

การทำนายค่าสมรรถนะเชิงสถิตยของกังหันลม แบบซาโวนีเยสภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็วลม

Prediction of Static Performance of Savonius Wind Turbine
under the Variation of Wind Velocities

วีรชัย ชัยวรพฤษ์¹ และ ศุภโชค แสงสว่าง²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรเพื่ออุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปราชญ์บุรี

E-mail: fengwcc@ku.ac.th , supachoke.s@fitm.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการทำนายค่าสมรรถนะเชิงสถิตยของกังหันลมแบบซาโวนีเยสที่อยู่ในตำแหน่ง 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , และ 150° ที่ความเร็วลมเท่ากับ 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาที โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fluent การศึกษาจะอยู่ในรูปแบบ 2 มิติด้วยการใช้ตาข่ายข้อมูลแบบสามเหลี่ยม จากการเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k- ϵ RNG มีความแม่นยำสูงกว่า Standard k- ϵ และ k- ϵ realizable ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบจำลอง k- ϵ RNG จากผลการวิเคราะห์พบว่าการไหลวนของอากาศแบบสลับที่เกิดขึ้นที่ด้านหลังของใบพัดที่อยู่ในตำแหน่ง 0° , 30° , และ 150° ก่อให้เกิดการกวัดแกว่งของความดันของอากาศรอบใบพัด ซึ่งสามารถนำไปสู่การลั่นสะเทือนและความเสียหายของกังหันลมได้ ยิ่งไปกว่านั้นที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 30° ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในทิศทางตามและขวางการไหลมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.94 และ -1.83 ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 0.68 จะพบเมื่อกังหันลมอยู่ในตำแหน่ง 120° ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้มาจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการออกแบบกังหันลมแบบซาโวนีเยสต่อไป

คำสำคัญ

กังหันลมแบบซาโวนีเยส สมรรถนะ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ อากาศพลศาสตร์

Abstract

This paper presents the prediction of the static performance of Savonius wind turbine at the position of 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , and 150° under the wind speed of 7, 17.5, and 32.78 m/s using the commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) program, Fluent. The study was conducted in a 2D domain with the triangular mesh element. By comparing with the experimental results, the k- ϵ RNG turbulence model provides a more accurate prediction above the standard

$k-\epsilon$ and the $k-\epsilon$ realizable so it was employed through the study. The numerical results showed that the vortex shedding, occurring at the downstream of the turbine at 0° , 30° , and 150° causes the pressure fluctuation on the turbine surface. These can lead to the vibration and the failure of wind turbine. Moreover, at the rotor angle of 30° , the highest drag coefficient in streamwise and spanwise directions is 1.94 and -1.83, respectively. Meanwhile, the highest torque coefficient of 0.68 appears at the rotor angle of 120° . These obtained results will be used as the necessary parameters in order to design the Savonius wind turbine.

Keywords

Savonius wind turbine, performance, computational fluid dynamics, aerodynamics

1 บทนำ

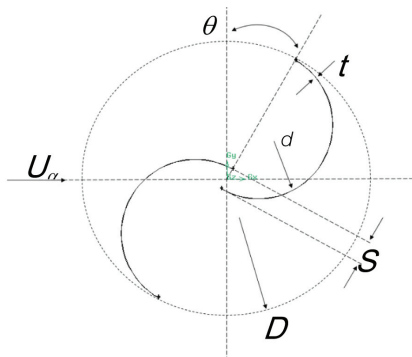
กังหันลมแบบซาโวเนียสเป็นกังหันลมแนวตั้งที่ใช้แรงต้านอากาศในการขับเคลื่อน สามารถรับลมได้ทุกทิศทางและมีค่าแรงบิดสูง ทำให้มีความเหมาะสมกับสภาพลมของประเทศไทย ใบพัดของกังหันลมชนิดนี้มีรูปร่างคล้ายตัวเอส (S) ด้วยรูปทรงที่ไม่มีความซับซ้อนทำให้กังหันลมชนิดนี้ผลิตได้ง่ายและรวดเร็วส่งผลให้มีราคาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับใบพัดของกังหันลมชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังมีความเร็วรอบระหว่างการทำงานต่ำ ส่งผลให้สามารถลดความเสียหายของชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกับการหมุนได้ทั้งหมด รวมไปถึงไม่ค่อยมีเสียงระหว่างการใช้งานด้วย [1] อย่างไรก็ตามเมื่อกังหันลมชนิดนี้อยู่ภายใต้สภาวะลมแรงในประเทศไทย โดยเฉพาะเมื่อเกิดพายุดีเปรสชันและพายุโซนร้อนซึ่งมีความเร็วสูงสุดที่ 63 และ 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ระบบเบรคของกังหันลมจะต้องหยุดการหมุนของใบพัดเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากความเร็วของกระแสลมที่สูงมากเกินไป แรงต้านอากาศและแรงบิดของกังหันลมภายใต้ความเร็วลมที่เปลี่ยนไปนี้จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะถูกนำมาใช้ออกแบบความแข็งแรงของใบพัดของกังหันลม [2]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการไหลของอากาศผ่านกังหันลมแบบซาโวเนียสโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

(Commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) program) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะถูกสอบเทียบความแม่นยำกับผลการทดลองของ Sheldahl R.E และคณะ [3] โดยมุ่งเน้นที่จะทำนายลักษณะการไหลการกระจายความเร็ว และการกระจายความดันของอากาศที่ไหลผ่านกังหันลม รวมไปถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag coefficient, C_D), และค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque coefficient, C_T) ภายใต้การเปลี่ยนแปลงความเร็วลม ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ก็นำไปสู่การออกแบบโครงสร้างของกังหันลมซาโวเนียสให้มีความแข็งแรง และสามารถต้านทานแรงลมที่มีความเร็วสูงได้

2 กระบวนการจำลองการไหลของอากาศผ่านกังหันลมแบบซาโวเนียส

งานวิจัยนี้มีการนำใบพัดของกังหันลมแบบซาโวเนียสที่มีรูปร่างตามการทดลองของ Sheldahl R.E และคณะ [3] ดังแสดงในภาพที่ 1 มาใช้ในการศึกษาการไหลของอากาศผ่านใบพัดของกังหันลมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fluent กำหนดให้อากาศมีความเร็ว U_∞ ไหลผ่านใบพัดที่หยุดนิ่งที่ตำแหน่ง θ เท่ากับ 0° , 30° , 60° , 90° , 120° และ 150° ซึ่งรายละเอียดของกังหันลมชนิดนี้แสดงในตารางที่ 1

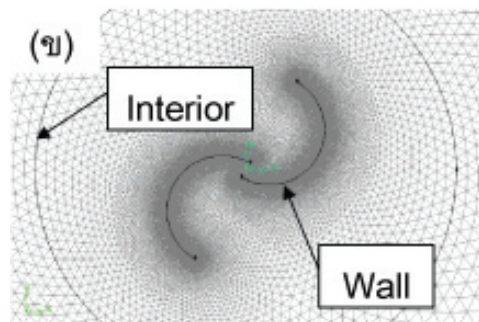
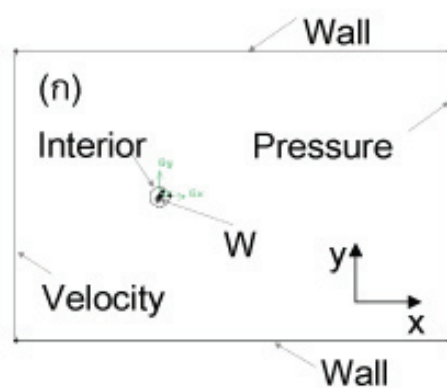


ภาพที่ 1 กังหันลมแบบชาโวเนียส

ตารางที่ 1 ขนาดใบพัดของกังหันลมแบบชาโวเนียส

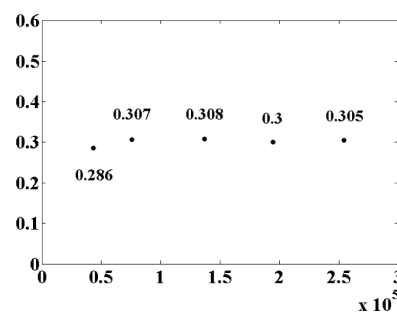
รายละเอียด	ขนาด (เมตร)
เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด, D	1
เส้นผ่านศูนย์กลางของคอกใบพัด, d	0.525
ความหนาของใบพัด, t	0.001
ระยะเยื้องของใบพัด, S	0.0788
ความสูงของใบพัด, H	1

