

Influence of end-plate of blade on power coefficient of 3 blades axis wind turbine with 4 bars linkage blade pitch angle adjustable

อิทธิพลของแผ่นปิดปลายใบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ

Received	1 Dec 20
Reviewed	16 Dec 20
Revised	22 Dec 20
Accepted	24 Dec 20

Mongkolchai kampagdee^{1*} and Maitree polsongkram¹

มงคลชัย คำปากดี^{1*} และ ไมตรี พลสงคราม¹

¹Renewable Energy Technology Resesearch Laboratory (RTER) Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, Thailand

¹ห้องวิจัยเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน (RTER. Lab) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

*Corresponding Author, Tel. +6683-0201481, E-mail: Chai_mechainics@hotmail.com

ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์. 083-0201481, อีเมล: Chai_mechainics@hotmail.com

Abstract

The objective of this paper is to study of the influence of turbine's blade end-plate on power coefficient of the 3 blades vertical axis wind turbine with 4 bars linkage adjustable blade pitch angle. The wind turbine with various 3 rotors solidity were tested (0.299, 0.478 and 0.579) at varying of 3 wind speed condition (3.5, 4 and 4.5 m/s). Beside; turbine's blade with and without an end-plate were tasted for comparing its effect.

The experiment results showed that the end-plate of blade have influence to the power coefficient of wind turbine. Wind turbine with end-plate of blade and without end-plate of blade provides the nearly maximum value of power coefficient. However, Wind turbine with end-plate of blade provide less the power coefficient than wind turbines with an end-plate of blade was RTSR 0.5 - 0.6 at wind speed 3.5 m/s and the wind turbine with end-plate of blade generates higher static torque than wind turbine without end-plate of blade about 1.11, 1.15 and 1.23 at rotor solidity as 0.299, 0.478 and 0.579 respectively all wind speed.

Keywords: Vertical axis wind turbine, Low-speed wind turbine, Power coefficient, Rotor solidity

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของแผ่นปิดปลายใบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ ด้วยเงื่อนไขการทดลองที่ค่าความทึบของใบกังหัน 3 ระดับ (0.299, 0.478 และ 0.579) ความเร็วลม 3 ระดับ (3.5, 4 และ 4.5 เมตรต่อวินาที) และใบกังหันที่มีแผ่นปิดปลายใบและไม่มีแผ่นปิดปลายใบ ผลการทดลองพบว่า แผ่นปิดปลายใบกังหันลมนั้นมีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม โดยกังหันลมทั้งแบบมีแผ่นปิดปลายใบและไม่มีแผ่นปิดปลายใบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน แต่กังหันลมที่มีแผ่นปิดปลายใบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่อัตราส่วนความเร็วปลายโรเตอร์ที่น้อยกว่ากังหันลมแบบไม่มีแผ่นปิดปลายใบ คือ 0.5 - 0.6 ที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาทีและแรงบิดสถิตของกังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบจะให้ค่าแรงบิดที่สูงกว่ากังหันลม

ที่ไม่มีแผ่นปิดปลายใบ เท่ากับ 1.11, 1.15 และ 1.23 เท่า ที่ค่าความถี่ของใบกังหันเท่ากับ 0.299, 0.478 และ 0.579 ตามลำดับ ที่ทุกความเร็วลม

คำสำคัญ: กังหันลมแนวแกนตั้ง กังหันลมแบบความเร็วลมต่ำ สมประสิทธิ์กำลัง ค่าทึบโรเตอร์

1. บทนำ

พลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญแห่งหนึ่งในโลก ซึ่งมีกังหันลมเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเปลี่ยนแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งประเภทตามแนวแกนของกังหันลมได้ 2 ประเภท คือ กังหันลมแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWTs) และกังหันลมแกนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine, VAWTs) โดยกังหันลมขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้าระหว่าง 1.5 -5 และ 5 กิโลวัตต์ และกังหันลมขนาดเล็กที่มีขนาดต่ำกว่า 100 กิโลวัตต์ [1]

ในเขตชุมชนเมืองนั้นกระแสการพัดของลมนั้นมีควมซับซ้อนเนื่องจากโครงสร้างของอาคารที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้กระแสลมมีความแปรปรวนตามสัดส่วนกับตำแหน่งตัวอาคารสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ [2] ซึ่งกังหันลมขนาดใหญ่ไม่เหมาะที่จะใช้กับสภาพพื้นที่แบบนี้ ดังนั้นกังหันลมขนาดเล็กจึงกลายเป็นที่น่าสนใจมากขึ้น นอกจากนี้ระบบกังหันลมขนาดเล็กยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 93% เมื่อเทียบกับระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยน้ำมันดีเซลสำหรับที่อยู่อาศัย [1]

