

การปรับมุมปะทะของใบพัดกังหันลมโดยใช้คุณสมบัติการเสียรูปแบบควบคู่ ในวัสดุคอมโพสิต

Adjusting the Angle of Attack of Wind Turbine Blade by Using the Coupled Deformation Properties of Composite Materials

นพพล สมพงษ์ และพงศ์ธร พรหมบุตร *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
ติดต่อ: pongton.p@ku.ac.th, +66(0)-2797-0999 ต่อ 1809, +66(0)-2759-4576

บทคัดย่อ

กังหันลมผลิตไฟฟ้าทำงานได้ดีในสภาพความเร็วลมที่ต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการทำงานของใบพัดขณะทำงานด้วย ในกังหันลมขนาดใหญ่จะมีการใช้กลไกพิเศษในการปรับมุมปะทะของใบพัดขณะกำลังทำงานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง และทำงานได้ในย่านความเร็วลมที่กว้างขึ้น ทั้งยังช่วยลดความเค้นในใบพัดทำให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามการปรับมุมปะทะในกังหันขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานภายนอกในการควบคุมกลไกดังกล่าวด้วย จึงมีความซับซ้อนเกินไปสำหรับกังหันลมขนาดกลางและขนาดเล็ก งานวิจัยนี้สนใจการปรับมุมปะทะของใบพัดกังหันลมโดยใช้คุณสมบัติการเสียรูปแบบควบคู่ในวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากเราสามารถจัดเรียงชั้นวัสดุให้เกิดคุณสมบัติการเสียรูปแบบควบคู่ในการดัดและการบิด (bend-twist coupling) นั่นคือเมื่อลมพัดเข้าหากังหันจะทำให้เกิดการแอ่นเนื่องจากโมเมนต์ดัด และการแอ่นดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดการบิดตัวของใบพัด โดยไม่ต้องใช้กลไกพิเศษหรือแหล่งพลังงานจากภายนอกเลย อีกทั้งในงานที่ผ่านมาพบว่าใบพัดที่มีคุณสมบัติดัดและบิดนั้น จะมีสมรรถภาพในการผลิตพลังงานที่ความเร็วลมต่ำได้เพิ่มขึ้น ในงานนี้จึงได้จำลองใบพัดกังหันลม AWT-27 ความยาว 14.4 เมตร และวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยสนใจความสามารถในการแอ่นและบิดของใบพัดจากคุณสมบัติการเสียรูปของวัสดุคอมโพสิต ภายใต้ภาระกรรมที่ประมาณมาจากความเร็วลม 5, 7 และ 9 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นย่านความเร็วลมต่ำ และใช้ค่าดัชนีความเสียหายในตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งผลที่ได้พบว่าระยะแอ่นและมุมบิดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น และไม่เกิดความเสียหายในสภาวะดังกล่าว ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มความเป็นไปได้ในการใช้ใบพัดคอมโพสิตที่มีคุณสมบัติดัดและบิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีความเร็วลมต่ำดังเช่นประเทศไทย

คำหลัก: กังหันลมผลิตไฟฟ้า, วัสดุคอมโพสิต, การเสียรูปแบบควบคู่, ไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Wind turbine can work well in different condition of wind speed, so it needs to control the blade during operating. For the large wind turbine, it often uses adjusting the attack of angle by pitching to create maximum efficiency and alleviate fatigue load on blade, which makes the lifetime longer. However,

this method will require a special mechanism and external power source to control those mechanisms. It is too complicated for middle and small size of wind turbines. In this paper focuses on adjusting the attack of angle by using bend-twist coupling properties in composite materials, because in the past has presented a bend-twist blade can increase energy production at low wind speed. In this work, the simulation of wind turbine blades AWT-27 Length 14.4 meters is analyzed with finite elements methods by MSC Patran/Nastran program. Wind load on wind turbine is approximated from wind speed 5, 7 and 9 m/s. Significant results show deformation, stress and failure index revealing on turbine blade and show a possible trend to use of composite blades to adjusting angle of attack to increase the efficiency of electricity generation in areas with low wind speeds, such as Thailand.

