

การลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของใบกังหันลมแกนแนวตั้ง
แบบครึ่งทรงกระบอกด้วยหลุมผิวโค้ง
Decreasing the drag coefficient of vertical axis wind turbine blade
with curved pit method

อนุวัฒน์ บำรุงกิจ^{1*}, ชัยวัฒน์ คุรุกิจวานิชย์² และ ธนาพล สุขชนะ³

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
*ติดต่อ: anuwat.b@rmutsb.ac.th, me.b.anuwat@gmail.com

บทคัดย่อ

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน สำหรับกังหันลมแบบแกนแนวตั้งสามารถทำงานได้ที่ความเร็วลมต่ำแต่ประสิทธิภาพจะถูกจำกัดด้วยแรงต้านอากาศด้านหลังใบกังหัน งานวิจัยนี้เป็นการทดลองการลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) ด้านหลังใบกังหันด้วยหลุมผิวโค้ง ใบกังหันทำด้วยอลูมิเนียมหนา 1.5 mm อัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (h/b) เท่ากับ 2.0 ใบกังหันที่ใช้ในการทดลองมี 4 รูปแบบคือหลุมลึก 0.25R, 0.5R, 0.75R และ 1.0R โดยที่ R มีค่าเท่ากับ 12.5 mm ทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในอุโมงค์ลมด้วยความเร็วลมคงที่ระหว่าง 2.7 ถึง 8.9 $m.s^{-1}$ เทียบผลกับแบบผิวเรียบแล้วทำนายประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมด้วยสมการ ผลการทดลองพบว่าหลุมผิวโค้งทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีค่าต่ำกว่าแบบผิวเรียบ โดยหลุมลึก 0.5R มีสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีค่าต่ำที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดจากการทำนายด้วยสมการได้เท่ากับ 0.52

คำสำคัญ: กังหันลม, แกนแนวตั้ง, ความเร็วลม, แรงต้านอากาศ, สมรรถนะ

Abstract

The efficiency enhancement of wind turbines can do with any methods. Vertical axis wind turbines can operate at low wind speeds, but the efficiency will limit by the drag force of the turbine blades. This experimental research was conducted to decrease the drag coefficient (C_d) of the bucket with the curved pit method. The bucket made from aluminums with 1.5 mm of thickness while the ratio of height to length (h/b) is 2.0. There are four types of bucket for use in the experiment. That the radius of the curved pit of 0.25R, 0.5R, 0.75R and 1.0R with R is 12.5 mm. Experiment within the wind tunnel with constant wind speed between 2.7 to 8.9 $m.s^{-1}$ for comparison with smooth surface bucket and predicting the maximum efficiency of a wind turbine by using the energy equation. The results showed that the drag coefficient of bucket with lower than a smooth surface bucket. The curved pit 0.5R had the lowest drag coefficient and the blade efficiency of 0.52 for predicting with an equation.

Keywords: wind turbine, vertical axis, wind speed, drag force, performance

1. บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ สำหรับลักษณะลมของประเทศไทยจะมีความเร็วลมและพลังงานลมเฉลี่ยอยู่ใน

ระดับต่ำถึงปานกลาง เทคโนโลยีพลังงานลมจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนา ให้มีขีดความสามารถในการทำงานได้ที่ความเร็วลมต่ำถึงปานกลางได้ กังหันลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปัจจุบันมีสองลักษณะใหญ่ๆ คือ แบบแกน

แนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) และแบบแกนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) ซึ่งกังหันทั้งสองรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียในการใช้งานที่แตกต่างกัน สำหรับกังหันลมแบบแกนแนวตั้งเป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งจะทำให้กังหันลมสามารถรับลมในแนวราบจากทุกทิศทาง ได้มีการพัฒนาและสามารถใช้งานได้คืออยู่ 2 แบบ คือกังหันลมแบบแดร์ริเยส (Darrieus) และกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) โดยในประเทศไทยได้มีผู้วิจัยทางด้านพลังงานลมและกังหันลมอย่างต่อเนื่องดังเช่น วิรัชย์ โธมรินทร์ [1] ได้พัฒนากังหันลมต้นแบบทั้งแกนแนวตั้งและแกนแนวนอนขนาด 5 kW พบว่ากังหันให้กำลังสูงสุดที่ความเร็วลม 13 m.s⁻¹ พรเทพ สุรมาศย์ และ ปรีชา เกรียงกรกฎ [2] ได้ศึกษาออกแบบและทดสอบสมรรถนะของกังหันลมชนิดแกนแนวตั้งในช่วงความเร็วลม 2.5–6 m s⁻¹ พบว่าอัตราเร็วรอบของกังหันลมเท่ากับ 439 rpm เมื่อความเร็วลม 6 m.s⁻¹ Blackwell et al. [3] ได้ศึกษาทดลองสมรรถนะของกังหันลมแบบซาโวเนียสชนิด 2 ใบ และ 3 ใบ พบว่าประสิทธิภาพพลังงานลมของกังหันโดยเฉลี่ย 22% Ronold et al. [4] ศึกษาหาค่าความปลอดภัยในการออกแบบกังหันลมโดยสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาค่าความแข็งแรงต่างๆ สำหรับการออกแบบ ต่อมา Altan and Atilgan [5] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้งด้วยโปรแกรมสร้างแบบจำลองมานับทิศทางลม พบว่าหากมานับทิศทางอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสามารถช่วยให้ประสิทธิภาพของกังหันลมสูงขึ้น Pope et al. [6] ได้ศึกษาและเสนอสมการสำหรับการทำนายผลกระทบของใบพัดสเตเตอร์ต่อสมรรถนะของกังหันลมแกนแนวตั้ง และ Sareni et al. [7] ได้นำเสนอแบบจำลองอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกังหันลม เพื่อวัตถุประสงค์ในการจำลองกังหันลมได้หลายขนาดซึ่งจะสามารถทำให้ได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับกังหันลมที่ต้องการใช้งาน

การพัฒนากังหันลมแกนแนวตั้งขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นสามารถทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากขนาดและจำนวนใบพัดมีผลโดยตรงต่อแรงต้านการหมุนของกังหันลม ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกังหันลมต่ำลง

ด้วย จากการศึกษาลักษณะการทำงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การลดแรงต้านอากาศด้านหลังใบนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ โดยการปรับเปลี่ยนรูปทรงด้านหลังใบพัดของกังหันลม การวิจัยโดยการทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบของกังหันลม เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของกังหันลมชนิดแกนแนวตั้ง

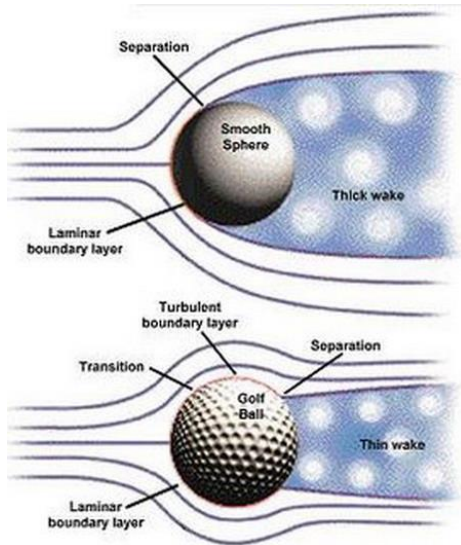
2. ทฤษฎี อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 แนวคิดทฤษฎีพื้นฐาน

