การศึกษาระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำ

STUDY OF MECHANICAL SYSTEM FOR LOW CYCLE SMALL WIND TURBINE

ปฐวี หมื่นแจ้ง
รัฐนันท์ ทองสุทธิ
วริศ ตันติพัฒนะวงศ์
ปณิธาน นิติพัฒนะศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำ

STUDY OF MECHANICAL SYSTEM FOR LOW CYCLE SMALL WIND TURBINE

T143939

ปฐวี หมื่นแจ้ง
รัฐนันท์ ทองสุทธิ
วริศ ตันติพัฒนะวงศ์
ปณิธาน นิติพัฒนะศักดิ์

ว/ท.
ว/145 ก
2558
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143939
วัน.เดือน.ปี 04 ต.ค. 2559
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF MECHANICAL SYSTEM FOR LOW CYCLE SMALL WIND TURBINE

PATTAWEE MEUNCHANG
RATTANAN THONGSUTTI
VARIS TANTIPATTANAWONG
PANITHAN NITIPATTANASAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำ

STUDY OF MECHANICAL SYSTEM FOR LOW CYCLE SMALL WIND TURBINE

ผู้จัดทำ

1. นาย ปฐวี หมื่นแจ้ง รหัสประจำตัว 55010699
2. นาย รัฐนันท์ ทองสุทธิ รหัสประจำตัว 55011039
3. นาย วริศ ตันติพัฒนะวงศ์ รหัสประจำตัว 55011104
4. นาย ปณิธาน นิติพัฒนะศักดิ์ รหัสประจำตัว 55010703

_____อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

(ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำ

นายปฐวี	หมื่นแจ้ง	55010699
นายรัฐนันท์	ทองสุทธิ	55011039
นายวริศ	ตันติพัฒนะวงศ์	55011104
นายปณิธาน	นิติพัฒนะศักดิ์	55010703
ดร.เสริมศักดิ์	อยู่เย็น	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานการศึกษาระบบเชิงกลและทดสอบกังหันลมความเร็วรอบต่ำโดยใช้ไม้สนต่างประเทศทำเป็นใบพัดแบบ 3 ใบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร และใช้ชุดกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแบบจานสองแผ่นประกบกับแผ่นขดลวด โดยมีสปริงบังคับแกนให้จานแม่เหล็กเคลื่อนเข้าออกได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่ากังหันลมเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และเริ่มผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที โดยสปริงมีการยุบตัวระหว่าง 0 ถึง 35 มิลลิเมตร โดยจะยุบตัวเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF MECHANICAL SYSTEM FOR LOW CYCLE SMALL WIND TURBINE

Pattawee	Meunchang	55010699
Rattanan	Thongsutti	55011039
Varis	Tantipattanawong	55011104
Panithan	Nitipattanasak	55010703
Dr.Soemsak	Yooyen Advisor	
Year 2015		

ABSTRACT

The study of mechanical system for low speed wind turbine was reported in this thesis. The diameter of wooden turbine blade was 2.4 meter. The power generator composed of 2 permanent magnetic disks spliced on copper coil disk. One magnetic disk was attached with blades and mechanical spring that could be moved. The result showed that the wind turbine blades were rotated at 1 m/s wind speed and generated power at 1.5 m/s wind speed. The mechanical spring was stretched and compressed between 0 to 35 mm. The higher wind speed was the higher power generated while the magnetic disk was closer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....3

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกังหันลม.....3

2.2 หลักการทำงานของกังหันลม.....3

2.3 พลังงานจากลม.....4

2.3.1 ลมประจำปี.....5

2.3.2 ลมประจำฤดู.....5

2.3.3 ลมประจำเวลา.....5

2.4 Generator.....6

2.5 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....7

2.5.1 เส้นแรงแม่เหล็ก.....8

2.6 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....8

2.7 Three phase alternator.....9

2.7.1 Stat connection.....9

2.7.2 Delta connection.....9

2.8 แรงยก (Lift Force).....11

2.9 แรงลาก (Drag Force).....12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10 แรงบิด (Torque Force)....13
2.11 กฎของฮุค....14
2.12 การวัดลม....15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ....16
3.1 การกำหนดเป้าหมาย....16
3.2 การออกแบบกังหันลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า....16
3.2.1 ขดลวดตัวนำ....16
3.2.2 การทำชุดโรเตอร์....18
3.2.3 การติดตั้งโรเตอร์และสเตเตอร์....19
3.2.4 การออกแบบและสร้างฐานของชุดทดลอง....21
3.2.5 การติดตั้งมอเตอร์....22
3.2.6 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์และคลิปแอมป์มิเตอร์....23
3.2.7 การต่อวงจรไฟฟ้าสามเฟส....24
3.2.8 การออกแบบสปริง....25
3.2.9 การติดตั้งใบกังหัน....28
3.2.10 การจำลองอุโมงค์ลมและวิธีการวัดลม....29

บทที่ 4 ผลการทดลอง....31
4.1 ผลการทดลอง....28
4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง....37

บทที่ 5 สรุปผล และวิจารณ์ผลการทดลอง....38
5.1 สรุปผลการทดลอง....38
5.2 ข้อเสนอแนะ....38
เอกสารอ้างอิง....39
ภาคผนวก....40
ภาคผนวก ก....41
ภาคผนวก ข....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดทดลองโดยใช้มอเตอร์กำหนดรอบ....31

4.2 ผลการทดลองหาแรงสปริง....32

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที....32

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที....33

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที....33

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที....33

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที....34

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที....34

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที....34

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาที....35

4.3 ผลการวัดลมที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2-1 กังหันลมแนวนอน....4

2-2 ลมทะเล....5

2-3 ลมบก....6

2-4 การทำงานของ Generator....7

2-5 เส้นแรงแม่เหล็ก....8

2-6 การต่อวงจรแบบ Star connection....9

2-7 การต่อวงจรแบบ Delta connection....10

2-8 แรงที่กระทำต่อใบกังหัน....10

2-9 แรงยกและแรงลากที่เกิดจากใบกังหัน....13

2-10 การเกิดแรงบิดของใบกังหัน....14

2-11 สปริงเมื่อมีแรงกระทำ....15

2-12 วิธีการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111....15

3-1 การวางแม่เหล็ก....16

3-2 การวางขดลวด....17

3-3 การเตรียมขดลวดเพื่อหล่อเรซิ่น....17

3-4 ขดลวดหลังเทเรซิ่น....18

3-5 ระยะการวางแม่เหล็ก....18

3-6 การติดแม่เหล็ก....19

3-7 สนามแม่เหล็กเมื่อตัดผ่านขดลวด....20

3-8 โรเตอร์ฝั่งใกล้สเตเตอร์ที่สุด....20

3-9 โรเตอร์ฝั่งที่ขยับได้....21

3-10 ฐานของชุดทดลอง....21

3-11 การติดตั้งมอเตอร์....22

3-12 อินเวอร์เตอร์....23

3-13 คลิปแอมป์มิเตอร์....23

3-14 สมการวงจรสามเฟส....24

3-15 การต่อวงจร....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3-16 สปริง.....25

3-17 สปริงที่ใช้ในการทดลอง.....25

3-18 การติดตั้งใบกังหัน.....28

3-19 การถ่วงน้ำหนักใบกังหัน.....28

3-20 รูปแบบการวัดลม.....29

3-21 การแบ่งพื้นที่สำหรับวัดลม.....30

3-22 การจำลองอุโมงค์ลม.....30

4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับทฤษฎี.....36

4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงลม แรงสปริงและแรงแม่เหล็ก.....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานลมเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ไม่มีต้นทุนและไม่มีวันหมดสิ้น ถือได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าพลังงานทางเลือกอื่นๆ แต่ต้องอาศัยความเร็วของลมที่มากพอสมควรในการก่อให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทยนั้นมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 เมตรต่อวินาที ทว่าในปัจจุบันนี้ กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลม 3-4 เมตรต่อวินาที เพื่อแก้ปัญหานี้ เราจึงได้พัฒนากังหันลมที่สามารถเริ่มหมุนได้ตั้งแต่ 1 เมตรต่อวินาที ผลิตและบรรจุไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมต่ำถึง 2 เมตรต่อวินาที ดังนั้นพลังงานลมจึงถูกเลือกมาสำหรับศึกษาเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในอนาคต จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. ศึกษาการผลิตไฟฟ้าของชุดกำเนิดไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในความเร็วรอบต่ำ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาและทดลองโดยใช้ใบกังหันแบบสามใบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร
2. ศึกษาและทดลองโดยใช้ความเร็วลม 1-5 เมตรต่อวินาที
3. ศึกษาและทดลองภายใต้เงื่อนไขระยะห่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ที่ระยะ 0-40 มิลลิเมตร
4. ศึกษาการคำนวณทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ออกแบบและพัฒนาชุดทดลอง

2. สามารถสร้างระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมที่สามารถเริ่มหมุนได้ตั้งแต่ 1 เมตรต่อวินาที

3. ชุดทดลองสามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วรอบต่ำ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. กำหนด “การศึกษาระบบเชิงกลสำหรับกังหันลมความเร็วรอบต่ำ”

2. ศึกษาปริญญานิพนธ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับหัวข้อที่ต้องการศึกษา

3. ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4. กำหนดขอบเขตการศึกษา

5. ออกแบบชุดทดลอง

6. ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

7. วิเคราะห์ผลการทดลองแล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎี

8. อภิปรายผลและนำเสนอผลที่ได้จากการศึกษาและจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกังหันลม

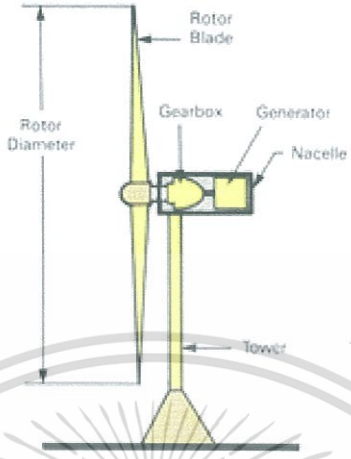
กังหันลม เป็นชุดเครื่องจักรกลแบบหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์ จากการเคลื่อนที่ของลม ให้อยู่ในรูปของพลังงานกล และนำพลังงานกลนี้มาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลม จะต้อง อาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักทางวิศวกรรมในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการทางานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นเริ่มจากการที่มีลมพัดผ่านใบของกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา จากนั้นพลังงานกล จากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้ง กังหันลม

2.2 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัด ในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสาน ของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทาให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.4 จนกระทั่งที่ ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับ ความสูง และ สภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่า กังหันลมจะทางานได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลม ที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลม เป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย เบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 กังหันลมแนวนอนทั่วไป [7]

2.3 พลังงานจากลม

ลมคืออากาศที่เคลื่อนที่ อากาศจะประกอบไปด้วยมวลสารที่มีความหนาแน่นน้อย ดังนั้นเมื่อมวลสารเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะมีพลังงานอยู่ในตัว พลังงานนี้เรียกว่า พลังจลน์ (Kinetic Energy) ลมตามธรรมชาติเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งได้จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยทางอ้อม เนื่องด้วยความร้อนจากดวงอาทิตย์ทาให้อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของผิวโลกแตกต่างกันเป็นเหตุให้อากาศที่เย็นกว่าไหลไปแทนที่อากาศซึ่งร้อนกว่าและลอยตัวขึ้น สาเหตุหลักของการเกิดลมคือดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังโลก แต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในตำแหน่งต่างๆ บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำอากาศในบริเวณนั้นก็จะลอยตัวขึ้นสูงอากาศจากบริเวณที่เย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลมนั่นเอง และจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้ทาให้เกิดเป็นพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรลมที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศของไทย คือ ลมประจำปี ลมประจำฤดู และลมประจำเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ลมประจำปี

เป็นลมที่พัดอยู่เป็นประจำตลอดทั้งปีในภูมิภาคส่วนต่างๆของโลกมีความแต่งต่างกันไปในแต่ละเขตละติจูดของโลก เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรอิทธิพลของลมประจำปีจึงไม่มีประโยชน์ในการนามาใช้

2.3.2 ลมประจำฤดู

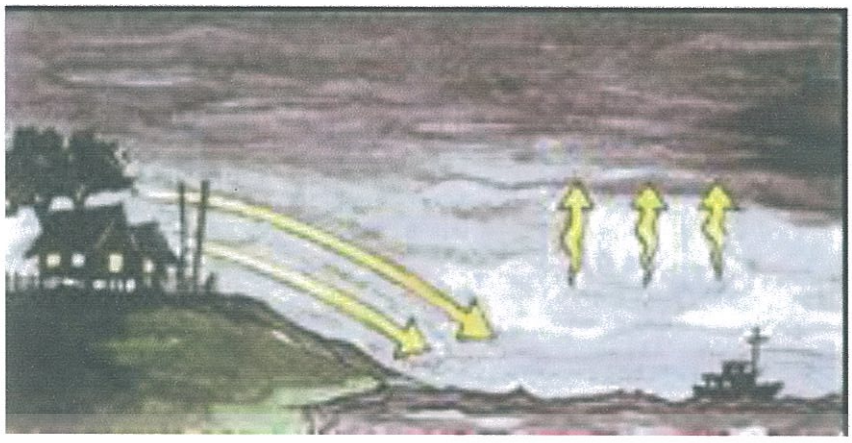
เป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางตามฤดูกาล เรียกว่า ลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมฤดูร้อน พัดในแนวทิศใต้ และตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม ลมมรสุมฤดูหนาว พัดในแนวทิศเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนธันวาคม

2.3.3 ลมประจำเวลา

เป็นลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศระหว่าง 2 บริเวณในระยะเวลาสั้น ได้แก่ ลมบกลมทะเล ลมภูเขาหุบเขา บริเวณที่อยู่ตามชายฝั่งจะได้รับอิทธิพลของลมบกลมทะเลสูง ลมบกลมทะเล (land and sea breeze) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของบริเวณทะเลกับฝั่ง โดยลมทะเลจะเกิดในตอนกลางวัน เพราะบนฝั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณในทะเลจึงทาให้เกิดลมจากทะเลพัดเข้าสู่ฝั่ง ดังรูปที่ 2-2 ส่วนลมบกเกิดในเวลากลางคืนเพราะบริเวณในทะเลจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบนฝั่ง ทาให้เกิดลมจากฝั่งออกสู่ทะเล แสดงดังรูปที่ 2-3

รูปที่ 2-2 ลมทะเล [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 ลมบก [7]

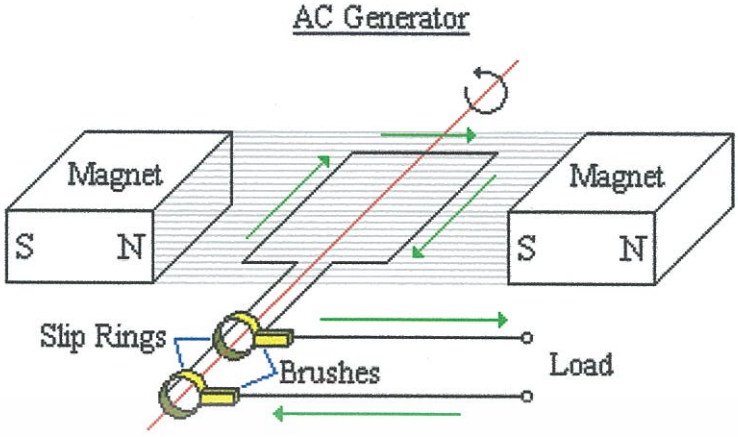
2.4 Generator

คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการเมื่อมีสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวด ก็จะได้ไฟฟ้าออกมาส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญคือส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กเรียกว่าฟิลด์ (Field) และส่วนที่สร้างแรงดันไฟฟ้าเรียกว่าอาเมเจอร์ (Armature)

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนผ่านขดลวดบนสเตเตอร์ (Stator) จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวด ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ฟิลด์จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ อาเมเจอร์จะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ฟิลด์และอาเมเจอร์ สามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่หมุน โดยในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก จะสามารถสร้างได้ทั้งแบบฟิลด์และอาเมเจอร์หมุน แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ จะสร้างได้แต่แบบอาเมเจอร์อยู่กับที่เท่านั้น เพราะจะมีปัญหาน้อยกว่าแรงดันที่เกิดขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองตัวคือ ความเร็วรอบและเส้นแรงแม่เหล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเราสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้โดย การปรับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก และเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิด แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับการเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มความเร็วไม่สามารถที่จะทำได้ เพราะจะทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สามารถทำได้เพียงการปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 การทำงานของ Generator [1]

2.5 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

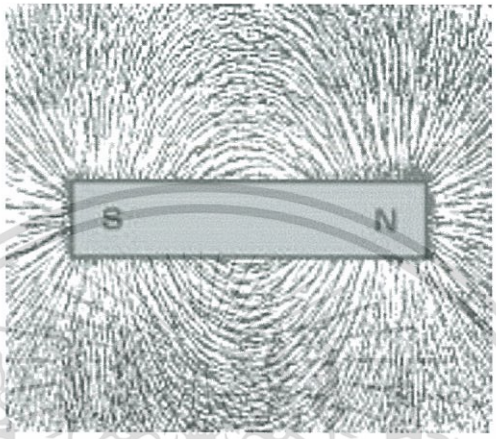
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆเส้นลวด ลักษณะของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับรูปร่างของเส้นลวดและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้สร้างแม่เหล็กที่มีกำลังสูง และใช้สำหรับทำให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยกระแสไฟฟ้าแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnets) หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำ หมายความว่า ถ้าปล่อยให้กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำ จะทำให้ให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำนั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆเส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทาได้โดยการนาเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าหรือในทางกลศาสตร์ควอนตัมนั้น การหมุนรอบตัวเองของอนุภาคต่างๆก็ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเช่นกันซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองเป็นที่มาของสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 เส้นแรงแม่เหล็ก

เส้นแรงแม่เหล็กไม่ได้เป็นปริมาณเวกเตอร์แต่เป็นเวกเตอร์เสมือนเท่านั้นแม้ว่าภาพต่างๆมักจะแสดงเส้นแรงแม่เหล็กด้วยลูกศรแต่เราไม่สามารถแปลความหมายลูกศรนั้นเป็นการเคลื่อนที่หรือการไหลของเส้นสนาม



รูปที่ 2-5 เส้นแรงแม่เหล็ก [2]