Keywords: wind turbine, composite materials, bend-twist coupling, finite element

1. บทนำ

เนื่องจากที่ความเร็วลมแตกต่างกัน ใบพัดกังหันลมจะทำงานได้ดีในมุมปะทะที่ต่างกัน เป็นผลให้การควบคุมพฤติกรรมของใบพัดขณะทำงานมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมใบพัดแบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ การควบคุมแบบแอกทีฟ (Active Control) เป็นการใช้เซนเซอร์ส่งสัญญาณไปยังกลไกพิเศษที่เพิ่มเข้าไปในกังหันเพื่อใช้ในการปรับลักษณะของใบพัดให้เหมาะสมกับความเร็วลม และอีกวิธีคือการควบคุมแบบพาสซีฟ (Passive Control) เป็นการใช้คุณสมบัติการเสียรูปแบบควบคุมของวัสดุคอมโพสิตในการควบคุมลักษณะของใบพัดเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนไป การศึกษาการควบคุมพฤติกรรมของใบพัดขณะทำงานเพื่อให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพค่อนข้างได้รับความนิยมในช่วงสองสามทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากปัญหาทางด้านพลังงานค่อนข้างได้รับความสนใจสูงนั่นเอง

Scott J. Johnson, C.P. "Case" van Dam and Dale E. Berg [1] ได้กล่าวถึงเทคนิคการควบคุมใบพัดแบบแอกทีฟ โดยได้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือการควบคุมลักษณะตัวกังหันลม และการควบคุมการไหลของอากาศ ประโยชน์ที่ได้คือสามารถจำกัดโหลดจากแรงลมที่นำไปผลิตพลังงานได้อย่างเหมาะสม ลด

โหลดความล้าบนใบพัด และเพิ่มสมรรถภาพในการผลิตพลังงาน

Dale E. Berg และคณะ [2] ได้ศึกษาผลของการควบคุมชายปีกหลัง (Trailing Edge) ของใบพัดกังหันลม ให้สามารถปรับหักขึ้นหรือหักลงได้ตามความเหมาะสมเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนไป ซึ่งได้ทำการทดลองกับกังหันขนาด 1.5 และ 5 เมกะวัตต์ พบว่าการปรับชายปีกหลังที่เหมาะสมสามารถช่วยผลิตพลังงานได้เพิ่มขึ้น 10-15% รวมทั้งสามารถลดโหลดความล้าบริเวณโคนใบพัดได้

การควบคุมแบบแอกทีฟมีข้อดีที่มีความแม่นยำในการปรับลักษณะของใบพัดให้เหมาะสมกับความเร็วลมที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถลดโหลดความล้าจากความเร็วลม และเพิ่มความสามารถในการผลิตพลังงานได้ แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมแบบแอกทีฟนี้จะนิยมใช้กับใบพัดขนาดใหญ่เท่านั้น เนื่องจากจำเป็นต้องเพิ่มกลไกพิเศษในการปรับลักษณะของใบพัดเข้าไปในตัวกังหัน และยังต้องใช้อัลกอริทึมที่ซับซ้อนร่วมกับพลังงานที่ป้อนเข้าไปเพื่อควบคุมกลไกเหล่านั้น ทำให้มีมูลค่าเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในใบพัดที่ไม่ใหญ่มากนักการควบคุมใบพัดแบบพาสซีฟจึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากกว่า

James Locke และ Ulyses Valencia [3] ได้ทำการจำลองและวิเคราะห์ใบพัดกังหันลมขนาด 9.2 เมตร ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และทำการ

ปรับเปลี่ยนมุมการวางชั้นของวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้เกิดการเสียรูปแบบดัดและบิด (Bend-Twist Coupling) รวมทั้งเปลี่ยนวัสดุจากใยแก้ว (E-Glass Fiber) เป็นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) ในส่วนสปาร์เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของใบพัดที่จะเกิดขึ้น พบว่าสามารถลดโหลดการโก่งได้เนื่องจากสปาร์ที่ทำจากวัสดุใหม่มีความหนาแน่นลดลง และมีน้ำหนักลดลงทำให้โหลดความล้าเนื่องจากน้ำหนักลดลงด้วย ส่วนการบิดของใบพัดที่เกิดจากการเปลี่ยนมุมการวางชั้นของวัสดุคอมโพสิตอย่างเหมาะสมช่วยลดโหลดความล้าจากแรงลมได้