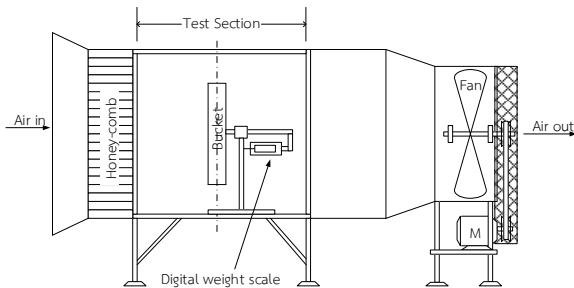
รูปที่ 1 แสดงรูปแบบการไหลของอากาศผ่านวัตถุที่มีรอยบุ๋มเช่นลูกกอล์ฟ จากข้อมูลในระบบออนไลน์ [8] จะมีชั้นอากาศบางๆ มาเกาะที่ผิวด้านหน้าเมื่ออากาศนั้นเคลื่อนผ่านพื้นผิวไปจะทำให้เกิดกระแสลมหมุนตามหลังลมนี้จะดูดเอาพลังจากลูกกอล์ฟและทำให้ลูกวิ่งช้าลงหากเป็นแบบผิวเรียบ แต่ถ้ามีรอยบุ๋มจะทำให้ชั้นอากาศเกาะติดผิวตั้งแต่ด้านหน้าไปจนถึงหลังลูกได้ซึ่งเป็นผลจากอากาศผ่านพื้นผิวไปกระแสลมหมุนที่เกิดตามหลังจะมีวงแคบลงและทำให้แรงดึงดูด หรือสามารถอธิบายได้ว่า Flow Separation เกิดช้าลง ความแตกต่างของความดันด้านหน้าและด้านหลังลูกกอล์ฟมีน้อยแรงดูดลดลง

2.2 อุปกรณ์

รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ของใบกังหันลมแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของใบกังหันลม โดยที่อุโมงค์ลมมีหน้าตัดของห้องทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.2 m และ ยาว 1.5 m บริเวณทางลมเข้ามีรังผึ้งเพื่อช่วยในการปรับเรียงกระแสลมให้กระจายทั่วทั้งห้องทดสอบ ใบพัดลมด้านหน้าทำหน้าที่ดูดอากาศให้ไหลเข้าอุโมงค์ลมด้วยความเร็วคงที่อยู่ในช่วง 2.7–8.9 m.s⁻¹ ซึ่งความเร็วลมที่กระทำต่อใบกังหันนั้นสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบตัวเลข DAVIS รุ่น AVM-01 ค่าความละเอียด 0.1 m/s พิสัยการวัดสูงสุดเท่ากับ 30 m/s โดยมีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 380V ขนาด 7.5kW (10hp) สามารถปรับความเร็วลมในห้องทดสอบด้วยการเปลี่ยนขนาดของมอเตอร์ขับเคลื่อนกำลังเพื่อให้ได้ความเร็วลมคงที่ วัดแรงกระทำของลมในแนวตั้งฉากผ่านแกนสไลด์อิสระที่มีแรงเสียดทานต่ำมาก



รูปที่ 1 หลักการอากาศพลศาสตร์กับวัตถุที่มีรอยบุ๋ม

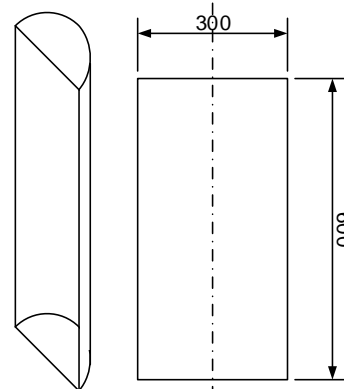


รูปที่ 2 ไดอะแกรมอุโมงค์ลมสำหรับการทดสอบ

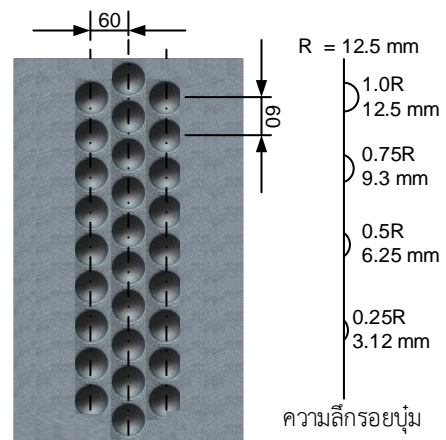
2.3 การทดลองและเงื่อนไขการทดลอง

ในการสร้างและทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของใบกังหันลมแกนแนวตั้ง กำหนดให้ใบมีลักษณะเป็นรูปทรงถึงทรงกระบอกผ่าครึ่ง มีขนาดความกว้าง (b) ของใบเท่ากับ 300 mm และสูง (h) เท่ากับ 600 mm ซึ่งจะได้อัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (h/b) เท่ากับ 2.0 โดยส่วนหัวและท้ายของใบทั้งสองด้านปิดตั้งฉากดังรูปที่ 3 ซึ่งใบกังหันทำด้วยอลูมิเนียมหนาที่มีความหนา 1.5 mm ออกแบบสร้างให้มีหลุมด้านหลังของใบจำนวน 3 แถว ดัง

