแกนตั้งเพลาพร้อมหมุนสวนทางกัน มีรัศมีของกังหันเท่ากับ 20 cm ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย ใบพัด แบบแผ่นเรียบตัดโค้งจำนวน 8 ใบพัด แบ่งเป็น 2 ชุด ชุดบน 4 ใบหมุนทวนเข็มนาฬิกา ส่วนชุดล่าง 4 ใบหมุนตามเข็มนาฬิกา เพลาของกังหันทั้ง 2 ชุด (ชุดบนและชุดล่าง) หมุนร่วมแกนหมุนเดียวกันและกำลังที่ได้จากเพลาทั้ง 2 จะส่งไปยังแกนทำงาน 1 แกน ใช้ระบบเฟืองแบบ counter rotating gear อุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งและจับยึด ณ ฐานรับโดยจับยึดกับแท่งจับยึดแนวตั้ง (vertical column) ภายในแท่งจับยึดแนวตั้งจะเป็นท่อกลวงประกอบด้วยลูกปืนที่มีแรงเสียดทานของลูกปืนน้อยมาก เพื่อให้เพลาหมุนได้อย่างอิสระ ส่วนเพลาทำงานติดตั้ง pulley ทำหน้าที่เป็นส่วนที่จะติดกับชุดวัดแรงบิดแบบแรงเสียดทานเพื่อส่งสัญญาณเข้าสู่เครื่องบันทึกข้อมูลต่อไป

2. ใบพัด (Blades)

ใบพัดของกังหันเป็นแบบใบพัดโค้ง ทำจากไม้มวลเบา มีขนาดกว้าง 150 cm สูง 150 cm และมีสันของส่วนโค้งหนา 75 cm และตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดมี 3 ตำแหน่ง คือ ที่ 25% 50% และ 75% ของความกว้างของใบกังหัน (3.37, 75.0 และ 112.5 cm วัดจากปลายของใบกังหัน) ดังแสดงในรูปที่ 3 ส่วนใบพัดจะยึดติดกับแกนของกังหัน ณ ระยะ 50 cm จากแกนกลางเพลา ใบพัดทั้งหมดจะต้องมีน้ำหนักที่เท่ากันเพื่อให้เกิดการหมุนที่สมดุล

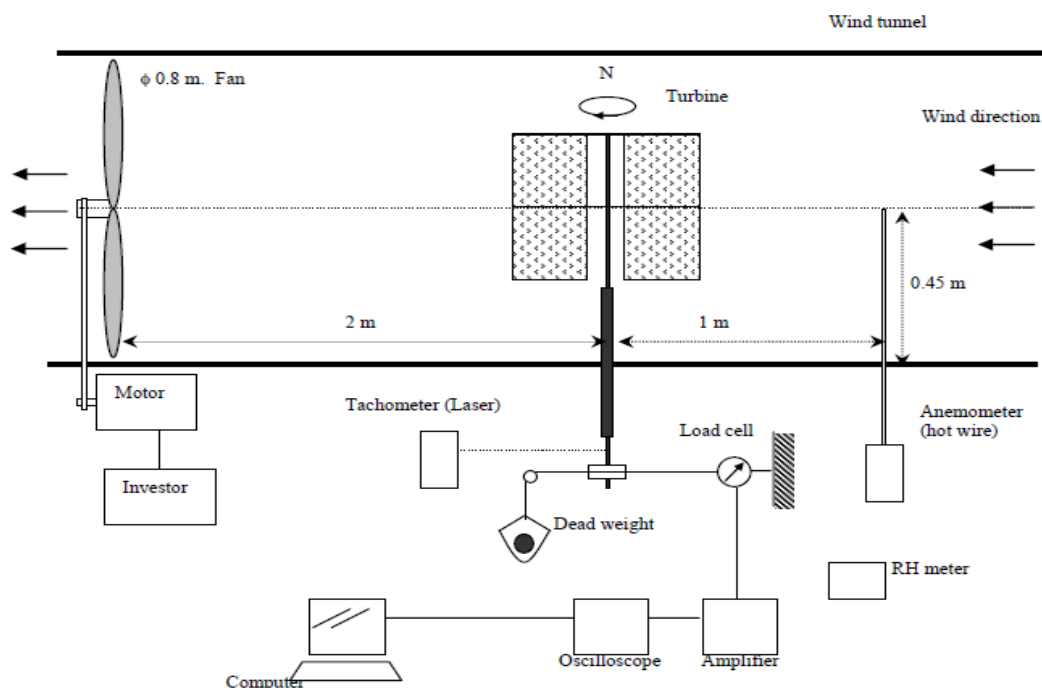


ภาพที่ 3 ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหัน

การทดสอบ (Test)

ทำการศึกษาในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วลม จาก 0 – 7 m/s เพื่อศึกษาความเร็วลมที่ทำให้กังหันเริ่มหมุน ความเร็วรอบทำงานของกังหัน (ความเร็วรอบคงที่ ณ ค่าความเร็วลมหนึ่งๆ) ประเมินค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque Coefficient, C_t) และสัมประสิทธิ์กำลังของกังหัน (Power Coefficient, C_p) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 4 และทำการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ

- ภาระที่เพลาคงที่เท่ากับ 100 g (0.98N) และปรับมุมปะทะเริ่มต้นระหว่างทิศทางของลมกับระนาบรับลมของใบพัดคงที่ เท่ากับ 90 องศา (ตั้งฉากกัน) มุมใบพัดคงที่ 0 องศา (มุมใบพัดคือมุมระหว่างระนาบรับลมของใบพัดกับแกนของกังหัน หรือรัศมีของกังหัน)
- ความเร็วลมคงที่ ปรับค่าภาระที่เพลาคงที่จาก 100 – 1,000 g มุมปะทะเริ่มต้นระหว่างทิศทางของลมกับระนาบรับลมของใบพัดคงที่ เท่ากับ 90 องศา (ตั้งฉากกัน) มุมใบพัดคงที่ 0 องศา



ภาพที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

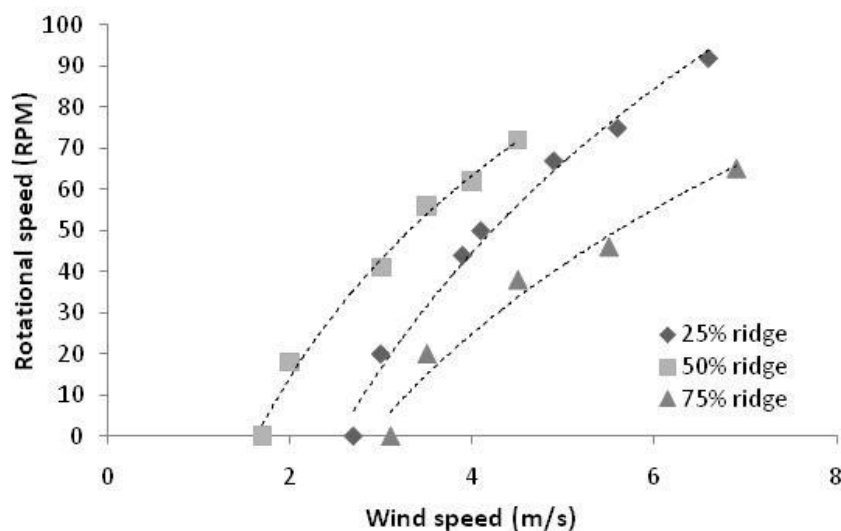
1. ความเร็วลมเริ่มหมุน (Cut in wind speed)

การศึกษาความเร็วเริ่มหมุนของกังหันลม คือ การพิจารณาความเร็วลมที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้กังหันลมหมุน ซึ่งจะเป็ค่าที่สำคัญในการออกแบบกังหันเพื่อให้เหมาะกับสัคยภาพ หรือข้อมูลลมที่มีในพื้นที่ต่างๆ

จากการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมจาก 0 – 7 เมตร/วินาที และสร้างภาระที่เพลของกังหันเท่ากับ 100 กรัม (0.98N) พบว่าที่ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหัน 25% ของความกว้างของใบกังหัน ค่าความเร็วลมน้อยที่สุดที่ทำให้กังหันลม เริ่มหมุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.6 เมตร/วินาที ที่ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหัน 50% ของความกว้างของใบกังหัน ค่าความเร็วลมน้อยที่สุดที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุนเฉลี่ยเท่ากับ 1.85 เมตร/วินาที และที่ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหัน 75% ของความกว้างของใบกังหันค่าความเร็วลมน้อยที่สุดที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุนเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 เมตร/วินาที ส่วนค่าความเร็วรอบของกังหันที่ความเร็วลมต่างๆ ณ ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

