การวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลมขนาด 1 kW เพื่อการสูบน้ำ
(Efficiency Analysis of 1 kW Wind Machine for Water Pumping)

ศิลปชัย เพิ่มพูล[1,*], วิรชัย โรยนรินทร์[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี ปทุมธานี

*ศิลปชัย เพิ่มพูล: E-mail, silapachai.p@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-2549-3400, เบอร์โทรสาร 0-2577-5029

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลมขนาด 1 kW เพื่อการสูบน้ำ โดยระบบสูบน้ำเป็นการใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้าและนำไฟฟ้าที่ได้มาสูบน้ำ ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีความเร็วลมเฉลี่ยที่แตกต่างกันออกไปตามภูมิประเทศ การศึกษาโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics (CFD)) โดยมีตัวแปรที่สำคัญที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันลม ซึ่งในการทดสอบในโปรแกรมนั้นจะใช้ช่วงความเร็วลมตั้งแต่ 2-10เมตรต่อวินาที ผลจากการวิเคราะห์พบว่าความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาทีซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยในเมืองไทยนั้นจะทำให้ใบกังหันหมุนที่ 185 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 200 VDC ซึ่งจากกราฟพลังงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ 300 วัตต์ นั้นคือ ผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลมนี้ 1.5 แอมแปร์ สามารถนำไปสูบน้ำได้ที่ความสูงน้ำ 20 เมตร ได้ปริมาณน้ำ 18,000 ลิตรต่อวันเฉลี่ย ซึ่งสามารถวัดเป็นค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ 45 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก: กังหันลมผลิตไฟฟ้า, การออกแบบกังหันลม, ระบบสูบน้ำ, CFD

Abstract

This paper presents the analysis of power coefficient of 1 kW wind machine for water pumping at various wind resources in Thailand. The Computation Fluid Dynamics (CFD) technique was used for this study. The parameters including wind speed from 2-10 m/s which the same blade characteristics were studied. The investigation results shown that at 4.5 m/s wind speed, the wind machine rotates of 185 rpm producing 300 watts power output. At this configuration, the power curve of wind machine generates of 1.5 Amps. At the consequence of the investigation results showed that the 1 kW wind machine would lift the water up to 20 meters water head on the flow rates of 18,000 liters per day. The power coefficient of the system was shown of 0.45 for furthers study.

Keywords: Wind Turbine, Turbine Design, Water Pumping, CFD

1. บทนำ

ในปัจจุบันการสูบน้ำทางกลด้วยพลังงานลมมีการสูญเสียกำลังกลสูงกว่าการสูบน้ำด้วยระบบไฟฟ้า เนื่องจากต้องส่งกำลังทางกลด้วยเพลาที่ขับจากแกนกังหันส่งกำลังมาที่เกียร์ทดพร้อมระบบเบรกและเชื่อมต่อระบบกับปั๊มซึ่งโดยจุดนี้จะทำให้สูญเสียกำลังกลไปมาก

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลมขนาด 1kW เพื่อการสูบน้ำ ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานลมโดยใช้กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละพื้นที่ก็มีความเร็วลมเฉลี่ยที่แตกต่างกันออกไปตามภูมิประเทศ โดยการศึกษานี้จะวิเคราะห์กังหันลมขนาด 1 kW ซึ่งกังหันลมจะเริ่มผลิตไฟฟ้าเมื่อความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะแปรเปลี่ยนตามความเร็วลมที่ปะทะใบกังหัน

ดังนั้นการวิเคราะห์นี้จะมีตัวแปรที่สำคัญคือ ความเร็วลม รูปร่างของใบกังหันลม จำนวนใบกังหันลม ความสูงของเสากังหันลม ระบบชุดควบคุม ระบบส่งกำลัง และรายละเอียด ทางวัสดุและความเข็งแรง โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีผลโดยตรงกับปริมาณน้ำที่สูบได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพลังงานลมและกังหันลม

การใช้ประโยชน์พลังงานลมโดยทั่ว ๆ ไปเพื่อวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ กล่าวคือการสูบน้ำ และการผลิตไฟฟ้า การที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จักต้องมีอุปกรณ์ที่เปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ของกระแสลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่ากังหันลม พิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วลม V พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในช่วงหนึ่งหน่วยเวลา จะมีกำลังลม P1 ที่ได้จากพลังงานจลน์ ดังนี้

$$Pw = \tfrac{1}{2} * (\rho AV) * V^2 = \tfrac{1}{2} \rho A V^6 \qquad (1)$$

เมื่อ

P_w = พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม (Watt)

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A = พื้นที่กวาดของใบกังหัน (m^2)

V = ความเร็วลม (m/s)

กังหันลมจะทำหน้าที่สกัดกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้นกำหนดให้ CP เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่งCP จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันจะสามารถสกัดได้จากกระแสลม ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนั้น [1, 2]

$$P = \tfrac{1}{2} * C_P \rho A V^3 \qquad (2)$$

เมื่อ

P = พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม (Watt)

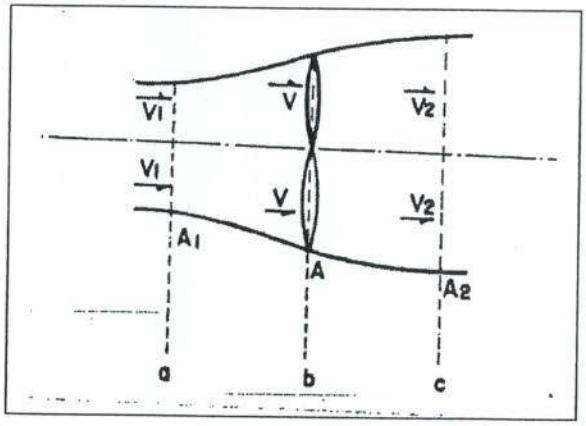
ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A = พื้นที่กวาดของใบกังหัน (m^2)

V = ความเร็วลม (m/s)

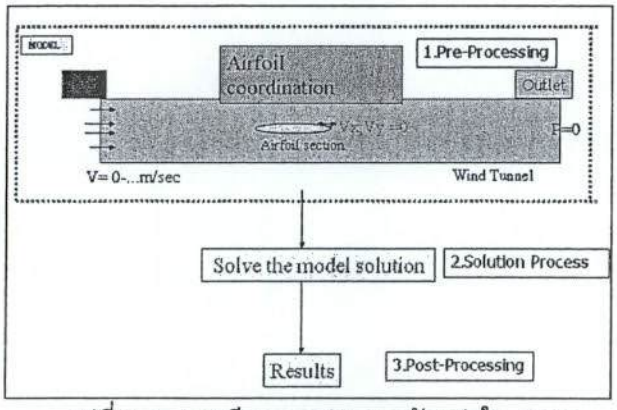
C_P = ประสิทธิภาพของกังหันลม

พิจารณากังหันลมที่มีพื้นที่หน้าตัดรับลม A ตั้งรับกระแสลมซึ่งมีความเร็วลม Vi ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความเร็วลมที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดต่างๆ ณ พื้นที่หน้าตัด A1, A และ A2 ของตำแหน่ง a, b, และ c มีค่าความเร็วลม V1, V, V2

การคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) ในนามของการคำนวณผลเชิงตัวเลข (Numerical Method) การแก้สมการต่างๆจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Technique) ที่เขียนจากสมการในสาขาต่างๆ เช่น กลศาสตร์ของ กลศาสตร์ของไหลประยุกต์ ไฟไนต์เอลิเมนต์ภาคการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล เป็นต้นผู้ใช้งานต่างจะใช้ CFD ในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้แก่ งานด้านของไหล เช่น การไหลของน้ำในระบบท่อ การไหลของอากาศ ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กังหันลม กังหันน้ำ พลศาสตร์ของไหลต่างๆ



