

## การออกแบบโครงสร้างใบพัดของกังหันลมแนวตั้งโดยการใช้โปรแกรมช่วยทางด้านวิศวกรรม Engineering Design of Vertical Wind Turbine using Computer Aided Engineering

วีรชัย ชัยวรพฤษ, ณัฐพล จันทร์พานิชย์ และ ขวลิต กิตติชัยการ\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

\*ติดต่อ: โทรศัพท์: +6629428555 ต่อ 1801, โทรสาร: +6625794576, E-mail: fengclk@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบใบพัดของกังหันลมแนวตั้งชนิด 3 ใบที่ถูกสร้างโดยใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามโครงสร้างของใบพัดจำเป็นต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับแรงลมในระดับพายุไต้ฝุ่นที่มีความเร็วสูงถึง 118 km/hr ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นถึงการออกแบบใบพัดโดยการนำโปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและโปรแกรมทางด้านขึ้นประกอบจำกัดมาวิเคราะห์หาค่าความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นบนผิวรวมไปถึงความแข็งแรงของใบพัด เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการออกแบบก่อนการสร้างขึ้นจริง การวิเคราะห์ใบพัดได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 วิเคราะห์เมื่อใบพัดกำลังหมุน, รูปแบบที่ 2 วิเคราะห์เมื่อใบพัดหยุดนิ่งและมีลมไหลปะทะที่ทางด้านหลังของใบพัด และรูปแบบที่ 3 วิเคราะห์เมื่อใบพัดหยุดนิ่งและมีลมไหลปะทะที่ทางด้านหน้าของใบพัด จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อมีลมที่มีความเร็ว 118 km/hr ความดันสูงสุดเกิดขึ้นที่รูปแบบที่ 2 และ 3 มีค่าประมาณ 815 Pa บนผิวของใบพัดที่ลมปะทะ และมีค่าประมาณ -400 Pa (ความดันเกจ) ที่ผิวตรงข้าม และเมื่อทำการจำลองการรับแรงดัน พบว่าค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณจุดยึดของใบพัด มีค่า 11.93 MPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุผสมต่ำสุดที่มีค่า 40 MPa ดังนั้นใบพัดที่ถูกออกแบบนี้จึงสามารถรองรับแรงปะทะที่เกิดจากลมที่มีความเร็ว 118 km/hr ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

**คำหลัก:** กังหันลมแนวตั้ง, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, โปรแกรมทางด้านขึ้นประกอบจำกัด, โปรแกรมช่วยทางด้านวิศวกรรม

### Abstract

This paper presents a design of a 3 blade-type vertical wind turbine that used to generate the electricity by the wind from any direction. However, the structure of all 3-blades must be able to withstand the load from high speed storm of 118 km/hr. The blades are made from light composite material. Computer Aided Engineering (CAE), both a commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) - Fluent and a commercial Finite Element software packages - ABAQUS were used to obtain the economical structural design of these blades. The analysis was divided into 3 cases, case 1 : when the turbine is rotating, case 2 : when the wind flow impacts on the back of blade ,and case 3 when the wind flow impacts on the front of the blade. From the results, it was found that wind speed of 118 km/hr causes the maximum upstream pressure of 815 Pa and downstream pressure of -400 Pa(Gauge Pressure) on the blade surface of case 2 and 3. When these loads are applied, the maximum stress of 11.93 MPa occurs near the mounting plates. This value is lower than the minimum strength of this type of composite material which is at 40 MPa. Therefore the blades can withstand the pressure caused by the wind at the speed up to 118 km/hr without critical failure.