กังหันลมแนวนอน (HAWTs) ขนาดใหญ่ที่สุดสามารถผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้าได้ 6 เมกกะวัตต์[3] และสามารถดึงพลังงานได้ใกล้เคียงกับพลังงานสูงสุดที่มีอยู่ในลม ทำให้เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับการผลิตพลังงานกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อนเพื่อกำหนดทิศทางของลมเข้า แต่ในทางกลับกันกังหันลมในแนวตั้ง (VAWTs) มีข้อดีมากกว่า HAWTs คือพลังงานที่สร้างขึ้นนั้นเป็นอิสระจากทิศทางของลมที่เข้ามาเนื่องจากแกนหมุนของกังหันหมุนไปตามแนวตั้งฉากกับการไหล แต่กังหันลมแกนตั้งนี้กลับได้รับได้รับความสนใจจากนักวิจัยน้อยมาก [3]

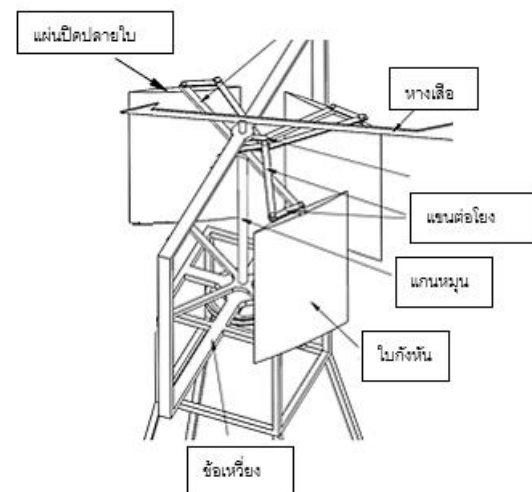
จากการศึกษาพบว่าในประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3-5 เมตรต่อวินาที และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของพลังงานลมเท่ากับ 30 -100 วัตต์ต่อตารางเมตร [4] และประเทศไทยได้มีการนำกังหันลมชนิด Lift-based ทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วลมมากกว่า 10 เมตรต่อวินาที มาผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น กังหันลมผลิต

กระแสไฟฟ้าที่ล่าตะคงใช้กังหันลมที่ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1.2 เมตรต่อวินาที [5] ซึ่งจะเห็นได้ว่างกังหันลมที่ใช้ไม่มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทย ดังนั้นการออกแบบวิจัยกังหันลมที่สามารถทำงานได้ที่ความเร็วลมต่ำจึงมีความเหมาะสมกับสภาพอากาศของพลังงานลมในประเทศไทย

บทความนี้เป็นการนำเสนอการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพใบของกังหันลมแบบแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 3 ชั้น วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลแผ่นปิดปลายใบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ ที่ค่าความถี่ของใบกังหันและความเร็วลมต่างกัน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

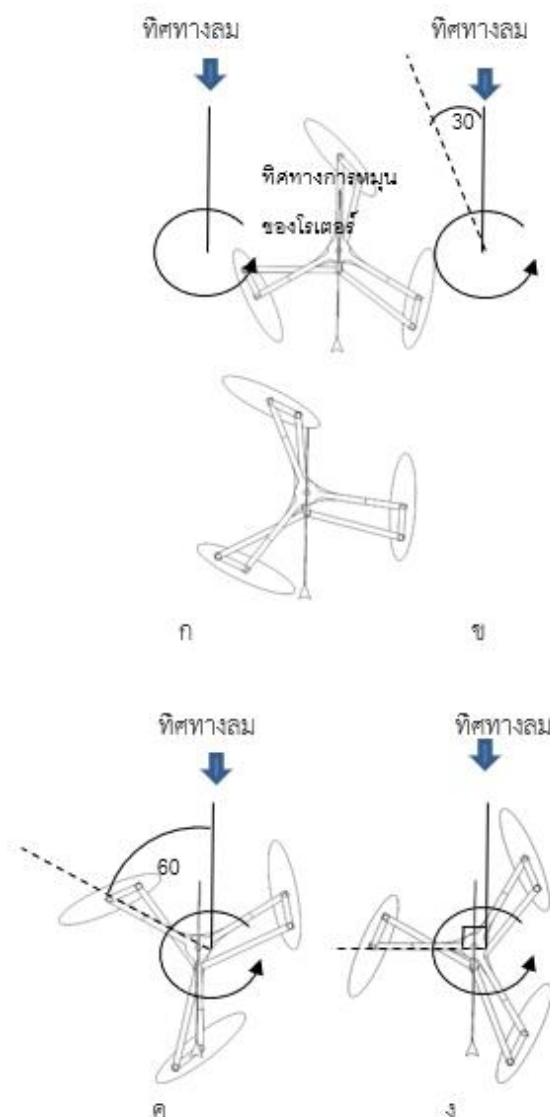
2.1 กังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของกังหันลมแบบแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของกังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ เป็นกังหันลมที่มีการพัฒนาและออกแบบมาจากกังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius rotor) ซึ่งเป็นกังหันที่ใช้ประโยชน์จากแรงชุด (Drag-based type) ในการสร้างแรงบิดให้แกโร