ภาพที่ 2(ก)แสดงแบบจำลองของอากาศที่ไหลผ่านกังหันลมแบบชาโวเนียสซึ่งสร้างโดยโปรแกรม SolidWorks ที่ด้านทางเข้ามีการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบ (Boundary condition) ให้เป็นความเร็วด้านทางเข้า (Velocity inlet) ที่มีความเร็วเท่ากับ 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาที ตรงกับความเร็วมของช่วงปกติพายุติเปอร์สชันและพายุโซนร้อนที่ปรากฏในประเทศไทยตามลำดับ ที่ขอบด้านบนและด้านล่างของแบบจำลองกำหนดให้เป็นผนัง (Wall) โดยขอบด้านหน้าด้านบนและด้านล่างมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 15D โดยที่ด้านทางออกกำหนดให้มีเงื่อนไขค่าขอบเป็นแบบความดันด้านทางออก (Pressure outlet) มีค่าเท่ากับ 0 ปาสกาลซึ่งเท่ากับความดันบรรยากาศ และมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 30D ระยะห่างที่กำหนดนี้เป็นระยะที่ส่งผลให้การคำนวณมีความแม่นยำสูง [4] เงื่อนไขค่าขอบแบบ Interior ถูกนำมาใช้เพื่อแบ่งพื้นที่ระหว่างบริเวณใกล้และไกลใบพัดที่มีความละเอียดของตาข่ายข้อมูล (Mesh) สูง และต่ำ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2(ข) โดยที่ผิวของใบพัดถูกกำหนดให้เป็นผนัง



ภาพที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขค่าขอบ

ตาข่ายข้อมูลที่ใช้เป็นแบบสามเหลี่ยม (Triangular element) ถูกสร้างขึ้นแบบไม่คงตัว การหาจำนวนจุดข้อมูล (Node) ที่เหมาะสมได้ถูกทดสอบที่การไหลของอากาศผ่านกังหันลมที่ตำแหน่ง 0° เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด โดยทดสอบที่จำนวนจุดข้อมูล 43106, 75884, 136720, 194586 และ 254129 จุด ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อจำนวนจุดข้อมูลมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 75884 จุด ดังนั้นจำนวนจุดข้อมูลในช่วงนี้จึงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3 การหาจำนวนจุดข้อมูลที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้มีการทำนายค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในทิศทางตามและขวางการไหลสามารถคำนวณได้ [5] ดังนี้

$$C_{D,x} = F_x / (0.5\rho U \alpha^2 A_s) \quad (1)$$

และ

$$C_{D,y} = F_y / (0.5\rho U \alpha^2 A_s) \quad (2)$$

เมื่อ F_x และ F_y คือแรงของลมที่กระทำกับใบพัดของกังหันลมในทิศทางตามและขวางการไหลตามลำดับ ขณะที่ A_s คือพื้นที่ฉายของกังหันลมสามารถคำนวณได้ โดย $A_s = DH$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสามารถคำนวณได้จาก

$$C_m = T_s / (0.5\rho U \alpha^2 R A_s) \quad (3)$$

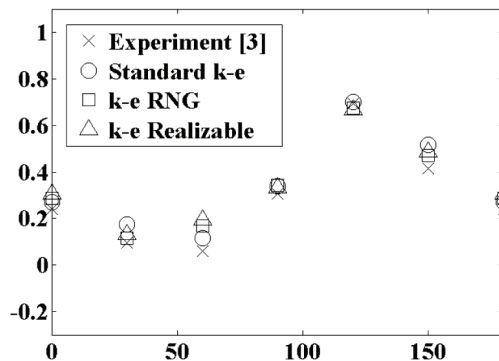
เมื่อ T_s คือแรงบิดของใบพัดของกังหันลมและ R คือรัศมีของใบพัดของกังหันลมแบบจำลองความปั่นป่วนที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 แบบประกอบไปด้วย Standard k- ϵ , k- ϵ RNG และ k- ϵ Realizable การคำนวณจะถูกกำหนดค่าสู่เข้าก็ต่อเมื่อค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดระหว่างการคำนวณมีค่าต่างกันไม่เกิน 0.0001 ยิ่งไปกว่านั้นจะมีการกำหนดค่า Spatial discretization ทั้งหมดให้เป็นแบบ Second order upwind ยกเว้น Gradient ที่กำหนดให้เป็นแบบ Least squares cell based ในขณะที่ค่า scheme ของ Pressure-velocity coupling ถูกกำหนดให้เป็นแบบ PISO เพื่อให้เหมาะสมกับการไหลที่ขึ้นกับเวลา

3 การแสดงผลการวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านกังหันลมแบบซาวิเนียน

3.1 การสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองความปั่นป่วน

ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมที่ได้จากการทดลองของ Sheldahl