**Keywords:** Vertical wind turbine, Computational Fluid Dynamics, Finite Element program, Computer Aided Engineering

## 1. ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องการขาดแคลนพลังงานเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาการนำพลังงานทางเลือกมาใช้อย่างจริงจัง พลังงานลมก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีอยู่อย่างมหาศาล กังหันลมแนวตั้งชนิด 3 ใบจึงได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟในทุกทิศทางที่ลมไหลมาปะทะกับใบพัด กังหันลมแนวตั้งนี้จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 2 กิโลวัตต์ เมื่อมีความเร็วลมปะทะ 12 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 1 อย่างไรก็ตามในกรณีที่เกิดพายุไต้ฝุ่น กังหันลมนี้ก็จำเป็นต้องสามารถทนแรงปะทะของลมในระดับพายุไต้ฝุ่นที่มีขนาดความเร็ว 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้โดยไม่เสียหาย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นถึงการศึกษาและวิเคราะห์แรงดันของลมที่ไหลปะทะที่ผิวของใบพัดของกังหันลมแนวตั้งโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fluent แล้วจึงนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายของโครงสร้างของใบพัดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านขึ้นประกอบจำกัด ABAQUS ผลการวิเคราะห์จะช่วยให้สามารถออกแบบใบพัดที่มีความแข็งแรงสามารถทนทานต่อแรงลมในประเทศไทยที่เข้ามาปะทะกับผิวของใบพัดนี้ได้



รูปที่ 1 แสดงกังหันลมแนวตั้งชนิด 3 ใบ

## 2. ตรวจสอบเอกสาร

โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการวิเคราะห์การไหลที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยใบพัดได้อย่างแม่นยำ ทั้งในงานประยุกต์จำพวกเครื่องสูบน้ำ [1], พัดลม รวมไปถึงกังหันลม เป็นต้น ในการวิเคราะห์การไหลเมื่อของไหลถูกเหนี่ยวนำด้วยใบพัดผ่านการใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนั้น จะต้องทำการแบ่งส่วน

ของการไหลให้มีทั้งส่วนหยุดนิ่งและส่วนที่ถูกเหนี่ยวนำ [2] โดยมีพื้นฐานอยู่บนสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) คือ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล  
 $t$  คือ เวลา  
 $\vec{u}$  คือ สนามความเร็วของของไหล

สำหรับการไหลของอากาศผ่านใบพัดของกังหันลมแนวตั้งนั้นพบว่า เมื่อใบพัดเริ่มหมุนเนื่องจากลมที่ไหลมาปะทะกับผิวของใบพัด แรงของลมจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแรงต้าน (Drag force,  $F_D$ ) และแรงยก (Lift force,  $F_L$ ) [3] ดังแสดงในรูปของสมการ

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 A \quad (3)$$

$$\text{และ } F_L = \frac{1}{2} \rho C_L u^2 A \quad (4)$$

เมื่อ  $C_D$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน  
 $C_L$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก  
 $u$  คือ ความเร็วของของไหล  
 $A$  คือ พื้นที่ฉาย

ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัด วัสดุจะถูกสมมติให้เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเป็นเนื้อเดียว (Isotropic elasticity) ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดได้ดังนี้

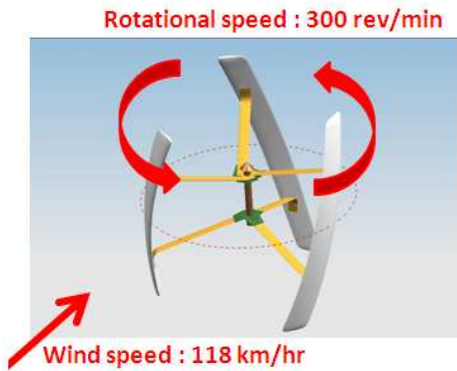
$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & -\nu/E & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

เมื่อ  $E$  คือ ค่าโมดูลัสของยัง  
 $\nu$  คือ ค่าอัตราส่วนปัวซอง  
 $G$  คือ ค่าโมดูลัสเฉือน

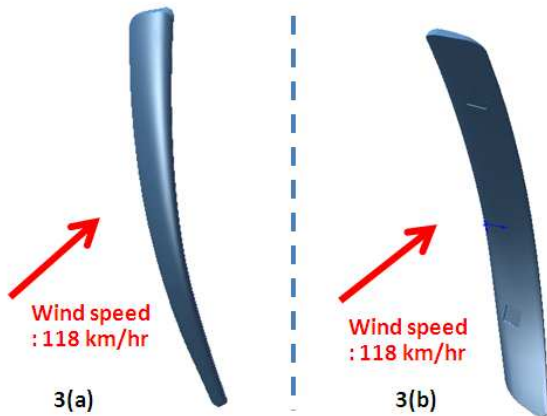
## 3. การสร้างแบบจำลอง

ใบพัดของกังหันลมแนวตั้งที่ใช้ในการศึกษาเป็นใบพัดชนิด 3 ใบ ที่สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้ 2 กิโลวัตต์ และถูกควบคุมให้มีความเร็วรอบได้สูงสุด 300