เตอร์ แต่กังหันลมแบบซาโวเนียสจะมีการสูญเสียแรงบิดเนื่องจากมีแรงต้านกระทำต่อใบกังหันที่เคลื่อนที่สวนกับทิศทางการลมทำให้สัมประสิทธิ์กำลังค่อนข้างต่ำ ดังนั้นกังหันลมแบบแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ จึงได้มีการออกแบบและพัฒนาให้ใบของกังหันลมสามารถที่จะปรับมุมพิทช์ให้สอดคล้องกับการทำงานของโรเตอร์ที่หมุนต่าง ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะลดแรงต้านลมของใบกังหันที่สวนกลับทิศทางของลม

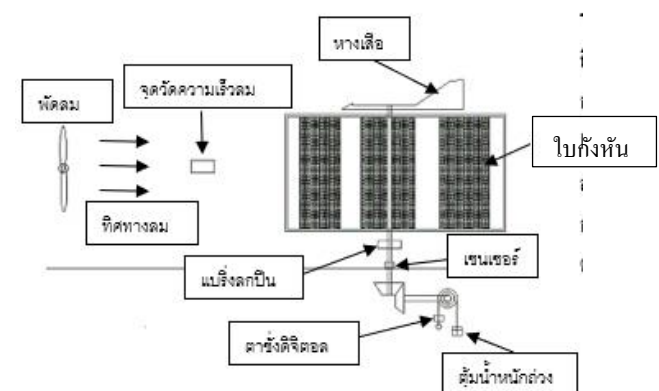


รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนมุมพิทช์กังหันลมแบบแกนตั้งใบได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ

อธิบายหลักการทำงานของกังหันหรือการปรับมุมได้ของใบกังหันดังนี้ เริ่มจากรูป ก ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ แขนของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ 0 องศาทิศทางลม จะเป็นว่าใบ

กังหันที่อยู่ด้านหน้าจะหันทำมุมกับทิศทางลมประมาณ 45 องศา ส่วนใบกังหันด้านซ้ายมือก็จะหันทำมุมในลักษณะรับแรงผลักจากกระแสลมได้ สำหรับใบกังหันที่อยู่ด้านขวามือซึ่งต้องเคลื่อนที่สวนทิศทางกระแสลมจะหันใบกังหันในลักษณะที่ลดการต้านกระแสลมลง และเมื่อโรเตอร์หมุนไปอีกที่ 30 องศา ใบกังหันที่อยู่ด้านหน้าจะหันมุมในลักษณะที่รับแรงผลักจากกระแสลมมากที่สุด ในเวลาเดียวกันใบกังหันที่อยู่ด้านซ้ายมือก็จะหันมุมที่สามารถรับแรงผลักจากกระแสลมได้มากเช่นกันส่วนใบกังหันที่อยู่ด้านขวามือซึ่งต้องวิ่งสวนทิศทางลมจะหันมุมในลักษณะที่ลดแรงต้านจากกระแสลมมากที่สุดซึ่งผลที่ได้คือกังหันลมจะมีโมเมนต์บิดเกิดมากขึ้น และเมื่อกังหันลมหมุนไปที่ตำแหน่ง 60 องศา ใบกังหันลมทุกใบก็สามารถรับแรงผลักจากลมได้และทำให้เกิดโมเมนต์บิดได้เช่นกัน จากนั้นเมื่อโรเตอร์หมุนไปในตำแหน่ง 90 องศา ซึ่งในตำแหน่งนี้ใบกังหันลมที่อยู่ด้านหน้าและด้านซ้ายมือจะรับแรงผลักจากลมและทำให้โรเตอร์หมุนส่วนใบกังหันที่อยู่ด้านขวามือจะเกิดการต้านกระแสลมซึ่งส่งผลให้โมเมนต์บิดของโรเตอร์น้อยลง

2.2 วิธีการทดลอง



รูปที่ 3 แผนผังการติดตั้งกังหันลมแบบแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบในการทดลอง

1) ทำการติดตั้งกังหันลมแบบแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ โดยวัดระยะห่าง

จากปากอุโมงค์ลมถึงแกนใบกังหันด้านหน้าสุดมีระยะเท่ากับ 80 เซนติเมตร

2) ปรับตั้งความเร็วลมสำหรับการทดลองกังหันลม โดยทดลองความเร็วลม 3 ระดับ (3.5, 4.0 และ 4.5 เมตรต่อวินาที) โดยวัดค่าความเร็วลมด้วยโพรบวัดแบบฮอตไวร์ ความแม่นยำ ± 0.01 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งวัดความเร็ว

ลมห่างจากทางออกอุโมงค์ลม 45 เซนติเมตร และ ค่าความทึบของกังหันลม 3 ขนาด (0.299, 0.478 และ 0.579) ความเร็วลมที่ใช้จะถูกควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์

3) การวัดกำลังของกังหันใช้หลักการวัดแรงเบรค ซึ่งเชื่อมต่อกับแกนโรเตอร์หลักพร้อมกล่องเกียร์ทดเพื่อเปลี่ยนทิศทางการหมุนของเพลลา โดยประกอบด้วยตาชั่งดิจิตอลมีความแม่นยำ ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ พูเลย์ สายพานและตุ้มน้ำหนัก จากนั้นทำการบันทึกผลที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2