R.E และคณะ [3] กับการคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 0° , 30° , 60° , 90° , 120° และ 150° ในงานวิจัยนี้ได้มีการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนคือ Standard k- ϵ , k- ϵ RNG, และ k- ϵ Realizable จากภาพพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองของ Sheldahl R.E และคณะ [3] จากการหาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination, R^2) ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าแบบจำลองความปั่นป่วน k- ϵ RNG มีความแม่นยำที่สุดซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.93 ดังนั้นการคำนวณเชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k- ϵ RNG ทั้งหมด

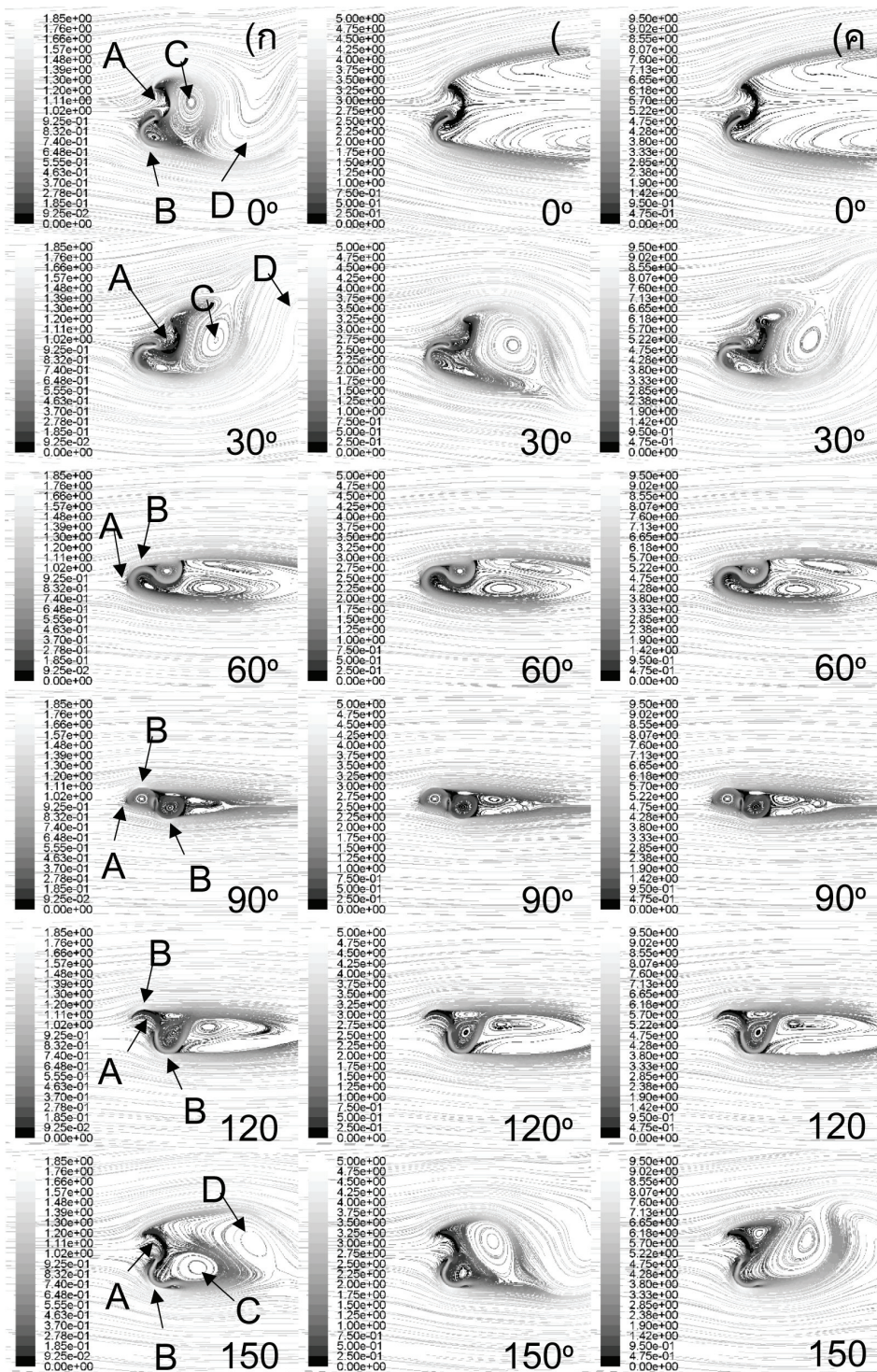


ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขและผลการทดลอง [3]

ตารางที่ 2 ค่า R^2 ของค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Sheldahl R.E และคณะ [3]

Model	R^2
Standard k- ϵ	0.92
k- ϵ RNG	0.93
k- ϵ Realizable	0.89

3.2 การวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านกังหันลม แบบชาโวเนียส