รูปที่ 2 รายละเอียดการกำหนดตัวแปรใน CFD

จุดเด่นของวิธีการคำนวณผลด้วย CFD จะถูกใช้เพื่อทำการแก้ปัญหา ตั้งแต่ขอบเขตปัญหาง่ายๆ จนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อนมากเราจะใช้ CFD ในการปรับปรุงวิเคราะห์ในขั้นตอนการวิเคราะห์ไปในกระบวนการออกแบบ เพิ่มเครื่องมือช่วยในการกำหนดคุณสมบัติของชิ้นส่วนที่ใช้ในการคำนวณผลส่วนชิ้นส่วนที่มีความยุ่งยากมีความซับซ้อนและมีพื้นที่ในการคำนวณเยอะมากอาจจะต้องใช้การคำนวณชั้นสูง ตัวอย่างเช่น การคำนวณระบบระบายความร้อนของระบบต่างๆ

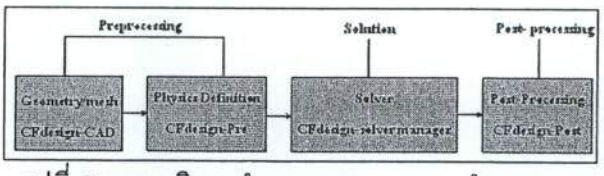
กระบวนการในการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างชิ้นงานแล้วทำการแบ่งชิ้นงานที่ต้องการคำนวณผลออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (Meshing) โดยมีรูปทรงง่ายๆ (สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม) เราเรียกชิ้นส่วนเล็กๆนั้นว่า "Element (เอลิเมนต์)" และชิ้นส่วนเล็กที่ทำการแบ่งนั้นจะต้องเชื่อมโยงต่อกันทั้งชิ้น

การทำงานโดยการแบ่งเอลิเมนต์ CFD จะทำการแก้สมการโดยการประมาณค่าในแต่ละเอลิเมนต์จนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน แต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่ประกอบที่มีชิ้นส่วนในขอบเขตการคำนวณมาก ควรที่จะทำการแบ่งกลุ่มของชิ้นงานออกเป็นกลุ่ม ในกรณีที่ชิ้นส่วนนั้นเหมือนกัน เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดเอลิเมนต์ [3, 4]

ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม ซึ่งมี 3 ขั้นตอนดังรูปที่2 คือ

- Preprocessing ถือว่าเป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อการคำนวณ เช่น การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Boundary Condition) การกำหนดวัสดุ (Material Properties) แรงกระทำ (Load) การกำหนดค่า ความดัน หรืออุณหภูมิเบื้องต้น เป็นต้น
- Solution การคำนวณหาผลเฉลย หรือหาคำตอบจากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์แต่ละการแก้ปัญหาว่าเป็นโมเดลคณิตศาสตร์แบบใด
- Post-processing การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในรูปแบบชิ้นงานหรือกราฟ หรือหาค่าแรงและโมเมนต์ต่างๆ

โดยแผนภูมิการทำงานของระบบการออกแบบชิ้นงานและการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล



รูปที่ 3 แผนภูมิการทำงานของระบบการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล

ขั้นตอนการคำนวณผลจะแยกตามวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ได้ดังนี้

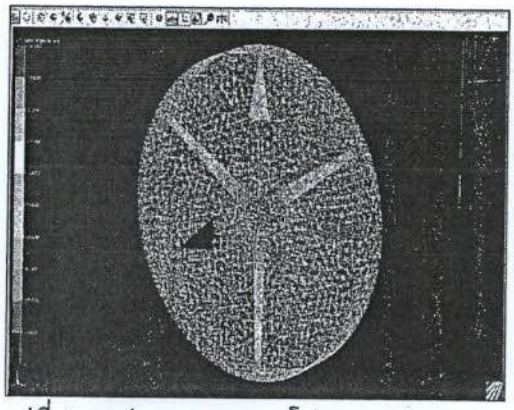
- Building the Mathematical Model (สร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์)
- Building the Computational Fluid Dynamics Model (สร้างรูปแบบชิ้นส่วนย่อย)
- Solving the Computational Fluid Dynamics Model (สร้างรูปแบบการแก้สมการ)
- Analysis the Results (การวิเคราะห์ผลเฉลย)