รูปที่ 4 โดยมีความลึกคือขนาด 0.25R=model-1, 0.5R=model-2, 0.75R=model-3 และ 1.0R=model-4 โดยที่ R มีค่าเท่ากับ 12.5 mm ทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบ เทียบกับแบบผิวเรียบ (STD) โดยการวัดแรงกระทำจากลมด้วยเครื่องชั่งแบบตัวเลข OEM WeiHeng รุ่น WH-A05 ค่าความละเอียด 0.01 kg และพิสัยการวัดสูงสุดเท่ากับ 45kg ซึ่งประกอบเป็นแทนสำหรับยึดติดกับใบกังหันแล้วนำแรงที่วัดได้ไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) ด้วยสมการสำหรับหาแรงต้านอากาศ ความเร็วลมที่กระทำต่อใบกังหันสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบตัวเลข จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการทดลองในครั้งนี้เพื่อพิสูจน์ว่าหลุมด้านหลังใบกังหันนั้นสามารถที่จะลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศได้หรือไม่



รูปที่ 3 ขนาดของใบกังหันที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 ลักษณะของหลุมบนใบกังหัน

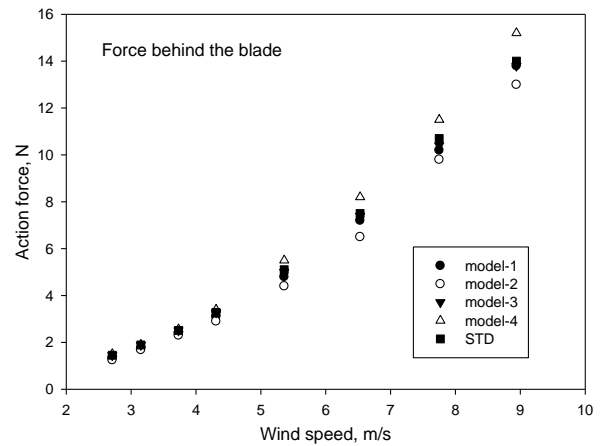
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในการวัดความเร็วลมจากอุโมงค์ที่ใช้ทดสอบด้วยวิธีการเปลี่ยนขนาดของมุมเลี้ยวเพื่อให้ได้ความเร็วลมคงที่ซึ่งสามารถวัดความเร็วลมคงที่ได้เท่ากับ 2.7, 3.2, 3.7, 4.4, 5.4, 6.5, 7.8 และ 8.9 $m.s^{-1}$ และใช้ความเร็วลมที่ได้ในการทดลอง เพื่อวัดแรงกระทำด้านหลังของใบกังหันโดยตรง แล้วจึงนำแรงที่วัดได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้วยสมการที่ (1) [9]

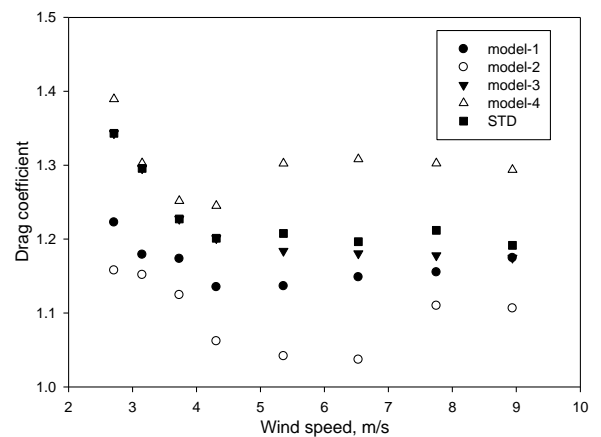
$$C_d = \frac{2F_D}{\rho AV^2} \quad (1)$$