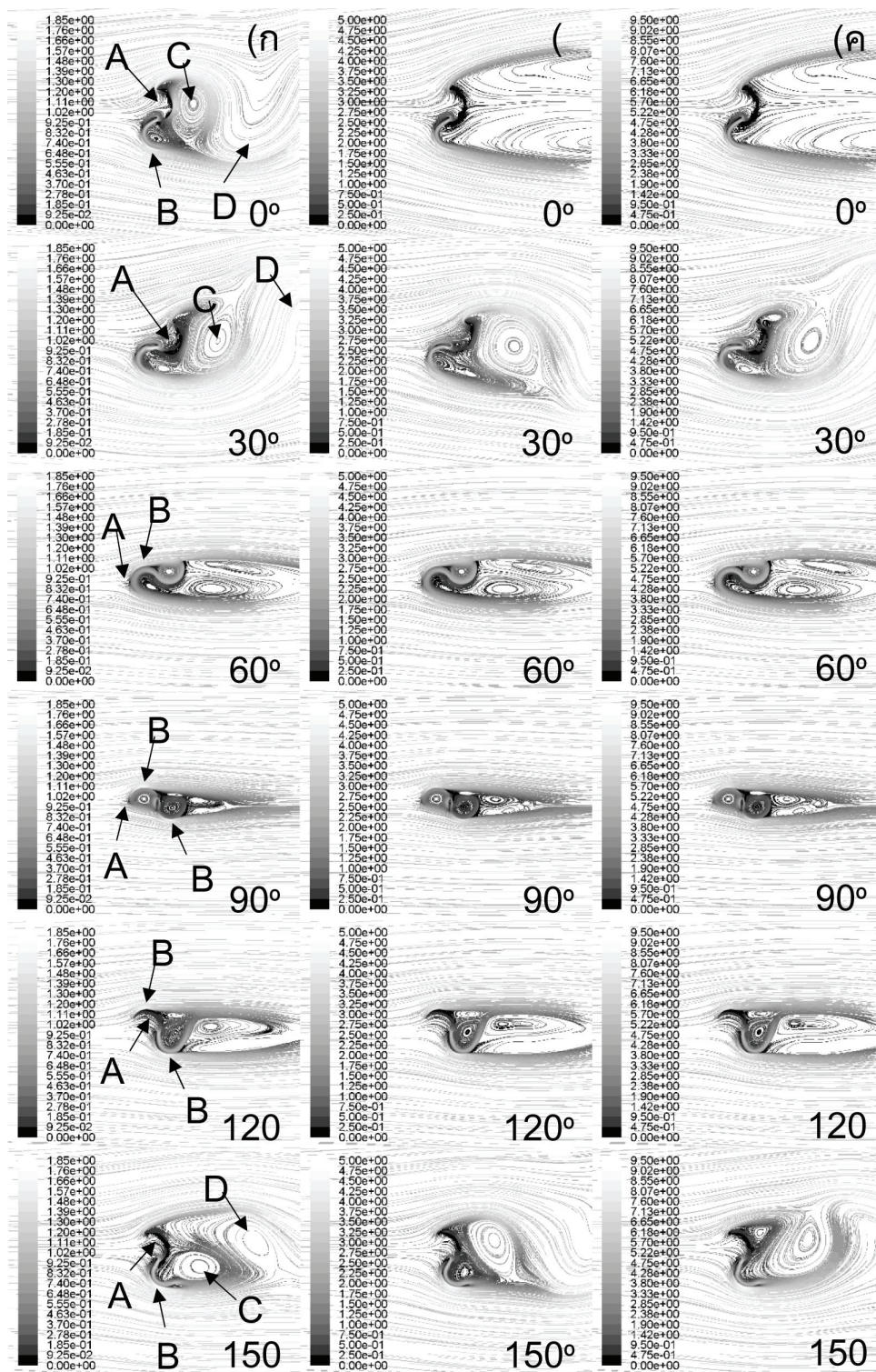
ภาพที่ 5 การกระจายความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านกังหันลมด้วยความเร็ว (ก)7, (ข)17.5, และ (ค)32.78 m/s