Marcin Luczak และคณะ [5] ได้ทดสอบในขอบเขตสถิตยศาสตร์และพลศาสตร์ สำหรับการเสียรูปแบบดัดและบิดในโครงสร้างของใบพัดกังหันลม โดยการศึกษาใบพัดต้นแบบและใบพัดที่ทำการปรับปรุงการวางชั้นของวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้เกิดการดัดและบิด โดยมีจุดประสงค์เพื่อแสดงการประเมินความสามารถของวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันในการวัดการเสียรูปแบบดัดและบิด และใช้ผลการทดสอบที่ได้ปรับปรุงการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ทันสมัยยิ่งขึ้น

จะเห็นว่าในการศึกษาการควบคุมแบบแพชซีฟส่วนใหญ่แล้วจะทำการคุณสมบัติการเสียรูปควบคุมแบบดัดและบิดในการทำให้มุมปะทะของใบพัดเปลี่ยนแปลง ซึ่งแม้จะไม่มีควมแม่นยำเท่าการควบคุมแบบแอ็กทีฟ แต่จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเพิ่มพลังงานและลดภาระโหลดบนตัวใบพัด ทำให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น ทั้งยังไม่จำเป็นต้องมีกลไกพิเศษใดๆ เพิ่มเข้าไปในกังหัน ทำให้มีต้นทุนที่ต่ำกว่าและการบำรุงรักษาที่ง่ายกว่า และพบว่าการออกแบบใบพัดให้ดัดและบิดได้เองนั้นยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันที่ความเร็วลมต่ำได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพื้นที่ที่มีความเร็วลมไม่มากนักดังเช่นประเทศไทย เป็นต้น

ในบทความนี้ได้มุ่งเน้นในส่วนของการออกแบบใบพัดให้มีการปรับตัวแบบแพชซีฟได้ โดยใช้

การปรับเปลี่ยนมุมการวางชั้นของวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้เกิดคุณสมบัติการเสียรูปแบบดัดและบิดกับใบพัดกังหันลมขนาดกลาง (10-25 เมตร) และใช้โหลดจากความเร็วมประมาณ 5 – 9 เมตรต่อวินาที เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกังหันลมในประเทศไทย

2. การวิเคราะห์วัสดุคอมโพสิต

ในงานนี้เราใช้การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม MSC Patran/Nastran ซึ่งตัวโปรแกรมจะใช้ทฤษฎีคลาสสิกอลลามิเนชัน (Classical Lamination Theory)[10] ในการคำนวณพฤติกรรมของวัสดุคอมโพสิต ซึ่งเป็นทฤษฎีที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการสร้างแบบจำลองและความแม่นยำของผลจึงได้ทำการวิเคราะห์วัสดุคอมโพสิตในชั้นทดลองง่าย ๆ โดยกำหนดชั้นงานเป็นแผ่นลามิเนตแกรไฟต์-อีพอกซี มีขนาด 1 X 1 เมตร มีการวางชั้นแบบ $[0/90]_s$ ถูกตรึงไว้ด้านหนึ่ง อีกด้านถูกดึงด้วยแรง 40 kPa แต่ละชั้นของไฟเบอร์มีความหนา 0.127 มิลลิเมตร และมีคุณสมบัติทางกลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของแกรไฟต์อีพอกซีแบบเส้นใยเรียงตัวทิศเดียว (unidirectional lamina)

Longitudinal Young's modulus, E_1	145.4 GPa
Transverse, Young's modulus, E_2	9.99 GPa
Poisson Ratio, ν_{12}	0.30
Shear Modulus, G_{12}	5.688 GPa
Density, ρ	1535.68 Kg/m ³
Longitudinal tensile strength, X_T	1,778 MPa
Longitudinal compressive strength, X_C	1,731 MPa
Transverse tensile strength, Y_T	55.20 MPa
Transverse compressive strength, Y_C	294 MPa
Interlaminar shear strength, S	101.2 MPa