4) ทำการวัดแรงบิดสถิตย์ที่มุมของใบกังหันลมที่มุม 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา โดยการกำหนดให้ตำแหน่งใบกังหันคงที่ จากนั้นเพิ่มตุ้มน้ำหนักทำการอ่านค่าที่วัดได้

3. ผลการวิจัย

3.1 พลังงานจากการไหลของลม

พลังงานจลน์ที่ได้จากการไหลของลมขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของลมกระทบกับใบของกังหันตั้งฉาก สามารถคำนวณด้วยสมการที่สำคัญดังต่อไปนี้ (1) [6]

$$P_{\infty} = 0.5\rho AV_{\infty}^3 \quad (1)$$

เมื่อ P_{∞} คือ พลังงานจากการไหลของลม (วัตต์) ρ คือ ความหนาแน่นของลม (1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส) A คือ พื้นที่ภาพฉายที่ตั้งฉาก (ตารางเมตร) V_{∞} คือความเร็วของกระแสลม

3.2 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

ในทางปฏิบัติไม่มีกังหันลมชนิดใดที่สามารถสกัดพลังงานจากการไหลของลมได้ทั้งหมด เพราะวิธีการสกัดพลังงานคือต้องใช้ใบกังหันไปขวางการเคลื่อนที่ของของไหล โดยเพียงทำให้ความเร็วของกระแสของไหลลดลงเท่านั้น แต่ถ้าใบกังหันหยุดการเคลื่อนที่ของกระแสลมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่หน้าตัดของโรเตอร์ที่ถูกพิจารณาว่ามีกระแสลมไหลผ่านจะต้องเป็นแผ่นทึบที่ไม่มีช่องว่างให้ลมเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ดังนั้นโรเตอร์จะไม่มีลมและพลังงานจลน์ก็จะไม่ถูกเปลี่ยน ดังนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านอุปกรณ์ไปแล้วมันต้องมีความเร็วในการเคลื่อนที่หลงเหลืออยู่เพื่อเคลื่อนย้ายตัวมันเองออกจากอุปกรณ์ ด้วยเหตุนี้พลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของไหลจึงไม่ถูกเปลี่ยนได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ในทางทฤษฎีสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันสำหรับการไหลแบบอิสระสูงสุดได้ไม่เกิน Betz limit 59.3 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น และในทางปฏิบัติสัมประสิทธิ์กำลังของ

กังหันจะต่ำกว่านี้ ดังนั้นพลังงานที่กังหันลมจะสามารถสกัดออกมาได้จึงต้องมีแฟกเตอร์อีกตัวหนึ่งคูณเข้าไปด้วยดังแสดงในสมการ (2)

$$P = 0.5\rho AV_{\infty}^3 C_p \quad (2)$$

เมื่อ C_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมในทางปฏิบัติ พลังงานที่กังหันลมสามารถรู้ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดโดยตรงที่แกนของโรเตอร์กังหันลม ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหัน สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ (3) [7]

$$C_p = \frac{P}{P_{\infty}} = \frac{P}{0.5\rho AV_{\infty}^3} \quad (3)$$

3.3 อัตราส่วนความเร็วที่ปลายมอเตอร์

ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญและมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์กำลังสำหรับกังหันลมแบบนี้ได้นิยามไว้ว่า อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ (RTSR) คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์อาร์ม ณ จุดศูนย์กลางของแกนกังหันต่อความเร็วของกระแสลมอิสระ ดังสมการ (4) [6]

$$RTSR = \frac{R\omega}{V_{\infty}} \quad (4)$$

เมื่อ Rotor Tip Speed Ratio, RTSR คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์, R คือ รัศมีโรเตอร์(เมตร) โดยวัดจากจุดศูนย์กลางแกนโรเตอร์ถึงจุดศูนย์กลางแกนใบกังหัน, ω คือความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์(เรเดียนต่อวินาที) และ V_{∞} คือ ความเร็วของกระแสลม (เมตรต่อวินาที)

3.3 ค่าความทึบของใบกังหัน

ถ้า RTSR มีค่าสูงจะส่งผลต่อการสั่นสะเทือนและระดับเสียงรบกวนที่ดังมากขึ้น ค่าความทึบของใบกังหัน (Solidity) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนและขนาดของใบกังหันกับขนาดพื้นที่ทรงกระบอกของโรเตอร์ที่ใบกังหันกวาดผ่าน ซึ่งสามารถหาความทึบของใบกังหันได้จากสมการ (5)