2.6 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

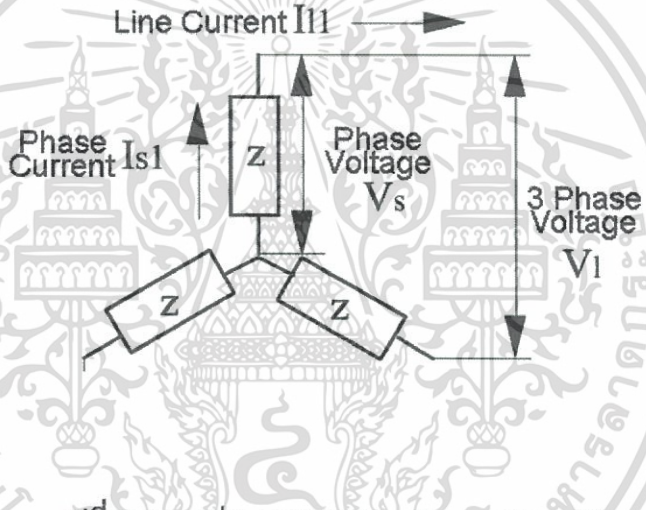
ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ทำการทดลองศึกษาแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก พบว่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทำให้มีกระแสไฟฟ้าในขดลวดโดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก ที่ผ่านหน้าตัดของขดลวดตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Three Phase Alternator

2.7.1 Star Connection

คือการต่อวงจรไฟฟ้าแบบนำปลายของขดลวดทั้งสามเฟสมาต่อรวมกัน แล้วปล่อยต้นเฟสอีกด้านหนึ่งของทั้งสามเฟสไว้เพื่อต่อใช้งาน แรงดันที่ได้จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(AC Voltage) เพื่อนำไปต่อกับ บริดจ์เร็กติไฟร์เออร์ (Bridge Rectifiers) ให้เป็นแรงดันกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประจุเข้าแบตเตอร์รี่ต่อไป การต่อแบบ Star Connection จะให้แรงดันไฟฟ้าที่สูงแต่ได้ที่กระแสต่ำ

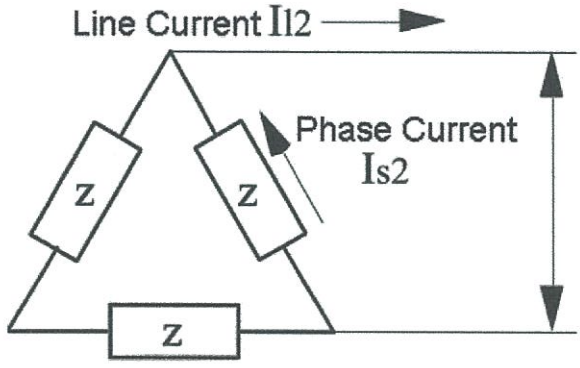


รูปที่ 2-6 การต่อวงจรแบบ Star Connection [3]

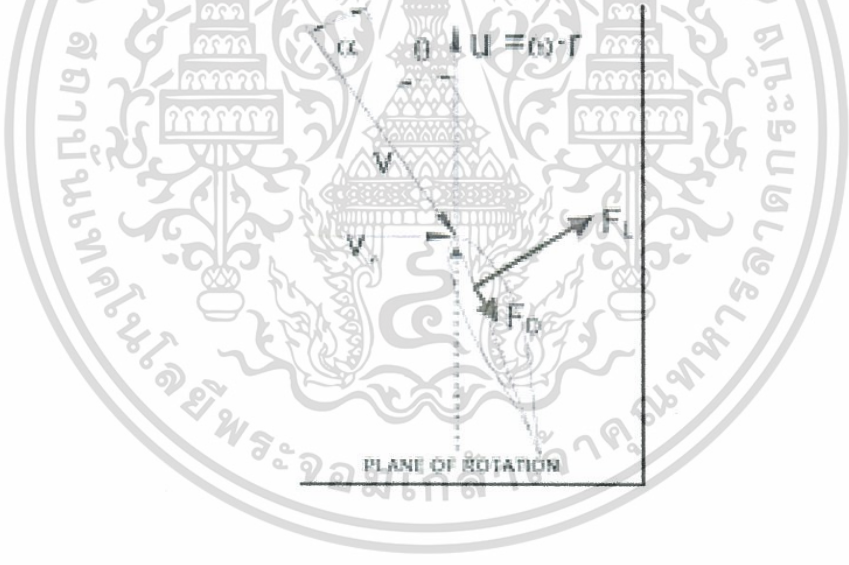
2.7.2 Delta Connection

คือการต่อแบบ ต้นและปลายของขดลวดต่อกัน ในแต่ละเฟสจะต่อถึงกันหมด ดังนี้ ปลายของเฟส 1 ต่อกับต้นของเฟส 2, ปลายเฟส 2 ต่อต้น เฟส 3,และปลายของเฟส 3 ต่อต้นของเฟส 1 การต่อใช้งานก็จะใช้จุดที่ต่อทั้งสามจุดไปใช้งาน แรงดันที่ได้จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ(AC Voltage) เพื่อนำไปต่อกับ บริดจ์เร็กติไฟร์เออร์ (Bridge Rectifiers) ให้เป็นแรงดันกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประจุเข้าแบตเตอร์รี่ต่อไป Delta Connection จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำแต่ได้กระแสที่สูงแต่ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาได้ ขณะไม่มีโหลด จะมีค่าเท่ากันทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7 การต่อวงจรแบบ Delta Connection [3]



รูปที่ 2-8 แรงที่กระทำต่อใบกังหัน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

U = ความเร็วของใบพัด (m/s)

F_L = แรงยก (N)

F_D = แรงลาก (N)

α = มุมปะทะระหว่างลมกับแกนกลาง ของคอร์ด (องศา)

θ = มุมปะทะระหว่างแกนกลางของคอร์ดกับ แนวการหมุนของใบพัด (องศา)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด (m/s)

L = ความยาวคอร์ด (m)

ซึ่งการคำนวณหาค่าแรงต่างๆที่กระทำต่อใบพัดสามารถหาได้จาก Lift, Drag Force equation

2.8 แรงยก (Lift Force)

เกิดขึ้นโดยความกดอากาศต่ำที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวด้านบนของปีกเมื่อเปรียบเทียบกับความกดอากาศที่พื้นผิวด้านล่างของปีกเครื่องบิน หรือพูดอีกอย่างหนึ่งก็คือแรงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวด้านบนของปีก น้อยกว่าแรงที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของปีกด้านล่างตามหลักของเบอร์นูลลี่ ทำให้เกิดแรงยกขึ้นข้างบนที่ปีกของเครื่องบิน ลักษณะรูปร่างของปีกเครื่องบินถูกออกแบบมาให้อากาศที่พัดไหลผ่านด้านบนของปีก จะมีระยะทางที่อากาศต้องเดินทางมากกว่าจึงทำให้ต้องไหลผ่านเร็วกว่าด้านล่าง ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ปีกถูกยกขึ้น แรงยกก็คือแรงที่อยู่ตรงข้ามกับน้ำหนักหรือแรงดึงดูดของโลกเปรียบเทียบกับใบกังหันลม เป็นไปตามทฤษฎีนี้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A V^2 \quad (2.1)$$

F_L = แรงยก (N)

C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A = พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด (m/s)

2.9 แรงลาก (Drag Force)

เกิดจากแรงดันของอากาศบนผิวของ airfoil กระทำกับแรงเสียดทานบนผิวของใบพัดจะเกิดแรง กระทำกับใบพัดในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของอากาศ เรียกว่า แรงลาก (Drag Force) ซึ่งมี ค่าสำคัญค่าหนึ่งคือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงลาก (Drag Coefficient) หรือ C เราสามารถคำนวณหาค่าแรงลากที่กระทาต่อใบพัดได้จากสูตร

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \quad (2.2)$$

F_D = แรงลาก (N)

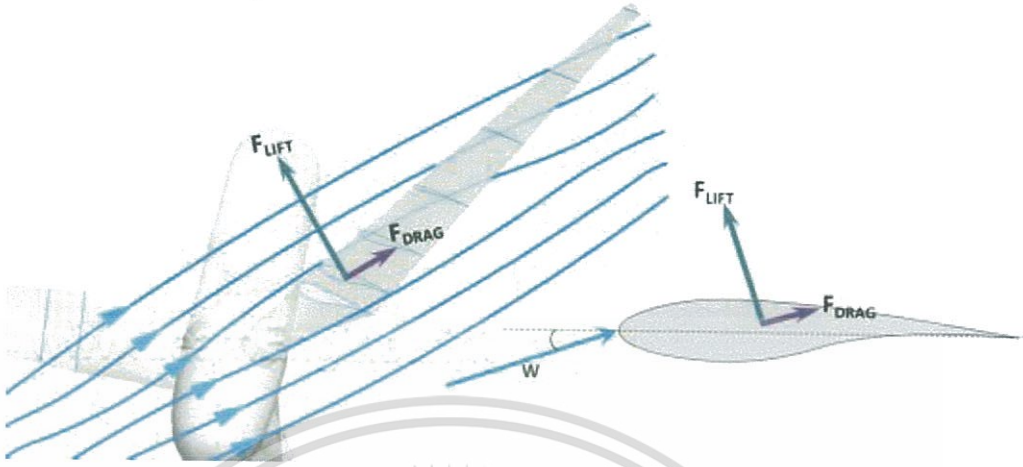
C_D = สัมประสิทธิ์แรงลาก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A = พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 แรงยกและแรงลากที่เกิดในกังหันลม [7]

2.10 แรงบิด (Torque Force) คือแรงที่กระทำบนใบพัด เกิดจากผลรวมของแรงยกและแรงลาก สามารถคำนวณได้จากสูตร

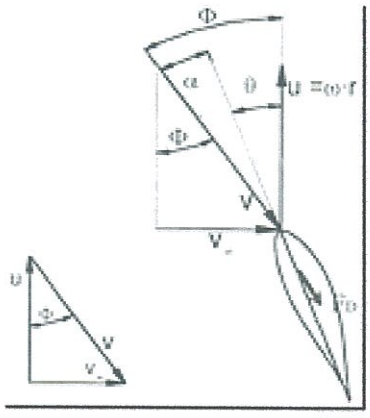
$$F_T = F_L \sin \emptyset - F_D \cos \emptyset \qquad (2.3)$$