2.1 Classical Lamination Theory [8]หา stiffness matrix ในทิศทาง X-Y ($[\bar{Q}]_k$) จาก

$$S = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[Q] = S^{-1} \quad (2)$$

$$[\bar{Q}]_k = [T]^{-1}[Q][T]^T \quad (3)$$

โดย T คือ transformation matrix ที่ใช้หาคุณสมบัติของแผ่นลามิเนตในกรณีที่ระบบแกนวัสดุไม่ได้้อยู่ตามแนว X-Y

เมตริกซ์แสดงคุณสมบัติของแผ่นลามิเนต (A, B, D) หาได้จากสมการ (4)-(6)

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1}) \quad (4)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) \quad (5)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (6)$$

โดย z เป็นตำแหน่งของชั้นวัสดุตามความหนา

เมตริกซ์ A, B, D ที่ได้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์ [N] และโมเมนต์ลัพธ์ [M] กับ Midplane Strains $[\epsilon_i^0]$ และ Curvature $[K_i]$ ของแผ่นลามิเนต จาก

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix} \quad (7)$$

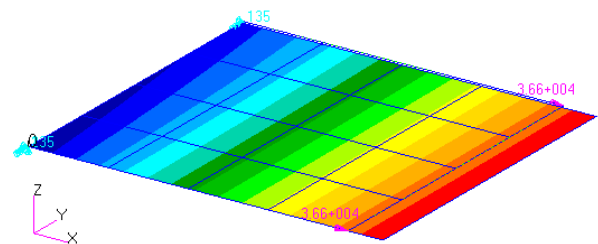
$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x^0 \\ \epsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix} \quad (8)$$

และสุดท้ายหาความเค้นของวัสดุคอมโพสิต จาก

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (9)$$

2.2 ไฟไนต์เอลิเมนต์

ทำการสร้างรูปทรงแผ่นลามิเนต และสร้างเอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม MSC Patran พร้อมกับใส่คุณสมบัติของวัสดุ (ตารางที่ 1) โดยจัดเรียงชั้นของลามิเนตแบบ [0/90]_s ใส่เงื่อนไขขอบ และแรงที่กระทำให้ครบถ้วน เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนของการวิเคราะห์ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปวิเคราะห์ผ่าน MSC Nastran และผลที่ได้จะถูกนำมาแสดงผ่าน MSC Patran อีกครั้งหนึ่งดังตัวอย่างในรูปที่ 1

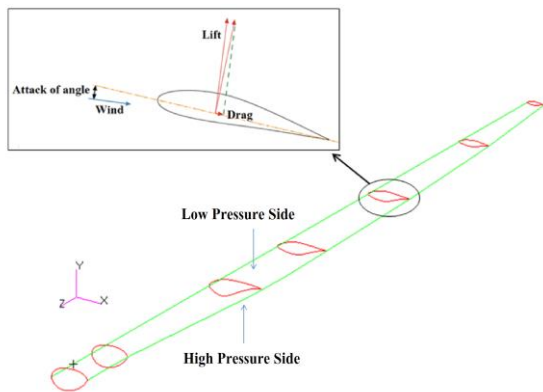


รูปที่ 1 ลักษณะผลของ Displacement จากโปรแกรม MSC Patran/Nastran

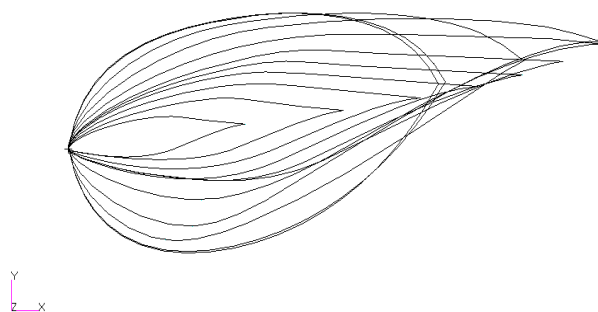
ผลที่ได้จากการคำนวณและจากโปรแกรม MSC Patran/Nastran ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมากเช่น ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ชั้น 0 องศาในแนวเส้นใยมีค่า -35.7 MPa และในแนวขวางเส้นใยมีค่า -8.04 MPa แสดงว่ากระบวนการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้มีความน่าเชื่อถือ เพราะมีความสอดคล้องกับทฤษฎี

3. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในด้านต่างๆ ได้ ใบพัดกังหันลม AWT-27 ขนาด 14.37 เมตร [4] ซึ่งเคยผ่านการทดสอบแล้ว ได้ถูกจำลองผ่านโปรแกรม Pro-Engineer และอ้างอิงวิธีการสร้างจาก [11] รูปทรงใบพัดที่ได้แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3



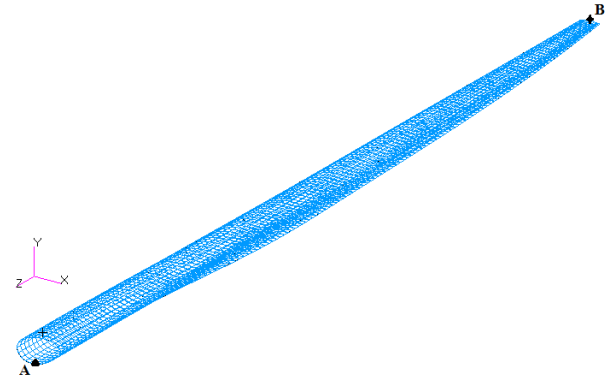
รูปที่ 2 รูปทรงของใบพัดกังหันลม



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของใบพัดกังหันลมตามความยาว

ต่อมานำมาสร้างเอลิเมนต์ใน MSC Patran โดยทำการ mesh แบบ Iso mesh รูปร่างเอลิเมนต์เป็นแบบ Quad จำนวนเอลิเมนต์ประมาณ 2,700 เอลิเมนต์ดังรูปที่ 3 ต่อมาทำการยึดทุกเอลิเมนต์ที่โคนไม่ให้ขยับและไม่ให้หมุนตามลักษณะจริง และใส่โหลดที่ประมาณจากความเร็วลมต่างๆ ลงบนใบพัด ซึ่งในเบื้องต้นนี้ได้วิเคราะห์โดยใช้โหลดอย่างง่ายซึ่งคำนวณมาจากสมการแบร์นูลลี เพื่อดูแนวโน้มการบิดและแอ่นของตัวใบพัด วัสดุที่ใช้คือแกรไฟต์-อีพอกซี ซึ่งมี

คุณสมบัติตามตารางที่ 1 โดยกำหนดให้มีการวางชั้น 4 ชั้น แต่ละชั้นหนา 1.05 มิลลิเมตร และทำมุม 20 องศาในแนวเดียวกันทั้งผิวบนและล่างของใบพัด เพื่อเพิ่มความสามารถในการตัดและบิด [6] ของวัสดุคอมโพสิต



รูปที่ 3 ลักษณะเอลิเมนต์ของใบพัดกังหันลม

4. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์เบื้องต้น ได้จำลองใบพัดให้อยู่ในสภาพที่ตัวใบพัดตามยาวขนานอยู่กับพื้น ด้านซ้ายปีกหน้าหันลงล่าง ส่วนซ้ายปีกหลังหันขึ้นด้านบน และไหลจากความเร็วลม 5, 7 และ 9 m/s กระทำที่ด้านความดันต่ำ (Low Pressure) และวิเคราะห์แบบเชิงเส้น เพื่อความง่ายในการดูแนวโน้มการแอ่นและบิดตัวของใบพัดจึงสมมติให้ใบพัดอยู่ในสภาพที่ไม่หมุน ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญได้แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 การแอ่นและการบิด

ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ใบพัดแอ่นสูงสุด 31.25 มิลลิเมตร และบิด 0.26 องศา ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที ใบพัดแอ่นสูงสุด 47.66 มิลลิเมตร และบิด 0.35 องศา ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที ใบพัดแอ่นสูงสุด 65.55 มิลลิเมตร และบิด 0.47 องศา

4.2 ความเค้น

ในช่วงความเร็วลมต่างๆ โหลดที่กระทำบนใบพัดที่มีผลต่อความเค้นประกอบไปด้วย แรงลม น้ำหนัก และแรงเหวี่ยง เนื่องจากได้สมมติว่าใบพัดไม่หมุน แรงเหวี่ยงจึงเป็นศูนย์ เมื่อสนใจความเค้นสูงสุดในแนวเส้นใย และแนวขวางเส้นใย จะพบว่าความเค้นที่สูงที่สุด