รอบต่อนาที ใบพัดจะต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงพอที่จะรับแรงลมขนาด 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ การวิเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 วิเคราะห์เมื่อใบพัดกำลังหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2, รูปแบบที่ 2 วิเคราะห์เมื่อใบพัดหยุดนิ่ง และมีอากาศไหลปะทะที่ทางด้านหลังของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 3(a) และรูปแบบที่ 3 วิเคราะห์เมื่อใบพัดหยุดนิ่งและมีอากาศไหลปะทะที่ทางด้านหน้าของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 3(b) ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบการวิเคราะห์การไหลที่ 1

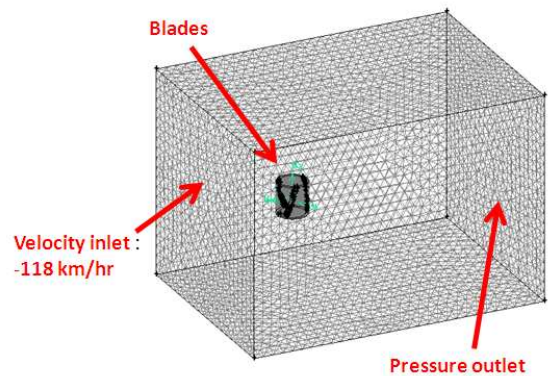


รูปที่ 3(a) แสดงรูปแบบการวิเคราะห์การไหลที่ 2, 3(b) แสดงรูปแบบการวิเคราะห์การไหลที่ 3

### 3.1 การวิเคราะห์การไหลของอากาศปะทะกับใบพัดของกังหันลมแนวตั้ง

อากาศที่ไหลปะทะกับใบพัดของกังหันลมแนวตั้งจะถูกจำลองโดยใช้โปรแกรม SolidWorks และแบบจำลองของอากาศนี้จะถูกนำไปสู่การวิเคราะห์การไหลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Fluent แบบจำลองความปั่นป่วนที่เลือกใช้คือ k-epsilon ที่ทางเข้ากำหนดให้เป็นความเร็ว 32.78 เมตรต่อวินาที ที่ทางออกถูกกำหนดเป็นความดันบรรยากาศ การไหลของอากาศเป็นแบบอัดตัวไม่ได้

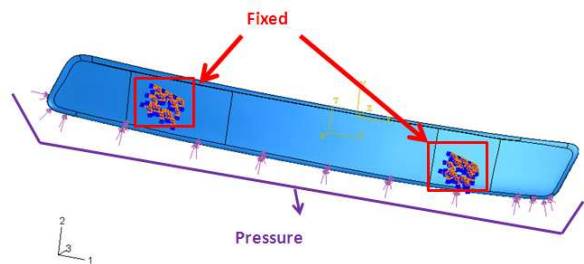
(Incompressible flow) มีการกำหนดรูปแบบของโครงตาข่ายข้อมูลเป็นรูปสามเหลี่ยมจำนวน 4812903 เซลล์ สำหรับรูปแบบที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านใบพัด อากาศโดยรอบใบพัดจะถูกกำหนดให้มีการหมุนตามใบพัดด้วยความเร็วเท่ากับ 31.4 rad/s โดยจุดศูนย์กลางการหมุนของกังหันลมแนวตั้งจะถูกกำหนดให้มีระยะห่างจากขอบเขตความเร็วด้านเข้าเท่ากับระยะ 3D และห่างจากความดันด้านออกเท่ากับระยะ 6D เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการอยู่ใกล้ผนังดังแสดงในรูปที่ 4



