

การออกแบบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ ด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล

Study of 20 KW wind turbine blade using Computational Fluid Dynamics Program

วิรัช โยชนรินทร์¹, สว่าง ชาติทอง²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร (02) 5493432
โทรสาร (02) 5493497, E-mail: wirachairoynarin@yahoo.com

Wirachai Roynarin¹, Sawang Chatthong²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT),
Thanyaburi, Pathumthani, Thailand, 12110, Tel. 02-5493432 Fax. 02-5493497

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและออกแบบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์การไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFdesign V9 เข้ามาช่วยในการจำลองการไหลของอากาศผ่านใบกังหันลม ซึ่งต้นแบบที่ได้ทำการศึกษานั้นจะมีรูปแบบของใบกังหันลมอยู่ 2 แบบ คือ แบบใบกังหันลมที่มีมุมบิดที่โคนใบ 8 องศาและที่ปลายใบบิด 2 องศา กับใบกังหันลมที่มีมุมบิด 8 องศา ตลอดความยาวใบ โดยกำหนดให้ใบกังหันลมทั้งสองแบบนี้มีความยาวใบเท่ากัน คือ 6 เมตร ในการออกแบบใบกังหันลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมเริ่มต้นที่ 2.5 เมตรต่อวินาที โดยมีกำลังผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทำงานในประเทศไทย ซึ่งมีความเร็วของลมที่ต่ำ ผลจากการศึกษาในทั้งสองกรณี สรุปได้ว่าใบกังหันลมที่ได้ทำการออกแบบรูปทรงไว้ทั้งสองแบบ สามารถให้ประสิทธิภาพของการทำงานสูงสุดและให้แรงบิดของการทำงานที่ต่างกัน ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้จะนำมาทำการสร้างต้นแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ต่อไป

คำสำคัญ: การออกแบบกังหันลม, การออกแบบใบกังหันลม, การวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์การไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Abstract

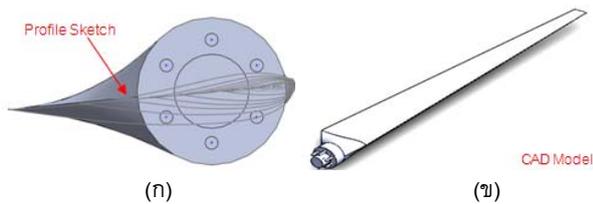
The objective of this research is to study and design the Characteristics of 20 kW wind turbine blade. The commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) is used as the numerical tools to the investigation process. The CFD technique is applied to the CAD model, which are difference in geometries and design. First model is the blade of staling angle at the root of 8

degree and twist to 2 degree along to the blade tip, and the second model was 8 degree at the blade root and no twist thought the blade tip. The wind machine was design to cut in 2.5 m/s wind speed and generates maximum power output at 9 m/s suitable to applied for low wind speed zone such the areas in tropical countries and Thailand wind resources. The results of the investigation and study could be applied to the experimental and modeling to the prototypes making in furthers.

Keywords: Wind Turbine Design, Blade design, CFD

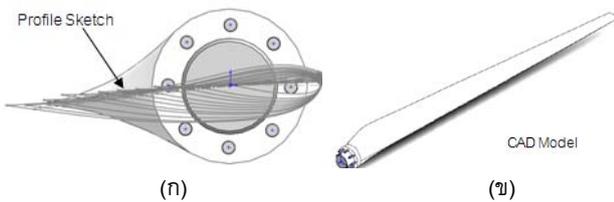
1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานทดแทนมีเพิ่มมากขึ้น ทั้งในรูปแบบของพลังงานลม น้ำและแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานดังกล่าวนั้น จะสามารถนำมาใช้งานได้ ตั้งผ่านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆมากมาย เพื่อแปลงรูปพลังงานมาเป็นพลังงานในรูปแบบไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้ในปัจจุบัน การใช้พลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นที่จะต้องมามีเครื่องมือที่มีคุณภาพ แต่ในปัจจุบันเครื่องมือต่างๆที่นำมาทำการแปลงรูปของพลังงาน เช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งกังหันลมที่นำมาทำการติดตั้งยังคงมีปัญหาหลายด้านเนื่องจากในประเทศไทยนั้น ระดับของความเร็วลมจะต่ำกว่าเมื่อนำมาเทียบกับทางต่างประเทศ จึงส่งผลทำให้ชุดอุปกรณ์ เช่น ชุดควบคุม (Controller) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตลอดจนใบกังหันลม ที่นำเข้ามาติดตั้งเกิดความเสียหาย ทั้งที่ถูกกระทำได้จากสภาวะของอากาศและองค์ประกอบอื่นอีกมากมาย ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการศึกษาและทำการออกแบบใบกังหันลม ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่เกิดความเสียหายให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ที่สามารถนำมาใช้งานได้ในประเทศไทยที่ระดับความเร็วลมต่ำ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) แสดง Profile ใบของการขึ้นรูปใบกังหันลมที่ได้จากการออกแบบ
(ข) แสดงรูปทรงใบกังหันลมต้นแบบที่โคนใบและปลายใบบิด 8 องศา