F_T = แรงบิด (N)

F_D = แรงลาก (N)

F_L = แรงยก (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-10 การเกิดแรงบิดของใบกังหัน [7]

2.11 กฎของฮุค (Hooke's Law)

ระยะยืดของวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่ใช้ยืดวัตถุนั้น โดยวัตถุจะยืดได้ไม่เกิน *จุดจำกัดของสัดส่วน* ถ้าหากวัตถุยืดเกินไปจากจุดนี้ก็จะเข้าสู่ *ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น* วัตถุนั้นจะหยุดการยืดหยุ่นและไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้อีก

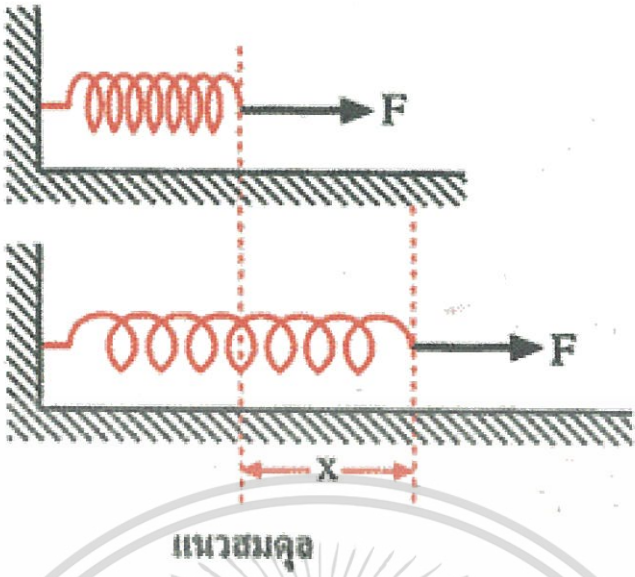
$$F = kX \tag{2.4}$$

F = แรงที่กระทำกับสปริง (N)

k = ค่านิจของสปริง (N/mm)

X = การกระจัด (mm)

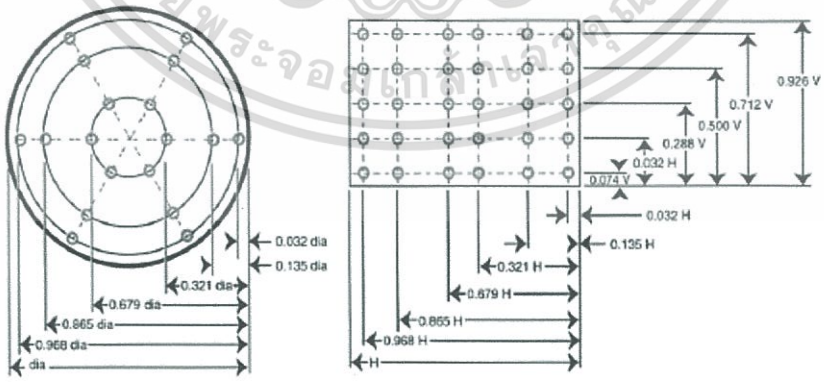
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 สปริงเมื่อมีแรงมากระทำ [5]

2.12 การวัดลม (ASHRAE Standard 111)

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ



Location of measuring points for traversing round or rectangular ducts using the log-Tchebycheff method

รูปที่ 2-12 การวัดลมแบบตาข่ายตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

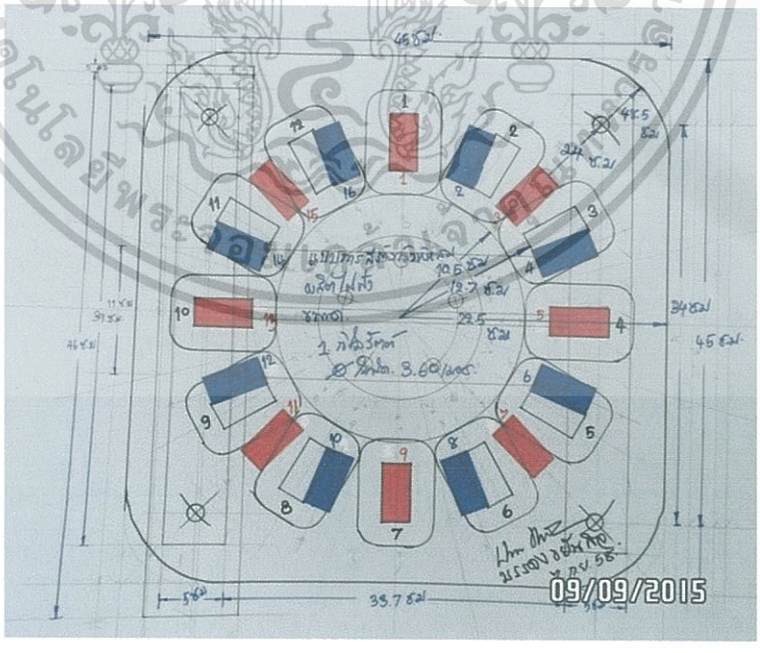
3.1 การกำหนดเป้าหมาย

กำหนดเป้าหมายของการออกแบบชุดผลิตเครื่องมือที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการ เมื่อมีสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวดหรือขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็กก็จะได้ไฟฟ้าออกมา

3.2 การออกแบบกังหันลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

3.2.1 ขดลวดตัวนำ

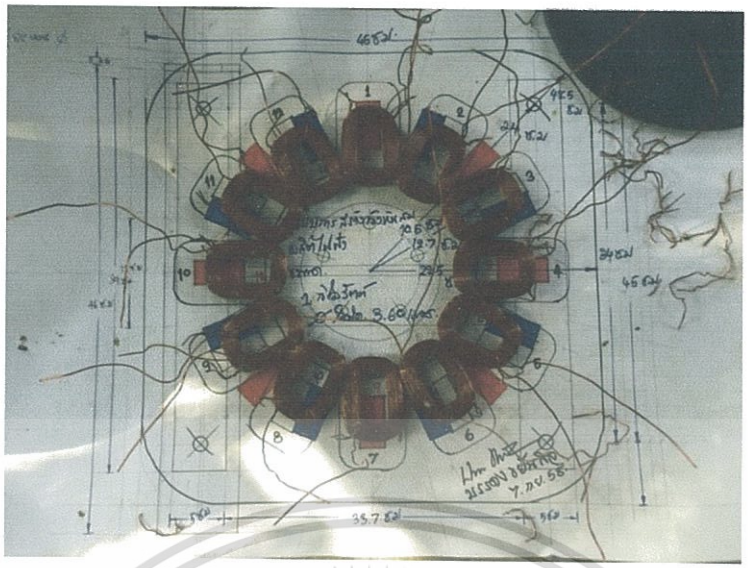
หล่อยึดด้วยเรซิ่นโดยที่นำขดลวด 12 ขด มาวางเรียงกันตามมุมองศาที่ได้คำนวณเอาไว้แล้ว หล่อขึ้นรูปตามแบบที่ได้เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3-1 3-2 3-3 และ 3-4



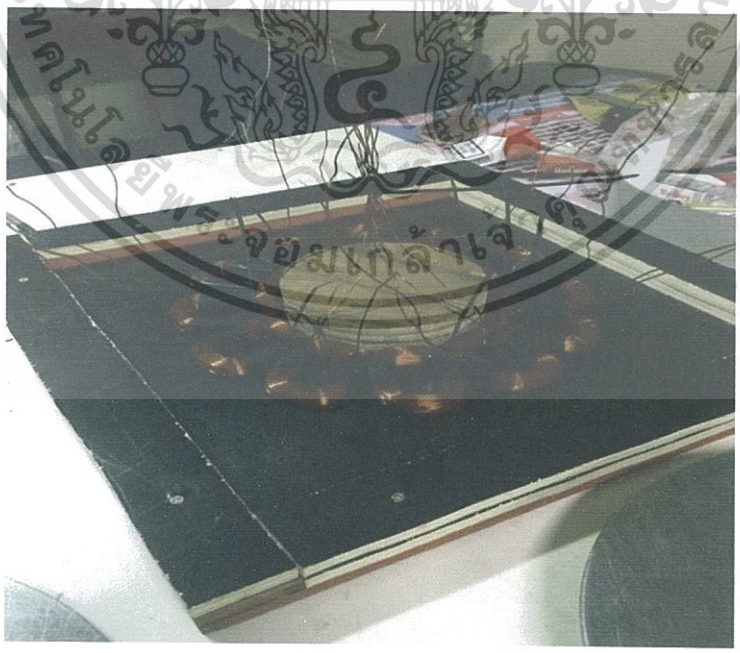
รูปที่ 3-1 รูปแบบการวางแม่เหล็กกับขดลวด [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



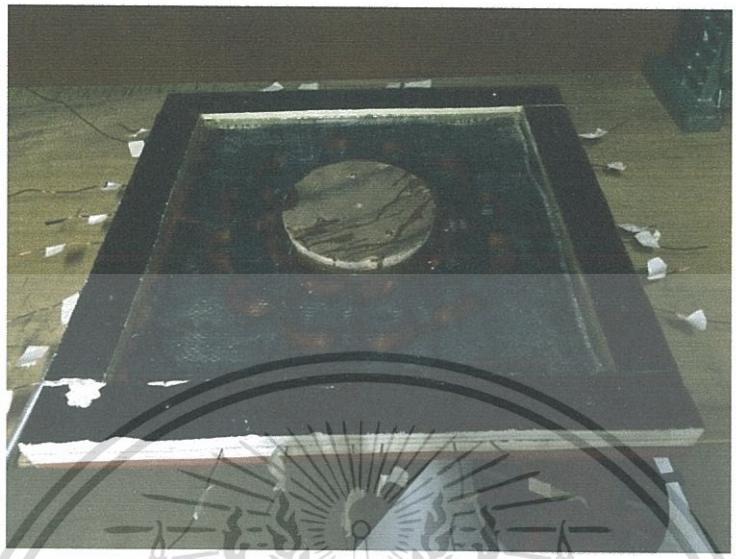
รูปที่ 3-2 การวางขดลวดตามองศาที่ได้คำนวณ