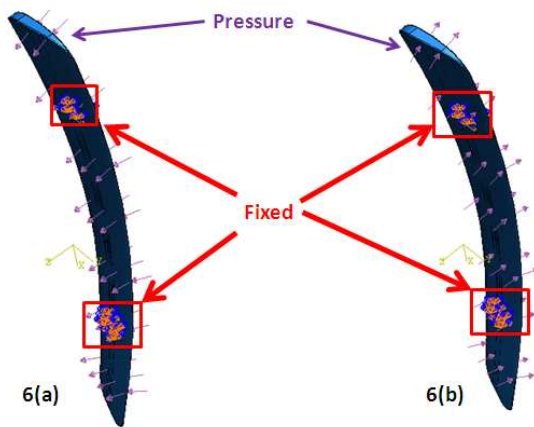
รูปที่ 4 แสดงขอบเขตของการไหลของลมผ่านกังหันลมแนวตั้งชนิด 3 ใบ

### 3.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใบพัด

แบบจำลองใบพัดของกังหันลมแนวตั้งได้ถูกสร้างโดยโปรแกรม SolidWorks และนำเข้าสู่โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านขึ้นประกอบจำกัด ABAQUS ค่าของความดันสูงสุดของลมที่ปะทะกับผิวของใบพัดได้ถูกนำมาจากการวิเคราะห์การไหลของลมปะทะกับใบพัดของกังหันลมแนวตั้ง และบริเวณจุดยึดของใบพัดทั้ง 2 จุดถูกกำหนดเป็น "Fixed" รูปที่ 5 แสดงรูปแบบการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัดที่ 1 และรูปที่ 6(a) และ 6(b) แสดงรูปแบบการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงรูปแบบที่ 1 ของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัด



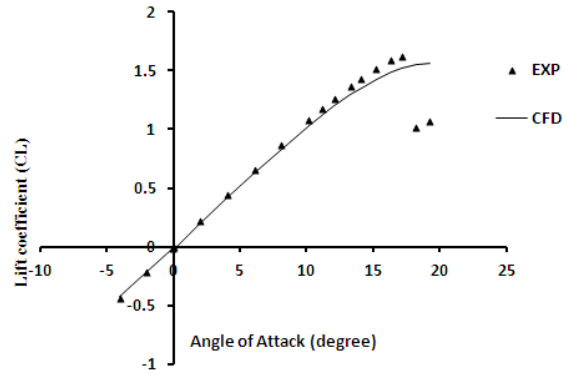
รูปที่ 6(a) แสดงรูปแบบที่ 2 ของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัด, 6(b) แสดงรูปแบบที่ 3 ของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัด

วัสดุที่นำมาใช้สร้างใบพัดจริงคือวัสดุผสม (Composite material) ระหว่างเรซินและใยแก้วเสริมความแข็งแรงซึ่งในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้วัสดุผสมมีความยืดหยุ่นต่ำที่สุดเพื่อทำการออกแบบใบพัดของกังหันลมแนวตั้งซึ่งมีค่า  $E = 12000 \text{ MPa}$  และ  $\nu = 0.19$  วัสดุชนิดนี้จะมีค่าความแข็งแรงฉีกขาดต่ำที่สุด,  $\sigma_u = 40 \text{ MPa}$  รูปแบบการวิเคราะห์ความแข็งแรงของใบพัดจะกำหนดให้เป็นแบบ Static, General ซึ่งมีโครงตาข่ายข้อมูลเป็นแบบ 3 เหลี่ยมจำนวน 225841 เซลล์

#### 4. ผลการวิเคราะห์

##### 4.1 ผลการวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านใบพัดของกังหันลมแนวตั้ง

ในงานวิจัย [4] ได้มีการกำหนดค่าต่างๆในโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบเดียวกับในงานวิจัยนี้และได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมกับการทดลองจริง พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้นยอมรับได้และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 7