$$\sigma = \frac{Nb}{2\pi R} \quad (5)$$

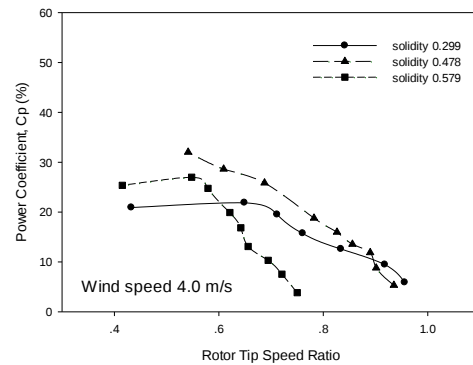
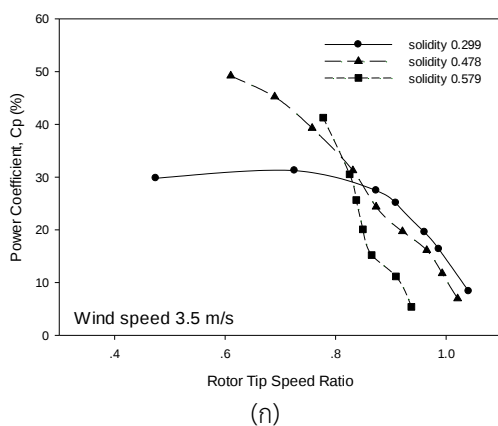
เมื่อ σ คือค่าความทึบของใบกังหัน, N คือ จำนวนของใบกังหัน, b คือ ความกว้างของใบกังหัน(เมตร) และ R คือ รัศมีโรเตอร์อาร์ม (เมตร)

4. อภิปรายผลและสรุป

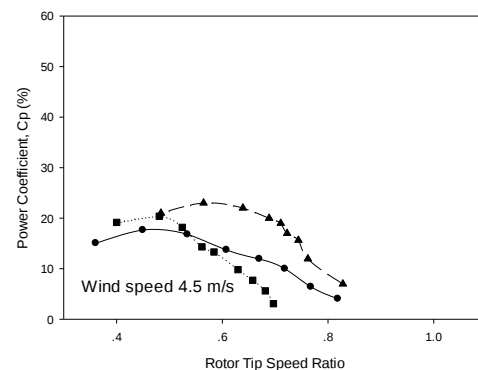
จากการทดลองกังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ ที่ความเร็วลม 3.5, 4.0 และ 4.5 เมตรต่อวินาที ที่ค่าความทึบ 0.299, 0.478 และ 0.579 สามารถแสดงผลอิทธิพลของกังหันลมได้ดังนี้

4.1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมและอัตราส่วนความเร็วที่ปลายมอเตอร์กรณีใบกังหันลมไม่มีแผ่นปิดปลายใบ

การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์กำลังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความเร็วที่ปลายโรเตอร์กรณีใบกังหันลมไม่มีแผ่นปิดปลายใบ ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า ที่ความเร็วต่ำ คือ 3.5 เมตรต่อวินาที จะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่อัตราความเร็วปลายโรเตอร์สูง ประมาณ 0.6 ดังแสดงในรูป 3 ก จากนั้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นเป็น 4.0 และ 4.5 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ กังหันลมจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราความเร็วปลายโรเตอร์ ที่ใบแบบแกนตั้งโฟบาร์ริง แสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมเปรียบเทียบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ต่ำประมาณ 0.43 และ 0.4 ตามลำดับ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3 ข และ 3 ค



(ข)



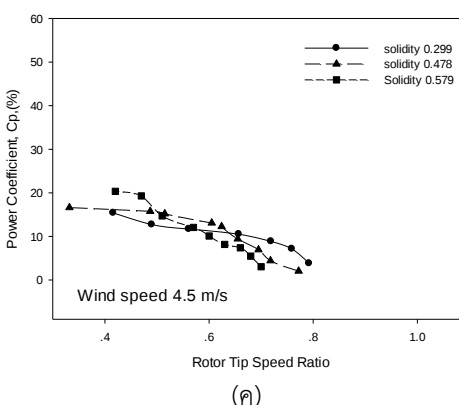
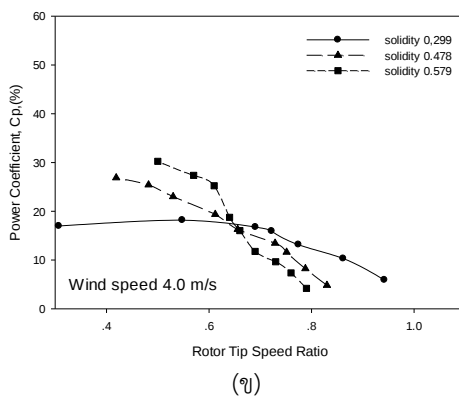
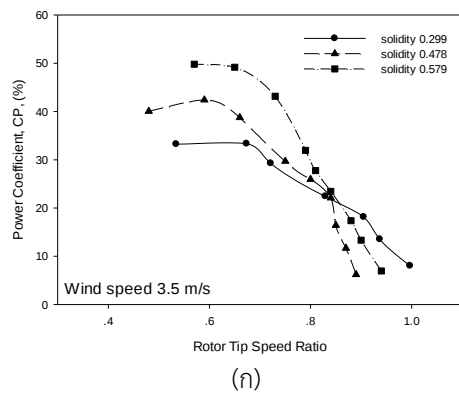
(ค)

รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม กับ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ ที่แต่ละค่าความทึบของแข็งต่างกันแบบไม่มีแผ่นปิดปลายใบ (a) 3.5 m/s (b) 4.0 m/s (c) 4.5 m/s

4.2 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมและอัตราส่วนความเร็วที่ปลายมอเตอร์กรณีใบกังหันลมมีแผ่นปิดปลายใบ

การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์กำลังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความเร็วที่ปลายโรเตอร์กรณีใบกังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที ความเร็วปลายโรเตอร์ 0.6 ความทึบของใบกังหันลมต่ำจะมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังต่ำ และจะมีค่าสูงขึ้นตามค่าความทึบของใบ และเมื่อค่าความเร็วของอัตราส่วนความเร็วปลายโรเตอร์สูงขึ้น 0.8 ค่าที่ค่าความทึบใบกังหันลมที่สูงจะมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ต่ำลงและค่าความทึบของใบต่ำจะมีค่าสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4 ก และเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นเป็น 4.0 และ 4.5 เมตรต่อวินาที ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ต่ำลงและค่าความทึบของใบต่ำและค่าความทึบของใบต่ำจะมีค่าสูง ที่อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ คือ 0.7 และ 0.6 ตามลำดับ อีกทั้ง

กังหันลมจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่สูงที่สุดที่ความเร็ว 3.5 คือ 50% ค่าความทึบของใบกังหันลมเท่ากับ 0.579

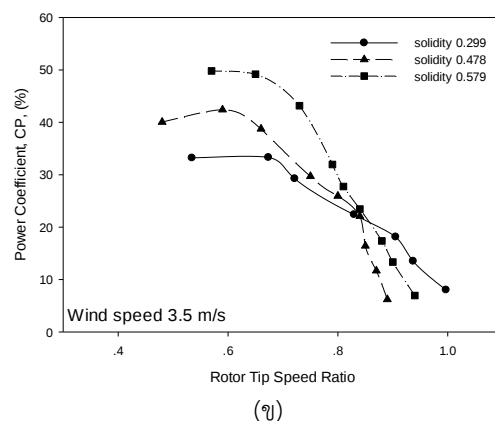
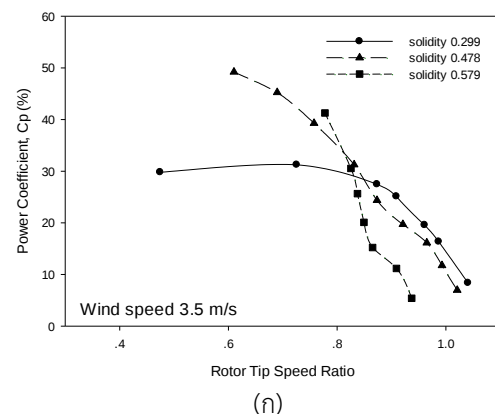


รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมที่มีแผ่นปิดปลายใบ กับ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ ที่แต่ละค่าความทึบของของแข็ง ต่างกันที่แบบมีใบกั้นลม (a) 3.5 m/s (b) 4.0 m/s (c) 4.5 m/s

4.3 เปรียบเทียบอิทธิพลของแผ่นปิดปลายใบที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

จากการทดลองกังหันลมแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ แสดงดังรูปที่ 5 พบว่า กังหัน

ลมที่ต่อแผ่นปิดปลายใบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ใกล้เคียงหรือเท่ากัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนความเร็วปลายโรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่า กังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่อัตราส่วนความเร็วปลายโรเตอร์ต่ำกว่าแบบไม่มีแผ่นปิดปลายใบ ที่อัตราส่วนความเร็วปลายโรเตอร์ 0.6 และจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่ต่ำกว่าที่ อัตราส่วนความเร็วปลายโรเตอร์ ที่ 0.8

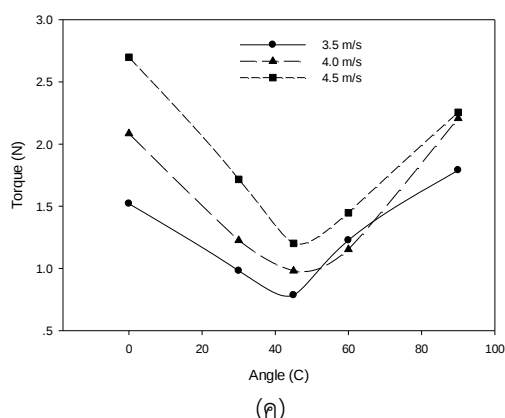
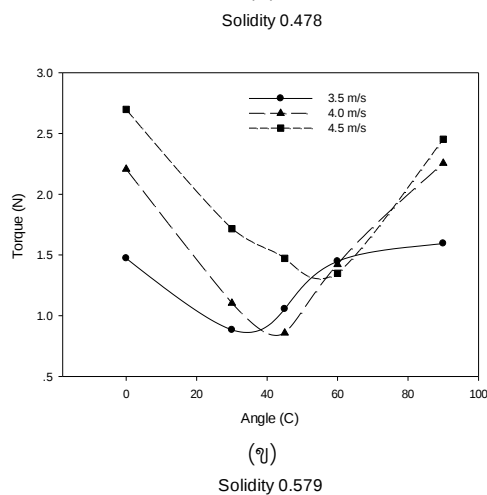
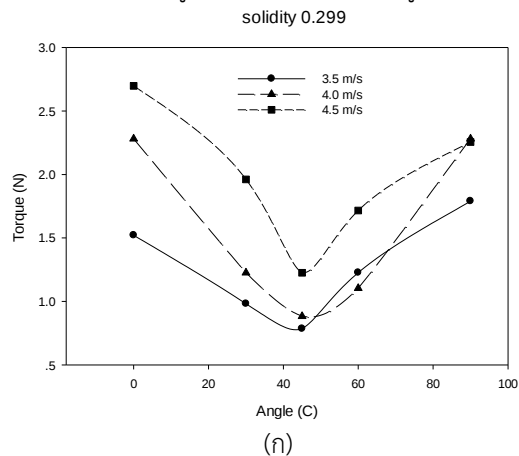