การกำหนดข้อมูลการกำหนดตัวแปรต่าง ๆมีดังนี้

1. กำหนดความเร็วลมทางด้านขาเข้าตั้งแต่ 0- 10 เมตรต่อวินาที
2.กำหนดให้วัสดุทำใบกังหันมีความหนาแน่นประมาณ 600 Kg/m^3
3.กำหนดความดันขาออกจากอุโมงค์ลมเท่ากับศูนย์ความดันเกจน์
4.กำหนดพื้นที่รอบใบกังหันให้เป็นเขตครอบคลุมการหมุนของใบกังหัน
5. กำหนดอากาศเป็นชนิดของไหลอัดตัวได้ (Incompressible Fluid)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้ทำการทดสอบใบกังหันลม ขนาด 1 kW เพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพความเร็วรอบการทำงานสูงสุด ในการทดสอบได้ใช้ใบกังหันลมต้นโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหล Computational Fluid Dynamics (CFD) ตามรูปที่ 3



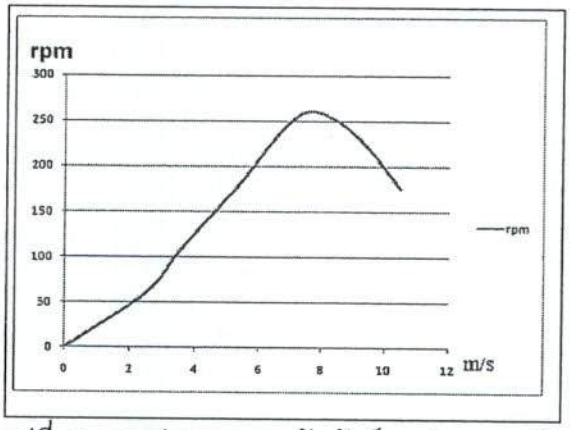
รูปที่ 4 จอประมวลผลของโปรแกรม CFD

ทำการทดสอบในช่วงความเร็วลมเฉลี่ยระหว่าง 2.5 - 7.5 เมตรต่อวินาที ด้วยชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหันลม จำนวน 3 ใบต่อโรเตอร์

วิธีในการทดสอบจะแบ่งช่วงความเร็วลมทดสอบออกเป็น 5 ช่วงคือ 2.5,3.5,4.5,5.5,6.5และ7.5 เมตรต่อวินาที เริ่มต้นจากช่วงความเร็วลมเฉลี่ย 2.5 เมตรต่อวินาที จากนั้นบันทึกผลการทดสอบโดยดูจากโปรแกรม

4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบใบกังหันลมขนาด 1 kW ด้วยชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหัน ได้ผลการทดสอบตามกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันกับความเร็วรอบของกังหันดังรูปที่5



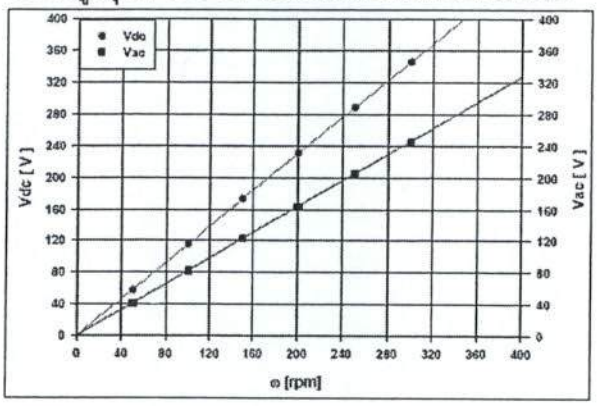
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ปะทะใบกังหันกับความเร็วรอบของกังหัน

ตารางที่ 1 แสดงการทำงานของรอบกังหันลมและพลังงานที่ผลิตได้

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความเร็วรอบของใบกังหันจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาทีกังหันจะสามารถหมุนมีความเร็ว