รูปที่ 3-3 การวางขดลวดเตรียมจะหล่อเรซิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

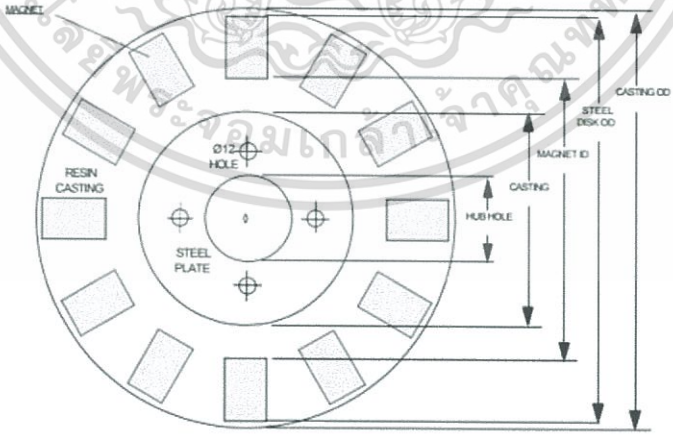
143939



รูปที่ 3-4 หลังจากการเทเรซิ่น

3.2.2 การทำชุดโรเตอร์

ใช้แผ่นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 นิ้ว จำนวน 2 แผ่นเพื่อที่จะใช้ยึดติดกับแม่เหล็กถาวรเพื่อให้มีการสร้างสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านกับขดลวด ดังรูป 3-5 และ 3-6



รูปที่ 3-5 ระยะการติดแม่เหล็กถาวร [1]

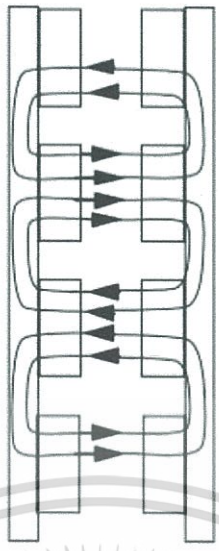
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-6 การติดแม่เหล็กถาวร

3.2.3 การติดตั้งชุด stator และ rotors

ติดตั้งโดยการวางให้ stator อยู่ระหว่าง rotors ทั้งสอง เพื่อให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ในระยะที่เหมาะสม แต่ชุดทดลองของเรานี้ได้มีการปรับปรุงให้ชุด rotor ฝั่งใดฝั่งหนึ่งนั้นอยู่กับที่และอีกฝั่งหนึ่งขยับเข้า-ออกได้เพื่อที่จะลดแรงดึงดูดจากสนามแม่เหล็กและลด Friction ให้น้อยลง เพื่อที่จะให้กังหันลมนั้นหมุนได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเราเลยกำหนดให้ rotor ฝั่งหนึ่งอยู่กับที่ที่ระยะห่างจากชุดขดลวดที่0.5 เซนติเมตรแล้วอีกฝั่งหนึ่งห่างกับ rotor ที่ใกล้ที่สุดที่ 1 เซนติเมตรและที่ไกลที่สุดอยู่ที่ 5 เซนติเมตร ดังรูป 3-7 3-8 และ 3-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 เมื่อชุดขดลวดกับสนามแม่เหล็กตัดผ่านกัน [1]

รูปที่ 3-8 โรเตอร์ฝั่งที่ใกล้กับชุดขดลวดมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-9 โรเตอร์ที่ห่างจากชุดขดลวดที่ไกลที่สุด

3.2.4 การออกแบบและสร้างฐานของชุดทดลอง

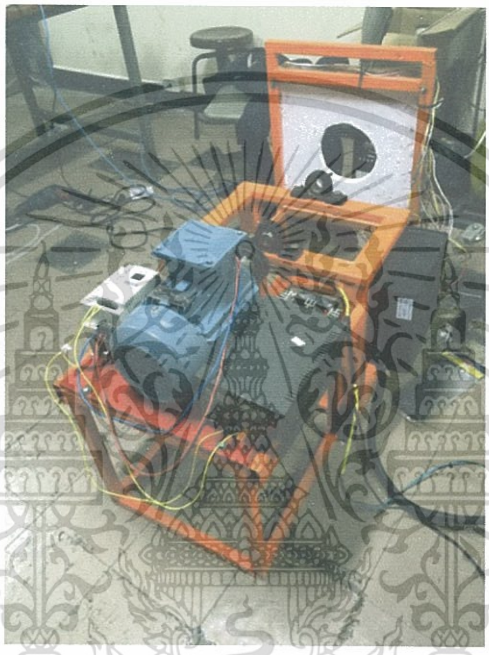
โดยต้องคำนึงถึงการสั่นของตัวเครื่อง จึงต้องออกแบบฐานให้มีความแข็งแรงและรับน้ำหนักของชุดทดลองนี้ได้ ดังรูปที่ 3-10

รูปที่ 3-10 ฐานของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การติดตั้งชุดมอเตอร์

ติดตั้งมอเตอร์ 3 เฟส 2 แรงม้า เพื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับความเร็วของลม ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 การติดตั้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter) และ คลิปแอมป์มิเตอร์ (clip amp meter)

ติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์และคลิปแอมป์มิเตอร์ สำหรับปรับรอบของมอเตอร์ เพื่อใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับแรงลมและเพื่อดูกระแสที่ใช้ในการสตาร์ท ดังรูปที่ 3-12 และ 3-13

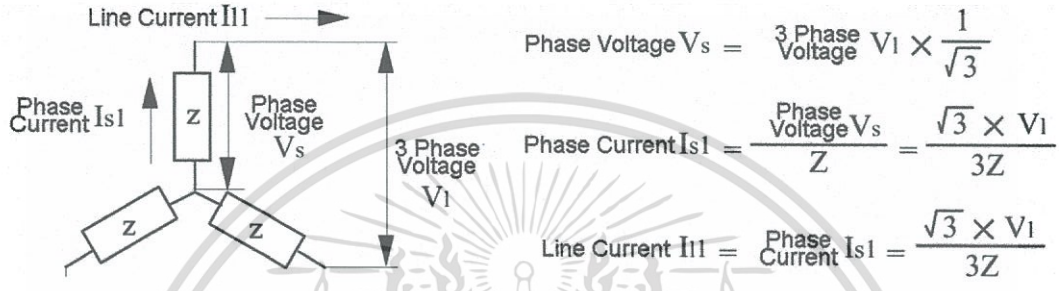
รูปที่ 3-12 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กำหนดรอบ

รูปที่ 3-13 คลิปแอมป์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 การต่อวงจรไฟฟ้าสามเฟสแบบ Star Connection

คือการต่อแบบเอาปลายของขดลวดทั้งสามเฟส (หรือจะเป็นชุดก็ได้เรียกว่า Series-Star Connection) มาต่อรวมกัน แล้วปล่อยต้นเฟสอีกด้านหนึ่งของทั้งสามเฟสไว้ เพื่อต่อใช้งาน การต่อแบบ Star จะให้แรงดันที่สูง ดังรูปที่ 3-14 และ 3-15



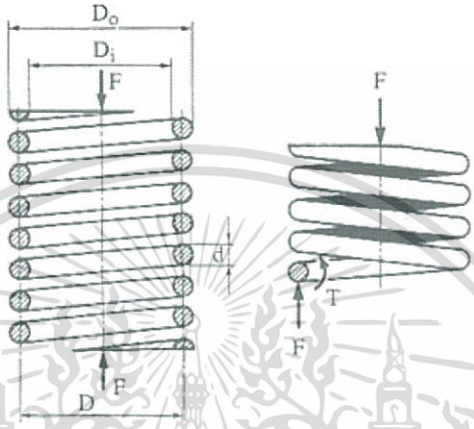
รูปที่ 3-14 สมการวงจร Star-Connection [3]

รูปที่ 3-15 การต่อวงจร Star-Connection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การออกแบบสปริงเพื่อใช้เป็นชุดขยับของโรเตอร์

การออกแบบสปริงและชุดขยับของโรเตอร์นั้นเพื่อให้ชุดทดลองขยับเข้า-ออกได้ตามความเร็วลมที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 3-16 และ 3-17



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ของสปริง [5]

รูปที่ 3.17 ชุดสปริงของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ใช้วัสดุ chrome vanadium steel (ASTM 231) ในการทำขดลวดสปริง ความยาว 10 เซนติเมตร