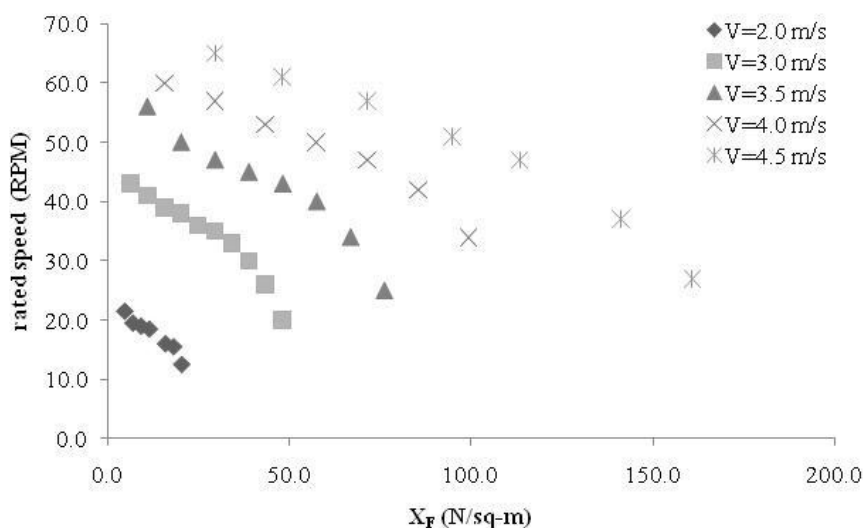
จะพบว่าการสร้างกังหันลมที่ใช้ใบกังหันแบบแผ่นเรียบคดโค้ง เพื่อให้กังหันสามารถเริ่มหมุนหรือทำงานที่ความเร็วลมต่ำที่สุด ส่วนหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันต้องอยู่กึ่งกลางของใบพัด เนื่องจากแรงของลมที่มากระทำกับใบของกังหันมีการกระจายในลักษณะที่เท่ากันทั้งใบพัดของกังหัน โดยพิจารณาภายใต้พื้นที่หน้าตัดรับลม พบว่าแรงที่กระทำต่อใบพัดที่มีส่วนหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันต้องอยู่กึ่งกลางของใบพัด (ใบพัดแบบสมมาตร) จะมีค่าน้อยกว่า กรณีที่ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันที่ 25% และ 75% ของความกว้างของใบกังหันประมาณ 8-10%



ภาพที่ 5 ความเร็วรอบของกังหันที่ความเร็วลมต่างๆ (RPM : รอบต่อนาที)

2. ความเร็วรอบทำงานของกังหัน (Rated speed)

ในที่นี้เนื่องจากกังหันลมเป็นแบบจำลองที่มีการสร้างหรือผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงนิยามความหมายของความเร็วรอบทำงานของกังหัน เป็นความเร็วรอบที่คงที่ ณ ความเร็วลมค่าต่างๆ โดยพบว่าความเร็วลมทำงานของกังหันเป็นค่าที่แปรตามความเร็วลม และแรงที่กระทำที่เพลลาของกังหัน (ภาระ) โดยมีการเปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วรอบทำงานของกังหันจะแปรผันแบบผกผันกับภาระที่เพลลาของกังหัน คือ เมื่อภาระที่เพลลาสูงขึ้นความเร็วรอบก็จะลดลง ส่วนความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบทำงานของกังหันสูงขึ้น หรือกล่าวได้ว่า ความเร็วรอบทำงานของกังหันจะแปรผันตรงกับความเร็วลม ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยค่าในแกน X คือ อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำที่เพลลา (N) กับ พื้นที่กวาดของกังหันลม (ผลคูณระหว่างความสูงของใบกังหันกับรัศมีของกังหัน, m^2) แทนด้วย XF



ภาพที่ 6 ความเร็วรอบทำงานของกังหัน (Rated speed) (RPM : รอบต่อนาที)

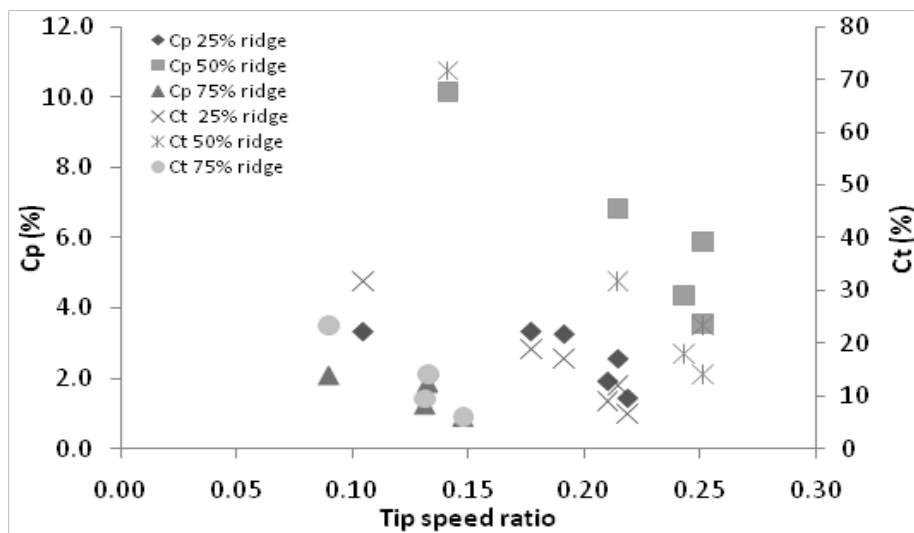
จากภาพที่ 6 สามารถสร้างสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม (V) X_F และความเร็วรอบทำงานของกังหัน (N_r , RPM) ได้ดังสมการที่ 1 โดยค่าความน่าเชื่อถือของสมการมีค่าเท่ากับ 96.59 %

$$N_r = 23.12V + 0.31X_F + 25.60 \quad (1)$$

3. สัมประสิทธิ์กำลังของกังหัน (Power coefficient)