รูปที่ 5 กราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมที่ กับ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ (ก) มีแผ่นปิดปลายใบ (ข) ไม่มีแผ่นปิดปลายใบ

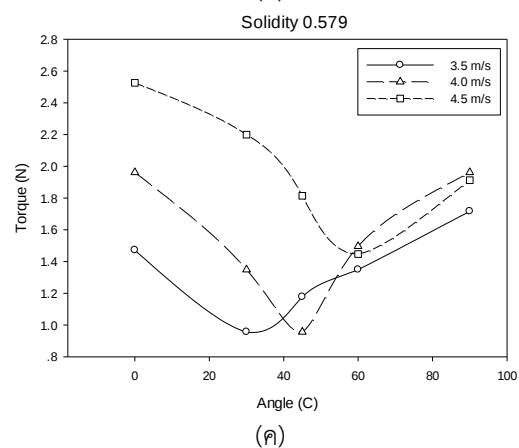
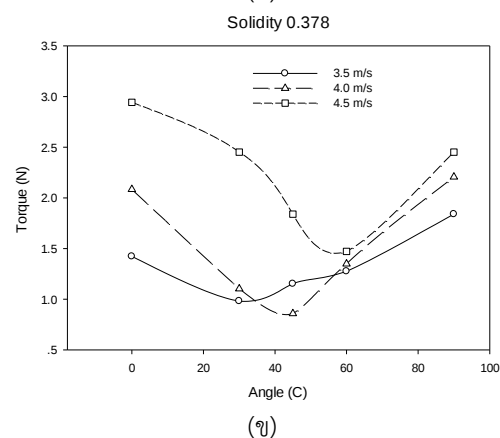
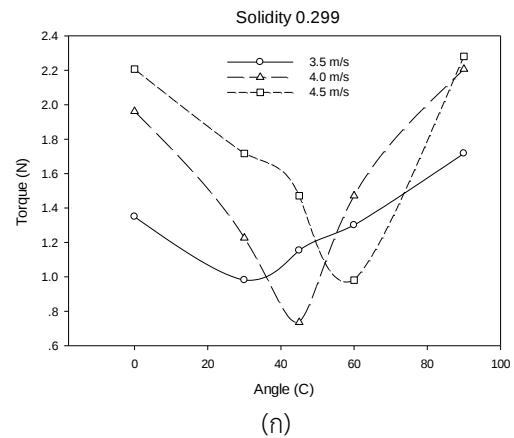
4.4 แรงบิดที่มุมต่างๆของใบพัดลมที่มีแผ่นปิดปลายใบ

จากการทดลองแรงบิดสถิตยที่มุมองศาของใบกังหันลมและความเร็วลมต่างๆ แสดงผลดังรูปที่ 6 และ 7 พบว่า ที่มุมใบกังหันลมมีค่ามากที่สุดที่มุมศูนย์องศา และจะมีค่าลดลงเมื่อค่าของมุมใบกังหันลมเพิ่มขึ้น จะกระทั่งค่ามุมของใบกังหันลมมีค่าประมาณ 40 – 50 องศา ค่าแรงบิดสถิตยจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยกราฟแรงบิดสถิตยของกังหันลมแบบมีแผ่น

