



ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ด้วยหลักการสะสมพลังงานจากการอัดอากาศ

Electrical Generation System Small Size 50 Watts with Compressed Air Power

วสันต์ พลาชัย¹, อิบรอเฮง ปิยา¹

Wasan Palasai¹, Ibroheng Piya¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ด้วยหลักการสะสมพลังงานจากการอัดอากาศด้วยกังหันลมแบบหลายใบเป็นต้นกำลังอัดอากาศที่ความเร็วลมต่ำเพื่อหาความเร็วรอบของเจนเนอเรเตอร์ จากแรงดันภายในถังอากาศอัด เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน ความเร็วรอบและกำลังการผลิต 50 วัตต์ ในการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ประกอบด้วยเครื่องมือวัด (1) Pressure Transmitter เพื่อบันทึกความดันในถังเก็บลม (2) Air Flow Transmitter เพื่อการไหลภายในท่อ (3) Digital Tachometer เพื่อวัดความเร็วลมของเจนเนอเรเตอร์ (4) Data Logger เพื่อบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงเวลา ผลจากการทดลองกำลังงานสูงสุด โดยความดันในถังที่ 4 บาร์ 50 วัตต์ และความเร็วรอบ 940 รอบ/นาทีที่มีความสัมพันธ์ที่เหมาะสมการทดลองนี้ความดันภายในถังหลังการอัดอากาศจากกังหันลมเริ่มที่ 1.5 บาร์สะสมพลังงานต่อเนื่องในถังอากาศอัดและสิ้นสุดที่ 4 บาร์ด้วยความเร็วรอบเริ่มต้น 150 รอบ/นาทีกำลังผลิตไฟฟ้าที่ 5 วัตต์ และความเร็วรอบสูงสุด 940 รอบ/นาที ได้กำลังผลิต 50 วัตต์ การทดลองนี้สามารถขยายผลผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องหากเพิ่มถังอากาศอัดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

คำสำคัญ: กังหันลม อัดอากาศ ความเร็วลมต่ำ

Abstract

This study is to investigate the 50 watt power generation with the principle of accumulating energy from compressed air with multiple wind turbines and compressed air at low wind speed to determine the generator speed. From the pressure inside the compressed air cylinder to find the relationship between the pressure, speed and capacity 50 watts. In experiment, a small 50 watt power system consists with (1) Pressure Transmitter to record the pressure inside the air tank. (2) Air Flow Transmitter to check the flow inside the pipe (3) Digital Tachometer to measure the wind speed of the generator (4) Data Logger to record each time period. Results from the maximum power by the pressure in the tank at 4 bars, 50 watts and a speed of around 940 rpm. This experiment was conducted. The pressure inside the tank after compressed air from the wind turbine started at 1.5 bar. Accumulates energy in compressed air cylinders and ends at 4 bars at an initial speed of 150 rpm, 5 watts of power and a maximum speed of 940 rpm. It has a 50 watts capacity. This experiment can continuously expand the power output by adding larger compressed air cylinders.

Keywords: Wind turbine, compressed air, Low wind speed

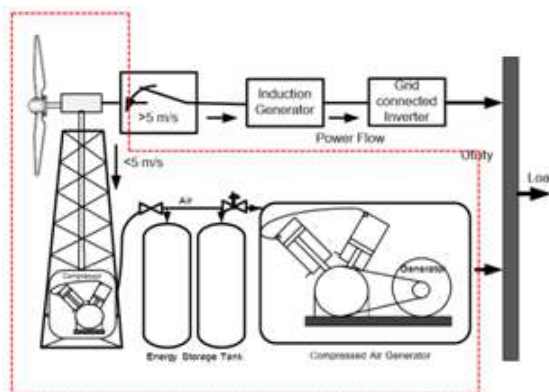
¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์

¹ Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งขนาดและทิศทาง ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนพลังงานจากลมจึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามความเร็วของลม โดยความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 เมตร/วินาที แต่พื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 80 ของประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ย 3 เมตร/วินาที (Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy, 2003) ซึ่งเป็นความเร็วลมต่ำ ไม่เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นในการนำพลังงานลมมาผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยจึงต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับลักษณะลมของประเทศไทยซึ่งมีความเร็วลมต่ำ โดยในการตัดสินใจลงทุนเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยความเร็วลมนั้นเมื่อบัณฑิต 2 ข้อที่จะต้องนำมาพิจารณา คือ บัณฑิตด้านนวัตกรรมหรือเทคโนโลยี ซึ่งโดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการพัฒนาไปที่ระบบเครื่องกล ระบบการทดเกียร์ และระบบการควบคุมการปรับมุมของใบพัด และบัณฑิตทางด้านเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนของพลังงาน (Cost of Energy) เช่น ต้นทุนการติดตั้ง การควบคุมดูแลและการบำรุงรักษา ซึ่งมีราคาสูง

การทดลองนี้เสนอเทคโนโลยีที่เหมาะสมและจัดสร้างต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50วัตต์ ด้วยกังหันลมแบบหลายใบโดยใช้หลักการอัดอากาศในการสะสมพลังงาน (ภาพที่ 1) โดยเมื่อกังหันลมหมุนซึ่งมีแกนต่อกับลูกสูบ ทำหน้าที่อัดลมลงไปเก็บไว้ในถังเก็บลม จากนั้นเมื่อลมเต็มถึงวาล์วจะถูกเปิดออกด้วยระดับแรงดันที่เหมาะสม อากาศอัดจะถูกส่งไปขับเคลื่อนลูกสูบซึ่งเพลาเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับป้อนให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ระบบดังกล่าวสามารถเก็บพลังงานลมได้ในทุกๆ ความเร็วของลมที่สามารถพัดกังหันหมุนได้ ที่ความเร็วลมต่ำกว่า 5 m/s จะทำการเก็บพลังงานลงในถัง การเก็บพลังงานลมในรูปแบบการอัดอากาศ (Cavallini, Doretti, Longo, Rossetto, Bella & Zannerio, 1996) มีต้นทุนในการทำงานและบำรุงรักษาที่ถูกกว่าและมีอายุการใช้งานที่นานกว่าการเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งมีอายุการใช้งานนานประมาณ 20-30 ปี ขณะที่ระบบที่ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บมีอายุการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 3-5 ปี อีกทั้งส่วนประกอบระบบฯ ทุกส่วนสามารถจัดสร้างขึ้นเองโดยใช้เทคโนโลยีและหาได้ภายในประเทศ ทำให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาต่ำ ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ



ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50วัตต์ ด้วยกังหันลมแบบหลายใบโดยใช้หลักการอัดอากาศในการสะสมพลังงาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ด้วยกังหันลมแบบหลายใบโดยใช้หลักการอัดอากาศในการสะสมพลังงาน



ระเบียบวิธีวิจัย

1. หลักการทำงานและการวิเคราะห์

สำหรับศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย จากรายงานการศึกษาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยพบว่าแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีของประเทศไทย มีศักยภาพกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ประมาณระดับ 1-5 (Wind Power Classes 1-5) ซึ่งเท่ากับค่าความเร็วลมประมาณ 0-6.4 เมตร/วินาที (Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy, 2003) โดยบริเวณที่พบค่าความเร็วสูงสุดโดยมากอยู่บริเวณภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเล ตะวันออก นอกจากนี้ยังมีการสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพกำลังลมเพียงพอดังต่อไปนี้ ต่อเนื่อง เช่น บริเวณยอดเขาหรือเทือกเขาต่างๆ เป็นต้น



Elevation		1.1	1.2	1.3	1.4	2	3	4	5	6	7
10 m	m/s	0	2.8	3.6	4.0	4.4	5.1	5.8	6.0	6.4	7.0
	W/m ²	0	25	50	75	100	150	200	250	300	400
30 m	m/s	0	3.3	4.1	4.7	5.2	5.9	6.5	7.0	7.4	8.2
	W/m ²	0	40	80	120	160	240	320	400	480	640
50 m	m/s	0	3.6	4.4	5.1	5.6	6.4	7.0	7.5	8.0	8.8
	W/m ²	0	50	100	150	200	300	400	500	600	800

ภาพที่ 2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย

(Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy, 2003)

จากข้อมูลศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยดังภาพที่ 2 หากเทียบกับประเทศในยุโรปแล้วถือว่ามีความเหมาะสมในทางปฏิบัติที่ความเร็วลมในระดับประมาณ 6 เมตรต่อวินาที ยังไม่เหมาะกับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ระดับเมกะวัตต์ ภาพที่ 3 ดังนั้นทางเลือกที่เหมาะสมของประเทศไทยหากจะส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากลมในการผลิตไฟฟ้าควรจะเป็นระบบขนาดเล็กในช่วงพิกัดกำลังระดับกิโลวัตต์จะมีความเหมาะสมกว่า (Ketjoy & Sasitaranuwat, 2004)

[illegible]

ภาพที่ 4 ระบบของกังหันสูบน้ำ

Singh (2004) ได้ทำการรวบรวมบทความและงานวิจัยใน 30 ปีที่ผ่านมาจาก 93 บทความ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำชนิดกระตุ้นภายในตัวเอง (Self Excite Induction Generator) ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้กับพลังงานทางเลือกใหม่เช่น พลังงานลมและพลังงานจากน้ำขนาดเล็ก (Micro Hydro) ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ



ได้ถูกนำมาพัฒนาเพื่อทดแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสซึ่งมีราคาแพง ทั้งอุปกรณ์ การทำงานและการบำรุงรักษา โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามารถทำงานได้ในทุกย่านความเร็วที่มีการเปลี่ยนแปลง มีโครงสร้างที่ง่ายและทนทาน ต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้ดี โดยในการนำมาประยุกต์ใช้กับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมนั้นสามารถทำงานได้ 3 ลักษณะ คือ

- เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Stand alone สำหรับติดตั้งในที่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายที่เข้าไม่ถึง
- เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถต่อเข้ากับระบบการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องจักรกลซิงโครนัสได้
- เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายได้

ในการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ในทุกย่านความเร็ว ซึ่งมีวิธีการควบคุมที่หลากหลายและยืดหยุ่นสามารถควบคุม Voltage Regulation และ Frequency Regulation ได้ดี และในแต่ละวิธีการควบคุมนั้นยังให้ผลตอบแทนทางพลวัตที่ดี

Joselin et al., (2007) ได้ทำการรวบรวมบทความและงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมจำนวน 225 บทความ โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองการประเมินหาศักยภาพพลังงานลม แบบจำลองการเลือกสถานที่ตั้ง แบบจำลองการประเมินหาความสำเร็จและความน่าเชื่อถือ อีกทั้งยังได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบของกังหันลมเช่น ใบพัด ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เทคนิคการออกแบบระบบ และ บัณฑิตทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งได้สรุปเป็นประเด็นที่สำคัญดังนี้

• ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณพลังงานที่ได้ คือ การเลือกสถานที่ตั้ง ความสูงของเสา การเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความเร็วลม และศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรต่างๆเหล่านี้จะถูกนำมาเป็น Objective Function ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

• แบบจำลองของ Weibull, Rayleigh Distribution และ Markov Chain เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายหาข้อมูลความเร็วลมและข้อมูลที่ได้จากการวัดในแต่ละสถานที่ตั้งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