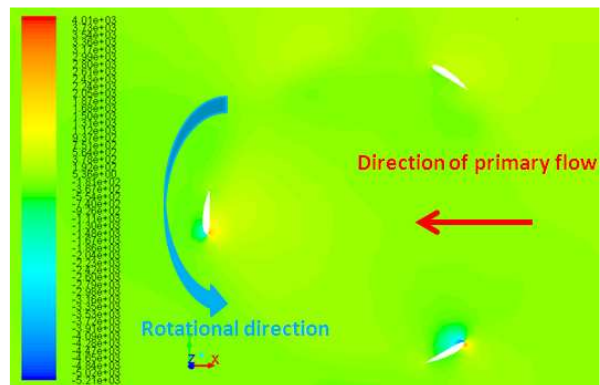


รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขกับผลการทดลองจริง

นั่นแสดงว่าการเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรมสามารถทำนายผลที่เกิดขึ้นได้แม่นยำและถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ จากการวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านใบกังหันในงานวิจัยนี้ได้ผลเป็นดังนี้

- รูปแบบที่ 1 : การวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านกังหันลมที่กำลังหมุน

จากการวิเคราะห์การไหลของอากาศตามรูปแบบที่ 1 พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านใบพัดที่กำลังหมุนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาทีแล้ว อากาศจะไหลกระแทกใบพัดที่บริเวณขอบด้านหัวของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 8 โดยตำแหน่งของบริเวณที่มีความดันสูงสุดและต่ำสุดจะเกิดขึ้นสลับไปมาระหว่างด้านหน้าและด้านหลังที่ขอบด้านหัวของใบพัด ความดันเกจสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 4000 Pa และ -5000 Pa ตามลำดับ

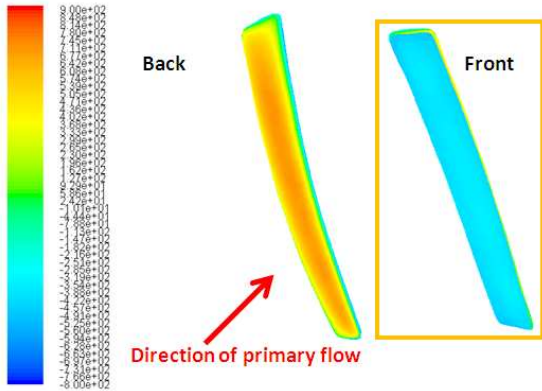


รูปที่ 8 แสดงการกระจายความดันของอากาศที่บริเวณรอบผิวใบพัดเมื่ออากาศไหลผ่านกังหันลมที่กำลังหมุน

- รูปแบบที่ 2 : การวิเคราะห์การไหลของอากาศปะทะกับผิวด้านหลังของใบพัด



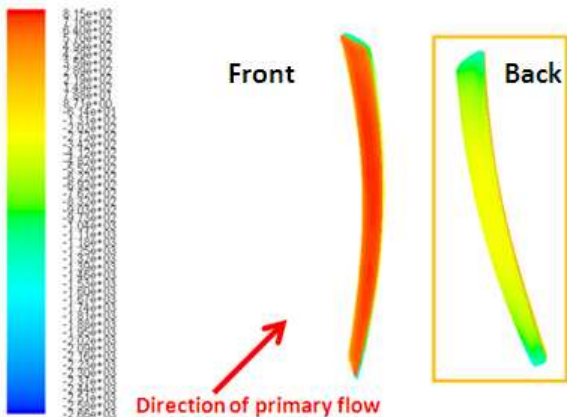
เมื่อทำการวิเคราะห์การไหลของอากาศปะทะกับผิวด้านหลังของใบพัด พบว่าจะมีจุดหยุดนิ่ง (Stagnation point) เกิดขึ้นที่บริเวณผิวด้านหลังของใบพัดดังแสดงในรูปที่ 9 ความดันเกจสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 800 Pa และ -400 Pa เกิดขึ้นที่ด้านหลังและด้านหน้าของใบพัดตามลำดับ



รูปที่ 9 แสดงการกระจายความดันที่บริเวณผิวของใบพัดเมื่ออากาศไหลผ่านด้านหลังของใบพัด