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง

$$\tau_d = K\frac{8FC}{\pi d^2} \quad (3.1)$$

$$\tau_d = 0.324\sigma_u = \frac{640}{d^{0.166}}$$

$$\sigma_u = \frac{1976}{d^{0.166}}$$

$$d = 3.00 \text{ มิลลิเมตร}$$

τ_d = ความเค้นเฉือนออกแบบ

σ_u = ความเค้นดึงสูงสุด

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง

K = ความเค้นหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาจำนวนขดของลวดสปริง

$$n = \frac{Gd}{8kC^3} \tag{3.2}$$

$$n = 7 \text{ ขด}$$

n = จำนวนขดของสปริง

G = ค่าโมดุลัสความยืดหยุ่น

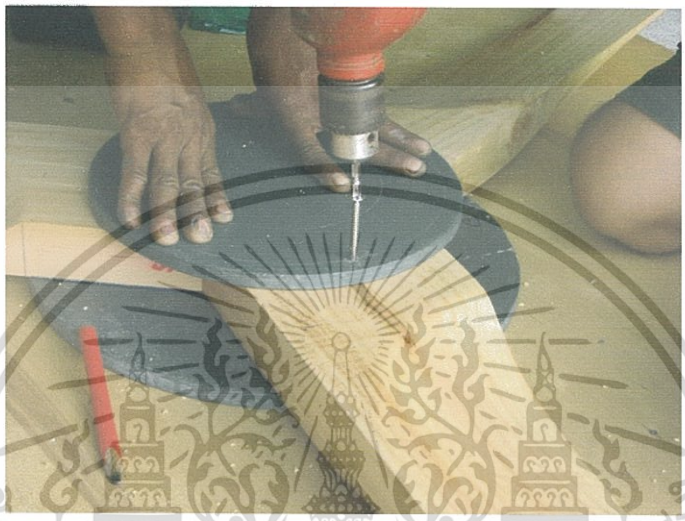
k = ค่าคงที่ของสปริง

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 การติดตั้งใบกังหัน

โดยติดตั้งตามองศาของใบและตามความสมดุลของใบ ซึ่งถ้าติดตั้งใบไม่สมดุลกัน อาจเกิดปัญหาได้ ดังรูปที่ 3-18 และ 3-19



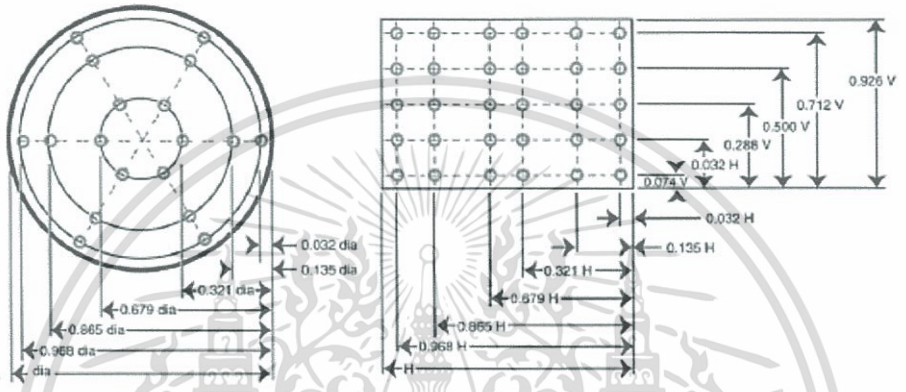
รูปที่ 3-18 การติดตังใบกังหัน [7]

รูปที่ 3-19 การถ่วงน้ำหนักใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 การจำลองอุโมงค์ลมและสร้างจุดวัด

การจำลองอุโมงค์ลมเพื่อวัดความเร็วลมเฉลี่ยและนำความเร็วลมที่ได้มาเปรียบเทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้การวัดลมเฉลี่ยตามทฤษฎีของ ASHRAE Standard 111 ดังรูปที่ 3-20 3-21 และ 3-22



Location of measuring points for traversing round or rectangular ducts using the log-Tchebycheff method

รูปที่ 3-20 การวัดลมแบบตาข่ายตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 [6]

กำหนดให้ แถวแนวตั้งคือแถว i

แถวแนวนอนคือแถว j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-21 การแบ่งพื้นที่โดยใช้ตาข่ายสำหรับวัดลม

กำหนดให้ แถวแนวตั้งคือแถว i

แถวแนวนอนคือแถว j

รูปที่ 3-22 การจำลองอุโมงค์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

กังหันลมใช้แหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ไม่มีต้นทุนและไม่มีวันหมดสิ้น จากชุดทดลองที่ได้สร้างขึ้นนั้นกังหันลมสามารถเริ่มหมุนได้ตั้งแต่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ผลิตไฟฟ้าและบรรจุไฟฟ้าได้ ด้วยลมที่เบาที่สุดคือ 2 เมตรต่อวินาที จนถึงลมที่แรงที่สุด ไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาทีโดยยังมีข้อจำกัดของชุดทดลองที่อยู่ระหว่างการพัฒนา คือ ขอบเขตของความเร็วลมที่ได้มากสุดไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาที หลักการทำงานของชุดทดลอง จะใช้ชุดสปริงที่มีค่าคงที่ที่เหมาะสมในการทำให้โรเตอร์ที่ยึดติดกับใบกังหัน สามารถขยับเข้าหาโรเตอร์อีกฝั่งได้ เพื่อเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อมีลมแรง และขยับออกจากกันเพื่อลดความเข้มของสนามแม่เหล็กเมื่อมีลมเบา ตามความเร็วลมตั้งแต่ 1 เมตรต่อวินาที ถึง 5 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดทดลองโดยใช้มอเตอร์กำหนดรอบ

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM)	แรงดันไฟฟ้าที่ได้ตามระยะห่างระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์ (V)							
	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm	50 mm
50	2.6	2.1	1.8	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
100	5.3	4.5	3.7	3.4	3.3	3.0	3.1	3.0
150	8.3	7.0	5.8	5.3	5.0	5.0	4.9	4.6
200	11.0	9.5	7.9	7.2	7.0	6.7	6.7	6.4
250	14.0	12.2	10.1	9.1	8.9	8.6	8.5	8.0
300	16.8	14.9	12.1	11.1	10.9	10.5	10.3	9.8
350	20.0	17.5	14.5	13.2	12.8	12.4	12.3	11.8
400	23.0	20.2	16.8	15.3	14.8	14.4	14.0	13.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหาแรงสปริง

ระยะยุบสปริง (mm)	แรงแม่เหล็ก (N)	แรงสปริงที่ชนะแรงแม่เหล็ก (N)
35.0	113.0	164.5
30.0	96.0	141.0
25.0	81.0	117.5
20.0	64.0	94.0
15.0	48.1	70.5
10.0	32.5	47.0
5.0	16.3	23.5
0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
j \ i	1	2	3	4	5	6
1	0.9	1.0	1.0	1.2	1.0	0.9
2	0.8	1.1	1.3	1.5	1.2	1.4
3	1.0	1.4	1.5	1.4	0.7	1.1
4	1.2	1.5	1.6	1.4	0.8	1.3
5	1.3	1.4	1.1	1.0	1.3	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
j \ i	1	2	3	4	5	6
1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.3	1.4
2	1.4	1.4	1.5	1.8	1.6	1.4
3	1.3	1.5	1.7	1.5	1.6	1.3
4	1.3	1.5	1.6	1.9	1.4	1.5
5	1.3	1.4	1.6	1.5	1.4	1.3

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
j \ i	1	2	3	4	5	6
1	2.0	1.5	1.6	2.3	1.8	2.1
2	1.8	1.7	2.2	2.0	2.2	1.9
3	2.0	1.8	2.1	2.3	2.0	2.0
4	1.6	2.0	2.2	2.4	2.1	1.7
5	1.8	1.7	2.1	1.9	2.0	1.8

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
j \ i	1	2	3	4	5	6
1	2.3	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3
2	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.4
3	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.4
4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.3
5	2.3	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
i / j	1	2	3	4	5	6
1	2.9	2.8	3.0	3.0	2.8	2.7
2	2.8	3.0	3.0	3.3	3.1	2.8
3	2.8	2.8	3.2	3.5	3.4	2.8
4	2.8	2.7	3.2	3.2	3.0	2.8
5	2.7	2.8	2.8	2.9	2.7	2.7

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
i / j	1	2	3	4	5	6
1	3.2	3.3	3.3	3.5	3.6	3.5
2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.5	3.6
3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.4	3.5
4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6	3.4
5	3.3	3.6	3.4	3.5	3.4	3.6

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
i / j	1	2	3	4	5	6
1	3.8	3.5	3.6	3.0	3.8	3.8
2	3.8	3.7	4.0	3.0	3.3	3.9
3	3.5	4.3	4.3	4.0	4.1	4.0
4	3.9	4.3	4.3	3.8	3.8	4.4
5	3.5	3.7	4.0	3.9	3.9	3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

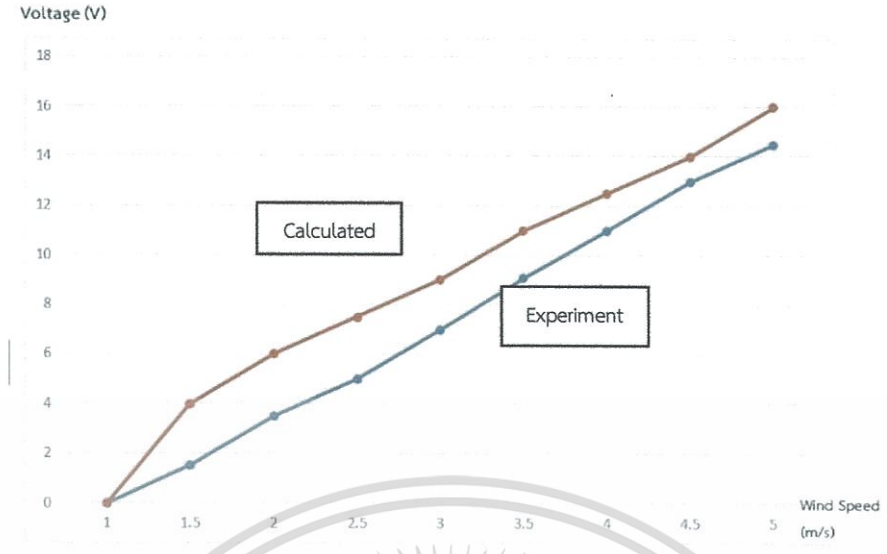
ตารางที่ 4.10 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
i / j	1	2	3	4	5	6
1	4.3	4.3	4.3	4.4	4.3	4.3
2	4.4	4.6	4.8	4.8	4.8	4.4
3	4.4	4.6	4.8	4.8	4.8	4.4
4	4.4	4.4	4.6	4.6	4.6	4.3
5	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3	4.3