• กระบวนการที่ได้จากการทดลองและทฤษฎี จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การลื่นของกังหันลม และใช้ Rain Flow Counting, linear Goodman Fit และ Minor Summation ในการทำนายอายุการใช้งานของใบพัด

• Aeroacoustic Test ใช้ในการหาสัญญาณรบกวนใน Aerofoil

• Computer-base Supervisory ใช้ในการควบคุมการทำงานของกังหันลม

• การชดเชยกำลังรีแอกทีฟเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบ และ Parato Analysis และ Simulation Model ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

• แบบจำลอง Wind Field เป็นแบบจำลองที่สำคัญในการวิเคราะห์โครงสร้างของกังหันลม

• ทฤษฎี Aerodynamic Modeling ของการเคลื่อนที่ของใบพัด เป็นเครื่องมือสำหรับการหา Aerodynamic Forces ที่กระทำกับใบพัดบนโรเตอร์

• การออกแบบระบบควบคุมควรพัฒนาไปพร้อมกับการปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตกังหันซึ่งจะต้องสอดคล้องกันกับพิกัดกำลังที่ผลิตได้ซึ่งมีราคาเหมาะสม

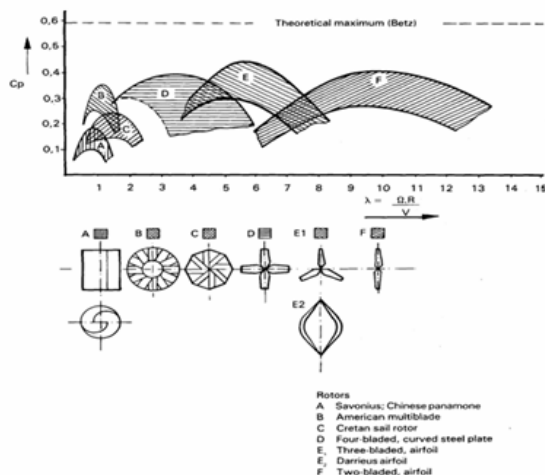
ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้อุตสาหกรรมการผลิตกังหันลมได้ใช้เป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตและขยายตลาด ทุกภาคส่วนจำเป็นจะต้องหาเทคนิคใหม่ในการช่วยประเมินหาความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพของระบบฯ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

Jamal, Baroudi, Venkata, Andrew & Knight, (2007) ได้ทำการรวบรวมบทความและงานวิจัยเกี่ยวกับชนิดของ Power converter ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมจำนวน 41 บทความ โดยได้ทำการศึกษาวิวัฒนาการของการพัฒนาอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม

ซึ่งอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะถูกใช้เพื่อแปลงผันพลังงานจากรูปแบบหนึ่งมาเป็นพลังงานไฟฟ้าและควบคุมให้มีคุณสมบัติตามต้องการเช่น รักษาระดับแรงดันให้คงที่ ควบคุมความถี่ให้คงที่ ควบคุมการจ่ายกำลังทั้งแอคทีฟและรีแอคทีฟ ควบคุมการติดตามพลังงานสูงสุดทุกช่วงเวลาและควบคุมการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายให้มีความถูกต้องและมีเสถียรภาพ

อุปกรณ์แปลงผันพลังงานถูกนำมาใช้ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายชนิดเช่น Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), Synchronous Generator (SG), Induction Generator ทั้งสองชนิด คือ แบบกรงกระรอกซึ่งมีการกระตุ้นด้วยตัวเอง(Self Excited Induction Generator, SEIG)และแบบฟัลโรวอเตอร์ (Doubly Fed Induction Generator, DFIG) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีวิธีการควบคุมที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุดจ่ายให้กับระบบจำหน่าย โดยระบบที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานลมคือ Back to Back PWM Converter ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการควบคุมและสามารถประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ได้หลายชนิดอีกทั้งสามารถเพิ่มพิกัดกำลังได้ง่ายโดยการเพิ่มพิกัดของอุปกรณ์และระบบการควบคุมยังเหมือนเดิม ในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- PMSG เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและเป็นเครื่องกำเนิดชนิดกระตุ้นภายในตัวเอง ซึ่งเหมาะกับการออกแบบระบบที่มีขนาดเล็ก แต่มีข้อเสียที่เครื่องจักรกลหายากและเป็นเครื่องจักรกลเฉพาะ ราคาสูง
- SG สามารถควบคุมกำลังแอคทีฟและรีแอคทีฟได้ง่ายและมีการควบคุมอิสระต่อกัน เหมาะกับระบบขนาดกลางขึ้นไปจนถึงขนาดใหญ่ แต่มีข้อเสียในเรื่องของราคาสูงเมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดแบบอินดักชัน หายากและจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา ขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก
- DFIG เป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งเหมาะกับระบบที่มีขนาดใหญ่สามารถควบคุมกำลังได้เหมือนเครื่องกำเนิดแบบ SG แต่มีข้อเสียเนื่องจากต้องการแหล่งกำเนิดจากภายนอกเพื่อใช้ในการกระตุ้นการสังสนามแม่เหล็ก และระบบนี้จะสร้างสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบจำหน่ายเนื่องจากขดลวดของ Stator ของเครื่องกำเนิดต่อโดยตรงอยู่กับระบบจำหน่าย และเนื่องจากมี Slip Ring ดังนั้นจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาเป็นประจำ
- SEIG เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถทำงานได้ในทุกย่านความเร็วที่มีการเปลี่ยนแปลง มีโครงสร้างที่ง่ายและทดแทนต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้ดี มีน้ำหนักเบา ราคาถูก มีต้นทุนในการบำรุงรักษาต่ำมากเมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดชนิดอื่นๆ เหมาะสำหรับระบบทุกขนาดเนื่องจากเครื่องจักรกลหาได้ง่ายและการควบคุมไม่เปลี่ยนแปลงตามพิกัดกำลังที่เปลี่ยน นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องกำเนิดที่กระตุ้นด้วยตัวเองจึงไม่จำเป็นต้องมีระบบจ่ายพลังงานจากภายนอก