ภาพที่ 5 (ก)(ข) และ (ค) แสดงการกระจายความดันของอากาศที่มีความเร็ว 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ผ่านกังหันลมที่อยู่ในตำแหน่ง 0° , 30° , 60° , 90° , 120° และ 150° ค่าของความดันแสดงอยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วย, P_d โดยเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศดังนี้

$$P_d = P / P_{atm} \quad (4)$$

เมื่อ P คือความดันของอากาศเมื่อไหลผ่านกังหันลม และ P_{atm} คือความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 101,325 ปาสคาล ค่า P_d แสดงในช่วง -0.00125 ถึง 0.000345, -0.0065 ถึง 0.0021 และ -0.022 ถึง 0.0069 ในภาพที่ 5 (ก), (ข), และ (ค) ตามลำดับ จากภาพพบว่าเมื่ออากาศไหลจากด้านซ้ายไปทางด้านขวาแล้วเข้าปะทะกับด้านในของใบพัดของกังหันลมแล้ว บริเวณที่มีการไหลปะทะก่อให้เกิดความดันสูงสุดเป็นพื้นที่กว้างดังแสดงที่จุด A ที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 0° , 30° , 120° และ 150° โดยปรากฏเป็นบริเวณกว้าง แต่ถ้าลมไหลปะทะกับขอบด้านนอกของใบพัดที่อยู่ในตำแหน่ง 60° และ 90° ก็จะส่งผลให้ความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นมีบริเวณแคบ จากภาพยังพบอีกว่าการไหลของอากาศผ่านโค้งงอของกังหันลมดังแสดงที่จุด B ก่อให้เกิดความดันต่ำและมีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันแบบลดลง (Favorable pressure gradient) ที่ตำแหน่ง 0° เมื่อลมมีความเร็ว 7 เมตรต่อวินาทีไหลผ่านใบพัดของกังหันลม ที่ด้านหลัง

ของใบพัดปรากฏเป็นพื้นที่ที่มีค่าความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศดังแสดงที่จุด C พื้นที่ความดันต่ำนี้เป็นผลเนื่องมาจากการไหลวนของอากาศแบบสลับที่ด้านหลังของใบพัด (Vortex shedding) ภายในพื้นที่ของการไหลวนนี้จะมีลักษณะเป็นโพรงอากาศ (Separation bubble) ที่อากาศโดยรอบไม่สามารถไหลเข้าไปภายในได้ ทำให้พื้นที่นี้มีค่าความดันต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบการไหลวนที่ด้านหลังของใบพัดนี้จะเกิดขึ้นที่ด้านบนและด้านล่างของใบพัดสลับกันขึ้นกับเวลาดังแสดงที่จุด C และ D การสลับกันของความดันที่เกิดขึ้นที่ด้านบนและล่างของใบพัดนี้ก่อให้เกิดแรงที่ไม่คงตัวกระทำกับใบพัดของกังหันลมซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นการสั่นสะเทือนและก่อให้เกิดความเสียหายกับใบพัดได้ต่อไป จากภาพที่ 5 พบว่าการไหลวนของอากาศแบบสลับที่ด้านหลังของใบพัดไม่ได้เกิดขึ้นเมื่ออากาศมีความเร็ว 7 เมตรต่อวินาทีที่ตำแหน่งของกังหันลมเท่ากับ 0° เท่านั้น แต่ยังเกิดเมื่อใบพัดของกังหันลมอยู่ที่ตำแหน่ง 30° และ 150° ที่ทุกความเร็วลม นอกเหนือจากนี้ลักษณะการกระจายความดันของอากาศรอบใบพัดที่ความเร็วต่างๆ มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันที่ขนาดของความดันที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อลมมีความเร็วสูงขึ้น โดยค่าความดันที่บริเวณใกล้ผิวที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหา ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและสัมประสิทธิ์แรงบิด ดังแสดงในสมการที่ (1)-(3) ต่อไป



ภาพที่ 6 ลักษณะการไหลของอากาศเมื่อไหลผ่านกังหันลมด้วยความเร็ว (ก)7, (ข)17.5 และ (ค)32.78 m/s

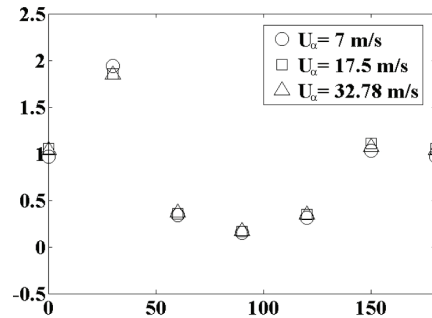
ลักษณะการไหลของอากาศที่มีความเร็ว 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาที ผ่านกังหันลมที่อยู่ในตำแหน่ง 0° , 30° , 60° , 90° , 120° และ 150° ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก), (ข), และ (ค) ตามลำดับเช่นเดียวกับการแสดงค่าความดัน ค่าของความเร็วแสดงอยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วย, U_d โดยเปรียบเทียบกับความเร็วลม, U_∞ ดังนี้