ในแต่ละชั้นของวัสดุคอมโพสิตจะอยู่บริเวณโคนด้านล่างของใบพัดและจะมากที่สุดที่ชั้นในสุดของวัสดุคอมโพสิต (จุด A จากรูปที่ 3) ในทุกๆ ความเร็วลมซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการแอ่นตัวของใบพัด ส่วนความเค้นที่ต่ำที่สุดจะอยู่บริเวณปลายของใบพัด (จุด B จากรูปที่ 3) ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อใบพัด

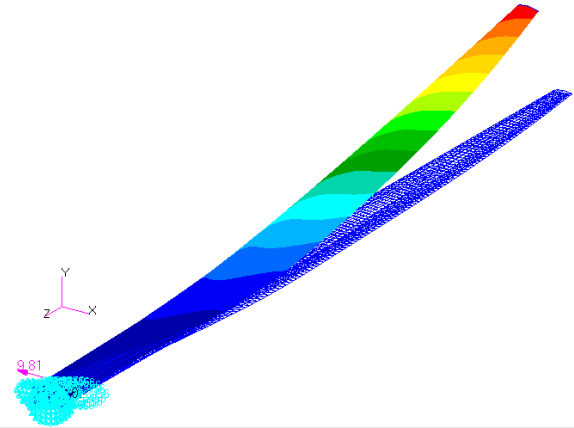
ตารางที่ 3 ความเค้นสูงสุดในแนวเส้นใย และแนวขวางเส้นใยของแต่ละชั้นที่เกิดบนใบพัด

Wind Speed (m/s)	Layer	Max Stress Fiber Dir. (MPa)	Max Stress Transverse Dir. (MPa)
5	1	6.85	0.88
	2	5.76	0.88
	3	4.83	0.87
	4	4.97	0.87
7	1	4.14	0.54
	2	3.49	0.53
	3	2.92	0.53
	4	3.01	0.52
9	1	2.11	0.27
	2	1.78	0.27
	3	1.49	0.27
	4	1.53	0.27

4.3 ดัชนีความเสียหาย

ดัชนีความเสียหาย (Failure Index) เป็นเกณฑ์ของวัสดุที่บ่งบอกถึงความปลอดภัยในการใช้ชิ้นงานนั้นๆ โดยถ้าดัชนีความเสียหายมีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่าชิ้นงานมีความปลอดภัยในการใช้งาน และถ้าดัชนีความเสียหายมีค่ามากกว่า 1 นั่นคือชิ้นงานจะเกิดความเสียหายหรือพังได้ โดยในงานนี้พบว่าดัชนีความเสียหายมีค่าสูงสุดประมาณ 0.02 เกิดขึ้นเมื่อใช้โหลดความเร็วลม 9 m/s ตำแหน่งที่เกิดอยู่ที่เดียวกับจุดที่มีความเค้นสูงสุดคือที่โคนใบพัด นั้น

หมายถึงใบพัดไม่เกิดความเสียหายหรือเสียหายน้อยมาก



รูปที่ 4 ลักษณะการแสดงผลด้วย MSC/Patran หลังวิเคราะห์ผ่าน MSC/Nastran

5. สรุปผล

การตัดและบิดของใบพัดกังหันลม ได้รับการยืนยันจากหลายงานวิจัย ว่ามีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานได้ ทั้งยังช่วยลดโหลดความล้าบนใบพัดช่วยให้อายุใช้งานยาวนานขึ้น โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม MSC Patran/Nastran พบว่าการใช้คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้ใบพัดปรับดัดและบิดได้เองนั้นทำได้จริง แต่ในพื้นที่ๆ มีความเร็วลมต่ำจะทำให้เกิดการดัดและบิดค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พบว่าดัชนีความเสียหายมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์ในการเกิดความเสียหายค่อนข้างมากนั้นหมายถึงเราอาจจะสามารถพัฒนาใบพัดกังหันโดยการลดความหนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการตัดและบิดของกังหันได้ ทั้งนี้จะต้องมีการปรับปรุงโหลดให้เหมาะสมและคำนึงถึงสภาวะลมพายุด้วย ซึ่งในขั้นตอนต่อไปจะได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้โหลดจากทฤษฎี BEM (Blade Element Momentum) ซึ่งจะทำให้ได้โหลดสำหรับใบพัดกังหันลมขณะที่ทำงานที่มีความเหมือนจริง และสามารถตรวจสอบความสามารถในการหาพลังงานได้ด้วย

อย่างไรก็ดี เมื่อทำการเปรียบเทียบมุมบิดที่เกิดขึ้นกับงานที่ใช้ใบพัดชนิดเดียวกันและใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับการจำลองโครงสร้างทางอากาศพลศาสตร์คำนวณหามุมบิดของใบพัด [4] พบว่าผลที่ได้จะมีแนวโน้มการบิดที่เหมือนกัน แต่ค่ามุมบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นในงานนี้จะมีค่าค่อนข้างน้อยกว่าอยู่มาก ซึ่งความแตกต่างอาจเกิดจากการวางเงื่อนไขขอบที่ต่างกัน ความผิดพลาดของรูปทรงใบพัด และความไม่สมจริงของโหลดที่กระทำบนใบพัด ซึ่งคาดว่าสาเหตุหลักที่ทำให้ผลแตกต่างกัน โดยโหลดที่ประมาณจากสมการแบร์นูลลีจะมีทิศทางในแกน Y เพียงอย่างเดียว ซึ่งในขั้นตอนต่อไปจะได้ทำการคำนวณโหลดจากทฤษฎี BEM โดยโหลดที่ได้จะเป็นแรงที่กดใบพัดในทิศทางแกน Y และทอร์กที่กระทำในทิศตั้งฉากกับแรงดังกล่าวซึ่งอาจช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการบิดที่มากขึ้นได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Scott J. Johnson, C.P. "Case" van Dam and Dale E. Berg (2008). Active Load Control Techniques for Wind Turbines, *Sandia National Laboratories*, Albuquerque, New Mexico, USA.
- [2] Dale E. Berg, David G. Wilson, Brian R. Resor, Matthew F. Barone and Jon C. Berg (2009). Active Aerodynamic Blade Load Control Impacts on Utility-Scale Wind Turbines, *Sandia National Laboratories*, Albuquerque, New Mexico USA.
- [3] James Locke and Ulyses Valencia (2004). Design Studies for Twist-Coupled Wind Turbine Blades, *National Institute for Aviation Research*, Wichita State University, Kansas, USA.
- [4] Alireza Maheri, Siamak Noroozi, John Vinney (2007). Application of Combined Analytical/FEA Coupled Aero-Structure Simulation in Design of Wind Turbine Adaptive Blades, *Journal of Renewable Energy*, Vol.32, pp.2011–2018.
- [5] Marcin Luczak (2011). Dynamic Investigation of Twist-Bend Coupling in a Wind Turbine Blade, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, Vol.49, No.3, pp. 765-789.
- [6] Paul S. Veers Gunjit Bir Donald Lobitz (1988). Aeroelastic Tailoring in Wind-Turbine Blade Applications, *Sandia National Laboratories*, Albuquerque, New Mexico, USA.
- [7] R.F. Nicholls-Lee, S.R. Turnock, S.W. Boyd (2012). Application of Bend-Twist Coupled Blades for Horizontal Axis Tidal Turbines, *Journal of Renewable Energy*, Vol.50, pp.541-550.
- [8] Isaac M. Daniel and Ori Iahai (1994). Engineering Mechanics of Composite Materials, Oxford University Press, New York.
- [9] M. Jureczko, M. Pawlak, A. Mezyk (2005). Optimisation of Wind Turbine Blades, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.167, pp.463–471.
- [10] MSC.Nastran Linear Static Analysis User's Guide (2003).
- [11] Shawn P. Lawlor, Bellevue, Wash (1995). Wind Turbine Rotor Blade, United States Patent, Patent No. 5,474,425.
- [12] P. J. Williams, A. S. El-Bakry, and R. A. Tapia (1999). Using Indicators in Finite Termination Procedures, *Sandia National Laboratories*, Albuquerque, New Mexico, USA.
- [13] David Verelst (2009). Flexible Wind Turbine Blades : a FEM-BEM Coupled Model Approach, Delft University of Technology, *Graduation Report 2009*.