ภาพที่ 5 แสดงชนิดของใบกังหันลมต่างๆ

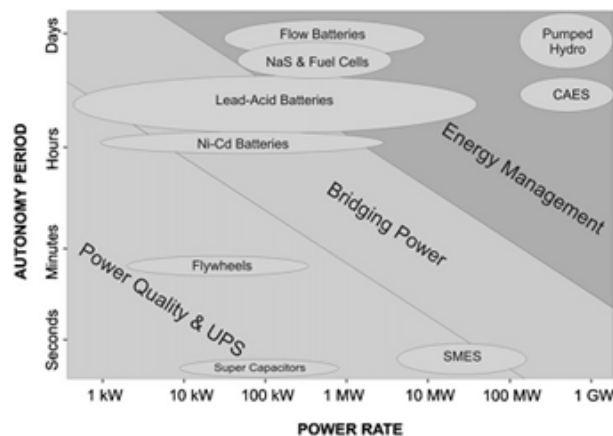
(Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy, 2003)



จากภาพที่ 5 แสดงชนิดของใบกังหันลมแบบต่างๆจะบอกถึงความเหมาะสมในการเลือกชนิดของใบกังหันให้เหมาะสมกับความเร็วของลมซึ่งส่วนใหญ่ที่เห็นผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมขนาดเล็กในประเทศไทยทั่วไปจะใช้ชนิด 3 ใบพัดใบพัดชนิดนี้จะเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 3.8-4 เมตรต่อวินาที จากคุณสมบัติข้อนี้จะทำให้โอกาสการพัฒนากังหันลมขนาดเล็กเกือบหมดไป ประกอบกับคุณสมบัติอีกข้อหนึ่งก็คือใบพัดชนิดนี้จะให้แรงบิดที่เพลาส่งกำลังต่ำทำให้ยากที่จะทำการทดรอบให้มีความเร็วรอบที่สูงขึ้นได้เพราะถ้าทดรอบน้อยรอบก็จะไม่พอถ้าทดรอบมากใบพัดก็จะเริ่มออกตัวช้าไปอีกหรือไม่หมุนเลย นี่คือปัญหาที่สำคัญที่ทีมวิจัยได้นำมาออกแบบและพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยให้มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้มากที่สุดตามความเร็วลมที่มีอยู่ จากปัญหาข้างต้นทีมวิจัยจะเลือกใช้ใบพัดกังหันลมแบบอเมริกันเพราะเป็นใบพัดที่เริ่มหมุนที่ความเร็วลมต่ำคือประมาณ 0.8-1 เมตรต่อวินาที และจะทำการหาขนาดและจำนวนใบที่เหมาะสมเพื่อให้รับกำลังลมได้มาก ซึ่งทำให้มีแรงบิดที่เพลาส่งกำลังได้มากขึ้น สามารถอัดคอมเพรสเซอร์ที่ความดันที่ต้องการได้

จากทั้งสองบทความที่คณะผู้เขียนได้ทำการทบทวนวรรณกรรมแล้วมุ่งเน้นในแหล่งที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงและเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยแล้ว เป็นการยากที่จะพัฒนาในรูปแบบและแนวคิดเดียวกันกับต่างประเทศที่มุ่งพัฒนากังหันลมขนาดใหญ่สำหรับพื้นที่ที่มีศักยภาพ ทางคณะวิจัยได้ทำการวิเคราะห์และประยุกต์ใช้แนวคิดของกังหันลมสูบน้ำที่สามารถใช้ได้ดีสำหรับประเทศไทยโดยการพัฒนาของบริษัทสุชาเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าซึ่งระบบดังกล่าวนี้เกี่ยวข้องกับการเก็บสะสมพลังงาน

ข้อมูลจาก (licensee InTech., 2013) ได้สรุปเทคโนโลยีในการเก็บพลังงานในรูปแบบต่างๆกัน เช่น Pumped Hydroelectric Storage Systems แบตเตอรี่ Compressed Air Energy Storage System (CAES), Regenerative Fuel Cell Technology, Superconducting Magnets, และ Flywheel ซึ่งแต่ละรูปแบบมีวิธีการในการเก็บที่แตกต่างกัน แต่หลักการในการจัดการพลังงานที่เหมือนกันคือเก็บพลังงานจากรูปแบบหนึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง เช่นจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาที่มีพลังงานมากพอหรือช่วง Off peak จากนั้นเมื่อต้องการใช้พลังงานหรือในช่วง On peak พลังงานเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ต่อไป ซึ่งลักษณะของการเก็บพลังงานในทุกูปแบบเป็นการเก็บพลังงานแบบชั่วคราว ดังนั้นในการเลือกใช้การเก็บพลังงานรูปแบบใดนั้นจึงไม่มีรูปแบบตายตัว ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ สิ่งแวดล้อมลักษณะการใช้งานและราคาหรืองบประมาณในการจัดหาและดำเนินการ รูปแบบหนึ่งอาจเหมาะสมกับระบบหนึ่งแต่ไม่เหมาะสมกับอีกระบบหนึ่งเป็นต้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการสะสมพลังงานดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของพิกัดกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการสะสมพลังงาน

(Kaldellis, Zafirakai, & Kavadias, 2007)

“ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมรูปแบบใหม่ โดยใช้ Air Compressor ในการเก็บพลังงาน” ในรูปแบบนี้แตกต่างจากรูปแบบแรกในส่วนของการเก็บพลังงาน โดยรูปแบบที่ 2 นี้จะทำการเก็บพลังงานในรูปของการอัดลมลงในถัง โดยเมื่อกังหันลมหมุนซึ่งมีแกนต่อกับลูกสูบ ทำหน้าที่อัดลมลงไปเก็บไว้ในถังซึ่งมีความดันสูง จากนั้นเมื่อลมเต็มถึงวาล์วจะถูกเปิดออกด้วยแรงดันที่เหมาะสม ซึ่งลมจะถูกส่งไปขับ Compressed Air Engine ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำซึ่งผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ บ่อนให้กับคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง จากนั้นนำให้กับระบบเชื่อมต่อการไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับซึ่งถูกควบคุมให้มีเฟสและความถี่ตรงกับระบบจำหน่าย โดยระบบดังกล่าวสามารถเก็บพลังงานลมได้ในทุกๆ ความเร็วของลมที่สามารถพัดกังหันลมได้ ซึ่งปริมาณพลังงานลมที่เก็บและเวลาในการเก็บจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการอัดของลูกสูบ ซึ่งถ้าจำนวนรอบของลมที่อัดเต็มถึงมากเท่าไร ก็จะได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงมากกว่าระบบเดิมที่ใช้กันอยู่ ซึ่งจะผลิตไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อมีความเร็วลมมากกว่า 4 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป แสดงระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมโดยใช้ Air Compressor ในการเก็บพลังงาน ดังภาพที่ 1

2. การวิเคราะห์ระบบอัดอากาศ

คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบชักเหมาะสำหรับงานที่ต้องการอัตราส่วนความดันอัดสูงๆ และอัตราการไหลของมวลอากาศต่ำ (Low Mass Flow Rate) ขณะที่คอมเพรสเซอร์ชนิดโรตารีเหมาะสำหรับงานที่ต้องการอัตราส่วนความดันอัดต่ำๆ และอัตราการไหลของมวลอากาศสูง (High mass flow rate) ซึ่งในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบชักสำหรับแปลงผันพลังงานศักย์ในรูปอากาศอัดเป็นพลังงานกลเพื่อเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แผนภาพ ความดัน-ปริมาตร (P-V Diagram) ของคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบชักแสดงดังภาพที่ 7 จะเห็นว่าหนึ่งวงจรการทำงานของการอัดประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ compression, discharge/delivery, expansion and intake/introduction แต่ละกระบวนการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

กระบวนการการอัดแบบ Adiabatic จากสถานะที่ (1) – (2) โดย วาล์ว A1 และ A2 ปิด

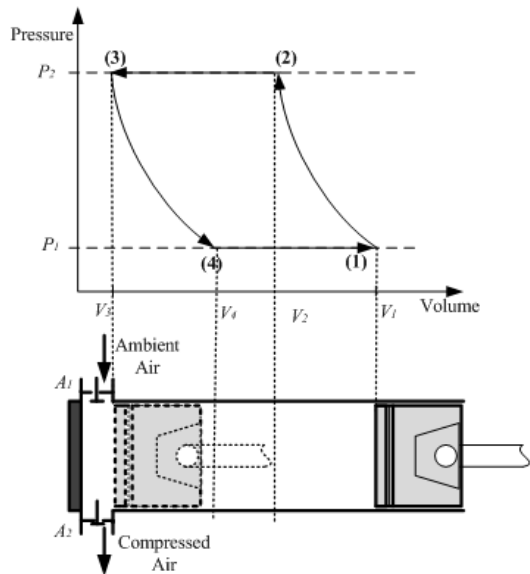
ในกระบวนการนี้ ปริมาตรอากาศในกระบอกสูบจะลดลงจาก V_1 สู่ V_2 ในทางกลับกัน ความดันจะเพิ่มขึ้นจาก P_1 เป็น P_2 โดยที่มวลของอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลง งานที่ได้มีค่า

$$W_{12} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1}, \text{ ขณะที่ } \gamma = 1.4 \quad (1)$$

กระบวนการลดปริมาตรอากาศ จากสถานะที่ (2) เป็น (3) โดย วาล์ว A1 ปิดและ A2 เปิด

ในกระบวนการนี้ ปริมาตรของอากาศอัดจะลดลงจาก V_2 เป็น V_3 ขณะที่ความดันมีค่าคงที่ P_2 ส่งผลให้มวลของอากาศลดลงจาก m_1 เป็น m_2 ดังนั้นงานที่ได้จากกระบวนการ

$$W_{23} = P_2 (V_2 - V_3). \quad (2)$$



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของ ความดัน-ปริมาตร (P-V Diagram) ของคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบชัก

กระบวนการขยายตัวแบบ Adiabatic จากสถานะ (3) เป็น (4) โดยที่ วาล์ว A1 ปิดและ A2 ปิด

ในกระบวนการนี้ ปริมาตรในระบบจะเพิ่มขึ้นจาก V_3 เป็น V_4 ในทางกลับกันความดันจะลดลงจาก P_2 เป็น P_1 ขณะที่มวลของอากาศอัดในระบบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นงานที่ได้จากกระบวนการซึ่งมีค่าเป็นลบ (งานที่จ่ายให้ระบบ)

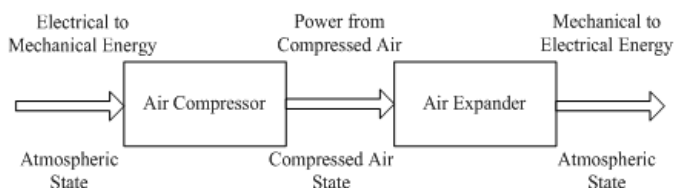
$$W_{34} = \frac{P_2 V_3 - P_1 V_4}{\gamma - 1} \quad (3)$$