- รูปแบบที่ 3 : การวิเคราะห์การไหลของอากาศปะทะกับผิวด้านหน้าของใบพัด

จากการวิเคราะห์การไหลของอากาศปะทะกับผิวด้านหน้าของใบพัด พบว่าจะมีจุดหยุดนิ่งเกิดขึ้นที่บริเวณผิวด้านหน้าของใบพัด ความดันเกจสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 815 Pa และ -400 Pa ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงการกระจายความดันที่บริเวณผิวของใบพัดเมื่ออากาศไหลผ่านด้านหน้าของใบพัด

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใบพัด

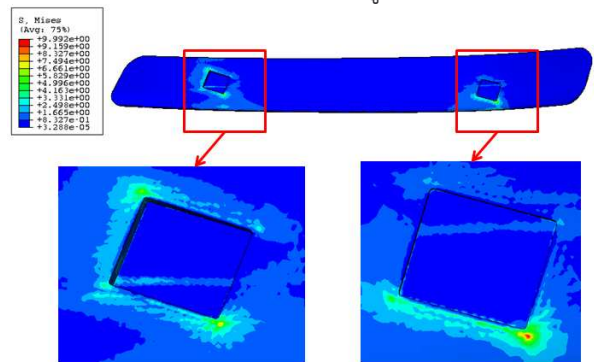
ใบพัดของกังหันลมแนวตั้งที่ได้รับการออกแบบโครงสร้างขึ้นมาใหม่เพื่อรองรับแรงลมที่มีความเร็ว 118

กิโลเมตรต่อชั่วโมงนี้ ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงตามรูปแบบของการวิเคราะห์ 3 รูปแบบ คือ

- รูปแบบที่ 1 : การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใบพัดเมื่อมีการไหลของอากาศผ่านกังหันลมที่กำลังหมุน

ในการวิเคราะห์รูปแบบที่ 1 เนื่องจากผลการวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านกังหันลมเมื่อใบพัดกำลังหมุนแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของความดันสูงสุดและต่ำสุดมีการเปลี่ยนสลับไปมาระหว่างด้านหน้าและด้านหลังที่บริเวณขอบด้านหัวของใบพัด ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างในรูปแบบที่ 1 นี้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกที่ตำแหน่งที่ความดันสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่บริเวณด้านหลังและด้านหน้าของใบพัด ตามลำดับ กับส่วนที่สอง คือเมื่อตำแหน่งของใบพัดหมุนเพิ่มอีก 180 องศา ตำแหน่งของความดันสูงสุดและต่ำสุดจะย้ายไปอยู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังของใบพัดนั่นเอง

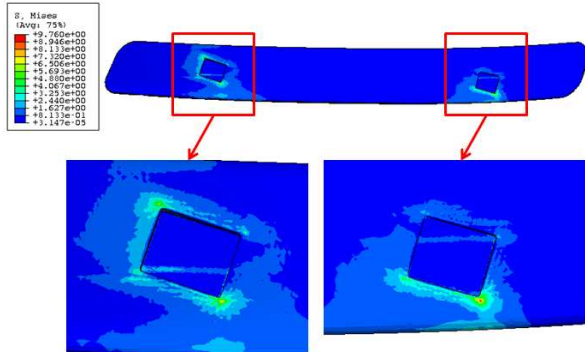
จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใบพัดที่ได้ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่นี้พบว่าเมื่อมีอากาศไหลปะทะกับใบพัดที่กำลังหมุนโดยที่มีความดันสูงสุดและต่ำสุดเกิดอยู่ที่ด้านหลังและด้านหน้าของใบพัด ตามลำดับ ค่าความเค้นสูงสุดที่ถูกคำนวณจากทฤษฎีความเสียหายแบบ Von Mises จะมีตำแหน่งอยู่ที่บริเวณจุดยึดทั้ง 2 จุดของใบพัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 MPa ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงการกระจายความเค้นบนโครงสร้างใบพัดเมื่อใบพัดหมุนและความดันสูงสุดอยู่ที่ด้านหลังบริเวณขอบหัวของใบพัด

และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใบพัดเมื่อกังหันลมเพิ่มจากตำแหน่งเดิมไปอีก 180 องศา จะพบว่าตำแหน่งที่ความดันสูงสุดและต่ำสุดจะเปลี่ยนไปอยู่ที่ด้านหน้าและด้านหลังของใบพัด ตามลำดับ