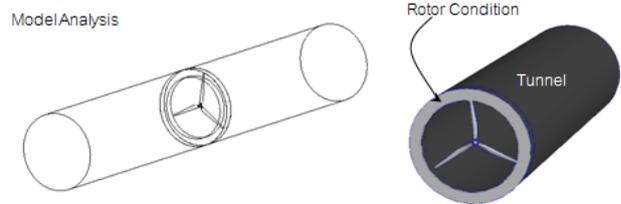
เนื่องจากการออกแบบและสภาวะการใช้งานจริงนั้นมีความแตกต่างกันมา ในเรื่องของมุมและการเคลื่อนของอากาศผ่านแพนอากาศ (Airfoil) ซึ่งยากต่อการสรุปและวิเคราะห์ผล ว่าจุดที่ดีที่สุดของการออกแบบใบอยู่ที่ใด จึงทำการศึกษาและออกแบบเพิ่มเติมในส่วนของ Profile ของใบกังหัน โดยทำการบิดองศาในการขึ้นรูปออกเป็น 4 มุมบิดคือ 2,4,6,8 โดยกำหนดให้ที่โคนใบบิด 8 องศา ปลายใบบิด 2 องศา ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 (ก) แสดง Profile ใบของการขึ้นรูปใบกังหันลมที่ได้จากการออกแบบ
(ข) แสดงรูปทรงใบกังหันลมต้นแบบที่โคนใบ 8 องศาและ ปลายใบบิด 2 องศา

จากปัญหาในการวิเคราะห์ในรูปแบบการไหล ที่สภาวะการทำงานจริงที่นั้นๆ ทำให้ยากต่อการสรุปและตีความ เมื่อนำมาทำการคำนวณผลด้วยมือ เพราะค่าตัวแปรที่ไม่รู้ค่ามากมายที่นำมาทำการคำนวณตลอดจนขอบเขตของปัญหาที่กว้าง ทั้งในเรื่องของเสียง การไหลตัดแพนอากาศ การไหลที่ปั่นป่วนหลังไหลผ่านใบกังหันลมแล้ว นอกจากนี้ยังมีเรื่องเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนเข้ามาเกี่ยวข้องอีก เหตุผลต่างๆเหล่านี้จึงเป็นปัญหาหลักที่ยากต่อการวิเคราะห์ในรูปแบบของเชิงตัวเลขที่ทำการคำนวณผลด้วยมือ

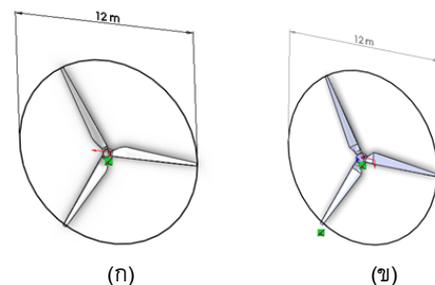
ดังนั้น จึงได้อาศัยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาในด้านวิศวกรรมการไหล ในรูปแบบและหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อจำลองสถานะของการทำงานในรูปแบบของโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยโปรแกรม CFdesign V9 ซึ่งเป็นโปรแกรมคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล เข้ามาช่วยในการประมวลผล เพื่อหาคำตอบที่ซับซ้อนที่ไม่สามารถคำนวณด้วยมือได้ จากหลักการดังกล่าว จะอาศัยต้นแบบที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทั้งรูปทรงของใบกังหันลม ตลอดจนโมเมนต์จำลอง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

2. การจำลองผลเชิงตัวเลข

ลักษณะของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ถูกจำลองขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบทั้งสองนั้น จะมีลักษณะของรูปแบบใบกังหันที่แตกต่างกันเฉพาะส่วนที่เป็นมุมบิดของใบพัด แต่องค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางใบ ความยาวใบเท่ากัน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 (ก) ต้นแบบใบกังหันลมที่โคนบิด 8 องศา ปลายบิด 2 องศา
(ข) ต้นแบบใบกังหันลมที่โคนใบและปลายใบบิด 8 องศา

จากรูปแบบการจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล CFdesign V9 ซึ่งเป็นโปรแกรมการคำนวณผลเชิงพาณิชย์ที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน โดยใช้วิธีการปรับค่าเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลองเพื่อความละเอียดของผลลัพธ์ ในการหาผลเฉลยของสมการอนุกรมมวลและโมเมนตัม รูปแบบและพฤติกรรมของการไหลของของไหลมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก และเสียเวลาในการคำนวณผลมาก จึงนำ CFdesign V9 มาทำการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น การคำนวณผลถูกทำการแบ่งออกเป็นสองส่วนที่สำคัญคือ โดเมนส่วนที่มีการหยุดอยู่กับที่และส่วนของโดเมนที่มีการเคลื่อนที่ ที่เกิดจากการหมุนไปพร้อมกับแกนอ้างอิง รูปแบบของความเร็วและความสัมพันธ์ของความเร็วสัมพัทธ์และความเร็วสมบูรณ์ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้เป็น [1]

$$\vec{v}_r = \vec{v} - (\vec{\Omega} \times \vec{r}) \quad (1)$$

เมื่อ \vec{v}_r คือ ความเร็วสัมพัทธ์ \vec{v} คือ ความเร็วสมบูรณ์ $\vec{\Omega}$ คือความเร็วเชิงมุมของการหมุนของกังหันลมแกนตั้ง \vec{r} คือ รัศมีของกังหันลมแกนตั้ง และการหมุนของโดเมนดังกล่าวทำให้เกิดแรงเกิดขึ้นสองพจน์ในระบบที่อยู่ในรูปของสมการโมเมนตัม [1] ซึ่งสามารถเขียนรูปแบบสมการให้อยู่ในลักษณะของความเร็วสัมพัทธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}_r) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}_r \vec{v}_r) + \rho(2\vec{\Omega} \times \vec{v}_r + \vec{\Omega} \times \vec{\Omega} \times \vec{r}) = -\vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} \quad (2)$$

พจน์ของ $\rho(2\vec{\Omega} \times \vec{v}_r)$ คือแรง Coriolis และ $\rho(\vec{\Omega} \times \vec{\Omega} \times \vec{r})$ คือแรงหนีศูนย์กลางโดยที่ p คือความดันสถิตย์ $\vec{\tau}$ คือเทนเซอร์ของความเค้น $\rho \vec{g}$ คือแรงโน้มถ่วงของโลกในที่นี้เทนเซอร์ของความเค้นหาได้จากกฎแรง

เงื่อนไขของนิวตันผนวกกับทฤษฎีของ Stokes' hypothesis ดังนี้

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \bar{v} + \nabla \bar{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \bar{v} I \right] \quad (3)$$

โดยที่ μ คือความหนืดของของไหล และ I คือยูนิทเทนเซอร์ ในการคำนวณเอลิเมนต์โดยการปรับค่าความละเอียดให้ขึ้นส่วนในการคำนวณผลหรือโดเมนที่กำหนดในขณะที่โดเมนนั้นเกิดการหมุน โปรแกรมก็จะทำการคำนวณความละเอียดตามค่าตัวแปรที่กำหนด โดยวิธีการหาค่าความต่าง ของผลเฉลยของเอลิเมนต์ ที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด ต่อความสัมพันธ์ ของโดเมนที่ใช้งาน ซึ่งเอลิเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเอลิเมนต์แบบ Tetrahedron ที่จะทำการสร้างให้กับใบกังหันลมทั้งสองชนิด โดยจะประกอบไปด้วยเอลิเมนต์ขนาด 3 mm เท่ากันทั้งสองโมเดล และจะมีเอลิเมนต์ ทั้งหมดทั้งหมด ในส่วนของใบกังหันลมทั้งสองเท่ากับ 115,750 เอลิเมนต์ ดังรูปที่ 5 (ก) และ (ข)