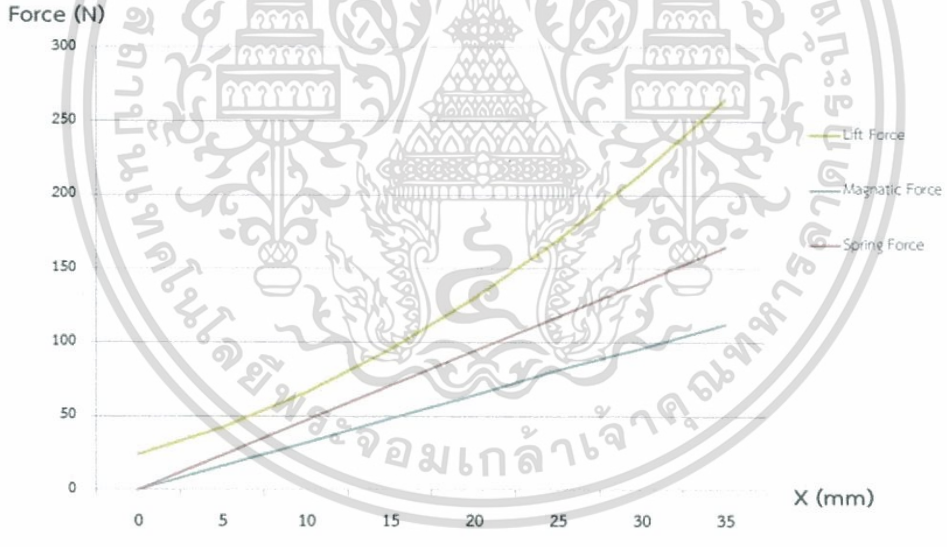
ตารางที่ 4.11 ผลการวัดลมตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที

ความเร็วลม (m/s)						
i / j	1	2	3	4	5	6
1	4.9	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7
2	4.8	4.9	5.1	5.0	4.8	4.8
3	4.8	5.2	5.4	5.5	5.4	4.8
4	4.8	4.9	5.2	4.9	4.8	4.6
5	4.7	4.8	5.0	5.2	4.7	4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับทฤษฎี



กราฟที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงของลม, แรงของสปริงและแรงของแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากตารางงที่ 4.1 แสดงผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดทดลองโดยใช้มอเตอร์กำหนดรอบด้วยอินเวอร์เตอร์และวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยโวลต์มิเตอร์

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการหาค่าคงที่ของสปริงที่เหมาะสม คือ 4.7 N/mm แรงของสปริงจะต้องมากกว่าแรงของแม่เหล็กเพื่อที่จะสามารถดันโรเตอร์ออกจากสเตเตอร์ได้เพื่อลดความเข้มของสนามแม่เหล็ก

จากตารางที่ 4.3-4.11 แสดงผลการทดลองวัดความเร็วลมที่ใช้จริงในการหมุนใบกังหันเพื่อหาความเร็วรอบของใบกังหันที่ความเร็วลมต่างๆ ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 111 โดยกำหนดความเร็วลมที่ 1-5 เมตรต่อวินาที

จากกราฟที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองเทียบกับทฤษฎี โดยทฤษฎีคำนวณจาก $$Rpm = \frac{windspeed \times tsr \times 60}{circumference} \quad (1)$$

เมื่อ tsr คือ อัตราส่วนความเร็ว ณ.ปลายใบพัดเมื่อเทียบกับความเร็วลม ซึ่งใบพัดชนิดสามใบมีค่าเท่ากับ 7 เท่าของความเร็วลม ตามการออกแบบของใบที่ใช้ในการทดลอง

$circumferene$ คือ เส้นรอบวง โดยขนาดใบกังหันที่ใช้มีรัศมีเท่ากับ 1.2 เมตร

จากกราฟที่ 4-2 คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงของลม,แรงของสปริงและแรงของแม่เหล็ก ซึ่งในส่วนแรกคือแรงของลมได้จากวิธีการคำนวณด้วยสูตร Lift equation

$$L = C_L \times d \times \frac{v^2}{2} \times A \quad (2)$$

แรงสปริง ได้จากการวิธีการคำนวณด้วยสูตร

$$F = kx \quad (3)$$

แรงแม่เหล็กได้จากการทดลองโดยการใช้เครื่องชั่งสปริงดึงโรเตอร์ออกจากกัน โดยกำหนดระยะห่างระหว่างโรเตอร์ตามระยะยุบของสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

กังหันลมใช้แหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ไม่มีต้นทุนและไม่มีวันหมดสิ้น จากชุดทดลองที่ได้สร้างขึ้นนั้นกังหันลมสามารถเริ่มหมุนได้ตั้งแต่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ผลิตไฟฟ้าและบรรจุไฟฟ้าได้ ด้วยลมที่เบาที่สุดคือ 2 เมตรต่อวินาที จนถึงลมที่แรงที่สุด ไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาทีโดยยังมีข้อจำกัดของชุดทดลองที่อยู่ระหว่างการพัฒนา คือ ขอบเขตของความเร็วลมที่ได้มากสุดไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาที หลักการทำงานของชุดทดลอง จะใช้ชุดสปริงที่มีค่าคงที่ที่เหมาะสมในการทำให้โรเตอร์ที่ยึดติดกับใบกังหัน สามารถขยับเข้าหาโรเตอร์อีกฝั่งได้ เพื่อเพิ่มความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อมีลมแรง และขยับออกจากกันเพื่อลดความเข้มของสนามแม่เหล็กเมื่อมีลมเบา ตามความเร็วลมตั้งแต่ 1 เมตรต่อวินาที ถึง 5 เมตรต่อวินาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ใบกังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 0.8 เมตร เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่มากขึ้น

2. การทำฐานของชุดทดลองต้องแข็งแรงเพื่อให้ชุดทดลองมีความมั่นคง

3. ควรทำการวัดกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติม เนื่องจากการทดลองวัดได้แต่แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ศุภพงศ์ คล้ายคลึง Generator ค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2015, แหล่งที่มา
http://www.dockyard.navy.mi.th/doc2/kpd_1/web/A1.pdf

[2] Faculty of science and technology Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Magnetic fields Retrieved August, 2015, from
http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/98/magnetic1/index2.htm

[3] การเหนี่ยวนำไฟฟ้า ค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2015 แหล่งที่มา
ttp://science.sut.ac.th/physics/Doc/105102/phys2-5.pdf

[4] แรงยก (Lift Force ค้นเมื่อ 5 กันยายน 2015 แหล่งที่มา
http://www.neutron.rmutphysics.com/physicslossary/index.php?option=com_content&task=view&id=2292&Itemid=82

[5] กฎของฮุค ค้นหาเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2016 แหล่งที่มา
http://www.atom.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/virtual3/spring/index.html

[6] Yuanhui Zhang. Indoor Air Quality Engineering, CRC Press, 2004 Retrieved May,2016 form
https://books.google.co.th/books?id=P1diAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=th&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

[7] การผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัด CNC.// (2558).// ปริญญานิพนธ์.// ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.// อัดสำเนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

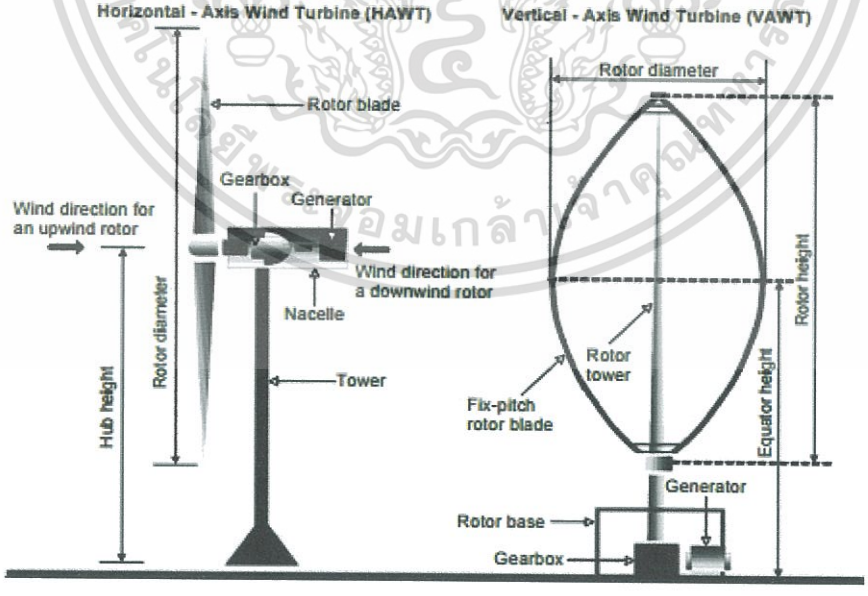
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกังหันลม

กังหันลม เป็นชุดเครื่องจักรกลแบบหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจนล์ จากการเคลื่อนที่ของลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล และนำพลังงานกลนี้มาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลมจะต้อง อาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักทางวิศวกรรมในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการทางานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นเริ่มจากการที่มีลมพัดผ่านใบของกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา จากนั้นพลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลมที่ใช้งานในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดหลายรูปแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติและลักษณะที่แตกต่างกัน ออกไปสามารถจำแนกชนิดของกังหันลมได้โดยการจำแนกตามลักษณะการวางแนวการหมุนของกังหันลม ซึ่งมีแนวการหมุนอยู่ 2 แบบ คือ กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแกนนอน และกังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่แนวตั้ง ซึ่งทั้ง 2 ชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทางานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กังหันลมผลิตไฟฟูาแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง [7]