โดยจะพบว่าค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณจุดยึด  
เช่นกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.76 MPa ดังแสดงในรูปที่ 12

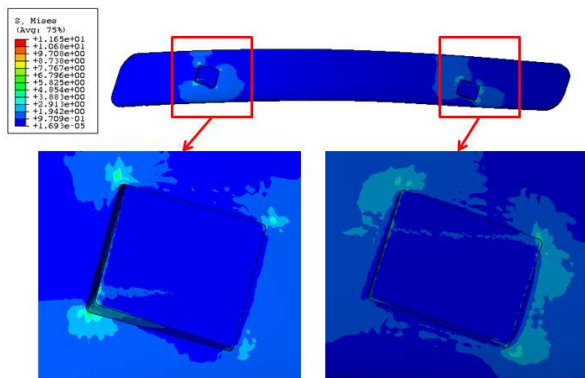


รูปที่ 12 แสดงการกระจายความเค้นบนโครงสร้างใบพัด  
เมื่อใบพัดหมุนและความดันสูงสุดอยู่ที่ด้านหน้าบริเวณ  
ขอบหัวของใบพัด

จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใน  
รูปแบบที่ 1 ทั้ง 2 ส่วนนี้พบว่าเมื่อใบพัดหมุน โครงสร้าง  
ของใบพัดสามารถทนกับแรงลมที่ไหลเข้ามาปะทะได้  
เนื่องจากค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าน้อย  
กว่าค่าความแข็งแรงต่ำสุดของวัสดุนั่นเอง

- รูปแบบที่ 2 : การวิเคราะห์ความแข็งแรงของ  
โครงสร้างใบพัดเมื่อมีการไหลของอากาศปะทะกับผิว  
ด้านหลังของใบพัด

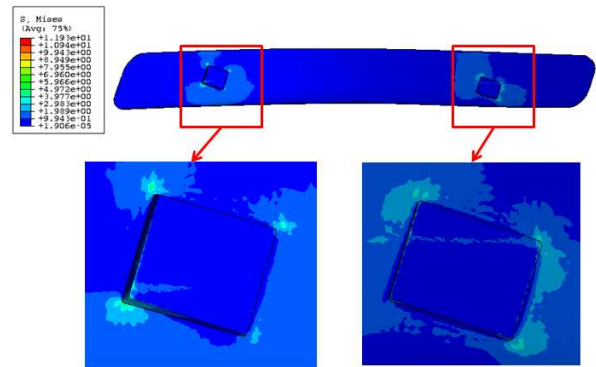
จากรูปที่ 13 พบว่าค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่  
บริเวณจุดยึดเช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ  
11.65 MPa แสดงว่าโครงสร้างของใบพัดแข็งแรงพอที่จะ  
รับลมตามการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 2 ได้โดยไม่มีการ  
เสียหาย



รูปที่ 13 แสดงการกระจายความเค้นบนโครงสร้างใบพัด  
เมื่อใบพัดหยุดนิ่งเมื่อมีการไหลของอากาศปะทะกับผิว  
ด้านหลังของใบพัด

- รูปแบบที่ 3 : การวิเคราะห์ความแข็งแรงของ  
โครงสร้างใบพัดเมื่อมีการไหลของอากาศปะทะกับผิว  
ด้านหน้าของใบพัด

จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใน  
รูปแบบที่ 3 พบว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนใบพัด  
ของกังหันลมแนวตั้งจะมีตำแหน่งอยู่ที่บริเวณจุดยึดของ  
ใบพัด ซึ่งจะเหมือนกับทุกๆกรณีที่ได้ทำการศึกษามา ใน  
รูปแบบที่ 3 นี้จะมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 11.93 MPa  
ดังแสดงในรูปที่ 14 ซึ่งเป็นค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับ  
รูปแบบอื่นๆ แต่ก็ยังไม่มากพอที่จะทำให้ใบพัดของกังหัน  
ลมแนวตั้งนี้เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 14 แสดงการกระจายความเค้นบนโครงสร้างใบพัด  
เมื่อใบพัดหยุดนิ่งเมื่อมีการไหลของอากาศปะทะกับผิว  
ด้านหน้าของใบพัด