สัมประสิทธิ์ของกังหันลมที่ทำการศึกษามีอยู่ 2 ส่วนคือ สัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque Coefficient, C_t) และสัมประสิทธิ์กำลัง (Power coefficient, C_p) จากผลการทดสอบที่สอดคล้องกับคุณสมบัติการทำงานของกังหันลม ทั้งความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่มหมุน และความเร็วรอบทำงานของกังหันลม คือ เมื่อกังหันลมสามารถเริ่มทำงานที่ความเร็วลมต่ำก็จะมีโอกาสที่กังหันลมจะทำงานได้มากขึ้น กำลังการผลิตก็มีโอกาสมากขึ้น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ แรงบิดและสัมประสิทธิ์กำลัง กรณีที่ตำแหน่งหน้าสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันเท่ากับ 50% หรือใบพัดที่สมมาตร ให้ทั้งค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดและสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 31.8% และ 6.2% ตามลำดับ รองลงมาเป็นกรณีที่ตำแหน่งหน้าสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันเท่ากับ 25% และ 75% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยค่าในแกน X คือค่า Tip Speed Ratio (อัตราส่วนความเร็วปลายปีกของใบพัดกังหัน) ซึ่งคือค่าอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายปีกของการหมุนกับความเร็วม

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554



ภาพที่ 7 Torque Coefficient (Ct) และ Power Coefficient (Cp)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาผลของตำแหน่งสูงสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันแบบโค้งที่ติดตั้งกับกังหันลมแกนตั้งเพลาร่วมหมุนสวนทางกัน โดยทำการทดสอบในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด ทั้งนี้ผลการศึกษสรุปได้ว่าตำแหน่งสูงสุดของส่วนโค้ง หรือสันของใบพัดกังหันแบบโค้งที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ตำแหน่ง 50% (ใบพัดแบบสมมาตร) ภายใต้ผลที่สนับสนุนคือ

1. ความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่มทำงานได้น้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.85 เมตร/วินาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่า กรณีที่ตำแหน่งหนาสุดของส่วนโค้งของใบพัดกังหันที่ 25% และ 75% ของความกว้างของใบกังหันประมาณ 8-10%
2. สัมประสิทธิ์กำลัง และ สัมประสิทธิ์แรงบิดของกรณีสันของใบพัดกังหันที่ตำแหน่ง 50% มีค่าสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 6.2% และ 31.8% ตามลำดับ

ทั้งนี้ผลสรุปของการศึกษานี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัจจัยที่มีผลต่อกังหันลมโดยเฉพาะกังหันลมชนิดนี้ ซึ่งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องทำการศึกษาต่อเนื่องต่อไป เช่น อิทธิพลของมุมใบพัด อิทธิพลของแรงเสียดทานของส่วนประกอบต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในรายงานวิจัยนี้ยังไม่นำมาพิจารณา และเมื่อนำไปใช้งานจริงก็ต้องพิจารณาปัจจัยองค์ประกอบ หรือธรรมชาติของลมประกอบด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยอากาศพลศาสตร์และการขับเคลื่อนประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ และสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-พลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จังหวัดพัทลุง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chaichana T. and Chaitep S. (2008), **“A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull Distributions Method; Case Study at Chiang Mai, THAILAND”**, International conference on sustainable urban environmental, Chiang Mai, THAILAND.
- [2] ชนะ จันทรจำ, จอมภพ แววศักดิ์, ยุทธนา ฐิระวณิชกุล, สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล, ชูลีรัตน์ คงเรือง, นิรันดร์ มาแทน, เขาวรัตน์ พรหมแพทย์, และ อภิชาติ หนูทอง, (2552), **“การประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานลมและความเป็นไปได้ของฟาร์มกังหันลมขนาดใหญ่ตามแนวชายฝั่ง ทะเลอ่าวไทย”**, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
- [3] ณัฐวุฒิ คุชฎี, กิตติกร สาสุจิตต์, ธเนศ ไชยชนะ, นิรันดร์ สุวรรณสิทธิ์, อภิชาติ สวนคำทอง และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2551), **“การประเมินศักยภาพพลังงานลมเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน”**, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551
- [4] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงานโครงการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2553, **“กักกันลมผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งที่สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ จ.ภูเก็ต, สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2554 จาก <http://www.egat.co.th>**
- [5] เสถียร วงศ์สารเสริฐ, (2520), **“การออกแบบและสร้างกังหันลมขนาดเล็กแบบประหยัด”**, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] สมาน แสงงาม, (2525), **“กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับชนบท”**, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์