โคนใบบิต 8 ปลายบิต 2 องศา โคนใบและปลายใบบิต 8 องศา
รูปที่ 5 แสดงขนาดของเอลิเมนต์

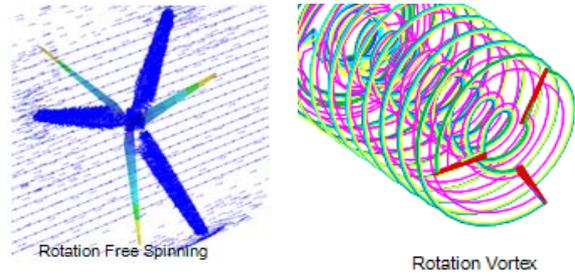
นอกจากนี้ที่อุโมงค์ลมจำลองจะประกอบไปด้วยเอลิเมนต์ขนาด 5 mm ทั้งหมด 97,500 เอลิเมนต์ที่ประกอบเข้าด้วยกัน จะเห็นได้ว่าที่บริเวณใบกังหันลมจะมีเอลิเมนต์ ที่มีขนาดเล็กกว่า และมีจำนวนเอลิเมนต์มากกว่าที่อุโมงค์ลมจำลองเพราะตามหลักวิชาไฟไนต์เอลิเมนต์ส่วนที่ต้องการรู้ผลมากที่สุดส่วนนั้นควรมีจำนวนเอลิเมนต์ละเอียดที่สุด ดังนั้นผลที่ได้จะเป็น ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบเอลิเมนต์ที่จุดต่อ

3. ผลลัพธ์และการวิจารณ์

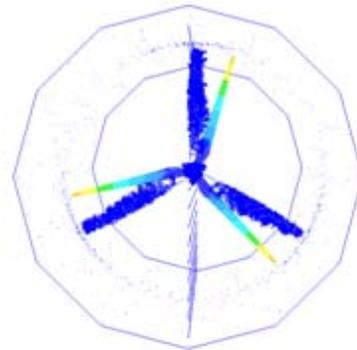
จากผลการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลทั้งสองรูปแบบ เพื่อคำนวณหาความเร็วรอบการหมุนของกังหันลม ในโหมดของ (Free Spinning) พบว่าใบกังหันลมต้นแบบที่มุมบิตที่โคนใบ 8 องศา ที่ปลายใบบิต 2 องศา ให้ความเร็วรอบการหมุนดีกว่าใบกังหันลม ที่โคนและปลายใบบิต 8 องศา ซึ่งใบกังหันลมชนิดแรกให้ความเร็วรอบการหมุนอยู่ที่ 98 รอบต่อนาที ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ส่วนใบกังหันลมที่โคนใบและปลายใบบิต 8 องศา จะให้ความเร็วรอบการหมุนอยู่ที่ 95 รอบต่อ นาที ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เท่ากัน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลที่ได้จากการคำนวณหาการรอบการหมุน

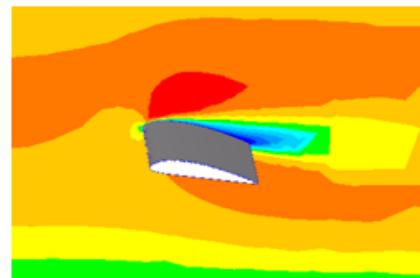
ในส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณผลแบบ Free spinning ในการหาการหมุน จึงนำความสัมพันธ์ที่ได้มาทำการคำนวณหาแรงบิดใช้งาน เพื่อจำลองสถานะของการทำงานจริง เพื่อทำการเปรียบเทียบผลระหว่างใบกังหันลมทั้งสองเพื่อให้แน่ใจและเป็นฐานข้อมูลหลักในการออกแบบต่อไป

จากผลการจำลองสถานการณ์ทำงาน เพื่อหาแรงบิดใช้งานของใบกังหันลมทั้งสองพบว่า ที่ใบกังหันลมชนิดแรก คือ มุมบิตที่โคนใบ 8 และปลายใบ 2 องศาให้แรงบิดใช้งานดีกว่า ใบกังหันลมที่ปลายและโคนบิต 8 องศา ซึ่งชนิดแรกได้แรงบิดใช้งานอยู่ที่ 615 N-m โดยประมาณ ส่วนใบบิต 8 องศาทั้งโคนและปลาย ให้แรงบิดใช้งานอยู่ที่ 598 N-m โดยประมาณ ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการวิเคราะห์เพื่อหาแรงบิดใช้งาน (CFD)