กระบวนการเพิ่มปริมาตรอากาศ จากสถานะที่ (4) เป็น (1) โดย วาล์ว A1 เปิดและ A2 ปิด

ในกระบวนการนี้ ความดัน P_1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ขณะที่ มวลของอากาศอัดในระบบเพิ่มขึ้นจาก m_2 เป็น m_1 ดังนั้นงานที่ได้จากกระบวนการซึ่งมีค่าเป็นลบ

$$W_{41} = P_1 (V_4 - V_1) \quad (4)$$

เนื่องจากคอมเพรสเซอร์จำเป็นต้องมีต้นกำลังในการขับเคลื่อนเพื่อผลิตอากาศอัด ดังนั้นงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการจะมีค่าเป็นบวก ในทางกลับกันถ้าใช้อากาศอัดขับเคลื่อนหรือป้อนกลับเข้าไปที่หัวลูกสูบคอมเพรสเซอร์ เราจะได้พลังงานกลออกมาเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การไหลของพลังงานแสดงดังภาพที่ 8

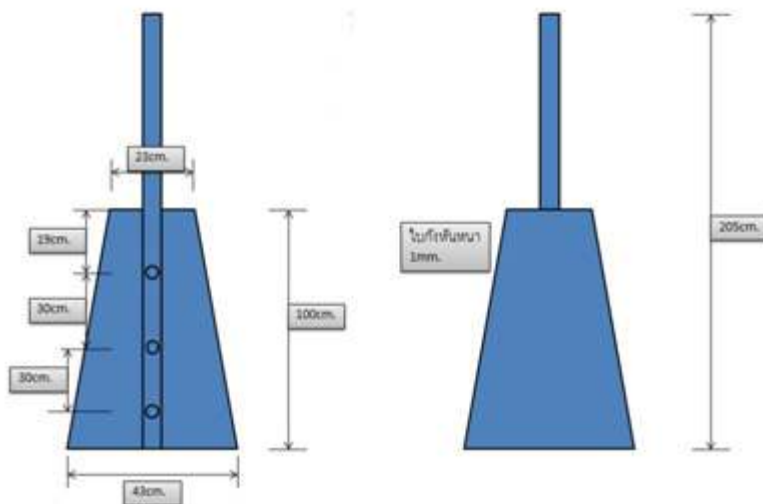


ภาพที่ 8 แสดงการไหลของพลังงาน

ผลการวิจัย

การออกแบบจำลองใบกังหันลมแบบหลายใบสำหรับการอัดอากาศ

การออกแบบก่อนนำเข้าสู่ การคำนวณเชิงกลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD)



ภาพที่ 9 รูปร่างและมิติของใบกังหันลมแบบหลายใบโดยกำหนด

The model was design and engineered by using the CFD including with the momentum theory verification.