โดย C_d คือค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ (Drag Coefficient) F_D คือแรงที่วัดได้จากเครื่องวัดแรง (N) ρ คือความหนาแน่นของอากาศ ($kg.m^{-3}$) A คือ พื้นที่ภาคตัดตั้งฉากกับทิศทางลม (m^2) และ V คือความเร็วลมที่กระทำต่อใบกังหัน ($m.s^{-1}$)

รูปที่ 5 แรงต้านอากาศด้านหลังใบกังหันที่สามารถวัดได้ที่ความเร็วลมในช่วงที่ทำการทดลอง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแรงต้านอากาศด้านหลังใบกังหันเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น และพบว่าแรงต้านอากาศเริ่มแตกต่างกันเมื่อความเร็วลมสูงกว่า 4.4 $m.s^{-1}$ โดยใบกังหัน model-2 ที่มีหลุมลึกเท่ากับ 0.25R และแรงต้านอากาศเกิดขึ้นสูงสุดกับใบกังหัน model-4 ที่มีหลุมลึกเท่ากับ 1.0R แสดงว่าความลึกของหลุมมีผลต่อการหมุนวนของอากาศบริเวณผิวของใบกังหันแตกต่างกัน ซึ่งการหมุนวนของอากาศทำให้กระแสลมสัมผัสโดยตรงกับผิวของใบกังหันได้น้อยลง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อหลุมมีความลึกมากเกินไปจะส่งผลให้แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นสูงกว่าแบบผิวเรียบ STD เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบกังหันดังรูปที่ 6 โดยการคำนวณด้วยสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่าใบกังหัน model-2 มีค่า C_d ต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.10 โดยเฉพาะในช่วงความเร็วลม 4–7 $m.s^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงของความเร็วลมปานกลาง และเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นมากกว่า 7 $m.s^{-1}$ ค่า C_d จะเพิ่มขึ้นแต่ยังต่ำกว่าใบกังหันแบบผิวเรียบ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อออกแบบให้มีหลุมลึกมากเกินไปจะเป็นผลทำให้ค่า C_d สูงมากกว่าปกติ ทั้งนี้ค่า C_d เฉลี่ยเท่ากับ 1.17, 1.10, 1.22, 1.30 และ 1.23 สำหรับใบกังหัน model-1, model-2, model-3 model-4 และแบบ STD ตามลำดับ



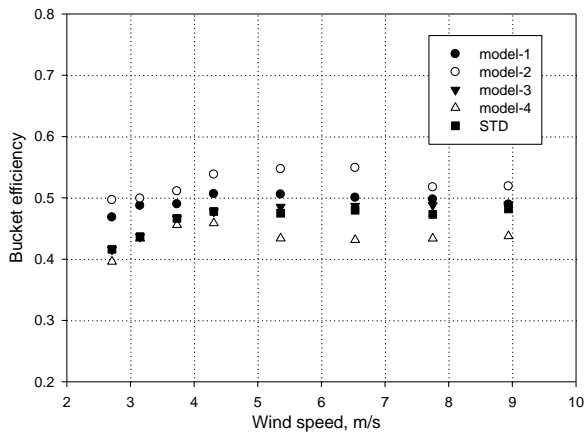
รูปที่ 5 แรงกระทำด้านหลังใบกังหัน



รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบกังหัน

รูปที่ 7 แสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพของใบกังหันแต่ละแบบที่ใช้ในการทดลองในรูปของอัตราส่วนผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังใบต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านรับลมด้วยสมการที่ 2 ดังงานวิจัยของ ธนาพล สุขชนะ [9] โดยกำหนดให้ C_{dF} เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านรับลมของใบกังหันซึ่งมีค่ามาตรฐานเท่ากับ 2.3 [10, 11] และ C_d เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศด้านหลังของใบกังหันที่ได้จากการทดลอง ผลจากการคำนวณพบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพใบกังหัน model-1, model-2, model-3 model-4 และแบบ STD เท่ากับ 0.49, 0.52, 0.49, 0.44 และ 0.48 ตามลำดับ ทั้งนี้ประสิทธิภาพสูงสุดในทางทฤษฎีของกังหันลมจะต้องไม่เกิน 0.59 หรือ 59% [10, 11]