### 5. สรุป

จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างใบพัด  
ของกังหันลมแนวตั้งชนิด 3 ใบพัดเมื่อรับแรงลมที่มีขนาด  
ความเร็ว 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงไหลเข้าปะทะกับใบพัด  
โดยการใช้โปรแกรมทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิง  
คำนวณ, Fluent และโปรแกรมทางด้านขึ้นประกอบ  
จำกัด, ABAQUS การวิเคราะห์ที่ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3  
รูปแบบ ซึ่งมีระเบียบวิธีและผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน  
ดังนี้คือ

1. วิเคราะห์เมื่อใบพัดกำลังหมุนด้วยความเร็ว 300  
รอบต่อนาที พบว่าความเค้นสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นที่ผิว  
ของใบพัดจะมีตำแหน่งสลับไปมาระหว่างด้านหน้าและ  
ด้านหลัง ที่บริเวณขอบด้านหัวของใบพัด โดยจะมีความ  
เค้นสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 4000 Pa และ -5000  
Pa ตามลำดับ ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่จุดยึดทั้ง 2  
จุดของใบพัดมีค่าประมาณ 10 MPa
2. วิเคราะห์เมื่อใบพัดหยุดนิ่งและมีอากาศไหลปะทะ  
ที่ทางด้านหลังของใบพัด พบว่าความเค้นสูงสุดและ

ต่ำสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 800 Pa และ -400 Pa เกิดขึ้นที่ด้านหลังและด้านหน้าของใบพัด ตามลำดับ และมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 11.65 MPa ที่ตำแหน่งจุดยึดของใบพัด

3. วิเคราะห์เมื่อใบพัดหยุดนิ่งและมีอากาศไหลปะทะที่ทางด้านหน้าของใบพัด พบว่าความดันเงจสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 815 Pa และ -400 Pa เกิดขึ้นที่ด้านหน้าและด้านหลังของใบพัด ตามลำดับ และมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 11.93 MPa ที่ตำแหน่งจุดยึดของใบพัด

จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 รูปแบบนี้ มีความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งจุดยึดของใบพัดเหมือนกัน อันเป็นผลเนื่องมาจากความเค้นดัดที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของใบพัด อีกทั้งยังพบว่าใบพัดที่ได้ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่นี้มีความแข็งแรงสามารถทนต่อลมที่มีความเร็ว 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่ไหลเข้ามาปะทะกับใบพัดได้ โดยพิจารณาจากค่าความเค้นสูงสุดที่มีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งแรงต่ำสุดของวัสดุผสมที่ถูกนำมาใช้ทำโครงสร้างใบพัดที่มีค่าเท่ากับ 40 MPa นั่นเอง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันไทย-เยอรมันที่ได้สนับสนุนเงินทุนสำหรับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณบริษัท ไทยไดนามิคมาสเตอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเรื่องข้อมูลในงานวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] Chaiworapuek, W., Buranarote, J., Wanrarueng, A. and Kittichaikarn, C. (2004). Numerical Analysis of Flow in the Turbine Pump for Efficiency Improvement, proceedings of The 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, Nakhon Rachasima, Thailand.

[2] Chaiworapuek, W., Jean-Yves Champagne, J.Y., El Hajem, M. and Kittichaikarn, C. (2009). An Investigation of the Water Flow past the Butterfly Valve, proceedings of The 10th Asian International Conference on Fluid Machinery, Kuala Lumpur Malaysia.

[3] Munson, B.R., Young, D.F. and Okiishi T. H. (2002), Fundamental of fluid mechanics, 4<sup>th</sup> Edition, John Wiley&Sons, USA.

[4] Lakonchai, N., Kittichaikarn, C. and Kiattiwat, T. (2012). A Study of Flow over a 2 Kilowatt Vertical Axis Wind Turbine, proceedings of The 16th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering, Chiang Mai, Thailand.