Blade materials = Flat plate

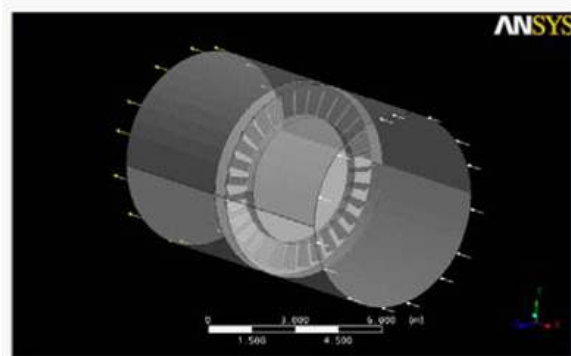
Blade radius = 2.75 m

Number of blade = 30

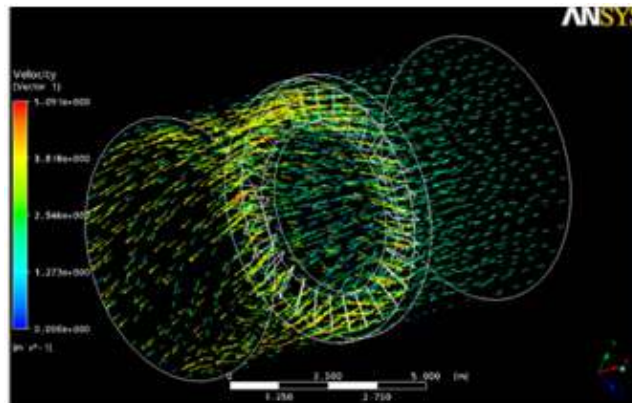
Wind turbine = Non twist blade

Cut in wind speed = none

Cut out wind speed = none

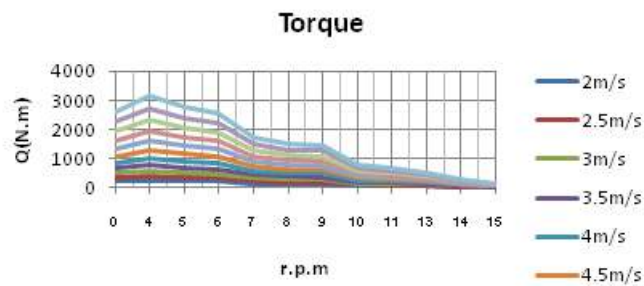


ภาพที่ 10 แบบจำลองอุโมงค์ลมสำหรับกังหันลมแบบหลายใบ



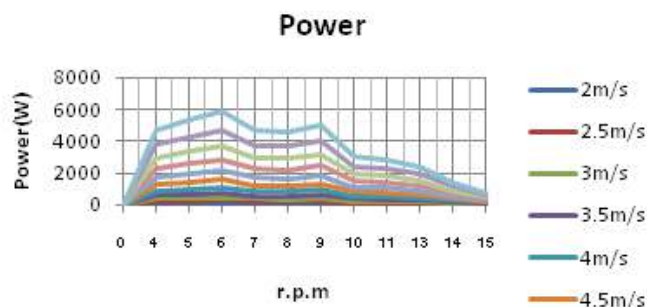
ภาพที่ 11 เวกเตอร์ความเร็วลม 2 m/s

วิเคราะห์แรงบิดและกำลังงานจากแบบจำลอง



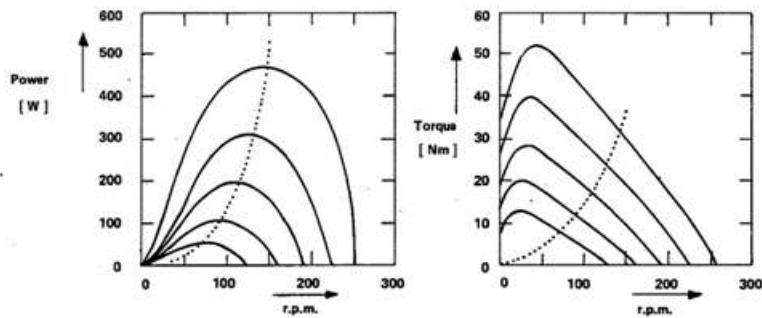
ภาพที่ 12 แรงบิดจากกังหันลมแบบหลายใบ

แรงบิดที่เกิดขึ้นจากกังหันลมแสดงให้เห็นว่ากังหันลมแบบหลายใบจะให้แรงบิด ที่สูงเมื่อความเร็วรอบต่ำๆ แต่เมื่อความเร็วรอบถึงจุดหนึ่งค่าแรงบิดจะเป็นศูนย์ในแต่ละความเร็วลม

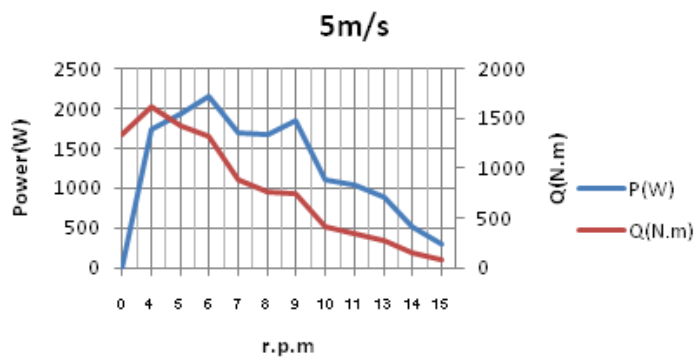


ภาพที่ 13 กำลังงานจากกังหันลมแบบหลายใบ

กำลังงานที่ได้จากกังหันลมแบบหลายใบแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วรอบเริ่มสูงขึ้นจะทำให้เริ่มได้กำลังงานทันทีและจะเพิ่มขึ้นก่อนที่จะลดลงในแต่ละความเร็วลมจุดความเหมาะสมของกำลังงานและแรงบิด

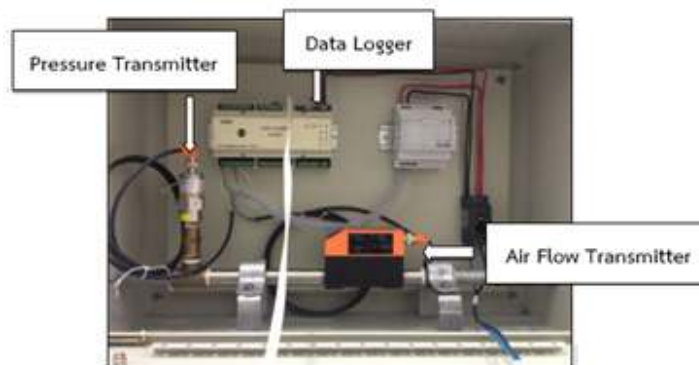


ภาพที่ 14 กำลังและแรงบิดจากการหมุนของกังหันลมเปรียบเสมือนฟังก์ชันของอัตราความเร็วของการหมุน ที่ความแตกต่างของความเร็วลม (Lysen, 1983)
จะได้จุดความเหมาะสมที่ความเร็วรอบ



ภาพที่ 15 ผลจากแบบจำลองความเร็วลม 5m/s

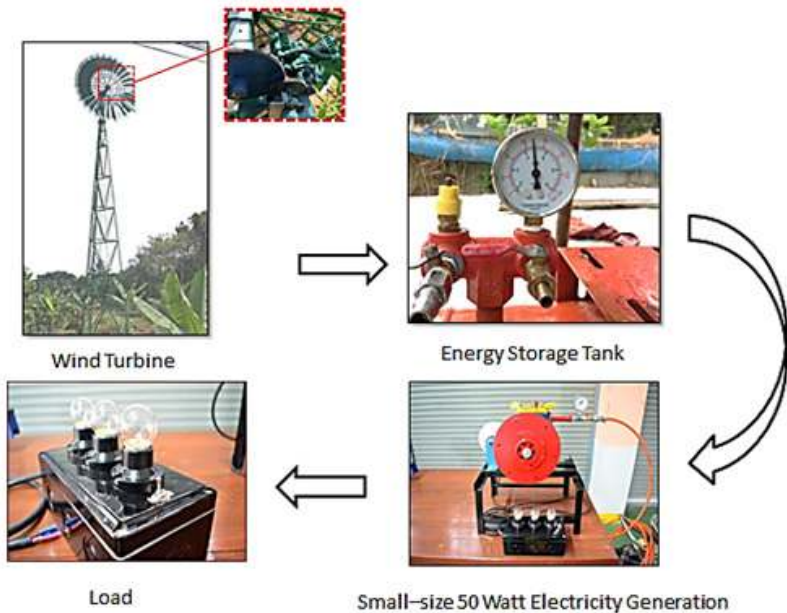
การทดลองระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ประกอบด้วยเครื่องมือวัด (1) Pressure Transmitter เพื่อบันทึกความดันในถังเก็บลม (2) Air Flow Transmitter เพื่อวัดการไหลภายในท่อ (3) Digital Tachometer เพื่อวัดความเร็วลมของเจเนอเรเตอร์ (4) Data Logger เพื่อบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงเวลา



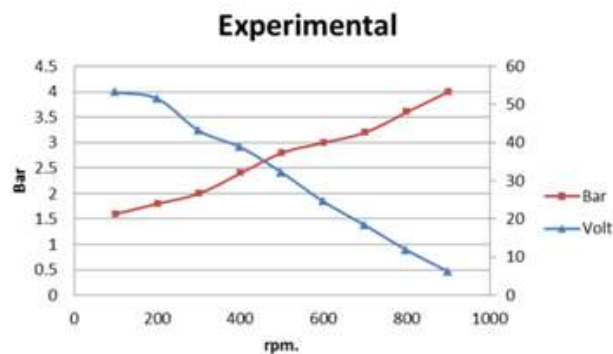
ภาพที่ 16 ผลจากแบบจำลองความเร็วลม 5m/s



ผลการทดลอง



ภาพที่ 17 ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ด้วยหลักการสะสมพลังงานจากการอัดอากาศ



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน, ความเร็วรอบและกำลังวัตต์

อภิปรายผล

กังหันลมสามารถที่จะผลิตกำลังงานได้จากลมจะทำให้ความเร็วลมลดลงไม่มากหรือน้อยเกินไป เมื่อกังหันลมหยุดนิ่ง โรเตอร์จะไม่สามารถผลิตกำลังงานได้และที่ความเร็วรอบสูงอากาศจะถูกบล็อกมากหรือน้อยโดยโรเตอร์และจะไม่สามารถสร้างกำลังงานได้ สามารถหาความเร็วที่เหมาะสมได้จากการหาตำแหน่งที่ได้กำลังงานสูงสุด โดยความดันในถังที่ได้จากกำลังงานในการอัดอากาศที่ 4 บาร์ 50 วัตต์ และความเร็วรอบ 940 รอบ/นาทีที่มีความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ดังภาพที่ 15 ความดันภายในถังหลังการอัดอากาศจากกังหันลมเริ่มที่ 1.5 บาร์สะสมพลังงานต่อเนื่องในถังอากาศอัดและสิ้นสุดที่ 4 บาร์ด้วยความเร็วรอบเริ่มต้น 150 รอบ/นาทีที่ผลิตไฟฟ้าที่ 5 วัตต์ และความเร็วรอบสูงสุด 940 รอบ/นาที ได้กำลังผลิต 50 วัตต์



สรุป

การอัดอากาศในถังอากาศอัดเมื่อแรงดันภายในถึงที่ระดับสูงสุดไม่เกิน 7 บาร์เชื่อมต่อกับเจนเนอเรเตอร์ 50 วัตต์ โดยแรงดันเริ่มต้นในถัง 1.5 บาร์ ขณะทำการทดลอง ความเร็วรอบเริ่มต้น 180 รอบ/นาที กำลังผลิตไฟฟ้าที่ 21 วัตต์ขณะการทดลองสูงสุดของแรงดันอยู่ที่ 4 บาร์ ความเร็วรอบสูงสุดที่วัดได้ 910 รอบ/นาที กำลังการผลิตไฟฟ้า 50 วัตต์ และความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ แรงดัน ที่เหมาะสมจากราฟที่แสดง ความดันและกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 2.7 บาร์ และกำลังผลิต 31 วัตต์

ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทดลองระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 50 วัตต์ ด้วยหลักการสะสมพลังงานจากการอัดอากาศ สามารถผลิตไฟฟ้าได้แต่เนื่องจากถังอากาศอัดมีขนาดเล็กและอัตราการจ่ายอากาศเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้ามั้ตรามากในช่วงระยะชักของลูกสูบ ดังนั้น หากขยายถังอากาศอัดสามารถเพิ่มระยะเวลาในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ในระยะการชักของลูกสูบที่เท่าเดิม

รายการอ้างอิง (Reference)

- Cavallini, A., Doretto, L., Longo, G.A., Rossetto, L., Bella, B. & Zannerio, A. (1996). *Thermal Analysis of a Hermetic Reciprocating Compressor International Compressor Engineering Conference*. Retrieved 5-04-2017, from <http://docs.lib.purdue.edu/icec/1160>.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy (2003). *Wind Power*. Retrieved 5-04-2017, from http://www.dede.go.th/dede/renew/wind_p.htm.
- Lysen, E.H. (1983). Introduction to Wind Energy. *Consultancy Services Wind Energy Developing Countries*, 2, 51-55.
- Jamal, A., Baroudi, Venkata. D., Andrew M. & Knight., (2007) A review of power converter topologies. *Science Direct, Renewable Energy*, 32, 2369-2385.
- Joselin, H. et al., (2007) A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1117-1145.
- Kaldellis, J.K., Zafirakis, D., & Kavadias. K. (2007). Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks. *Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 378-392
- Ketjoy, N. & Sasitaranuwat A., (2004) Wind technology. *Naresuan University Journal*, 12(2), 57-73.
- licensee InTech... (2013). *Compressed Air Energy Storage*. Retrieved 5-04-2017, from http://www.energymanagertraining.com/power_plants/Energy_typs.htm
- Singh, G.K. (2004) Self-excited induction generator research-a survey. *Science Direct, Electric Power System Research*, 69, 107-114.