$$\mathcal{E} = (C_{dF} - C_d) / C_{dF} \quad (2)$$



รูปที่ 7 ค่าประสิทธิภาพของใบกังหันจากการคำนวณ

4. สรุปผลการวิจัย

กังหันลมแกนหมุนแนวตั้งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งกังหันลมที่ดีนั้นจะต้องมีประสิทธิภาพสูงและสามารถทำงานได้เมื่อความเร็วลมต่ำ จากผลการทดลองจะเห็นว่า การออกแบบให้ด้านหลังของใบพัดมีรอยบวมเป็นผลให้สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ C_d มีค่าเท่ากับ 1.10 ด้วยความลึก 0.5R ในขณะที่ประสิทธิภาพของใบกังหันจากการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น 0.52 และเหมาะกับช่วงความเร็วลมเท่ากับ $4-7 \text{ m.s}^{-1}$ ซึ่งการทำให้ผิวของใบกังหันเป็นหลุมเหมือนผิวลูกกอล์ฟนั้นจะสามารถเพิ่มสมรรถนะของกังหันลมแบบแกนแนวตั้งได้ โดยแนวทางในการพัฒนาต่อไปจะเป็นการจำลองด้วยโปรแกรมเพื่อหาความเหมาะสมของหลุมและสร้างเป็นชุดกังหันเพื่อทดสอบจริงในอุโมงค์ลม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิรัชย์ โธมณินทร์ (2551). รายงานการวิจัยพัฒนาและสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] พรเทพ สุรมาตย์ และ ปรีชา เกรียงกรกฎ (2555). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองแพนอากาศในกังหันลมเพลาตั้งชนิด Lenz II ในอุโมงค์ลมจำลองโดยใช้การออกแบบการทดลอง, การประชุมวิชาการ มอว. วิจัย ครั้งที่ 6, จังหวัดอุบลราชธานี.
- [3] Ben F. Blackwell, Robert E. Sheldahl, Louis V. Feltz, (1977). *Wind Tunnel Performance Data for*

Two- and Three-Bucket Savonius Rotors, National Technical Information Service: U. S. Department of Commerce.

[4] K. O. Ronold, J. Wedl-Heinen, C. J. Christensen (1996). Calibration of partial safety factors for design of wind- turbine rotor blades against fatigue failure in flapwise bending, *Proceedings of the 1996 European Union wind energy conference*, 926-933. 20-24 May 1996, Goteborg, Sweden.

[5] B.D. Altan, M. Atilgan (2010). The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors. *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 821-829.

[6] K. Pope, V. Rodrigues, R. Doylea, A. Tsopeles, R. Gravelins, G.F. Naterer, E. Tsang (2010). Effects of stator vanes on power coefficients of a zephyr vertical axis wind turbine, *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 1043-1051.

[7] B. Sareni, A. Abdelli, X. Roboam, D.H. Tran. (2009). Model simplification and optimization of a passive wind turbine generator, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp. 2640-2650.

[8] รอยบวมบนลูกกอล์ฟมีไว้ทำอะไร, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.truelookpanya.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/04/2562.

[9] ธนาพล สุขชนะ, (2557). การทดสอบสมรรถนะใบกังหันลมและการทำนายประสิทธิภาพพลังงานลมของกังหันลมแบบซาโวเนียส, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7, จ. พระนครศรีอยุธยา.

[10] M. Gerald, FJ. Mark and S.Euan, (2009). Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings. *Renewable Energy*. Vol. 34, pp. 1407-1412.

[11] AY. Qasim, R. Usubamatov and ZM. Zain, (2011). Investagation and design impeller type vertical axis wind turbine. *Aust. J. Basic & Appl. Sci*, Vol. 5 (12), pp. 121-126.