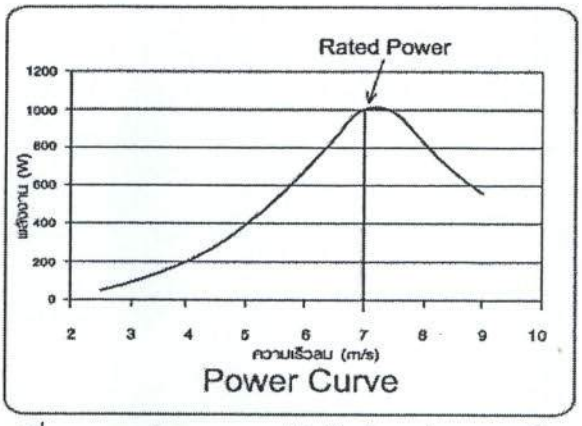
ความเร็วรอบกังหัน(รอบต่อนาที)	แรงดันไฟฟ้า Generatorผลิตได้ (Volt DC)	Output Power (Watt)
60	66	99
105	117	175
145	161	292
185	200	300
230	256	384
260	290	435
250	278	417
220	245	367
175	195	292

รอบที่สูงสุดที่ 185 รอบต่อนาที ดังแสดงในตารางที่1



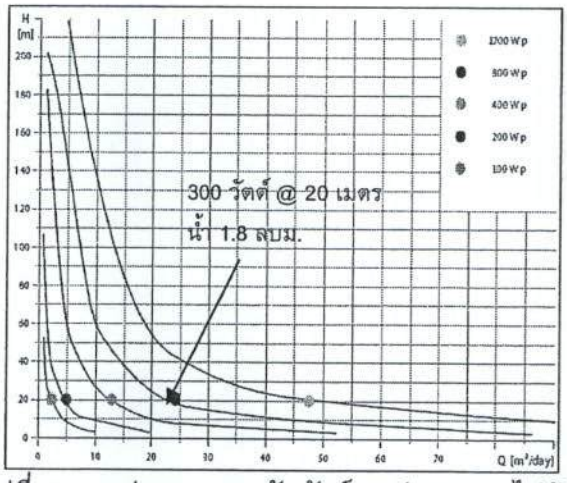
รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกังหันและกระแสไฟฟ้าที่ Generator ผลิตได้

จากความเร็วรอบของกังหันที่ 185 รอบต่อนาที สามารถนำมาหาค่ากระแสไฟฟ้าจากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 6 ซึ่งจะได้กระแสไฟฟ้าที่ 200 โวลต์ (DC)



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับพลังงานไฟฟ้าที่ได้ของกังหันขนาด 1 kW

และปริมาณการสูบน้ำจากการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมนั้นสามารถดูได้จากรูปที่9 ซึ่งแสดงความสูงและปริมาณน้ำที่สูบได้ที่การผลิต 300 วัตต์



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ผลิตและปริมาณน้ำที่ที่สูบได้

5. สรุปผล

ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานพบว่ากังหันลมขนาด 1kW ที่ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาที ให้รอบการทำงานสูงสุดที่ 185 รอบต่อนาที สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 300 Watt ซึ่งนำไฟฟ้าเพื่อการสูบน้ำโดยใช้กับปั๊มน้ำแบบแรงดันแปรผัน สามารถนำไปสูบน้ำได้ที่ความสูงน้ำ 20 เมตร ได้

ปริมาณน้ำเฉลี่ย 18,000 ลิตรต่อวัน ซึ่งสามารถวัดเป็นค่าประสิทธิภาพรวมของระบบ 45 เปอร์เซ็นต์

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณ บุคลากรเจ้าหน้าที่ อาคารวิจัยประยุกต์ พลังงานลม น้ำ และแสงอาทิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบริษัท ปตท.จำกัด มหาชน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและสนับสนุนการดำเนินการวิจัยและทำงานนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการดำเนินการวิจัยและจัดทำเอกสารเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Manwell J.F., McGowan J.G. and Rogers A.L., (2002) Wind Energy Explained, John Wiley & Son.

[2] Martin O. L. Hansen "Aerodynamics of Wind Turbines", 2nd ed., Earthscan in the UK and USA, 2008.

[3] วิรชัย โรยนรินทร์, (2551). รายงานการศึกษาวิจัยพัฒนาสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ,มทร. ธัญบุรี

[4] วิรชัย โรยนรินทร์, สว่าง ชาติทอง, (2553). การออกแบบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์ด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่7, จังหวัดเพชรบุรี