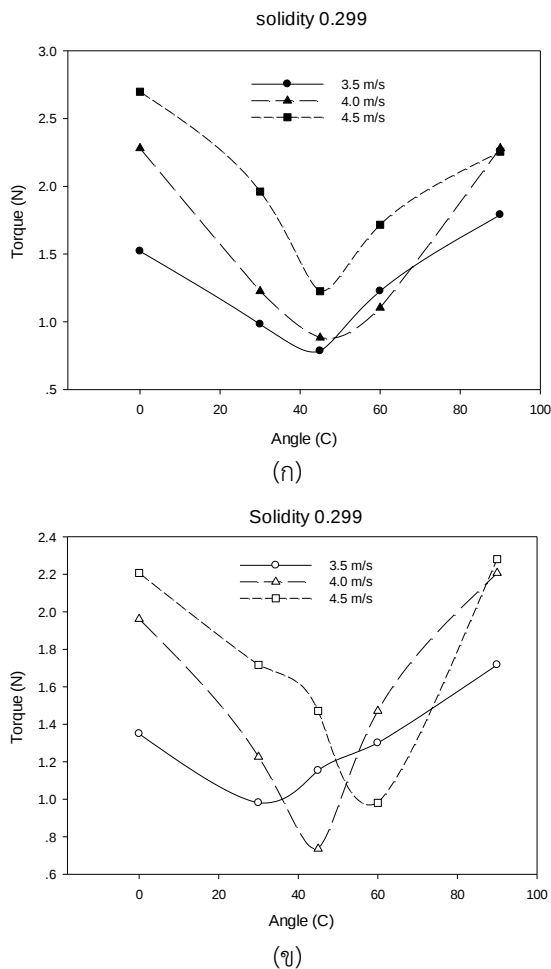
ปิดปลายใบและไม่มีแผ่นปิดปลายใบจะมีลักษณะเหมือนกัน โดยก้านลมที่มีค่าความทึบที่สูงจะสามารถให้ค่าแรงบิดสถิตย์ที่ดีกว่าก้านลมที่มีค่าความทึบที่ต่ำ และก้านลมจะมีค่าแรงบิดจะมีค่าสูงขึ้นตามความเร็วลมที่สูงขึ้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์แรงบิดสถิตย์และองศา มีแผ่นปิดปลายใบ (ก) ค่าทึบใบพัดลมเท่ากับ 0.299 (ข) ค่าความทึบใบพัดลมเท่ากับ 0.478 (ค) ค่าความทึบใบพัดลมเท่ากับ 0.579



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์แรงบิดสถิตย์และองศา ไม่มีใบแผ่นปิดปลายใบ (ก) ค่าความทึบใบพัดลมเท่ากับ 0.299 (ข) ค่าความทึบใบพัดลมเท่ากับ 0.478 (ค) ค่าความทึบใบพัดลมเท่ากับ 0.579



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าแรงบิดสถิตยของกังหันลมที่มีแผ่นปิดปลายใบและไม่มีแผ่นปิดปลายใบ ที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที (ก) มีแผ่นปิดปลายใบ (ข) ไม่มีแผ่นปิดปลายใบ

5. องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการวิจัย

กังหันลมแบบแกนตั้งใบปรับมุมพิทช์ได้ด้วยกลไกแบบ 4 ชั้น ชนิด 3 ใบ เป็นกังหันลมที่ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อใช้กับลมที่มีความเร็วต่ำ การติดตั้งแผ่นปิดปลายใบส่งผลให้กังหันลมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กำลังและแรงบิดของกังหันลมที่มีแผ่นปิดปลายใบและไม่มีแผ่นปิดปลายใบกัน ผลการทดลองสามารถผลิตได้ดังนี้

สัมประสิทธิ์กำลังของกังหัน

-กังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบมีสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ค่าความทึบของกังหันเท่ากับ 0.478 และกังหันลมแบบไม่มีแผ่นปิดปลายใบมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ค่าความทึบของใบเท่ากับ 0.578

-กังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ เท่ากับ 0.5 และกังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบไม่มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดที่ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายโรเตอร์ เท่ากับ 0.4

-กังหันลมแบบมีแผ่นปิดปลายใบมีค่าแรงบิดสถิตยมากกว่ากังหันลมที่ไม่มีแผ่นปิดปลายใบ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้การสนับสนุนพื้นที่ในการทดลอง และขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยในการทำให้การวิจัยสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทำให้การทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang, W.-C., W.T. Chong, and T.-H. Chao, Performance analysis of a cross-axis wind turbine from wind tunnel experiments. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics; 2018. 174: p. 312-329.
- [2] Toja-Silva, F., A. Colmenar-Santos, and M. Castro-Gil, Urban wind energy exploitation systems: Behaviour under multidirectional flow conditions—Opportunities and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews; 2013. 24: p. 364-378.
- [3] Rolin, V.F.C. and F. Porté-Agel, Experimental investigation of vertical-axis wind-turbine wakes in boundary layer flow. Renewable Energy; 2018. 118: p. 1-13.
- [4] Quan, P. and T. Leephakpreeda, Assessment of wind energy potential for selecting wind turbines: An application to Thailand. Sustainable Energy Technologies and Assessments; 2015. 11: p. 17-26.
- [5] การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย. ไฟฟ้าพลังงานลม. [online]; 2552. เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2563. เข้าถึงได้จาก:



- http://www4.egat.co.th/re/egat_wind/egat_wind_lamtakhong/wind_lamtakhong.htm
- [6] Daut, I., et al., A Study on the Wind as Renewable Energy in Perlis, Northern Malaysia. *Energy Procedia*; 2012. 18: p. 1428-1433.
- [7] Ordonez-Sanchez, S., et al., Experimental evaluation of the wake characteristics of cross flow turbine arrays. *Ocean Engineering*; 2017. 141: p. 215-226..