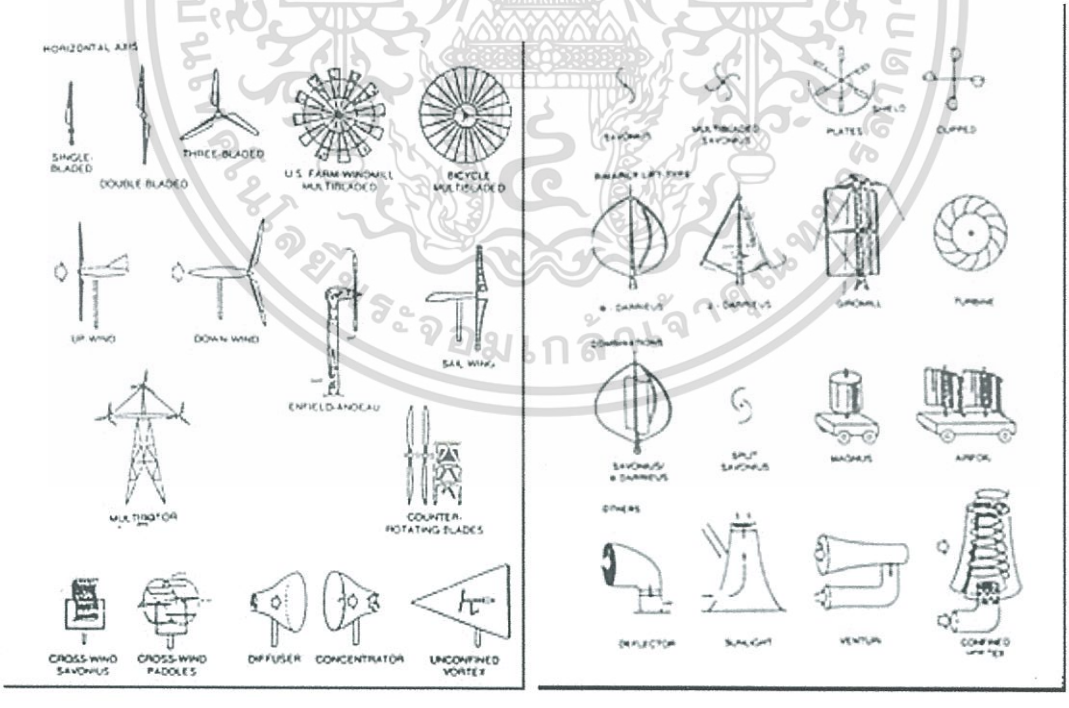
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีของกังหันลมแบบที่มีการหมุนในแนวนอนกับกังหันลมแบบแกนหมุนในแนวตั้ง

กังหันลมที่มีแกนหมุนแนวนอน	กังหันลมที่มีแกนหมุนแนวตั้ง
1. แรงบิดที่ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ	1. สามารถปรับลมได้ทุกทิศทาง
2. สามารถสร้างให้ได้เปรียบทางกลศาสตร์ได้ง่ายขึ้น	2. ออกแบบใบสร้างได้ง่ายและประหยัด
3. สามารถควบคุมกาลังของกังหันลมได้	3. สร้างเสาของกังหันลมได้ง่าย

ลักษณะของกังหันลม

ลักษณะต่างๆ ของกังหันลมที่มีหลายชนิดและหลายแบบไม่ว่าจะเป็นแบบ 1ใบ 2 ใบ 3 ใบ หรือแบบหลายใบ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและการใช้งานในแต่ละพื้นที่ว่ามีลมมากน้อยเพียงใด เหมาะสมมากเพียงใด ซึ่งลักษณะใหญ่ๆจะมีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบกังหันลมแกนนอน กับแบบกังหันลมแกนตั้ง ลักษณะของกังหันลมทั้งสองแบบนี้สามารถดูได้จากรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของกังหันลมแกนนอนและแกนตั้ง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทางานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทาให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทางานได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง

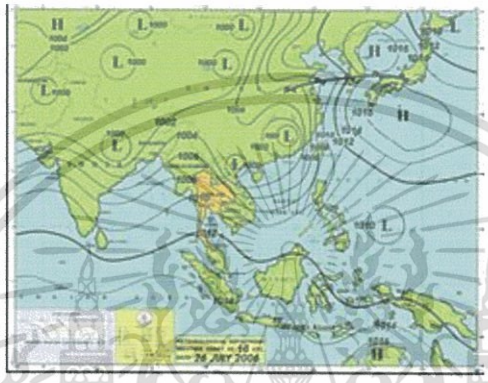
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ลักษณะของลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

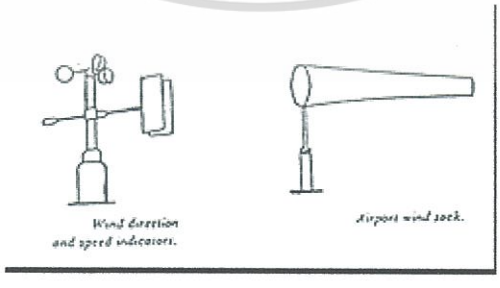
ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นในแต่ละท้องถิ่นนั้นแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของภูมิประเทศและฤดูกาล แต่ลักษณะการเกิดลมทั่วไปไม่ได้มีลมพัดอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งลมท้องถิ่นส่วนใหญ่จะพัดมาเป็นครั้งคราว ในระยะเวลาสั้นๆ บางครั้งจะมีความเร็วสูงในลักษณะของลมกระโชก นอกจากนี้ลักษณะของภูมิประเทศในแต่ละท้องถิ่นยังมีอิทธิพลต่อทิศทางและความเร็วของลมในระดับผิวพื้น (10 เมตร) เช่น ลมที่พัดผ่านในบริเวณที่เต็มไปด้วยอาคารสิ่งก่อสร้าง ย่อมแตกต่างกับในบริเวณท้องทุ่งนา หรือบริเวณที่เป็นพื้นน้ำ ดูได้จากรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของลมเมื่อผ่านภูมิประเทศแบบต่างๆ [7]

ทิศทางลม

ลมจะพัดจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง มายังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่าอยู่เสมอ การกำหนดทิศทางลมจะต้องกำหนดตามทิศทางที่พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก จะเรียกว่า “ลมตะวันออก” เป็นต้น การกำหนดทิศทางของลมอาจสังเกตได้โดยการอาศัยถุงวัดทิศทางลม (Airport wind sack) ศร (wind vane) หรือดูได้จากอาการพัดปลิวของวัตถุหรือฝุ่นละออง ดังรูปที่ 2.13

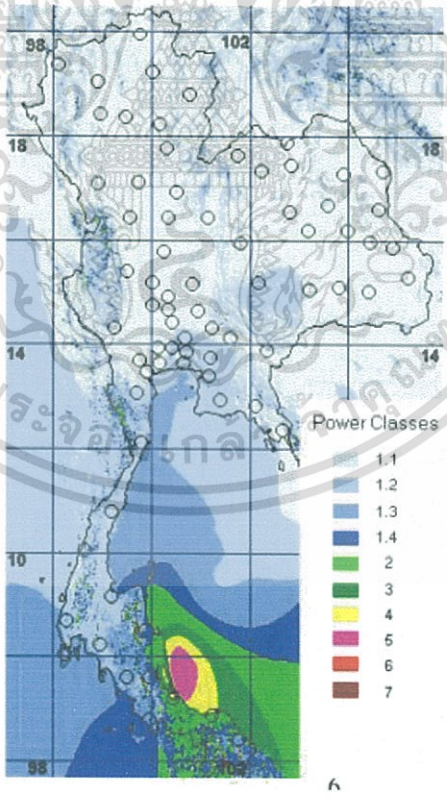


รูปที่ 4 แสดงลักษณะของถุงวัดทิศทางลม [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บข้อมูลลม

จากลักษณะการเกิดลมในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งบางท้องถิ่นมีลมพัดตามฤดูกาล เป็นลมที่พัดค่อนข้างสม่ำเสมอเกือบตลอดเวลา แต่บางท้องถิ่นลมที่เกิดจะเป็นแบบลมกรรโชคมาเป็นครั้งคราวในระยะเวลาอันสั้น เป็นผลทำให้ยุ่งยากต่อการเก็บข้อมูลลมในลักษณะนี้ นอกจากนี้ความเร็วลมที่วัดได้ในระดับความสูงต่างๆ จากพื้นดินย่อมได้ค่าแตกต่างกัน จากสาเหตุดังกล่าวจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการวัดความเร็วลมขึ้นโดยทั่วไป การตรวจวัดความเร็วลมผิวพื้น(wind surface) ได้กำหนดความสูงของเครื่องวัดความเร็วประมาณ 10 เมตร จากพื้นดิน และการติดตั้งเครื่องวัดลมนี้จะต้องอยู่ในที่โล่งห่างจากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างโดยรอบอย่างน้อย 2 เท่าความสูงอาคารหรือสิ่งก่อสร้างนั้นๆ สาหรับการอ่านค่าเมื่อการจดบันทึก จะทำการอ่านค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นก่อนและหลังเวลาที่ทาการวัดประมาณ 3 นาที แล้วนามาหาค่าเฉลี่ยโดยประมาณ ซึ่งเป็นลักษณะการเก็บข้อมูลของสถานีตรวจอากาศต่างๆ ทั่วประเทศกระทำกัน



รูปที่ 5 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้