$$U_d = U / U_\infty \quad (5)$$

เมื่อ U คือความเร็วของอากาศโดยรอบใบพัดของกังหันลม ค่า U_d แสดงตั้งแต่ 0 ถึง 1.85, 0 ถึง 4.3 และ 0 ถึง 8 ในภาพที่ 6 (ก), (ข), และ (ค) ตามลำดับจากภาพพบว่าข้อมูลของความดันที่ได้จากภาพที่ 5 สามารถนำมาเปรียบเทียบกับความเร็วที่แสดงในภาพที่ 6 ได้โดยตรงเนื่องจากใบพัดของกังหันลมที่แสดงในสองภาพนี้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน โดยจะพบว่าที่จุด A เมื่ออากาศไหลเข้าปะทะกับผิวของใบพัด ความเร็วของอากาศจะลดลงจนมีค่าใกล้เคียง 0 เมตรต่อวินาที ในขณะที่จุดนี้ก็มีค่าความดันสูงที่สุดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้จุด A เหล่านี้คือจุดหยุดนิ่ง (Stagnation point) ซึ่ง จุดเหล่านี้ก็คือบริเวณที่มีการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของอากาศเป็นแรงดันที่กระทำกับใบพัดของกังหันลม

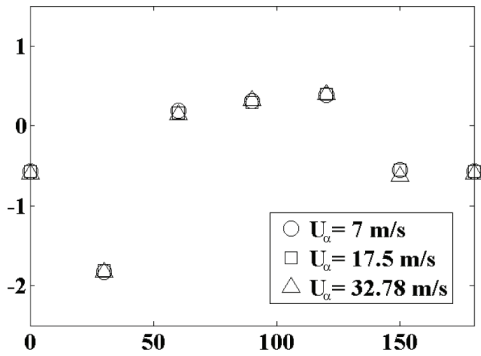
นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วลมสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณล้นนอกของใบพัดของกังหันลม นั่นก็คือบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันแบบลดลงที่ความเร็วของอากาศเท่ากับ 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาที ความเร็วที่บริเวณนี้จะเพิ่มสูงขึ้นถึง 1.85, 5 และ 9.5 เท่าของความเร็วกระแสลมหลัก ดังแสดงที่จุด B เมื่ออากาศที่บริเวณนี้ถูกเร่งความเร็วให้มีค่าสูงมากขึ้นจะส่งผลให้อากาศไม่สามารถไหลเกาะติดผิวของใบพัดได้ต่อไปจนเกิดการไหลหลุด (Separation flow) และก่อให้เกิดโพรงอากาศที่ด้านหลังของใบพัดที่ตำแหน่ง 60° , 90° และ 120° โพรงอากาศที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นการไหลวนของอากาศซึ่งมีมวลของอากาศน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโดยรอบ ส่งผลให้บริเวณ

นี้มีความดันอากาศต่ำ ยิ่งไปกว่านั้นยังพบอีกว่าบริเวณจุดศูนย์กลางของพื้นที่ความดันต่ำดังแสดงที่จุด C ของภาพที่ 5 ที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 0° , 30° และ 150° ตรงกับจุดศูนย์กลางของการไหลวนของอากาศ ดังแสดงที่จุด C ของภาพที่ 6 ซึ่งการไหลวนเหล่านี้คือการไหลวนของอากาศแบบสลับที่ด้านหลังของใบพัดโดยจุด D ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 0° และ 30° ปรากฏเป็นการไหลวนที่สลายตัวแล้วในขณะที่จุด D ที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 150° คือการไหลวนก่อนการสลายตัวในทิศทางตามการไหลของกังหันลมแบบซาโวเนียส



ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันอากาศ

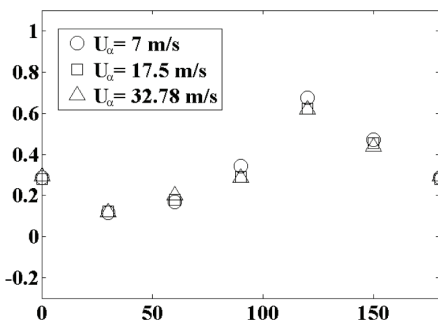
ภาพที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงดันอากาศในทิศทางตามการไหลของอากาศผ่านกังหันลมแบบซาโวเนียส พบว่าเมื่ออากาศมีความเร็ว 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาทีไหลผ่านกังหันลม ใบพัดของกังหันลมจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันอากาศในทิศทางตามการไหลใกล้เคียงกันทุกความเร็วลม โดยจะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.94 เมื่อใบพัดอยู่ในตำแหน่ง 30° จากการวิเคราะห์การกระจายความดันดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 30° นี้มีพื้นที่ความดันสูงที่ด้านหน้าและพื้นที่ความดันต่ำที่ด้านหลังของใบพัดเป็นบริเวณกว้างที่สุด ก่อให้เกิดแรงดันอากาศในทิศทางตามการไหลมากที่สุด เท่ากับ 58.28, 348.71 และ 1214.9 นิวตัน ที่ความเร็วลมเท่ากับ 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