นอกจากนี้ ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายปีก (Tip Speed Ratio, TSR) จะมีการแปรผกผันกับรัศมีของกังหันลมกับความเร็วลมที่ใช้งาน ถ้าอัตราส่วนความเร็วปลายปีกมีค่ามากเกินไป ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกซึ่งแปรตามมุมปะทะจะน้อยลงตามไปด้วย จะส่งผลให้แรงที่กระทำต่อใบกังหันลดลงและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกังหันลมลดลงตามไปด้วย [3] จากการแปรค่าแรงบิดเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุมปะทะ และความเร็วสัมพัทธ์ที่เข้าสู่หน้าตัดของใบกังหันลมบริเวณใกล้ปีกกังหันลมสามารถแสดงได้ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงความเร็วสัมพัทธ์เพื่อหาแรงยกตัวที่ทำงานได้ดีที่สุด (CFD)

ความเร็วลมใช้งานที่ต่างกันนั้น ทำให้ได้พลังงานที่ได้จากลมนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่างกันไปด้วย เพราะทิศทางของความเร็วลมกับความเร็วขณะที่กังหันกำลังหมุนจะสัมพันธ์กันทางทฤษฎี เมื่อกังหันลมเริ่มหมุนความเร็วลมที่เข้ามาปะทะกับใบกังหันลมมีทิศทางเปลี่ยนไปจึงทำให้มุมปะทะเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและจะส่งผลถึงแรงบิดใช้งานด้วย โดยผลรวมของความดันที่จุดต่างๆในการวิเคราะห์ที่อุโมงค์ลมบริเวณทางเข้าจนถึงจากออกของลมในอุโมงค์ลมจำลอง (CFD Wind Tunnel) จะเป็นผลทำให้เกิดแรงที่เกิดขึ้นต่างกันในการทำงานสภาวะจำลองต่างๆกัน โดยสรุปไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วย CFD

Model	RPM	Torque	Lift Force	Drag Force	Resultant force	C _D	C _L	Ratio L/D
8°-8°	95	598	0.06	0.04	0.072	0.46	0.30	1.5
8°-2°	98	615	0.09	0.03	0.094	0.23	0.69	3

หมายเหตุ : 8°-8° คือ มุมบิดที่โคนใบและปลายใบ 8 องศา
8°-2° คือ มุมบิดที่โคนใบ 8 องศา และบิดที่ปลายใบ 2 องศา

4. สรุปผลและวิเคราะห์ผล

การคำนวณผลและจำลองสนามการไหลของอากาศภายในอุโมงค์ลมจำลองของใบกังหันลมทั้งสองชนิดด้วยโปรแกรม CFdesign V9 เพื่อหาความเร็วรอบการหมุนที่เหมาะสมภายใต้การวิเคราะห์ผลแบบ (Free Spinning) และ (Known Rotation Speed) เทียบกับการคำนวณผลต่างระหว่างการวิเคราะห์หาความเร็วรอบการหมุนใช้งานจริงที่ความเร็วลมต่างกันของใบกังหันลมทั้งสองโมเดล เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบและเลือกใช้ชนิดของใบในการผลิตชิ้นส่วนจริง เพื่อเป็นข้อมูลในการอ้างอิงสำหรับแนวทางการออกแบบสมัยใหม่ งานวิจัยนี้จึงถือว่าประสบความสำเร็จในขั้นต้น สำหรับการหาผลเฉลยต่างๆที่อยู่ในรูปแบบของความเร็วรอบการหมุน ความดัน ที่สนามการไหลและสามารถนำมาวิเคราะห์และมาพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ในอนาคตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่าน ในทีมงานกังหันลมความเร็วลมต่ำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Blazek, J., 2001. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications., Elsevier, Netherlands.
2. Freris, L.L., 1990. Wind Energy Conversion System. Prentice Hall, Great Britain.

3. Wilson, R.E. and Mckie, W.R. 1978. A comparison of aerodynamic analyses for the Darrieus rotor. Proc, Int., Wind Energy system, BHRA, Amsterdam.
4. Eggleston, D.M. and Stoddard F.S. Wind Turbine Engineering Design", Van Nostrand Company, 1987
5. Lindenburg C. Investigation into rotor blade aerodynamics. ECN-C-03-025, July 2003
6. Spera, A.D., Wind Turbine Technology: Fundamental Concept of Wind Turbine Engineering", ASME Press,
7. Manwell, J. F., McGowan J.G. and Rogers A.L., "Wind Energy Explained", John Wiley & Son, 2002
8. A.T. 1992. Hydraulic Compressible Flow Turbo machines, McGraw-Hill (UK)
9. Gatski T.B., "Turbulent Flows : Model Equations And Solution Methodology", in Handbook Of Computational Fluid Mechanics, Edited By Roger Peyret, Academic Press Ltd, (1986), London