ในทิศทางขวางการไหลของกังหันลมแบบซาโวเนียส

ภาพที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในทิศทางขวางการไหลของกังหันลมแบบซาโวเนียสเมื่ออากาศที่ไหลผ่านมีความเร็ว 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาที เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในทิศทางตามการไหลพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในทิศทางขวางการไหลมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระแสลม และ มีค่าสูงสุดเท่ากับ -1.83 เมื่อกังหันลมอยู่ในตำแหน่ง 30° โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงทิศทางกดลงหรือ $-y$ ในภาพที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเร็วลม 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาทีแรงที่กระทำกับใบพัดของกังหันลมในแนวขวางการไหลมีค่าเท่ากับ 54.9, 340.08 และ 1200.5 นิวตันตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแรงต้านอากาศในทิศทางตามการไหล



ภาพที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมแบบซาโวเนียส

ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมแบบซาโวเนียสภายใต้กระแสลมที่มีความเร็ว 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาทีแสดงในภาพที่ 9 จากภาพพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมมีค่าใกล้เคียงกันทุกความเร็วลม เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.68 เมื่อใบพัดอยู่ที่ตำแหน่ง 30° และ 120° ตามลำดับ จากสมการที่ (3) พบว่ากังหันลมจะเกิดแรงบิดสูงสุดที่มุม 120° มีค่าเท่ากับ 10, 58.5 และ 203 นิวตันเมตรภายใต้กระแสลมที่มีความเร็ว 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

4 สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและทำนายสมรรถนะเชิงสถิติของกังหันลมแบบซาโวเนียสที่ตำแหน่ง $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ และ 150° ที่ความเร็วลมเท่ากับ 7, 17.5 และ 32.78 เมตรต่อวินาทีโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k-eRNG มีความแม่นยำมากกว่า Standard k-e และ k-eRealizable จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีการไหลวนของอากาศแบบสลับเกิดขึ้นที่ด้านหลังของใบพัด (Vortex shedding) เมื่อกังหันลมอยู่ในตำแหน่ง $0^\circ, 30^\circ$ และ 150° การไหลวนนี้ก่อให้เกิดแรงลมที่ไม่คงที่ และกวัดแกว่งขึ้นกับเวลากระทำกับใบพัดซึ่งสามารถนำไปสู่ความเสียหายของกังหันลมเนื่องจากการสั่นสะเทือนได้ เมื่อพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศในทิศทางตามและขวางการไหล พบว่ามีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 30° เท่ากับ 1.94 และ -1.83 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมแบบซาโวเนียสมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.68 ที่ตำแหน่งของใบพัดเท่ากับ 120° โดยพบค่าสมรรถนะหรือสัมประสิทธิ์ที่ได้เหล่านี้นี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นกับใบพัดของกังหันลม เพื่อใช้ในการออกแบบความแข็งแรงของกังหันลมแบบซาโวเนียสได้ต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการศาสตร์ที่สนับสนุนทุนโครงการวิจัยสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ในการทำงานวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

[1] Roy S. and Saha U.K., (2013), "Review on the numerical investigations into the design and development of Savonius wind rotors". Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 24, pp 73-83.

[2] Chaiworapuek W., Chanpanich N., and Kittichaikarn C., (2012), "Engineering design of vertical wind turbine using computer aided engineering". In Proceeding of the 26th conference

of the Mechanical Engineering Network of Thailand, 24-27 October, Chiangrai, Thailand.

[3] Sheldahl R.E., Blackwell B.F., and Feltz L.V., (1977), "Wind tunnel performance data for two- and three-bucket Savonius rotors". Sandia Report SAND 77-0131.

[4] Shaheen M., El-Sayed M., and Abdallah S., (2015), "Numerical study of two-bucket Savonius wind turbine cluster". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 137, pp 78-89.

[5] Munson B.R., Young D.F., and Okiishi T.H., (2006), "Fundamentals of fluid mechanics". 5th ed., John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ.