สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก

(Small Scale Wind Power Generation: Design and Operation Recommendation)

T104060

โดย

นาย เชาวลิต พิทักษ์วงษ์

นาย ธงชัย อินนันชัย

นาย ธนยศ สีดาคำ

นาย ธีรชัย แซ่ลิ้ม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104060
วัน,เดือน,ปี 18 ต.ค. 2552

,b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก

(Small Scale Wind Power Generation: Design and Operation Recommendation)

โดย

นาย เชาวลิด พิทักษ์วงษ์

นาย ธงชัย อินนันชัย

นาย ธนยศ สีดาคำ

นาย ธีรชัย แซ่ลิ้ม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชาย ชมภูอินไหว

รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย เชาวลิต พิทักษ์วงษ์
2. นาย ธงชัย อินนันชัย
3. นาย ธนยศ สีดาคำ
4. นาย ธีรชัย แซ่ลิ้ม

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาย ชมภูอินไหว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก

นาย เชาวลิต พิทักษ์วงษ์
นาย ธงชัย อินนันชัย
นาย ธนยศ สีดาคำ
นาย ธีรชัย แซ่ลิ้ม
ผศ.ดร. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ร.ศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องแหล่งพลังงานเป็นปัญหาสำคัญระดับโลก แหล่งพลังงานส่วนใหญ่จะมาจากน้ำมันและถ่านหิน เมื่อใช้ไปเรื่อยๆก็จะมีวันหมดไป ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาค้นคว้าให้มากขึ้น เพื่อที่จะได้มีความมั่นคงทางพลังงาน ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็กขนาด 5KW ในระบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone) การเก็บและสำรองพลังงานไว้ใช้ในที่พักอาศัย โดยในส่วนของการออกแบบนั้นจะเน้นไปที่การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และระบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone) ซึ่งเป็นส่วนของการออกแบบทางไฟฟ้าเป็นหลัก หลักการการออกแบบทั้งหมดได้ถูกอธิบายไว้ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Small Scale Wind Power Generation: Design and Operation Recommendation

Chaowalit Pithakvong
Thongchai Innanchai
Tanayot Seedakum
Teerachai Saelim
Asst. Prof. Chai Chompoo-inwai Supervisor
Assoc.Prof. Monthon Leelachindakaileak Supervisor
2008

ABSTRACT

Nowadays, the energy resources issues are internationally concerned. Most of the energy consumed today comes from oil and coals which will be gradually exhausted. As a result, researches on the alternative energy are becoming more essential to strengthen energy security.

This thesis is about design and operation recommendation for small scale wind power generation (5 KW) which comes up with the ideas of electric generator design from wind energy resources in a stand alone system and the energy reservation for residences.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว และ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาต่างๆ ตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาในชั้นอนุบาล จนถึงปัจจุบัน เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่าน นำมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และนอกภาควิชาที่ให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จ

สุดท้ายนี้ ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ที่มอบชีวิตการศึกษา และอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กับคณะผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I

ABSTRACT.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญภาพ.....VII

สารบัญตาราง.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....2

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน.....2

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน.....2

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน.....3

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....4

บทที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของลม.....5

2.1 ความเร็วลม (wind velocity).....5

2.2 นิยามพลังงานลม.....6

2.3 สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อความเร็วลม.....9

2.4 การใช้พลังงานจากลม.....10

บทที่ 3 กังหันลม.....12

3.1 ความเป็นมาของกังหันลม.....12

3.2 ความสามารถในการลาก.....12

3.3 ความสามารถในการยก.....14

3.4 กังหันลมชนิดต่าง ๆ.....16

3.4.1 กังหันลมประเภทแกนตั้ง (Vertical rotor axis).....16

3.4.2 กังหันลมประเภทแกนนอน (Horizontal rotor axis).....17

3.4.2.1 จำนวนใบพัด.....17

3.4.2.2 การออกแบบช่วงความเร็วการทำงานที่พิกัด.....18

3.4.3 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง และกังหันแกนนอน.....18

3.5 การเลือกประเภทของแกนหมุน และจำนวนใบพัด.....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 เครื่องจักรกลไฟฟ้า.....20
4.1 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด.....20
4.2 เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรชนิดต่าง ๆ.....23
4.3 การอธิบายทางไฟฟ้าของเครื่องจักรไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร.....23
บทที่ 5 ระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Stand – Alone System).....27
5.1 ชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้า และควบคุมการประจุ.....28
5.1.1 การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ.....29
5.2 ชุดแบตเตอรี่ (Battery Bank).....29
5.2.1 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน.....32
5.2.2 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม.....32
5.2.3 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน.....34
5.2.4 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน.....34
5.2.5 การใช้งานแบตเตอรี่ใหม่.....35
5.2.6 ความปลอดภัยเกี่ยวกับแบตเตอรี่.....35
5.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter).....35
5.3.1 หลักการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า.....36
5.3.2 ชนิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า.....37
5.3.2.1 เครื่องแปลงกระแสฟฟ้าชนิดใช้งานแยกอิสระ.....37
5.3.2.1.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Square Wave.....37
5.3.2.1.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified Sine Wave.....38
5.3.2.1.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave...38
บทที่ 6 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง.....41
6.1 ขั้นตอนการทำงาน.....41
6.2 ผลการทดลอง.....42
บทที่ 7 การออกแบบสร้างจริง.....46
7.1 ขั้นตอนการออกแบบ.....46
7.2 รูปแบบของใบพัด.....47
7.3 ความเร็วลม.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7.4 การเลือกใช้เครื่องจักรไฟฟ้าชนิดต่างๆ.....49
7.4.1 จำนวนโพล.....49
7.4.2 ความเร็วลมเริ่มทำงาน.....53
7.4.3 รายละเอียดอื่นๆ.....53
7.5 การติดตั้งเสากังหัน.....53
7.6 สรุปข้อมูลการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม.....54
7.7 การออกแบบระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ.....55
7.7.1 การเลือกขนาดชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ.....56
7.7.2 การหาขนาดชุดแบตเตอรี่.....57
7.7.3 การเลือกขนาดอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า.....59
7.7.3.1 คุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของเครื่องแปลงกระแส.....60
ไฟฟ้าชนิดใช้งานแยกอิสระ
บทที่ 8 สรุปการทำงานและการแก้ไขปัญหา.....61
บรรณานุกรม.....62
ประวัติผู้แต่ง.....63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงความเร็วลมที่ต่างต่างกันของแต่ละชั้นบรรยากาศ.....5
2.2 แสดงการกระจายเรไลน์ สำหรับความแตกต่างของความเร็วลมเฉลี่ย.....8
2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในอุดมคติของกังหันลม.....10
3.1 แสดงสัมประสิทธิ์การลากของรูปทรงต่างๆ.....13
3.2 แสดงความเร็วลมปรากฏ เกิดผลของการหมุนของโรเตอร์กับความเร็วลมจริง.....14
3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนทิปสปีด.....15
3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับกำลังโดยประมาณ.....15
ของเครื่องจักรตัวอย่าง
3.5 รูปแสดงกังหันลมแกนตั้งชนิดต่างๆ.....17
4.1 กราฟแสดงค่าคุณลักษณะทางแม่เหล็กถาวร.....20
4.2 กราฟแสดงคุณลักษณะทางเหล็กของสารแม่เหล็กนีโอดีเมียมไอออนโบรอน.....21
4.3 แผนภาพแสดงความนิยมใช้งานเครื่อจักรแม่เหล็กถาวรในลักษณะงานต่างๆ.....21
4.4 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร.....22
4.5 วงจรสมมูลย์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร.....23
4.6 วงจรสมมูลของไซเลนตริเคอร์โรเตอร์.....24
4.7 แสดงเวกเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัสด้วยไซเลนตริเคอร์โรเตอร์.....24
4.8 Curve ของทอร์กของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสด้วยไซเลนตริเคอร์โรเตอร์.....25
4.9 แสดงความสัมพันธ์ของ ทอร์ก กับกระแสสเตเตอร์ และพลังงานไฟฟ้าของ.....26
เครื่องจักรกลชนิดแม่เหล็กถาวรที่ขนาดต่างๆ
5.1 แสดงไดอะแกรมของระบบแยกตัวอิสระ (Stand – Alone System).....27
5.2 แสดงชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า.....28
5.3 แสดงชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า.....29
5.4 แสดงภาพแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead – Acid Battery).....30
5.5 แสดงภาพส่วนประกอบภายในของแบตเตอรี่.....30
5.6 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม.....33
5.7 การต่อชุดแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า 100 Ah 10 ลูก แรงดัน 120 โวลต์.....33
5.8 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน.....34
5.9 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน.....34
5.10 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภทต่างๆ.....36
5.11 วงจรแสดงการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า.....36
5.12 แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าที่แปลงออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified Sine Wave มี soft start.....38
5.14 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave.....39
5.15 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave และชุดควบคุม.....40
6.1 แสดง Flow Chart ของขั้นตอนการทำงาน.....41
6.2 แสดง Power Curve ที่ค่าความเร็วลม Cut-in ต่างๆ บริเวณเกาะเต่า.....43
จังหวัดสุราษฎร์ธานี
6.3 แสดง Power Curve ที่ค่าความเร็วลม Cut-in ต่างๆ บริเวณอำเภอตะกั่วป่า.....44
จังหวัดพังงา
7.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบทั้งหมดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก.....46
7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่สูญเสีย พลังงานลม.....52
และพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับกับความเร็วลมที่ค่าต่างๆ
7.3 กราฟแสดง Power Curve ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการเลือกไว้ที่ค่าพิกัด 5kW.....52
7.4 แสดงขั้นตอนการสูญหายไปของพลังงานลมในระบบ.....53
7.5 แสดงภาพระบบแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone System).....55
7.6 แสดงภาพการติดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบแยกตัวอิสระ.....56
7.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน.....58
(Back-up time) กับความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity)
7.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน.....58
(Back-up time) กับราคาของชุดแบตเตอรี่ (Battery Bank)
7.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity) 59
กับกับราคาของระบบต่าง ๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (5kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงการแยกประเภทความเร็วลมของสเกลความเร็วลม Beaufort.....6

2.2 แสดงพารามิเตอร์วิวบลู และความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 10 เมตร.....7
สำหรับพื้นที่ต่างๆ ในประเทศเยอรมัน

2.3 แสดงความยาวของความไม่ราบเรียบของความแตกต่างของแต่ละพื้นที่.....9

3.1 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง.....18

3.2 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนนอน.....19

6.1 แสดงค่า Capacity Factor (%) และ Energy Production (KWh).....42
ของเกาะเต่า จ.นครศรีธรรมราช

6.2 แสดงค่า Capacity Factor (%) และ Energy Production (KWh).....43
ของอำเภอตะกั่วป่า จ.พังงา

6.3 แสดงการประเมินราคาเบื้องต้นต่อปีของเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....45

6.4 แสดงการประเมินราคาเบื้องต้นต่อปีของอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา.....45

7.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความยาวใบพัดที่มีผลต่อความเร็วลม.....50

7.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความยาวใบพัดที่มีผลต่อความเร็วลม.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานในรูปแบบต่างๆ มีความจำเป็นต่อมนุษยชาติ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ หนึ่งในนั้นคือพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันได้มาจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ซึ่งพลังงานเหล่านี้ล้วนแต่มีในปริมาณที่จำกัด ในแต่ละปีนั้นความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้านั้นเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงปริมาณที่มากขึ้นเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจึงยังไม่ใช่วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

การมองหาพลังงานทางเลือกอื่นๆ จึงดูเหมาะสมกว่าในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งพลังงานลมนั้นเป็นพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ของของไหล และสามารถพบได้ทุกแห่ง โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ของประเทศที่มีลมค่อนข้างแรง เหมาะสำหรับการติดตั้งกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ทางคณะผู้จัดทำโครงงานจึงเล็งเห็นว่า การเลือกใช้พลังงานลมเป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในประเทศไทย โดยเฉพาะในบริเวณภาคใต้ภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีปัญหาในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอยู่แล้ว การติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าจะช่วยลดปัญหาในด้านพลังงานไฟฟ้าที่ถูกส่งลงมาจากทางตอนบนของประเทศไทยได้ และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายส่งในบริเวณที่ติดตั้งสายส่งได้ยากลำบาก เช่น ในบริเวณชนบทที่อยู่บนภูเขาซึ่งอยู่ไกลจากตัวเมือง หรือเกาะต่างๆ ได้ รวมทั้งยังใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย และยังมีระยะเวลาในการคืนทุนต่ำ อีกทั้งพลังงานลมยังเป็นพลังงานที่สะอาด และเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ

คณะผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวความคิดว่าการศึกษาเรื่องของการผลิต และออกแบบกังหันลมขนาดเล็กที่มีในปัจจุบันยังไม่เหมาะสมที่สุดสำหรับสภาพแรงลมของประเทศไทย คณะผู้จัดทำโครงงานจึงศึกษาการออกแบบ ควบคุมรวมทั้งการป้องกันกังหันลมขนาดเล็ก และได้ดำเนินการเก็บข้อมูลแรงลมที่บริเวณภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อนำมาใช้ออกแบบกังหันลมขนาดเล็กสำหรับผลิตไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานภายในครัวเรือนหรือที่เรียกว่าระบบ Stand Alone นั่นเอง โดยคาดหวังว่าการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมขนาดเล็กขนาด 5 kW ที่ใช้กันภายใน 1-2 หลังคาเรือนต่อกังหันลม 1 ตัว จะช่วยลดปัญหาจากการส่งจ่ายพลังงาน และลดการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าลงได้ อันจะก่อให้เกิดผลดีต่อความมั่นคงทางพลังงานต่อไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความมั่นคงทางพลังงานของประเทศไทย
2. เพื่อทำการออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในครัวเรือนบริเวณชนบทต่างๆ และใช้ภายในครัวเรือนบริเวณเกาะต่าง ๆ ที่ยากแก่การดิดตั้งสายส่ง
3. เพื่อวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆของลมที่มีผลต่อการออกแบบ ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก
4. เพื่อเป็นการส่งเสริมการพัฒนาขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าภายในประเทศไทย
5. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับใช้ภายในครัวเรือน (1-2 หลังคาเรือน) ให้ดีและมีความเหมาะสมยิ่ง ๆ ขึ้นไปในอนาคต

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการการออกแบบ ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และเทคโนโลยีต่างๆของกังหันลม รวมทั้งศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการนำพลังงานลมมาใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าในต่างประเทศที่มีการศึกษามาเป็นระยะเวลานาน เพื่อที่จะเสนอแนวคิดในการออกแบบ ควบคุมการทำงานของกังหันลมขนาดเล็ก (5 kW) โดยเน้นทางระบบไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานภายในครัวเรือนประมาณ 1-2 ครัวเรือนต่อกังหันลมขนาดเล็ก 1 ตัว รวมทั้งยังต้องได้ประสิทธิภาพที่ดีในการทำงาน และสอดคล้องกับความเร็วลมของประเทศไทย

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กในแหล่งต่างๆ
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก
3. ศึกษาลักษณะของพื้นที่ที่ทำการดิดตั้งกังกันลมที่ใช้ในการอ้างอิง
4. รวบรวมสถิติข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่ที่ทำการดิดตั้ง
5. วิเคราะห์ค่า Capacity Factor และค่า Energy Production ต่อปีของกังหันลมขนาดเล็กจากโปรแกรม Wind Cap
6. ศึกษาคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด Permanent Magnet Synchronous Machine(PMSM) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด Switch Reluctance Machine (SRM)
7. ศึกษาการเชื่อมต่อระบบแบบ Stand-Alone System และอุปกรณ์ที่ใช้ต่อเชื่อมภายในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

เนื้อหาการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
- ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวข้องและค้นคว้าข้อมูลที่จะศึกษา										
- รวบรวมข้อมูลพื้นที่และสถิติความเร็วลมในพื้นที่ที่สนใจใน 1 ปี										
- ศึกษาโปรแกรม Wind Cap เพื่อใช้ในการคำนวณค่า Capacity Factor										
- ศึกษา และทำการออกแบบ power curve ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่จะติดตั้ง										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
- ออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบบเชื่อมต่อแบบแยกเดี่ยว (Stand-Alone System)										
- จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับระบบการทำงานของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. ได้ความรู้เกี่ยวกับระบบการทำงานแบบ Stand-Alone System
3. สามารถออกแบบกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ, ภูมิอากาศ และสภาพแรงลมของประเทศไทย
4. เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือกภายในประเทศไทย
5. เพื่อลดต้นทุนในการดำเนินการด้านการผลิตไฟฟ้า และในระบบสายส่งของประเทศไทย

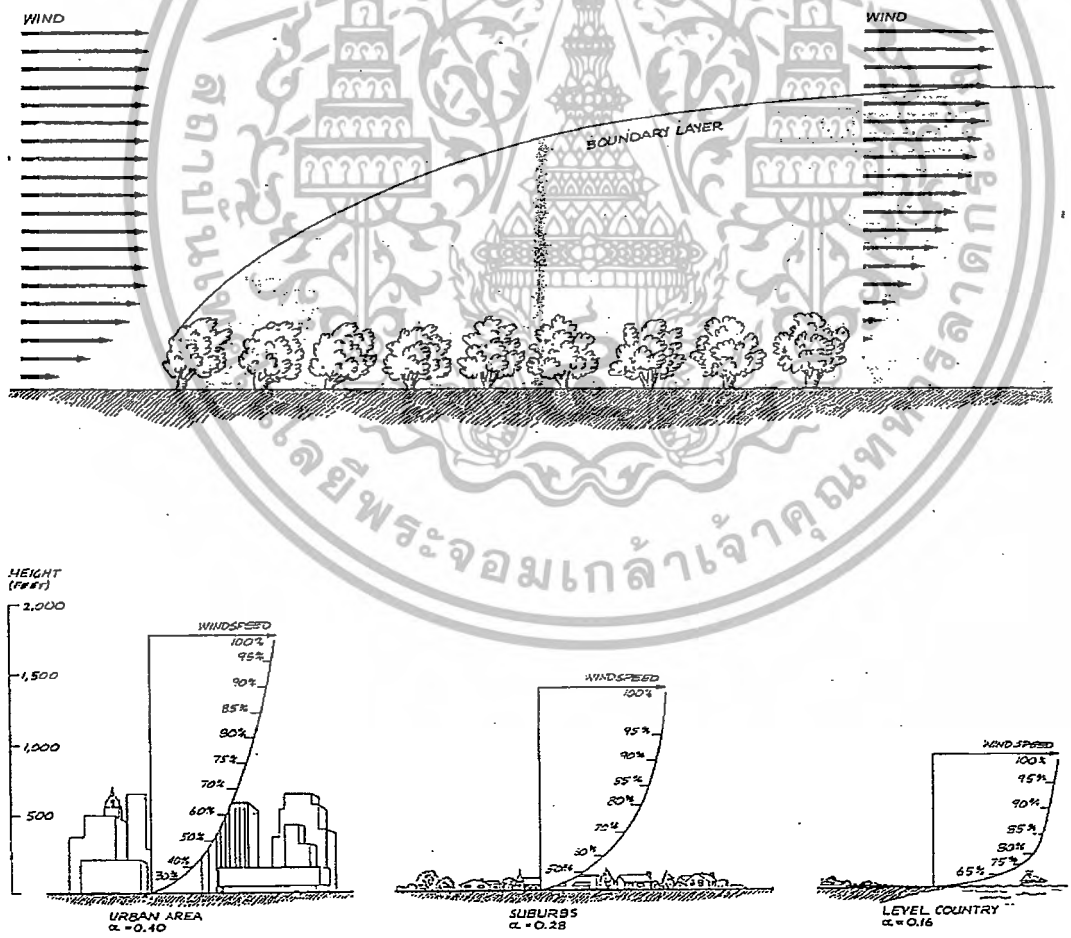
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ลักษณะทางกายภาพของลม

พลังงานลมเป็นพลังงานที่เกิดจากแสงอาทิตย์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิของอุณหภูมิของอากาศในแต่ละพื้นที่ ซึ่งพลังงานที่เกิดจากลมนั้นจะมีความหนาแน่นของพลังงานสูงถึง 25 kW/m^2 ในกรณีที่เกิดพายุรุนแรง และจะมีความหนาแน่นของพลังงานเพียง 0.075 kW/m^2 เมื่อลมมีความเร็ว 5 m/s ขณะที่พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานมากสุดเพียง 1 kW/m^2

2.1 ความเร็วลม (wind velocity)

ลมมีความเร็วไม่คงที่แต่ละเวลามีความเร็วเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศในบริเวณนั้นๆ และความสูงของบรรยากาศในระดับที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.1 แสดงความเร็วลมที่แตกต่างกันของแต่ละชั้นบรรยากาศ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือวัดความเร็วลม เรียกว่าอะนีโมมิเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยลูกถ้วยครึ่งวงกลม ทำด้วยอะลูมิเนียม หรือ พลาสติก แล้วแต่ประเภทการใช้งานจากการหมุนของลูกถ้วยจะมีผลทำให้เราทราบถึงจำนวนรอบในการหมุน จึงทำให้สามารถหาความเร็วลมได้ ซึ่งมีหน่วยเป็น นอด, ไมล์ต่อชั่วโมง, กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมที่ใช้กันในปัจจุบันมีรูปร่างลักษณะดังในรูปด้านล่าง

2.2 นิยามพลังงานลม

พลังงานลมสามารถบอกได้โดยใช้ Beaufort Scale ซึ่งค่าที่ได้จะสามารถนำมาใช้ประมาณการพลังงานลมได้ในเบื้องต้น แต่ค่าดังกล่าวมีประโยชน์น้อยในทางเทคนิค ซึ่งในการนำมาใช้ในทางเทคนิคนั้นนำยมที่จะใช้ ลักษณะการกระจายตัวของลมมาใช้มากกว่า โดยจะทำการวัดความเร็วลมในบริเวณที่ต้องการทราบถึงพลังงานเป็นระยะๆ อาจจะทุก 10 นาที หรือทุกชั่วโมง ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกนำมาพล็อตกราฟ แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาใช้ในการตัดสินว่าพื้นที่ดังกล่าวมีพลังงานลมมาก แต่ก็สามารถนำมาตัดสินได้ว่า พื้นที่นั้นมีคุณภาพเพียงไรในการใช้พลังงานจากลม ซึ่งปกติแล้วความเร็วลมเฉลี่ยตามแนวชายฝั่งทะเลจะมีค่ามากกว่า 6 m/s และในพื้นที่ราบจะมีความเร็วลมเฉลี่ยน้อยกว่า 3 m/s

ตารางที่ 2.1 แสดงการแยกประเภทความเร็วลมของสเกลความเร็วลม Beaufort [2]

Bf	*v in m/s*	*Description*	*Effects*
0	0–0.2	Calm	Smoke rises vertically
1	0.3–1.5	Light air	Smoke moves slightly and shows direction of wind
2	1.6–3.3	Light breeze	Wind can be felt. Leaves start to rustle
3	3.4–5.4	Gentle breeze	Small branches start to sway. Wind extends light flags
4	5.5–7.9	Moderate breeze	Larger branches sway. Loose dust on ground moves
5	8.0–10.7	Fresh breeze	Small trees sway
6	10.8–13.8	Strong breeze	Trees begin to bend, whistling in wires
7	13.9–17.1	Moderate gale	Large trees sway
8	17.2–20.7	Fresh gale	Twigs break from trees
9	20.8–24.4	Strong gale	Branches break from trees, minor damage to buildings
10	24.5–28.4	Full gale/storm	Trees are uprooted
11	28.5–32.6	Violent storm	Widespread damage
12	≥ 32.7	Hurricane	Structural damage

Note: Bf, Beaufort force; v, wind speed in m/s (1 m/s = 3.6 km/h = 2.24 mph)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความเร็วลมโดยการใช้การกระจายทางความถี่ของลม จะให้ข้อมูลที่ดีกว่าการวัดการกระจายเวลาของลม เนื่องจากผลของความต่อเนื่องทุกเวลาของลม ดังแสดงในรูป และตารางที่ 2.1 โดยค่าความถี่การกระจายตัวแบบ Weibull สามารถหาได้จาก

$$f_{weibull} = \frac{k}{a}\left(\frac{v}{a}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{a}\right)^{k}\right) \quad (2.1)$$

โดย k = Shape_Parameter

a = Scale Parameter

v = Wind Speed

และจากตารางที่ 2.1 เราสามารถคำนวณค่าความเร็วลมเฉลี่ยได้จาก

$$\bar{v} = a\left(0.568 + \frac{0.434}{4}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.2)$$

ในกรณีที่เราไม่ทราบค่า k เราจะประมาณค่า k มีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งได้ว่า

$$a_{kq} = \frac{\bar{v}}{0.886} \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \bar{v} \quad (2.3)$$

และเมื่อนำค่า a ในการกระจายตัวแบบ Weibull distribution และใช้ค่า k=2 แล้วจะได้สูตรการคำนวณในการกระจายตัวของ Rayleigh ว่า

$$f_{\mathrm{Re}\,yleigh} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{\bar{v}^{2}} \cdot \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{v^{2}}{\bar{v}^{2}}\right) \quad (2.4)$$

โดยที่ $\bar{\mathbf{V}}$ = ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)

$\mathbf{V}$ = ความเร็วลม (m/s)

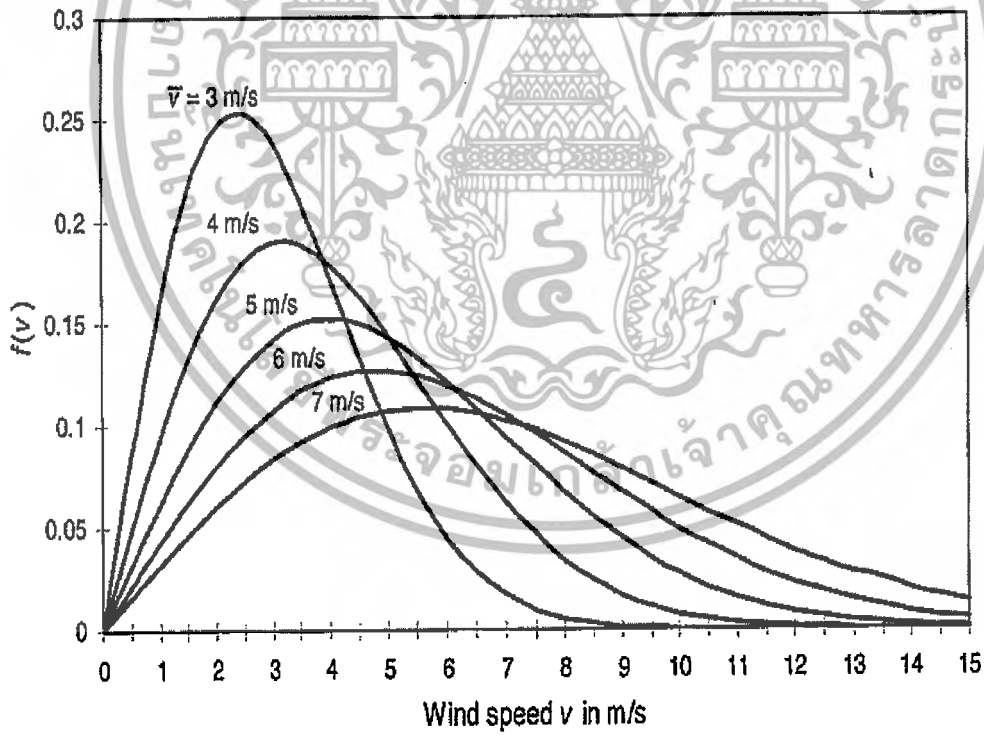
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงพารามิเตอร์วิวบลู และความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 10 เมตร สำหรับพื้นที่ต่างๆในประเทศเยอรมัน [2]

Location	*k*	*a*	*v in m/s*	*Location*	*k*	*a*	*v in m/s*
Berlin	1.85	4.4	3.9	Munich	1.32	3.2	2.9
Hamburg	1.87	4.6	4.1	Nuremberg	1.36	2.9	2.7
Hannover	1.78	4.1	3.7	Saarbrücken	1.76	3.7	3.3
Helgoland	2.13	8.0	7.1	Stuttgart	1.23	2.6	2.4
Cologne	1.77	3.6	3.2	Wasserkuppe	1.98	6.8	6.0

Source: Christoffer and Ulbricht-Eissing, 1989

จะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์โดยให้การกระจาย แบบ Rayleigh ใช่เพียงค่าความเร็วลมเฉลี่ยก็เพียงพอที่จะหาความถี่ได้แล้ว



รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายเรไลน์ สำหรับความแตกต่างของความเร็วลมเฉลี่ย [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อความเร็วลม

สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อความเร็วลมคือ ลักษณะของพื้นที่ที่ลมพัดผ่าน และความสูงของความสูงของลม พื้นผิวที่เรียบจะทำให้ลมเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า พื้นที่ผิวที่มีความราบเรียบน้อย และพื้นผิวบริเวณเนินเขา หรือบนภูเขาลมจะมีความเร็วมากกว่าที่ราบ ดังนั้นโรงจักรไฟฟ้าพลังงานลมนิยมที่จะติดตั้งกังหันในบริเวณเนินเขา และยกกังหันให้มีความสูงมากกว่า 10 เมตร เพื่อให้ได้ความเร็วลมที่สูง และหลีกเลี่ยงจากความไม่เรียบของพื้นผิวที่ลมพัดผ่าน

ความเร็วลมเหนือพื้นดินสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$v\left(h_2\right) = v(h_1) \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{h_2 - d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1 - d}{z_0}\right)} \right) \tag{2.5}$$

เมื่อ $v(h_1)$ คือความเร็วที่ความสูงจากพื้นดิน h_1

$v(h_2)$ คือความเร็วที่ความสูงจากพื้นดิน h_2

h_1 คือความสูงจากพื้นดิน h_1

h_2 คือความสูงจากพื้นดิน h_2

z_0 คือค่าความยาวของความไม่ราบเรียบ(roughness length)(m)

โดยค่า z_0 สามารถหาได้จากตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงความยาวของความไม่ราบเรียบของความแตกต่างของแต่ละพื้นที่ [2]

Ground class	*Roughness length z_0 in m*	*Description*
1 – Sea	0.0002	Open sea
2 – Smooth	0.005	Mud flats
3 – Open	0.03	Open flat terrain, pasture
4 – Open to rough	0.1	Agricultural land with a low population
5 – Rough	0.25	Agricultural land with a high population
6 – Very rough	0.5	Park landscape with bushes and trees
7 – Closed	1	Regular obstacles (woods, village, suburb)
8 – Inner city	2	Centres of big cities with low and high buildings

Source: Christoffer and Ulbricht-Eissing, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การใช้พลังงานจากลม

ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศดังนั้น พลังงานลมจึงหาได้จากสูตรพลังงานจลน์ คือ

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2.6}$$

เมื่อนำพลังงานลมมาทำการหาอนุพันธ์ของพลังงานลมเทียบกับเวลาจะได้ว่า

$$P = \dot{E} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 \tag{2.7}$$

เนื่องจาก

$$m = \rho \cdot v \tag{2.8}$$

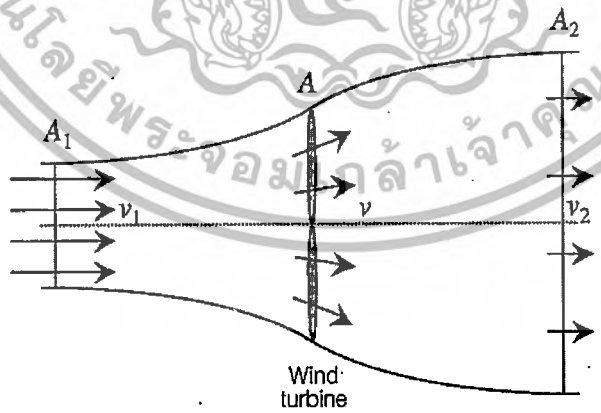
จะได้ค่าอัตราการไหลของอากาศ

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{v} = \rho \cdot A \cdot \dot{s} = \rho A v \tag{2.9}$$

และเมื่อมวลของอากาศที่มีค่าความหนาแน่น ρ พัดผ่านพื้นที่หน้าตัดขนาดA ด้วยความเร็ว v จะได้

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 \tag{2.10}$$

ซึ่งค่า ρ ของอากาศจะขึ้นอยู่กับความดันอากาศในขณะที่พิจารณานั้น



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในอุตมคติของกังหันลม [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วยกังหัน จะพบว่า

$$P_T = \frac{1}{4}\rho \cdot v \cdot (v_1 + v_2) \cdot (v_1^2 - v_2^2) \tag{2.11}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานได้

$$C_P = \frac{P_T}{P} = \frac{(v_1 + v_2) \cdot (v_1^2 + v_2^2)}{2v_1^3} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1}\right) \tag{2.12}$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานนี้ถูกทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานสูงสุดโดย Betz ซึ่งจะได้ค่า $C_{P,Betz}$ ประมาณ 0.593 ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่า C_P ที่ได้จริงของระบบที่ดีจะมีค่าประมาณ 0.4-0.5 เนื่องมาจากค่าความสูญเสียอื่นๆ โดยเราสามารถหาค่าประสิทธิภาพของระบบได้จาก

$$\eta = \frac{P_T}{P_{id}} = \frac{P_T}{P_o \cdot C_{P,Betz}} = \frac{P_T}{\frac{1}{2}\rho v_1^3 \cdot C_{P,Betz}} = \frac{C_P}{C_{P,Betz}} \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
กังหันลม

3.1 ความเป็นมาของกังหันลม

ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้า มีการใช้แหล่งพลังงานหลัก คือถ่านหิน ซึ่งทรัพยากรถ่านหินนี้มีการคาดการณ์กันว่าจะหมดในอนาคต ดังนั้นวิศวกรจึงได้ทำการออกแบบการนำทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานหมุนเวียนมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม

เทคโนโลยีกังหันลมเริ่มต้น ขึ้นกว่าสามพันปีมาแล้ว โดยกังหันที่ค้นพบแบบแรกมีการใช้กังหันตามแนวนอนเพื่อใช้ในการสูบน้ำ ซึ่งปัจจุบันนี้มีกังหันหลายแบบที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆกัน โดยกังหันลมที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว จากปี ค.ศ. 1989 ขนาดของกังหันลมขณะนั้นมีขนาด 300 กิโลวัตต์ ด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหัน 30 เมตร หลังจากนั้นประมาณสิบปีมีผู้ผลิตจากหลายบริษัทได้ผลิตกังหันขนาด 1500 กิโลวัตต์ ด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน 70 เมตร และในเวลาต่อมา กังหันขนาด 2 เมกะวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน 74 เมตร จนถึงค.ศ.2005 กังหันได้มีขนาด 5-6 เมกะวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 120 เมตร ในอนาคตขนาดของกังหันก็จะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น

ในปี ค.ศ.1990 ประเทศเยอรมันเป็นประเทศที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านกังหันลมสูงสุดทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 4 เมกกะวัตต์ และผลจากการพัฒนาด้านพลังงานลมนี้ทำให้เกิดโรงงานที่ผลิตกังหันขึ้นและสร้างงานให้ชาวเยอรมันมากกว่า 45,000 อัตรา และเกิดเงินหมุนเวียนขึ้นในประเทศมากถึง 3,500 ล้านยูโร

จากการพัฒนาที่รวดเร็ว ทำให้เชื่อว่าภายในระยะ 20 ปีข้างหน้าไม่เพียงแต่ประเทศเยอรมันและเดนมาร์กเท่านั้น จะมีประเทศอื่นๆในยุโรปอีกหลายประเทศเช่นอังกฤษ สเปน ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลมเช่นกัน

3.2 ความสามารถในการลาก

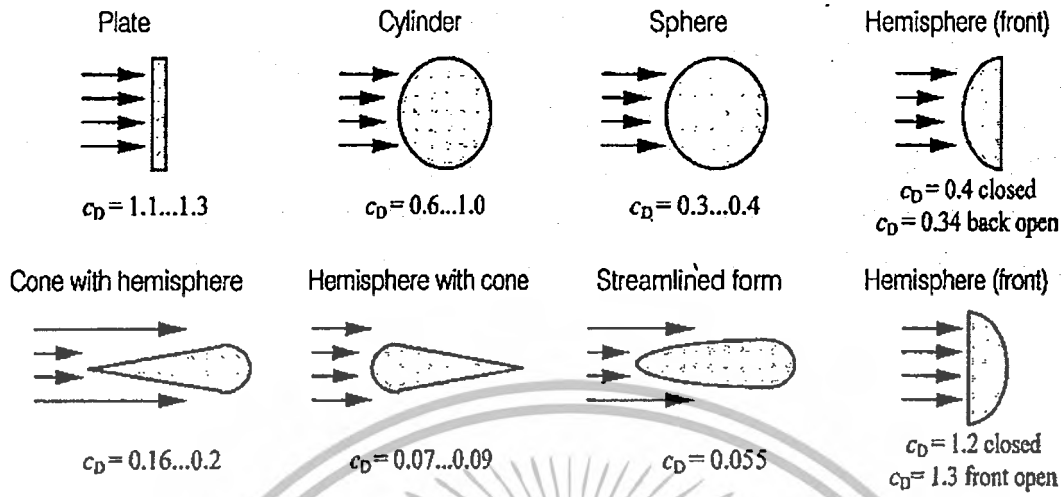
เมื่อลมปะทะกับวัตถุหนึ่ง จะเกิดแรงทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ค่าของแรงดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ ซึ่งแรงลากดังกล่าวบอกได้ว่าจากสัมประสิทธิ์การลาก C_D คือ

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \tag{3.1}$$

และเมื่อทำการเปรียบเทียบความเร็วระหว่าง 2 ชุดใดๆที่ลมพัดผ่าน จะได้

$$P_T = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v-u)^2 \cdot u \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Source: Hering et al, 1992

รูปที่ 3.1 แสดงสัมประสิทธิ์การลากของรูปทรงต่างๆ [2]

จากการทดลองค่า C_D สูงสุดที่หาได้ จะมีค่าประมาณ 1.3 ซึ่งจะได้ค่า $C_{P,max}$ ประมาณ 0.193 ซึ่งยังห่างจาก 0.593 ซึ่งเป็นค่า $C_{P,Betz}$ อยู่มาก แต่อย่างไรก็ตามกังหันลมชนิดใหม่ส่วนมากเลือกที่จะใช้อุปกรณ์ชนิดยกแทนชนิดลาก ซึ่งให้สัมประสิทธิ์พลังงานที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ความสามารถในการยก

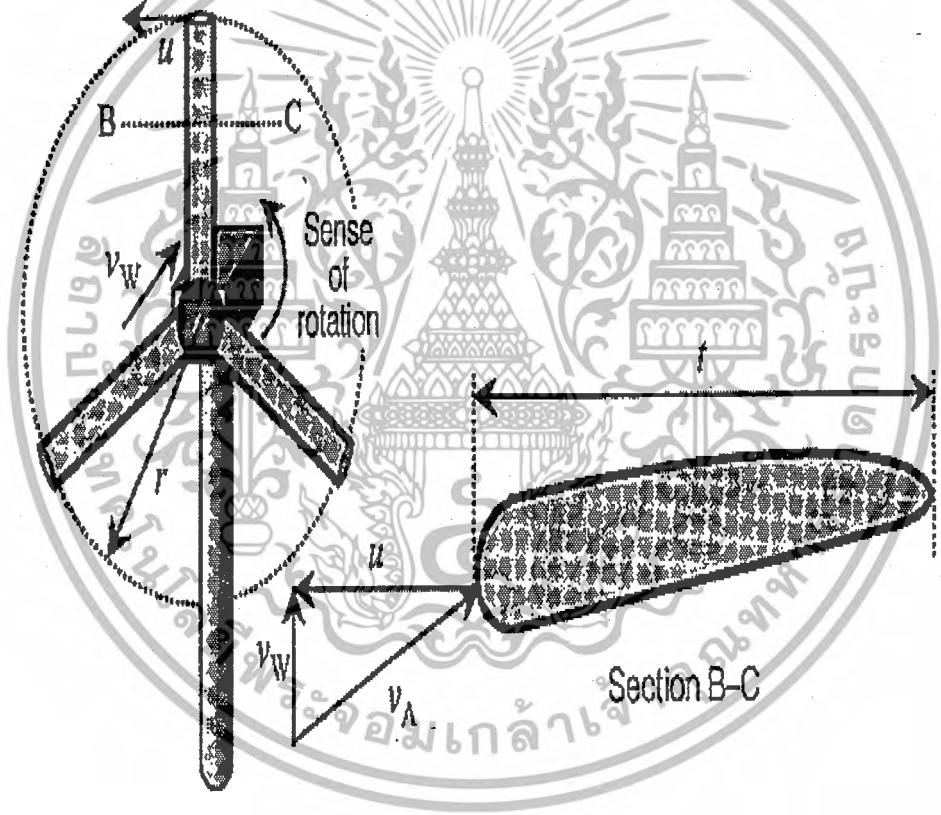
แรงยกที่เกิดขึ้นจากลมสามารถอธิบายได้จากกฎของแบร์นูลลี โดยค่าแรงดังกล่าวหาได้จากความสัมพันธ์

$$F_L = C_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_P \cdot v_s^2 \tag{3.3}$$

เมื่อ C_L คือสัมประสิทธิ์การยก

A_P คือพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางลม ซึ่ง A_P หาได้จาก

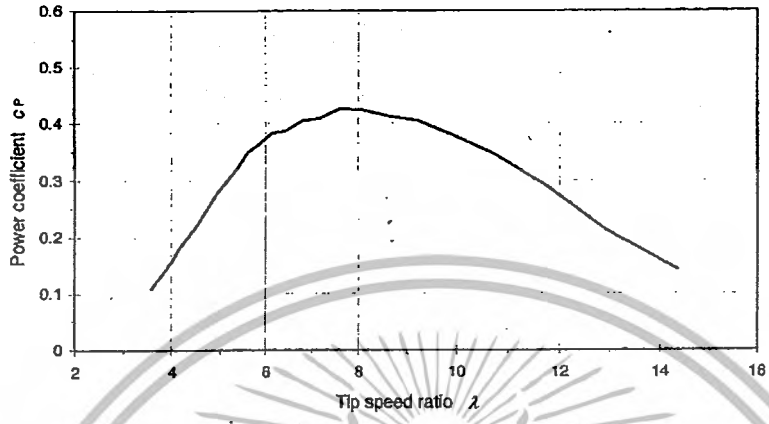
$$A_P = t \cdot r \tag{3.4}$$



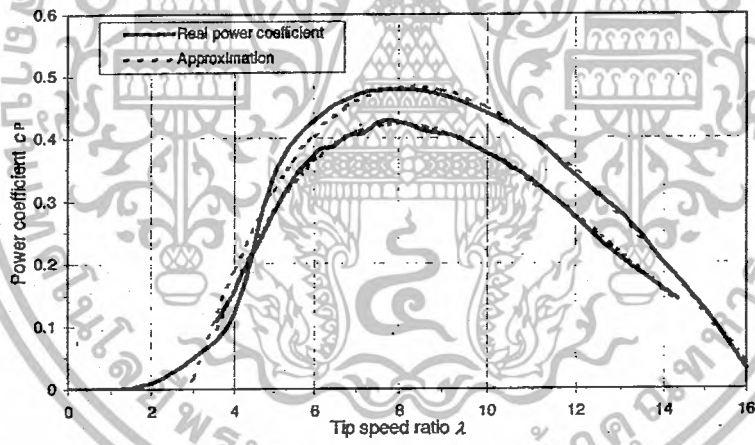
รูปที่ 3.2 แสดงความเร็วลมปรากฏ เกิดจากผลของการหมุนของโรเตอร์กับความเร็วลมจริง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า C_P ของอุปกรณ์ประเภทนี้สามารถคำนวณได้จากกราฟ โดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนทิปสปีด [2]



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับกำลังโดยประมาณของเครื่องจักร-ตัวอย่าง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กังหันลมชนิดต่าง ๆ

กังหัน คืออุปกรณ์แปลงรูปพลังงานลมชนิดหนึ่ง ถ้าแบ่งตามประเภทได้แก่ ประเภท Vertical rotor axis และHorizontal rotor axis

3.4.1 กังหันลมประเภทแกนตั้ง (Vertical rotor axis)

กังหันลมแกนตั้ง Vertical rotor axis นี้เป็นเป็นกังหันที่มีแกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นดิน ซึ่งกังหันชนิดที่มีใช้กันมามากกว่า 1,000ปี ซึ่งกังหันลมชนิดนี้บางครั้งเรียก Persian Windmill เป็นเครื่องจักรแกนตั้งที่วิวัฒนาการมาจากเรือใบ ใบกังหันซึ่งตอนแรกทำจากผ้าใบ ต่อมาทำจากไม้ติดกับล้อแนวระดับขนาดใหญ่ ความดันลมปะทะกับใบกังหันทำให้ล้อหมุน แกนแนวตั้งซึ่งติดกับล้อถูกใช้หมุนหินโม่ เพื่อโม่เข้าให้เป็นแป้งดังนั้นจึงมีชื่อว่ากังหันลม (Windmill) ในปัจจุบันกังหันลมชนิดใหม่มี 3 แบบหลักๆได้แก่ แบบSavonius rotor ,แบบDarrieus rotor และ แบบ H-rotor

- แบบซาโวเนียสโรเตอร์(Savorius rotor) จะมีหลักการทำงานคล้ายๆกันกับ anemometer ซึ่งใช้หลังการของแรงลาก โดยมีใบพัดเป็นรูปครึ่งวงกลม 2 อันติดกัน และมีรอยต่อเหลือไว้ เพื่อให้ลมพัดจากใบหนึ่งถึงอีกใบหนึ่งได้ โดยค่าC_p สูงสุดที่ทำได้มีค่า 0.25 (Hav,2000)

ข้อดีของแบบ Savorius rotor คือสามารถหมุนได้ที่ความเร็วที่ต่ำ

ข้อเสียของแบบ Savorius rotor คือประสิทธิภาพต่ำ และไม่เป็นที่นิยมใช้ในระบบขนาดใหญ่

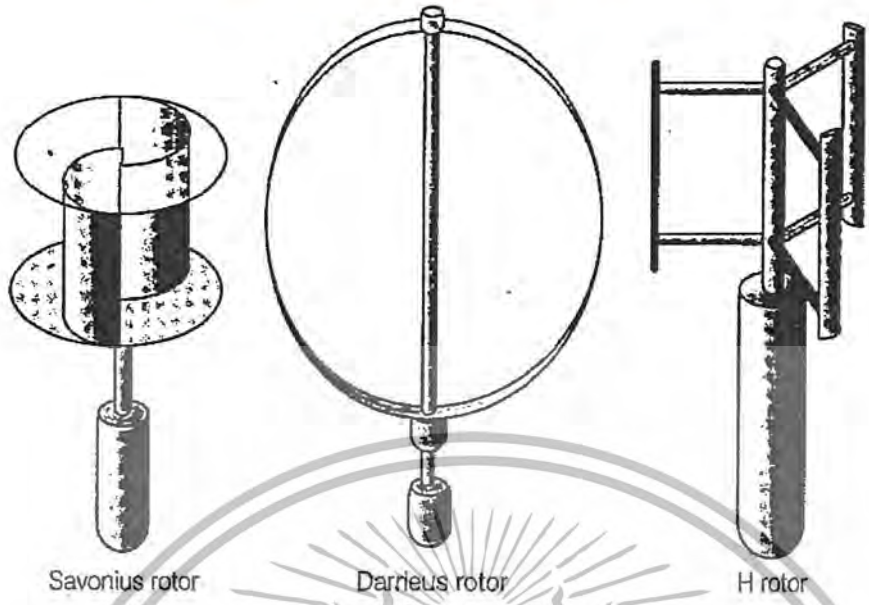
- แบบดาเรียสโรเตอร์ (Darrieus rotor) ถูกพัฒนาขึ้นโดยชาวฝรั่งเศส ชื่อ George Darrieus ในปี1929 กังหันแบบนี้จะมีใบพัด 2-3 ใบ และใช้หลักการการลาก โดยกังหันชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Savorius rotor แต่ประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับแบบ Horizontal rotor ในปัจจุบันแล้ว แบบ แบบ Darrieus rotor จะให้พลังงานแค่ 75% ของแบบHorizontal rotor เท่านั้น และกังหันชนิดนี้ยังไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง จำเป็นต้องมีระบบเริ่มต้นต่อพวง

- แบบ H-rotor หรือHeidelberg ถูกพัฒนาโดยบริษัท Heidelberg Motor โดยการใช้ permanent magnet generator ใส่ในโครงสร้างของกังหัน กังหันชนิดนี้มีหลักการแบบเดียวกับแบบ Darrieus rotor แต่มีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องใช้ Gearbox และมีความทนทานต่อสภาพอากาศสูง

จากกังหันลมทั้ง 3 แบบจะเห็นว่ากังหันชนิด Vertical rotor axis มีข้อดีคือ มีการติดตั้งที่ง่ายสามารถติดตั้ง Generator และGearbox บนพื้นดินได้ ทำให้สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย และเหมาะสมสำหรับภูมิประเทศที่ลมมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันนี้กังหันเกือบทั้งหมดนิยมใช้แบบ Horizontal rotor axis เนื่องจากได้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า ยกเว้นในบางพื้นที่ที่ต้องการใช้งานในรูปแบบพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.5 รูปแสดงกังหันลมแกนตั้งชนิดต่าง ๆ [2]

3.4.2 กังหันประเภทแกนนอน (Horizontal rotor axis)

กังหันลมแกนนอน Horizontal Rotor axis เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนของใบพัดขนานกับพื้นดิน ซึ่งในปัจจุบันกังหันลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าส่วนมากเป็นแบบ Horizontal rotor axis ซึ่งกังหันแบบนี้มีส่วนประกอบ คือ

- rotor blade ,rotor hub ,rotor brake ,pitch mechanism (ซึ่งอาจมี หรือไม่มีก็ได้)
- เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ,gearbox (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)
- เครื่องวัดความเร็วลม ,yaw drive(azimuth tracking)
- nacelle ,เสา ,ฐาน
- อุปกรณ์ควบคุม ,สถานีย่อย

3.4.2.1 จำนวนใบพัด

กังหันแบบ horizontal rotor axis สมัยใหม่นิยมสร้างให้มีใบพัด 3 ใบ หากใบพัดน้อยย่อมส่งผลต่อราคาของอุปกรณ์ทำให้ราคาถูกลง

ใบพัดชนิดใบเดียว จะมีความไม่สม่ำเสมอของความเร็ว และทำให้ใบพัดต้องรับความเครียดสูง จึงทำให้มีกังหันใบพัดเดียวเดียวที่ถูกผลิตขึ้นเป็นต้นแบบน้อยมาก

เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุด และมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ใบพัด 3 ใบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานที่สูงกว่า และมีความสม่ำเสมอของการหมุนมากกว่า แบบ 2 ใบพัดเล็กน้อย ดังนั้นในปัจจุบันกังหันชนิด 3 ใบพัดจึงถูกผลิตขึ้นอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104060

3.4.2.2 การออกแบบช่วงความเร็วการทำงานที่พิกัด

การออกแบบค่าความเร็วทำงานที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม มีความสัมพันธ์กันอย่างยิ่งกับจำนวนของใบพัด โดยปกติแล้วกังหันที่มีใบพัด 3 ใบจะให้ค่า C_P สูงสุดที่ความเร็วลมที่ 7-8 m/s ประมาณ 10 m/s สำหรับ 2 ใบพัด และ15 m/sสำหรับใบพัดเดี่ยว โดยค่าที่กล่าวมา คือค่าประมาณขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องจักร ซึ่งปกติแล้ว จะหาได้จากสมการ

$$v_D = \frac{\mu}{\lambda_{opt}} = \frac{2\pi rn}{\lambda_{opd}} \tag{3.5}$$

ความเร็วลมที่น้อยกว่าค่า V_D เมื่อน้อยลงถึงจุดจุดหนึ่งกังหันลมจะหยุดหมุน และเปรียบเสมือนอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากลมเพียงอย่างเดียว โดยไม่ผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมา ค่าความเร็วลมนั้น เราอาจเรียกได้ว่า $V_{cut\text{-}in}$

ช่วงความเร็วทำงานที่พิกัด คือช่วงการทำงานที่เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าทำงานได้เต็มที่ โดยไม่เกิดความเสียหายต่อเครื่องกำเนิด กระแสไฟฟ้า โดยปกติแล้วค่าความเร็วทำงานที่พิกัด จะถูกออกแบบใช้มีค่าต่ำกว่าความเร็วลมเฉลี่ย ในบริเวณที่ต้องการติดตั้ง และเมื่อความเร็วลมบริเวณที่ติดตั้งสูงกว่าค่าความเร็วลมพิกัดมากๆ จำเป็นจะต้องกำหนดค่า $V_{cut\text{-}out}$ เพื่อหยุดการทำงานของโรเตอร์ และป้องกันการทำงานเกินพิกัดของโรเตอร์

3.4.3 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง และกังหันลมแกนนอน

ตารางที่ 3.1 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. รับลมได้รอบด้าน 2. น้ำหนักตกลงบนฐานสมดุลกว่า 3. เริ่มหมุนได้เองที่ความเร็วต่ำ 4. ระบบการผลิต ส่งกำลัง ทำได้ง่าย ราคาถูก 5. เพิ่มแขนการหมุนได้ไม่จำกัด 6. ทนทานต่อสภาพอากาศที่เลวร้าย	1. ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ 2. เกิดแรงต้านการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนนอน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักกเท่ากัน 2. มีประสิทธิภาพสูง 3. มีแรงบิดสูง 4. รอบจัดกว่าเมื่อความเร็วเท่ากันความเร็วคงที่กว่า	1. มีปัญหาในการหมุนใบรับทิศทางลมที่เปลี่ยนไป 2. มีปัญหาในการประกอบใบพัดกับฐาน

3.5 การเลือกประเภทของแกนหมุน และจำนวนของใบพัด

หากแบ่งตามประเภทลักษณะการตั้งแกนของใบพัดแล้ว ใบพัดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ กังหันตามชนิดแนวตั้ง และกังหันตามชนิดแนวนอน ซึ่งสามารถแบ่งข้อดี-ข้อเสีย ดังหัวข้อที่ 3.4.3.1 และ 3.4.3.2 พบว่า สภาพความเร็วลมในจังหวัดนครศรีธรรมราชซึ่งเป็นที่ที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมมีสภาพความเร็วลมที่ไม่สูงมากและมีสภาพภูมิอากาศไม่เลวร้าย ดังนั้น การเลือกกังหันชนิดแกนนอนจึงเหมาะสมกว่าเนื่องจาก กังหันลมตามแนวนอน สามารถหาขนาดที่ต้องการได้ง่ายและประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่ไม่เลวร้าย อีกทั้งกังหันลมแนวนอนให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่า

สำหรับจำนวนใบพัด พบว่าการเปลี่ยนชนิดของใบพัด จากชนิดใบพัดเดี่ยว เป็นชนิดสองใบพัดจะได้ค่าสัมประสิทธิพลังงานเพิ่มขึ้นมาประมาณร้อยละ 10 และหากเปลี่ยนจากชนิดสองใบพัดเป็นชนิด สามใบพัดจะได้ค่าสัมประสิทธิพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 การเพิ่มจำนวนใบพัดจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิพลังงานที่สูงขึ้นโดยอัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิพลังงานจะลดลง และจะเพิ่มความซับซ้อนของข้อต่อใบพัด และราคาที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงเหตุผลดังกล่าวแล้ว การเลือกใบพัดชนิดสามใบ จึงเหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่อจำนวนใบพัดมากขึ้นแม้ประสิทธิภาพที่ได้จากใบพัดจะสูงขึ้น แต่จะสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับราคาที่เพิ่มขึ้นมาก และใบพัดชนิดสามใบพัดยังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทำให้ง่ายต่อการหาขนาดในการสร้างจริง

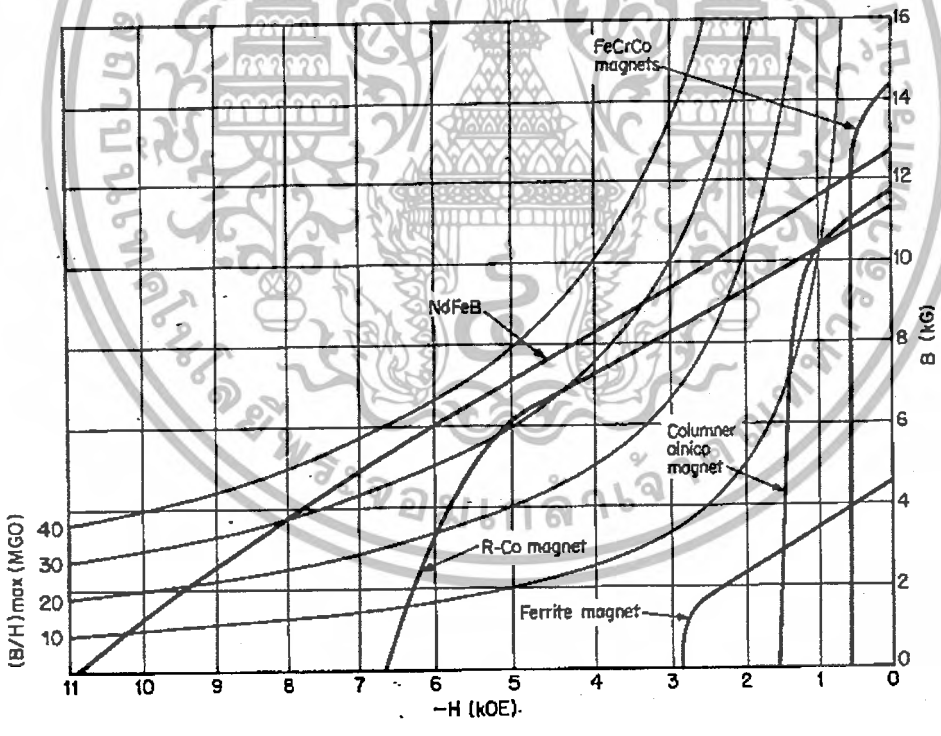
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เครื่องจักรกลไฟฟ้า ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

ในบทนี้จะทำการกล่าวถึงเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด Permanent Magnet เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการติดตั้ง ดังต่อไปนี้

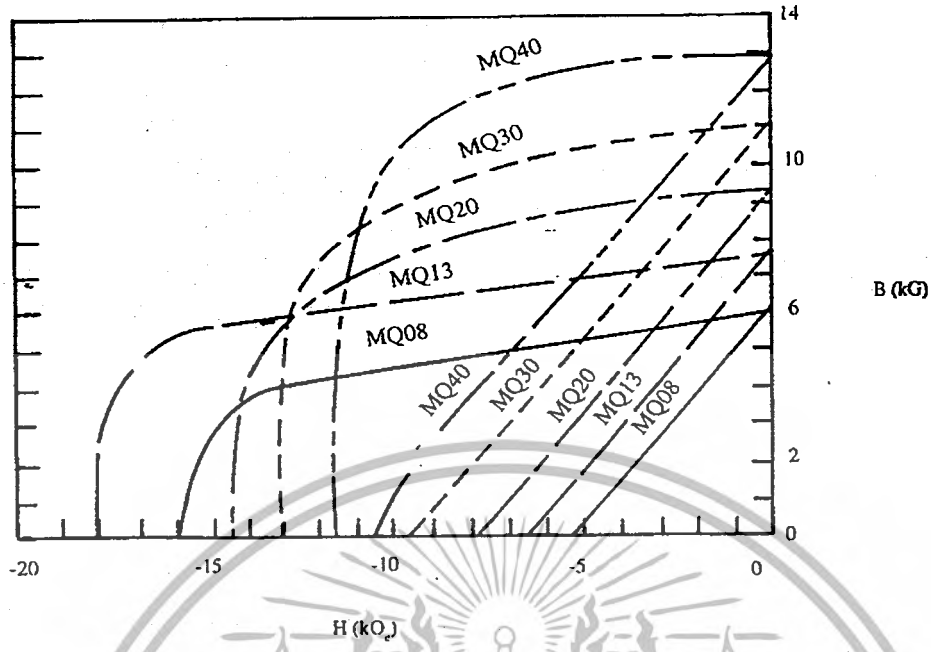
4.1 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร(Permanent Magnet) มีข้อดีที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือขนาดของเครื่องจักรมีขนาดเล็กทำให้การติดตั้งทำได้ง่าย เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำมีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์สูง ซึ่งวัสดุที่นำมาทำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้แก่ Alnico Magnet ,Ceramic Magnet ,Samarium-Cobalt Magnets ,Neodymium-Iron-Boron (NdFeB) Magnets โดยค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กของสารแต่ละประเภทสามารถพิจารณาได้จากรูป รูปที่ 1 และรูปที่ 2



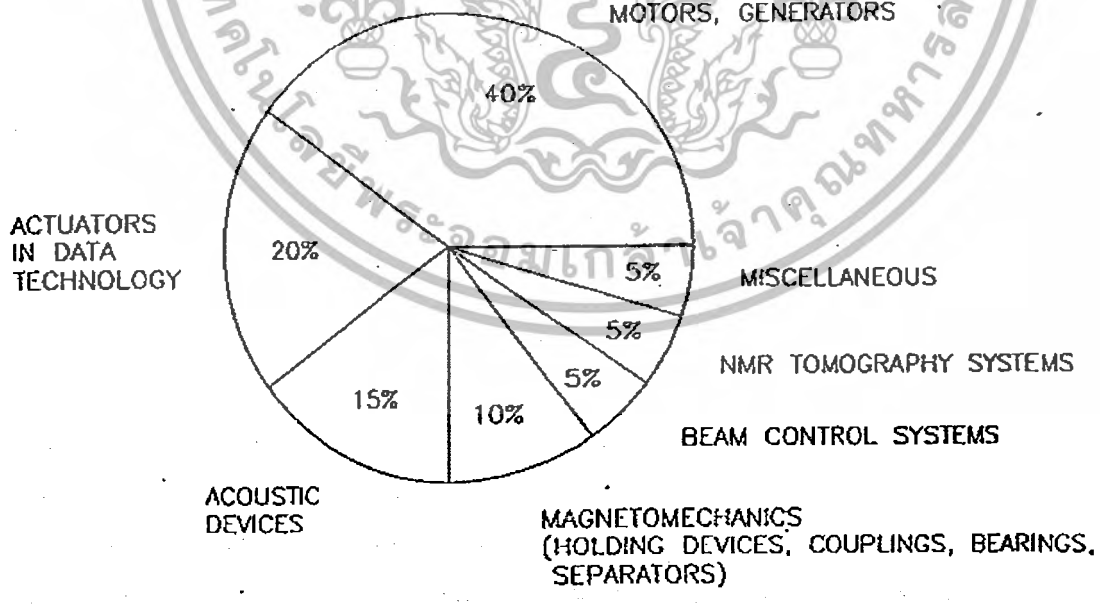
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าคุณลักษณะทางแม่เหล็กถาวร [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



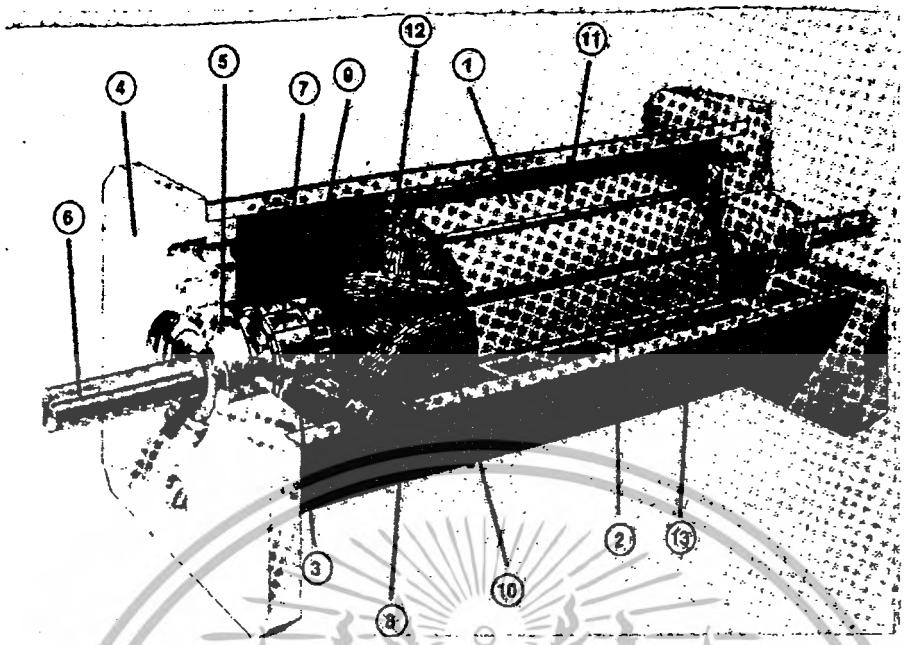
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงคุณลักษณะทางแม่เหล็กของสารแม่เหล็กนีโอดีเมียม ไอออน โบรอน [1]

เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร(Permanent Magnet) ทุกชนิดมีจุดด้อยที่การทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้น จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กที่สาร Permanent magnet สร้างจะลดลง ดังนั้นในการออกแบบ หรือเลือกใช้จำเป็นที่จะต้องนำอุปกรณ์ห้องมาพิจารณาด้วย



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงความนิยมใช้งานเครื่องจักรแม่เหล็กถาวรในลักษณะงานต่างๆ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



① Insulation: Epoxy resin coated armature lamination structure. Underwriters' Laboratories, Inc. recognized insulation system available upon request.

② Magnets: Ceramic, alnico or rare earth selection of permanent magnets.

③ Brushes: Replaceable, long-life brushes. Brush material composition selected on basis of application.

④ End Caps: Aluminum for efficient heat transfer and precision tolerances.

⑤ Bearings: Double shielded ball bearings lubricated for life, ABEC 1 standard. Other bearings optional.

⑥ Shaft: Stainless steel—wide selection of standard diameters and extensions.

⑦ Commutator: Diamond turned copper for smooth finish.

⑧ Brushholders: Molded thermoplastic.

⑨ Welds: Welded armature connections.

⑩ Magnet Wire: Class 155°C magnet wire.

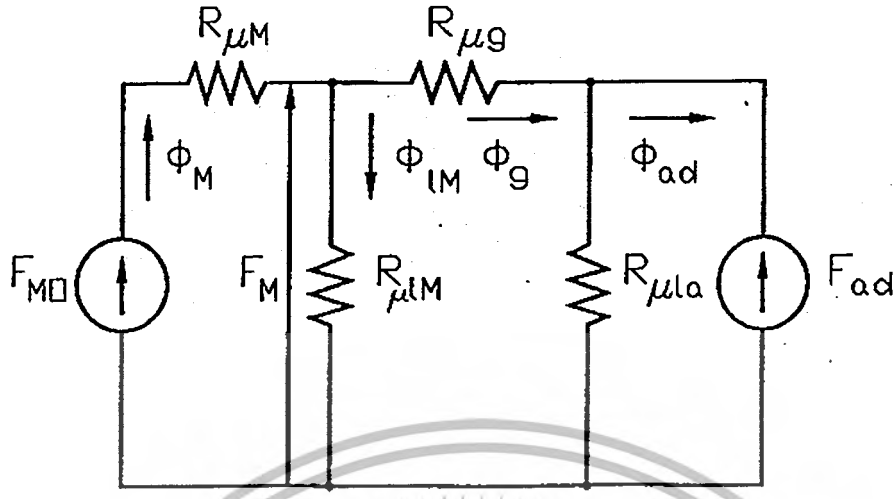
⑪ Laminations: High permeability armature laminations.

⑫ Impregnant: Epoxy resin impregnated for added rigidity and insulation.

⑬ Housing: Totally enclosed carbon steel housing.

รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 วงจรสมมูลย์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร [6]

4.2 เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ชนิดต่าง ๆ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร(Permanent Magnet) มีการนำมาผลิตเป็นเครื่องจักรกลชนิดต่างๆได้แก่ Permanent Magnet DC Generator ,Permanent Magnet Synchronous Generator ,Permanent Magnet Induction Generator

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงมีหลักการทำงานที่ง่ายต่อการเข้าใจ มีการใช้อย่างแพร่หลาย แต่มีความยุ่งยากในการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ปัจจุบันนี้สำหรับการใช้งานในครัวเรือน มักนิยมใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแทน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับงานด้านการผลิดกระแสไฟฟ้าชนิด 3 เฟส คือตัวเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งหมายถึงเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสทางกล และทางไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการผลิด และส่งจ่ายพลังงาน

เครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัส ชนิด round-rotor มีข้อดีที่มีการต่อต้านแรงบิดจากจุดศูนย์ถ่วง ทำให้ค่าแรงบิดของเครื่องจักรกลต่ำ แต่มีความเร็วที่สม่ำเสมอ ส่วนชนิด salient-pole ซึ่งส่งผลต่อราคาที่แพงกว่า

4.3 การอธิบายทางไฟฟ้าของเครื่องจักรไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)

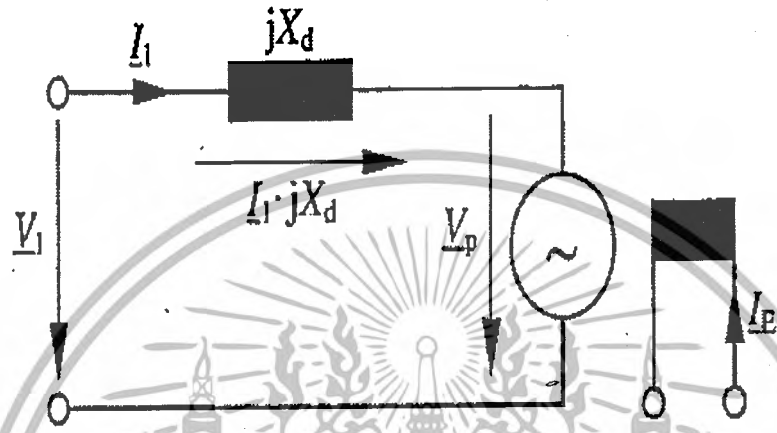
ขดลวดทั้ง 3 เฟส ของstator จะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กส่งไปที่ rotor ค่าความเหนี่ยวนำ L_h และ $X_h = 2\pi f_1 L_h$ จะดอบสนองต่อสนามดังกล่าว ข้างสนามดังกล่าวจะเกิดค่าสนามรั่วไหลแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ X_σ ซึ่ง X_h จะก่อให้เกิด Synchronous internal voltage $\underline{V_p}$ ซึ่ง $\underline{V_p}$ ที่ได้จะแปรผกผันกับค่ากระแสกระตุ้น I_E ในโรเตอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าแรงดันเหนี่ยวนำสามารถปรับแต่งได้ด้วยกระแสกระตุ้นได้ด้วยกระแสกระตุ้น และเราสามารถหาค่าแรงดันที่ Stator ได้จาก

$$V_1 = \underline{V_p} + \underline{I_1} \cdot R_1 + I_1 \cdot j\left(X_h + X_\sigma\right) \qquad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหากเป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่แล้ว อิทธิพลของค่าความต้านทานที่สเตเตอร์ R_1 จะมีค่าน้อยมากจนสามารถละทิ้งได้ ดังนั้นค่า reactance ทั้งหมดมีค่า

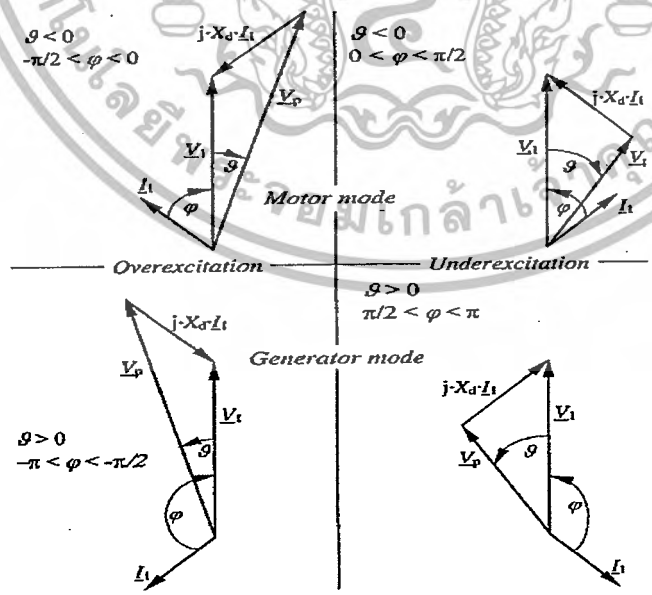
$$X_d = X_h + X_\sigma \tag{4.2}$$



รูปที่ 4.6 วงจรสมมูลย์ของไซเลนดริเคอร์โรเตอร์ [2]

และเมื่อนำมาพิจารณากับวงจรสมมูล ดังรูปด้านล่างจะพบว่า

$$\underline{V}_1 = \underline{V}_p + \underline{I}_1 \cdot j\dot{X}_d \tag{4.3}$$



รูปที่ 4.7 แสดงเวกเตอร์ไดอะแกรมของเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัสด้วยไซเลนดริเคอร์โรเตอร์ (Cylindrical rotor) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

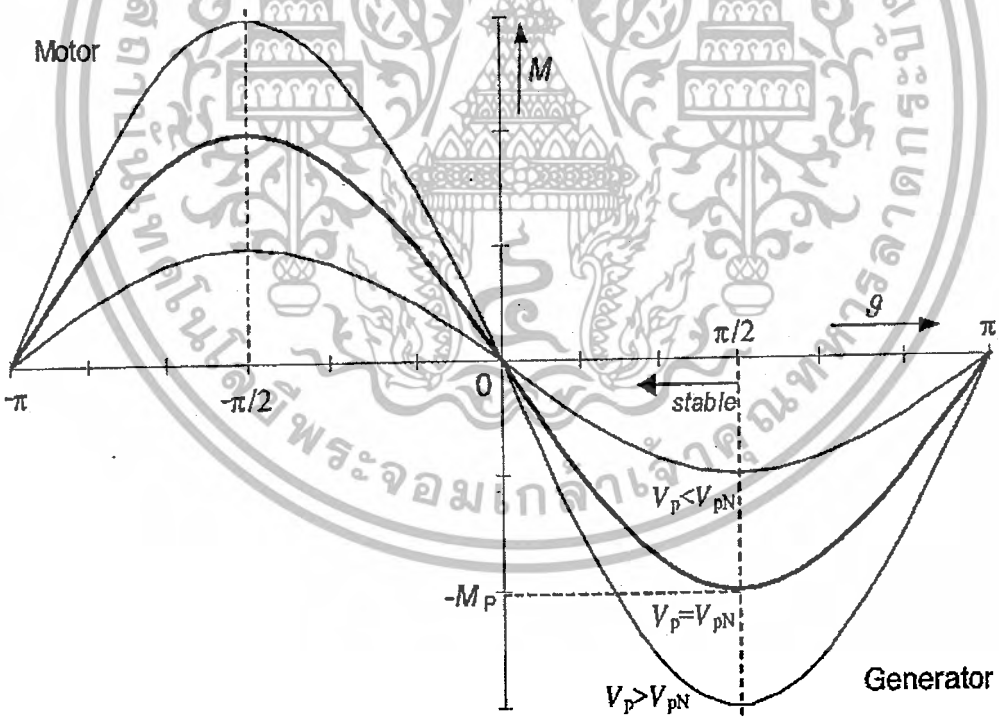
เราพบว่าความสัมพันธ์เชิงมุมของแผนภาพเวกเตอร์

$$I_1 \cdot \cos\phi = -\frac{V_p}{X_d} \cdot \sin\theta \qquad (4.4)$$

ดังนั้น เฟสของกระแส I_1 และมุมเฟส ϕ ขึ้นอยู่กับภาระงาน และการกระตุ้น มุมของภาระงาน θ จะเพิ่มตามขนาดของภาระงาน และเราสามารถหาพลังงาน P_1 ของสเตเตอร์ได้จาก

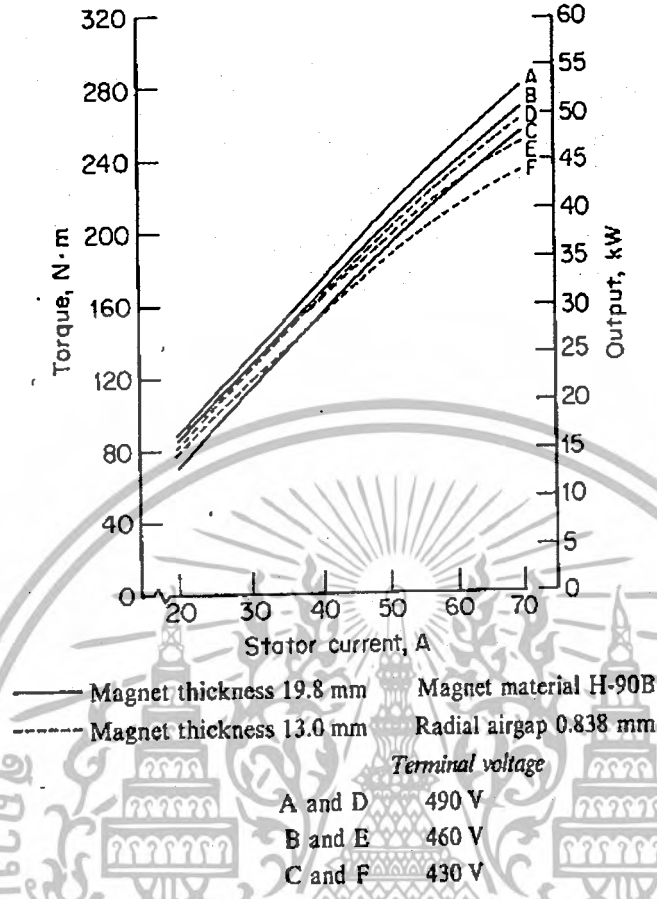
$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi \qquad (4.5)$$

ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าพลังงานจริงของเครื่องจักรที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส



รูปที่ 4.8 Curve ของทอร์กของเครื่องจักรกลไฟฟ้าซิงโครนัสด้วยไซเลนดริเคอร์โรเตอร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



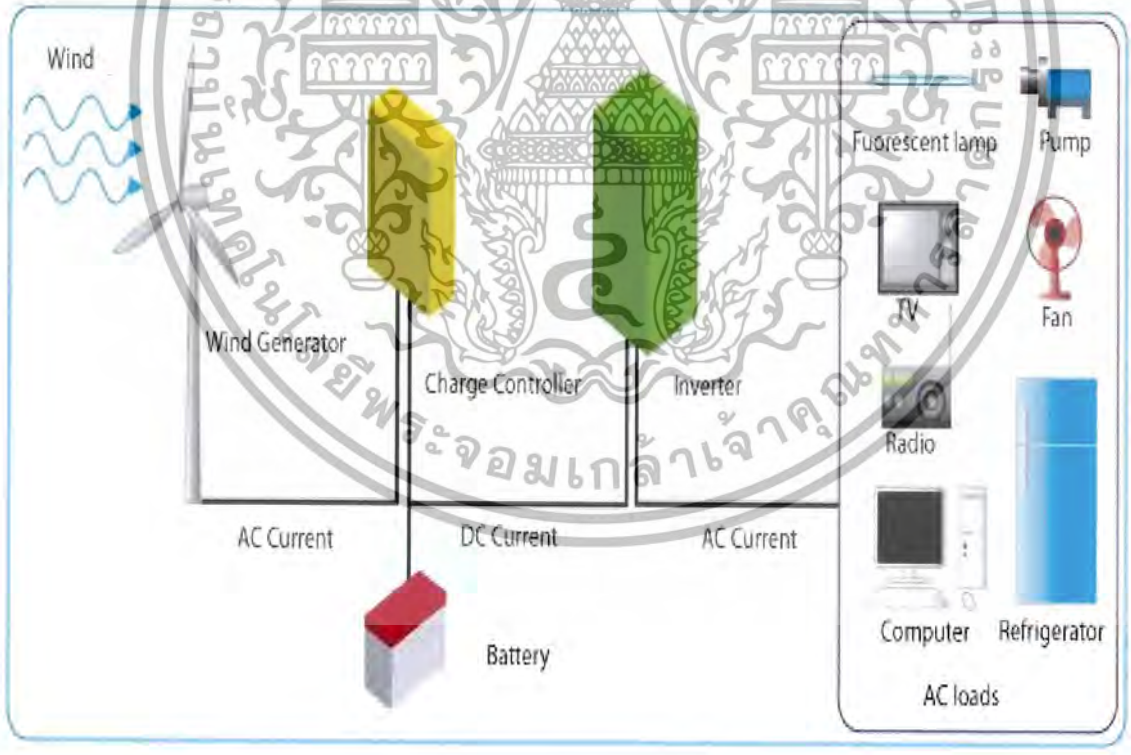
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของ ทอร์ก กับ กระแสสเตเตอร์ และพลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักร-ชนิดแม่เหล็กถาวรที่ขนาดต่าง ๆ [6]

จากรูป ค่า M_p คือค่า พูเอาท์ทอร์ก โดยค่านั้นจะอยู่ที่มุมของภาระงานที่ $\pm\frac{\pi}{2}$ เมื่อเครื่องจักรกลทำงานที่แรงบิดมากกว่าค่า M_p ในลักษณะของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โรเตอร์จะหมุนเร็วกว่า สนามแม่เหล็กหมุนทำให้โรเตอร์เกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone System)

ระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระเหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในที่พักอาศัย ย่านชุมชน หรือพื้นที่ที่ห่างไกลจากสายส่งหลัก เช่น บนเกาะหรือชนบทห่างไกลที่ระบบสายส่งเข้าไปไม่ถึงและไม่คุ้มค่ากับการติดตั้งระบบสายส่งเข้าไปสู่พื้นที่ที่ต้องการใช้งาน โดยในระบบการติดตั้งแบบแยกตัวอิสระนั้นจะต้องใช้ชุดเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับเป็นที่เก็บพลังงาน (Battery Bank) ซึ่งอาจเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 12-360 โวลต์ แล้วเก็บพลังงานที่ได้เข้าชุดแบตเตอรี่ โดยจะต้องทำงานที่สัมพันธ์กันกับระบบควบคุมการทำงานของกังหันลม (Wind Turbine Controller) อย่างเหมาะสม เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เป็นไปตามความต้องการที่ความเร็วลมต่างกันออกไป นอกจากนี้ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลมยังมีระบบป้องกันตัวเอง (Self Protection) ซึ่งอาจจะมีการทำงานคู่กันระหว่างระบบทางกลและระบบทางไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ความเร็วลมของกังหันลมมากเกินไปกว่าที่ออกแบบไว้



รูปที่ 5.1 แสดงไดอะแกรมของระบบแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone System) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ไฟฟ้าในระบบการใช้งานแบบแยกอิสระนี้อาจใช้ได้ทั้งในระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยหากต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบกระแสสลับก็จะต้องมีตัวแปลงไฟฟ้า (Inverter) จากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC/AC) โดยอุปกรณ์ Inverter ในแต่ละรุ่นจะทำงานแตกต่างกันออกไปตามความสามารถและภาระทางไฟฟ้าที่นำไปใช้งาน ดังนั้นหากต้องการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับก็ต้องมีการคำนวณภาระทางไฟฟ้าที่จะใช้งานเพื่อการคัดเลือก Inverter ที่มีความเหมาะสมต่อไป

5.1 ชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ (Rectified and charge controller)

โดยปกติกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเมื่อทำงานหรือมีการหมุนจะจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับระบบหนึ่งเฟส (1 phase, AC) หรือ ระบบสามเฟสออกมา (3 phase, AC) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Generator ที่ได้ออกแบบใช้งานกับตัวกังหันลม กระแสไฟฟ้าจากกังหันลมจะถูกส่งต่อไปยังชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรเร็กติไฟเออร์ (Rectifier) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังวงจรควบคุมการประจุซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไปประจุไฟฟ้ายังชุดแบตเตอรี่ เมื่อชุดแบตเตอรี่นั้นอยู่ในสภาวะที่มีประจุไฟฟ้าอยู่เต็มหรือปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เกินกว่าความต้องการ ชุดควบคุมนี้จะปล่อยกระแสไฟฟ้าไปยังภาระทางไฟฟ้าภายใน (Dummy Load) เพื่อควบคุมให้ได้ปริมาณไฟฟ้าตามความเหมาะสมหรือในทางตรงกันข้าม จะตัดภาระทางไฟฟ้าภายในออกจากชุดแบตเตอรี่ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีประจุอยู่น้อย ซึ่งการทำงานดังกล่าวจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น

รูปที่ 5.2 แสดงชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.3 แสดงชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า [5]

5.1.1 การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุคือ มีวงจรสำหรับตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำงานเป็นสวิตซ์ที่สามารถตัดต่อไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็ม เครื่องควบคุมการประจุจะตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อกำหนดสถานะของการประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มจะทำให้แรงดันจะสูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เครื่องควบคุมการประจุจะตัดการประจุไฟฟ้าเมื่อแรงดันสูงถึง 14.4 โวลต์ และจะประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งหลังจากแรงดันลดลงเหลือ 13.4 โวลต์

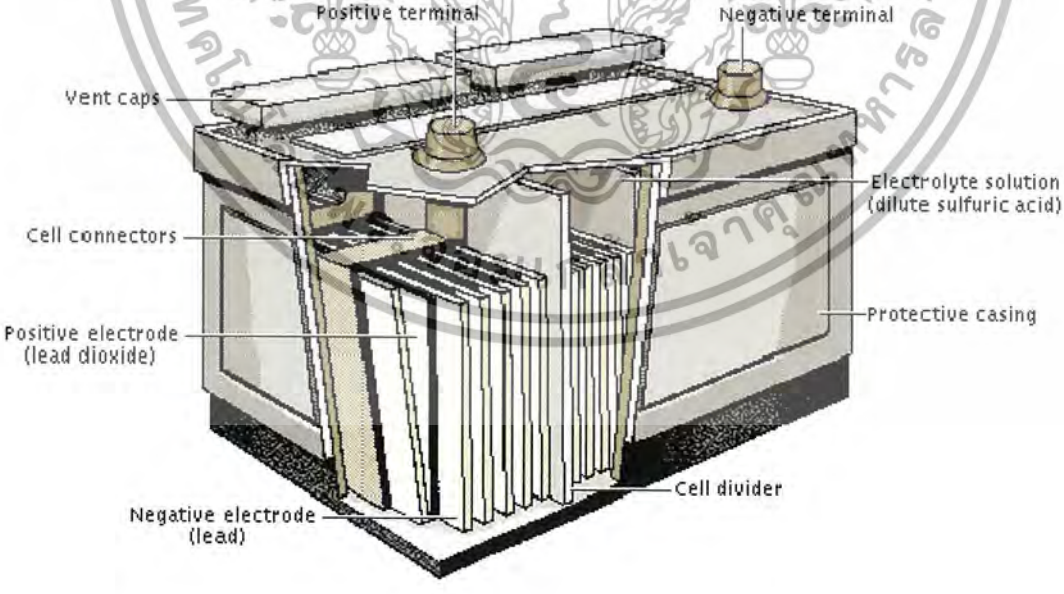
5.2 ชุดแบตเตอรี่ (Battery Bank)

ลมเป็นปรากฏการทางธรรมชาติ แม้ว่าบางพื้นที่จะมีลมพัดตลอดทั้งวัน แต่เราก็ไม่สามารถควบคุมความเร็วลมให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอได้ บางช่วงเวลาในแต่ละวัน ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศ เช่น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำทะเลและพื้นดินใกล้เคียงกันหรือในช่วงเวลาก่อนที่ฝนจะตก หากไม่มีระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรอง เราคงลำบาก หลอดไฟฟ้าและเครื่องรับโทรทัศน์ของเราคงจะติด ๆ ดับ ๆ รบกวนอารมณ์ แถมจะพังก่อนเวลาอันควรเสียอีกด้วย ยกเว้นติดตั้งแบบระบบเชื่อมต่อสายส่ง (Grid Connect) ซึ่งทำงานร่วมกับระบบไฟฟ้าของทางการฯ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในบทนี้ ส่วนระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองที่จะกล่าวถึงในบทนี้ก็คือ ชุดแบตเตอรี่นั่นเอง ซึ่งชุดแบตเตอรี่นี้เองที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมแบบแยกตัวอิสระ (Stand Alone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานเคมี แบตเตอรี่มีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปและราคาจะถูกกว่าชนิดอื่น คือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead- Acid) แบบ Deep cycle ซึ่งประกอบด้วยแผ่นคาโถดและแผ่นอาโนดหรือขั้วบอกและขั้วลบวางสลับกันอยู่ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ที่ทำมาจากสารละลายกรดกำมะถัน แต่ละแผ่นจะวางสลับกันเพื่อให้มีพื้นที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโตรไลต์ได้มากในขณะที่ต้องรักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

รูปที่ 5.4 แสดงภาพแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แบบ Deep Cycle [8]



รูปที่ 5.5 แสดงภาพส่วนประกอบภายในของแบตเตอรี่ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเลคโทรดที่เป็นอาโนดสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ขณะที่คาโถดสร้างขึ้นจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วของแผ่นอาโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ และปล่อยให้อิเลคตรอนไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ที่คาโถดตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงอิเลคตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอกเพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกันกับที่ขั้วอาโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากขั้นคาโถดผ่านไปยังวงจรภายนอก

ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเลคโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันซึ่งเป็นอิเล็กโตรไลต์กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (ตะกอนสีขาวที่เกาะอยู่ที่อิเลคโทรดทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโถดกลายเป็นน้ำ) ดังนั้นเมื่อทำการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ก็จะเป็นการขับอิเลคตรอนให้ไหลกลับไปยังขั้วคาโถดอีกครั้ง

เมื่อมีการใช้งานไปซักระยะ สารละลายอิเล็กโตรไลต์จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นกับขณะเดียวกันกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานการณ์ประจุ และคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งจะบอกให้เราทราบว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อที่จะได้ทำการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มที่นั้นจะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าประมาณ 1.2 ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้ ไฮโดรมิเตอร์

การประจุกลับเข้าไปใหม่นั้นทำได้โดยง่าย โดยการป้อนกระแสกลับทางกลับเข้าไปยังแบตเตอรี่เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นย้อนกลับ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม การป้อนกระแสกลับทางทำได้โดยการต่อขั้วคาโถด (ขั้วบวก) และขั้วอาโนด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟภายนอก โดยแรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกจะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์หรือแบตเตอรี่ปกติ ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ ควรใช้แรงดันไฟฟ้าในการคงที่ในการประจุที่ประมาณ 14 โวลต์ โดยภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ ดังนั้น แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์จึงมีเซลล์ 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ภาพในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้ ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น เราสามารถทำได้โดยการนำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันที่สูงขึ้นตามความต้องการที่จะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็มที่ 100% ซึ่งค่าจะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะว่ามีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปของความร้อนและจากปฏิกิริยาเคมีจากการประจุหรือจากการจ่ายประจุนั่นเอง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากได้รับการดูแลรักษาที่ไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้, การบำรุงรักษา, การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ โดยสามารถจำแนกแบตเตอรี่ออกได้ 2 กลุ่ม กล่าวคือ ตามประเภทการใช้งานและประเภทของโครงสร้างนั่นเอง

5.2.1 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง(Ampere-Hour, Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ 12V x 100Ah = 1200 Wh หรือ 1.2 หน่วย (kWh) ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น

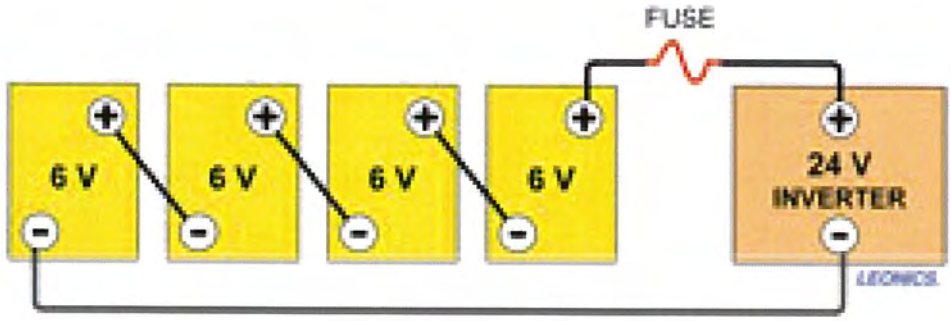
จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้นการจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่ แต่ในความเป็นจริงจะใช้งานได้เพียง 50% เท่านั้น เนื่องจากแรงดันจะตก จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่

ดังนั้น การกำหนดขนาดของชุดแบตเตอรี่สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น จึงขึ้นอยู่กับเวลาที่ต้องการสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน ความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน และอัตราการจ่ายประจุสูงสุด อุณหภูมิที่เหมาะกับการประจุไฟฟ้าที่ได้ผลดีที่สุดของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด คือประมาณ 24-27 องศาเซลเซียส

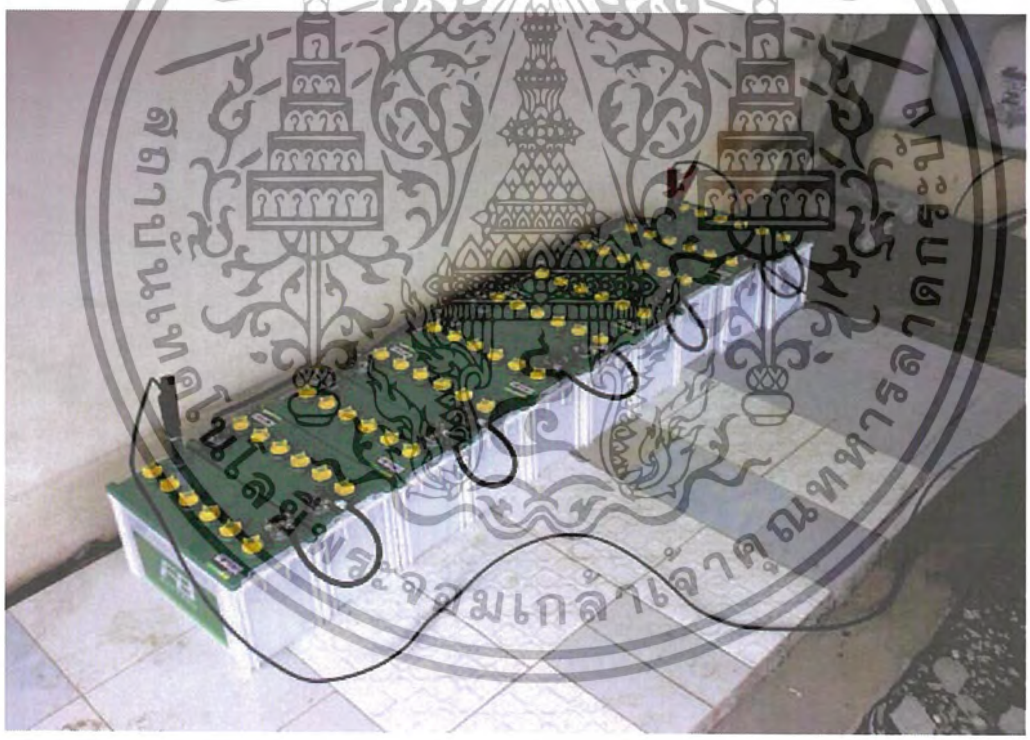
5.2.2 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม

เป็นการต่อชุดแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มแรงดันให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน เช่นหากชุดกังหันลมผลิตไฟฟ้าของเรามีแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมา 24 โวลต์ เรามีแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ ความจุ 100 Ah อยู่หลายลูก ก็นำมา 4 ลูก มาต่ออนุกรมกัน แรงดันจะเพิ่มขึ้นเป็น 6 x 4 = 24 โวลต์ ขณะที่ความจุของแบตเตอรี่ยังคงเท่ากับ 100 Ah เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม [8]

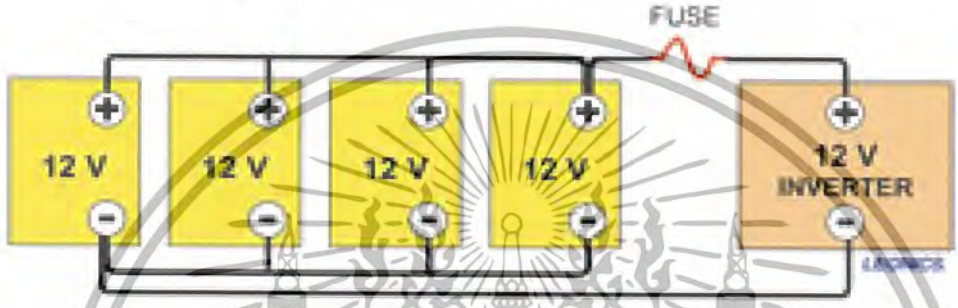


รูปที่ 5.7 การต่อชุดแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า 100 Ah จำนวน 10 ลูก แรงดัน 120 โวลต์ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน

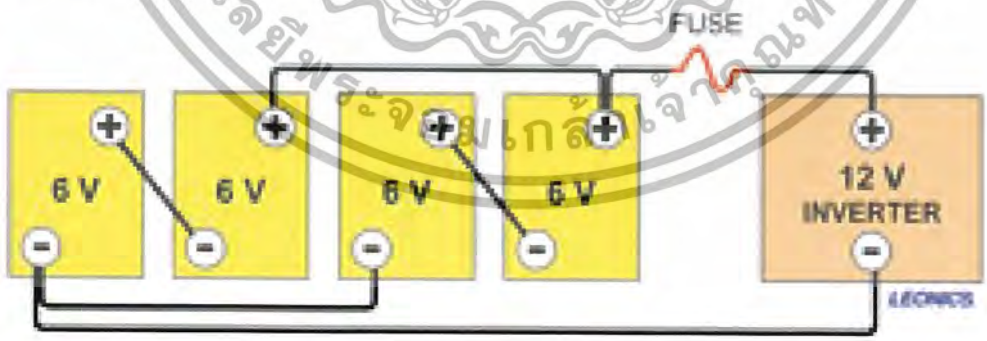
เป็นการต่อชุดแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มความจุของชุดแบตเตอรี่ให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน หรือเพื่อเป็นการเพิ่มระยะเวลาที่ต้องการสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน เช่น หากชุดกังหันลมผลิตไฟฟ้าของเรามีแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตออกมา 12 โวลต์ เรามีแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ความจุ 100 Ah หากเรานำแบตเตอรี่จำนวน 4 ลูก มาต่อขนานกัน แรงดันของชุดแบตเตอรี่จะยังคงเท่าเดิม คือ 12 โวลต์ ขณะที่ความจุของชุดแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเป็น 100 x 4 = 400 Ah



รูปที่ 5.8 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน [8]

5.2.4 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน

เป็นการต่อเพื่อเพิ่มแรงดันและความจุของชุดแบตเตอรี่ให้เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น หากเรามีแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ ความจุ 100 Ah อยู่หลายลูกแต่ต้องการใช้งานที่แรงดัน 12 โวลต์ และความจุรวมของชุดแบตเตอรี่ 200 Ah เราจะนำแบตเตอรี่ 4 ลูก มาต่อกับแบบอนุกรมผสมกับแบบขนานดังรูปที่



รูปที่ 5.9 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 การใช้งานแบตเตอรี่ใหม่

แบตเตอรี่ใหม่ก่อนที่จะนำไปใช้งานจะต้องมีน้ำกรดอยู่เต็ม ให้ทำการต่อแบตเตอรี่แล้วปล่อยให้ประจุไฟฟ้าจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าอย่างน้อย 1 วันที่มีลม ถ้าในแบตเตอรี่ใหม่ไม่มีอิเล็กโตรไลต์ในเซลล์ต่างๆ ให้เติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ลงไปและแบตเตอรี่ที่เติมใหม่นี้ควรนำไปต่อใช้งานทันที แล้วปล่อยให้ทำการประจุไฟฟ้าอย่างน้อย 1 วันที่มีลมและห้ามต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ เข้ากับแบตเตอรี่ขณะทำการประจุ

5.2.6 ความปลอดภัยเกี่ยวกับแบตเตอรี่

ถ้ามีชิ้นโลหะวางพาดขั้วของแบตเตอรี่ที่กำลังทำการประจุ จะทำให้เกิดประกายไฟและเกิดไฟไหม้ได้ น้ำกรดในแบตเตอรี่สามารถเป็นอันตรายต่อเสื้อผ้าหรือผิวหนังได้ แต่จะไม่เป็นอันตรายมาก ถ้าล้างออกโดยทันที ซึ่งน้ำกรดที่เข้าตานั้นสามารถทำให้ตาอักเสบและบอดได้ เมื่อทำการต่อแบตเตอรี่แล้วอาจเกิดก๊าซ ถ้ามีเปลวไฟใกล้ ๆ กับแบตเตอรี่จะสามารถเกิดระเบิดขึ้นได้ ดังนั้น ห้ามสูบบุหรี่, จุดไม้ขีดไฟหรือใช้ตะเกียงใกล้ ๆ กับแบตเตอรี่โดยเฉพาะขณะที่ทำการตรวจสอบหรือเติมเซลล์ในแบตเตอรี่

5.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

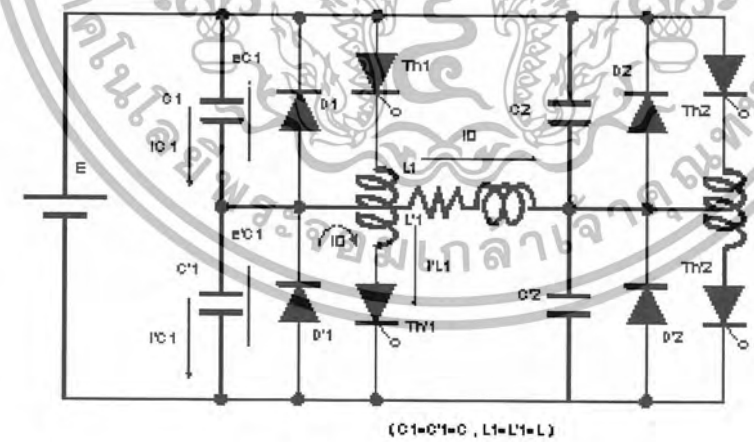
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากชุดคอนโทรลเลอร์และจากชุดแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ (220 VAC, 50 Hz) เช่น หลอดไฟ, หม้อหุงข้าว, ตู้เย็น, โทรทัศน์, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ ฯลฯ การใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าช่วยในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยปกติจะเกิดการสูญเสียอยู่เสมอ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง คือจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 90-95 ซึ่งหมายความว่า ในการแปลงไฟฟ้าอาจมีการสูญเสียเกิดขึ้นเพียงร้อยละ 5-10 เท่านั้น ในการนำเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปใช้งานควรติดตั้งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในที่ร่มที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส ความชื้นไม่เกินร้อยละ 60 มีการระบายอากาศได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ [8]

5.3.1 หลักการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

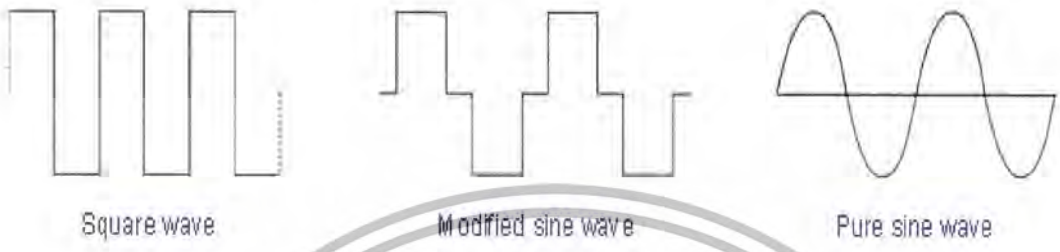
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแบตเตอรี่หรือกังหันลมผลิตไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการทำงานของวงจรสวิตซ์ชิ่ง-ทรานซิสเตอร์ (Switching Transistor) ด้วยการเปิด-ปิดวงจรกระแสตรงของทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วรวมกับหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจ่ายออกมาได้



รูปที่ 5.11 วงจรแสดงการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบ่งออกได้หลายประเภทตามรูปแบบของรูปคลื่นไฟฟ้าที่แปลงออกมา เช่น Square wave, Modified sine wave และ Pure sine wave



รูปที่ **5.12** แสดงรูปคลื่นไฟฟ้าที่แปลงออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า [8]

5.3.2 ชนิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ชนิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานแยกอิสระ (Stand-Alone Inverter) และเครื่องแปลงกระแส-ไฟฟ้าชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งการไฟฟ้า (Grid Connected Inverter) ซึ่งในส่วนเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งการไฟฟ้านั้น เราจะไม่กล่าวถึงในบทนี้ เนื่องจากไม่ใช่ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยว (Stand-Alone System) นั่นเอง

5.3.2.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานแยกอิสระ (Stand-Alone Inverter)

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานแยกเดี่ยว (Stand-Alone Inverter) ถูกนำไปใช้ในการติดตั้งในบริเวณที่ไม่มีระบบไฟฟ้าหรือมีปัญหาไฟฟ้าและจะต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า โดยแบ่งตามสัญญาณขาออกได้ดังนี้

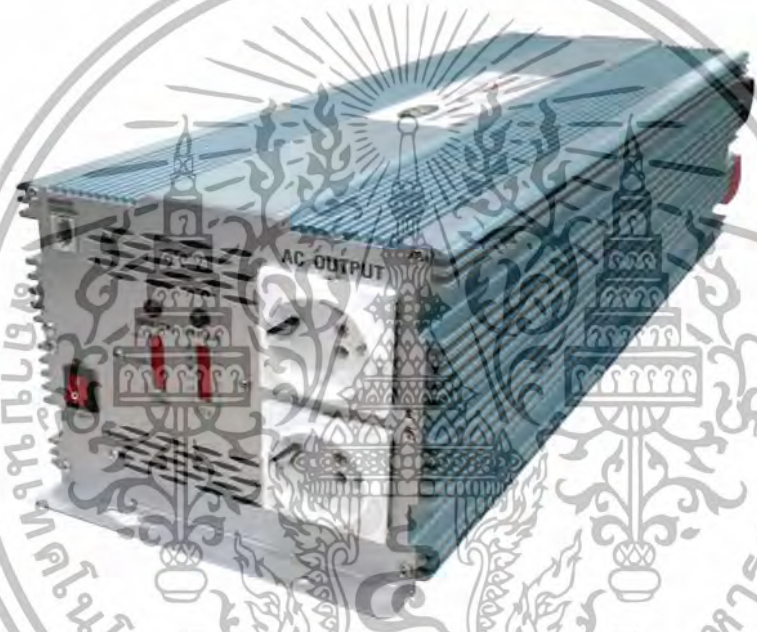
5.3.2.1.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Square wave

จะทำการกลับขั้วแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย ๆ 100, 120 ครั้งต่อวินาที (1 รอบประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าบนและล่าง) ทำให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป และถ้าใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทอาจมีเสียงดังรบกวน เช่น มอเตอร์ เป็นต้น แต่ราคาจะถูกกว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.1.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified sine wave

สัญญาณขาออกเป็น 4 ระดับแรงดัน (Voltage Level) ต่อรอบ การจ่ายสัญญาณขาออกเป็นลักษณะขั้นบันได แม้สัญญาณจะไม่ดีเท่ากับระบบสายส่ง แต่ราคาถูกกว่า ประสิทธิภาพสูง และนำไปใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ามาตรฐานส่วนใหญ่ เช่น ทีวี, วิทยุ, คอมพิวเตอร์และเตาไมโครเวฟ ฯลฯ จึงทำให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภทนี้เหมาะสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (ไม่เกิน 1-kW) แต่อาจไม่เหมาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์บางประเภทที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร, เครื่องพิมพ์เลเซอร์ ฯลฯ



รูปที่ 5.13 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified sine wave มี soft start [11]

5.3.2.1.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine wave

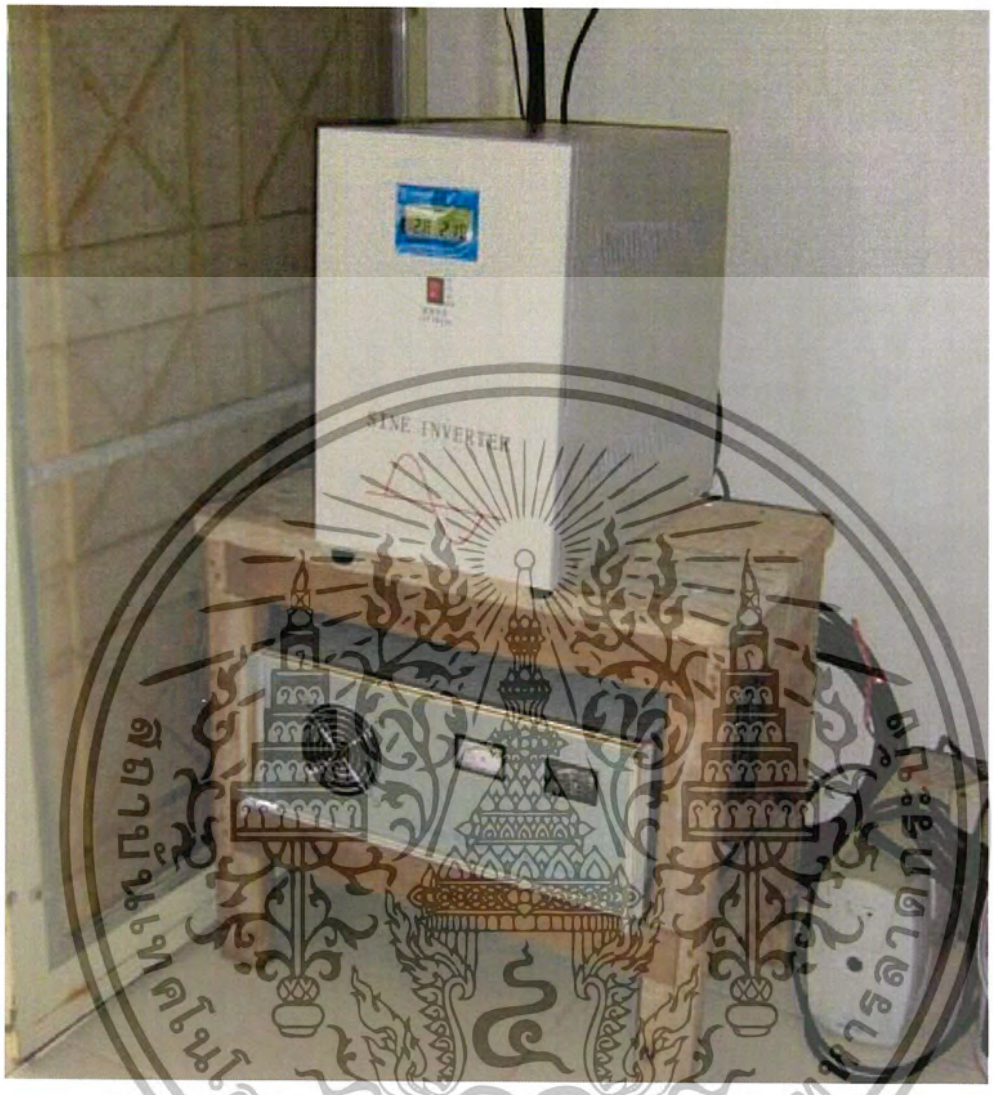
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภทนี้จะให้สัญญาณขาออกที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับรูปคลื่น - ซายน์ จึงเรียกว่า Pure Sine Wave คุณภาพไฟฟ้าที่ได้ใกล้เคียงกับระบบสายส่งมาก ให้กำลังไฟฟ้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับได้ดีที่สุด จึงทำงานได้ดีกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต่าง ๆ เกือบทุกประเภท รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง เช่น ปั๊มน้ำ, เครื่องมืออิเลกทรอนิกส์ต่าง ๆ และเหมาะในการใช้งานกับระบบจ่ายไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะต่ออยู่กับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจึงควรพิจารณาขนาดแรงดันไฟฟ้าให้ตรงกับขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ เช่น 12 V, 24 V, 48V, 120 V และ 240 V ฯลฯ จึงควรเลือกเครื่องแปลงกระแส - ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า (Watt) มากกว่าขนาดกำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องใช้ในเวลาเดียวกัน กรณีที่ใช้กับอุปกรณ์ที่มีความเหนี่ยวนำ เช่น มอเตอร์ ปั๊มน้ำ เครื่องซักผ้า และเตาไมโครเวฟ ฯลฯ จะมีกระแสไฟฟ้ากระชากเมื่อเริ่มเดินเครื่อง ดังนั้นต้องพิจารณาขนาดกระแสไฟฟ้ากระชาก (Surge) สูงสุดด้วย หากจะพิจารณาในเชิง-ประสิทธิภาพแล้ว ในทางปฏิบัติควรใช้งานที่กำลังไฟฟ้า 60-80% ของขนาดเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิ-ภาพสูงสุด เนื่องจากตัวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเองก็ต้องใช้กำลังไฟฟ้าบางส่วนในการทำงาน จึงทำให้ถ้าเลือกใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เกินไปเมื่อเทียบกับภาระการทำงานจริง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะต่ำ เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 1 kW ใช้งานกับวิทยุขนาด 20 W อาจต้องใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 30-40 W

รูปที่ 5.14 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



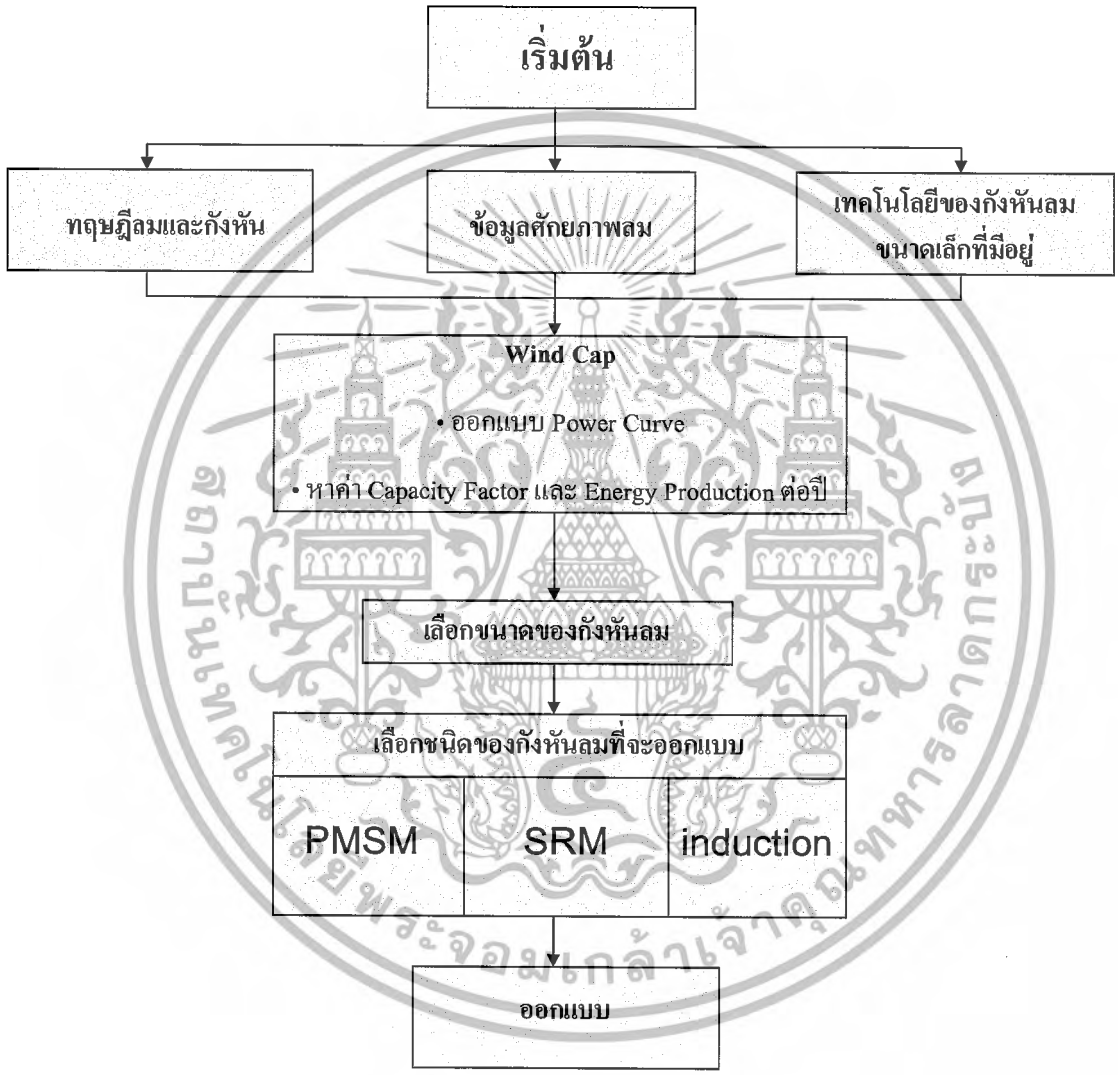
รูปที่ 5.15 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave และชุดควบคุม [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

6.1 ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน สามารถแสดงเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 6.1 แสดง Flow Chart ของขั้นตอนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลอง

จากข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการเก็บข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่เกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์-ธานี ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุดในประเทศไทย โดยที่มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 7.5 m/s กับพื้นที่บริเวณใกล้เคียงคือ อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 7.1 m/s เพื่อให้เห็นถึงภาพโดยรวมของความเร็วลมของประเทศไทย ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากความเร็วลมที่เกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี มาหาค่าประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าในเวลา 1 ปี โดยการใช้โปรแกรม Wind Cap เพื่อที่จะออกแบบ power- curve ที่เหมาะสมกับกังหันลมขนาดเล็ก
ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{Capacity Factor} = \frac{PowerEnergy}{365x24} \text{x100\%} \qquad (6.1)$$

ตารางที่ 6.1 แสดงค่า Capacity Factor (%) และ Energy Production (kWh) ของเกาะเต่า จ.สุราษฎร์ธานี

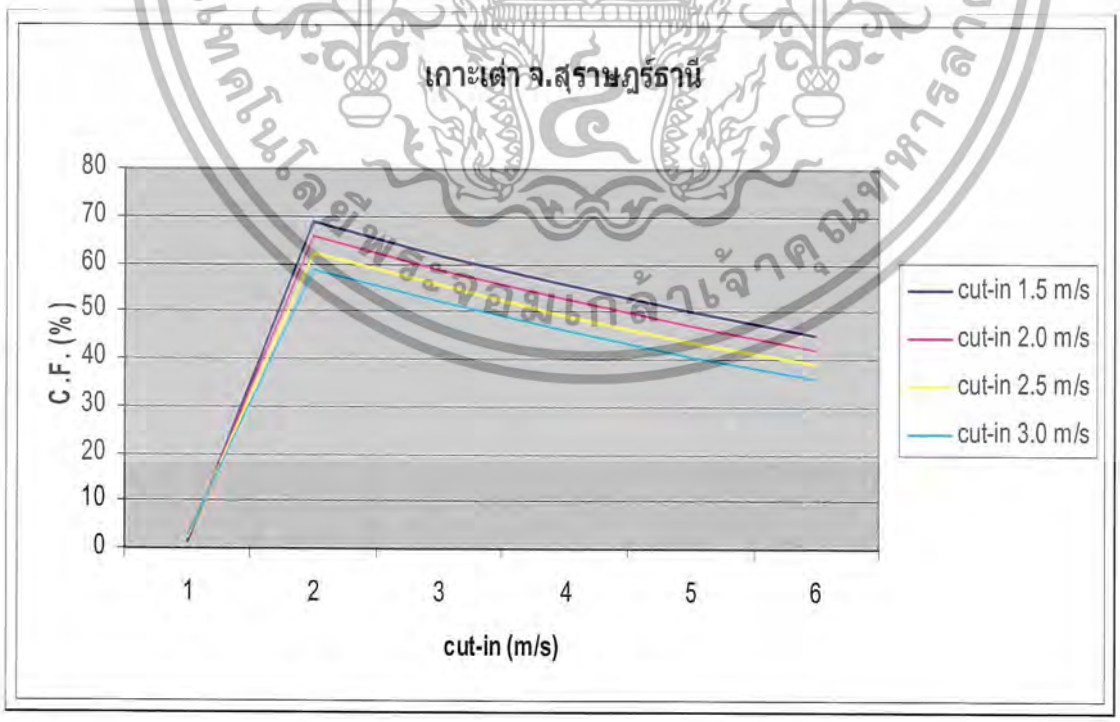
Cut-in Wind Speed (m/s)	Rated Wind Speed (m/s)				
	6	7	8	9	10
1.5	68.679%	61.970%	55.702%	50.046%	45.078%
	30081.63	27143.29	24397.66	21920.54	19744.27
2	65.635%	58.865%	52.591%	46.976%	42.077%
	28748.36	25782.87	23035.21	20575.81	18430.05
2.5	62.374%	55.576%	49.330%	43.785%	38.985%
	27320	24342.41	21606.85	19178.02	17075.58
3	58.946%	52.155%	45.969%	40.522%	35.845%
	25818.53	22844.18	20134.73	17748.85	15700.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงค่า Capacity Factor (%) และ Energy Production (kWh) ของอำเภอตะกั่วป่า จ.พังงา

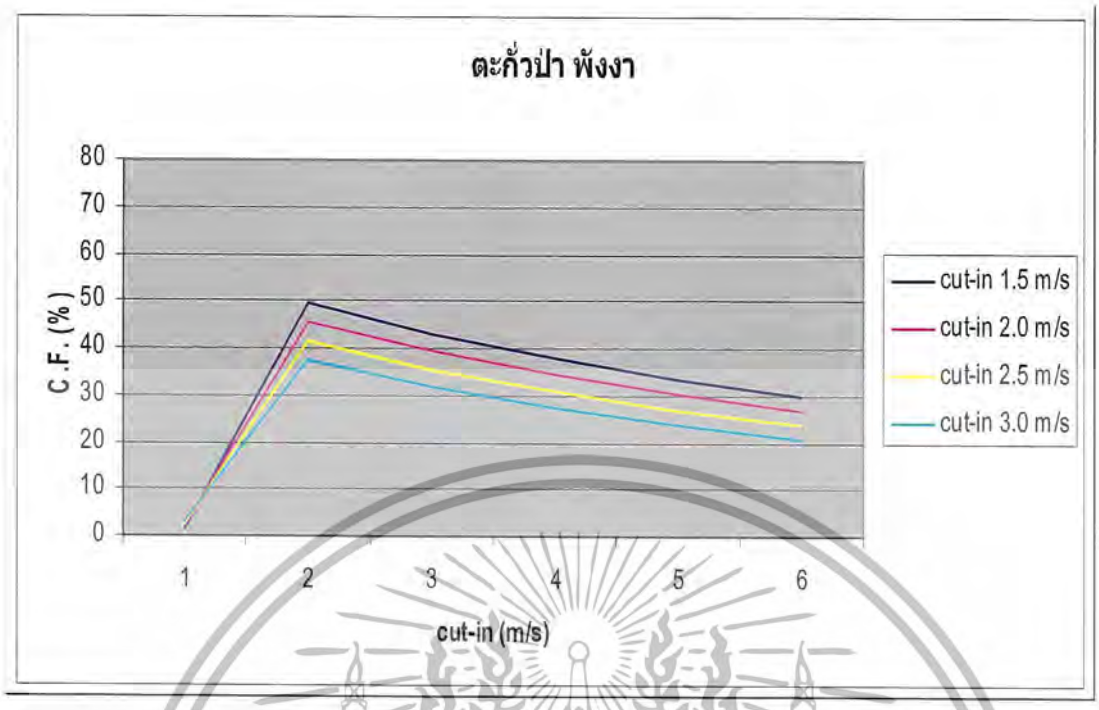
Cut-in Wind Speed (m/s)	Rated Wind Speed (m/s)				
	6	7	8	9	10
1.5	49.433%	43.219%	37.968%	33.592%	29.967%
	21651.85	18930.21	16630.32	14713.35	13125.64
2	45.408%	39.378%	34.329%	30.160%	26.736%
	19888.75	17247.59	15036.51	13210.3	11710.66
2.5	41.425%	35.610%	30.788%	26.843%	23.633%
	18144.28	15597.33	13485.28	11757.25	10351.38
3	37.562%	31.986%	27.406%	23.696%	20.706%
	16452.34	14010.03	12004.23	10379.04	9069.643

นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบช่วง cut-in ต่างๆ จะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 6.2 แสดง Power Curve ที่ค่าความเร็วลม Cut-in ต่าง ๆ บริเวณเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานีซึ่งมีค่า k = 2.112997424 และ c = 6.085500997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดง Power Curve ที่ค่าความเร็วลม Cut-in ต่าง ๆ บริเวณอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ซึ่งมีค่า k = 1.701069045 และ c = 4.473748591

เส้นสีน้ำเงิน แสดงค่า Capacity Factor ที่ช่วง Cut-in 1.5 m/s
เส้นสีชมพู แสดงค่า Capacity Factor ที่ช่วง Cut-in 2.0 m/s
เส้นสีเหลือง แสดงค่า Capacity Factor ที่ช่วง Cut-in 2.5 m/s
เส้นสีฟ้า แสดงค่า Capacity Factor ที่ช่วง Cut-in 3.0 m/s

จะพบว่าที่ช่วง Cut-in และ Rate Wind speed ที่ช่วงต่ำๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ค่า Capacity-Factor สูง ซึ่งจะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของลมที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าได้ ถึงแม้ว่าช่วง Cut-in ที่ต่ำจะได้-ประสิทธิภาพที่สูงนั้น แต่ก็ติดปัญหาตรงที่ว่ายากต่อการหา machine ที่มีประสิทธิภาพดังกล่าว ถ้ามีก็จะมีราคาที่สูงมาก ดังนั้นเราจึงทำการเพิ่มค่า Cut-in ให้สูงขึ้น อยู่ที่ประมาณ 2-2.5 m/s ซึ่งเปอร์เซ็นต์ Capacity Factor จะอยู่ในช่วง 49-65 % ที่ Rated Wind Speed 6-8 m/s ค่าที่ 49-65% นี้อยู่ในช่วงประสิทธิภาพที่น่าพอใจและคุ้มค่าต่อการลงทุนผลิตกระแสไฟฟ้า และที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ค่าเปอร์เซ็นต์ Capacity Factor ก็อยู่ในช่วง 30-45% ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการเลือกค่า Cut-in และ Rated Wind Speed ของ machine ให้เหมาะสมกับพื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทยที่อาจมีค่าความเร็วลมแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพื่อหา Power Curve สำหรับใช้ในการออกแบบกังหันลมขนาดเล็กเพื่อให้มีความเหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงการประเมินราคาเบื้องต้นต่อปีของเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Cut-in Wind Speed (m/s)	Rated Wind Speed (m/s)		
	6	7	8
2	86245.08 ฿	77348.61 ฿	69105.63 ฿
2.5	81960 ฿	73027.23 ฿	64820.55 ฿

ตารางที่ 6.4 แสดงการประเมินราคาเบื้องต้นต่อปีของอำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา

Cut-in Wind Speed (m/s)	Rated Wind Speed (m/s)		
	6	7	8
2	59666.25 ฿	51742.77 ฿	45109.53 ฿
2.5	54432.84 ฿	46791.99 ฿	40455.84 ฿

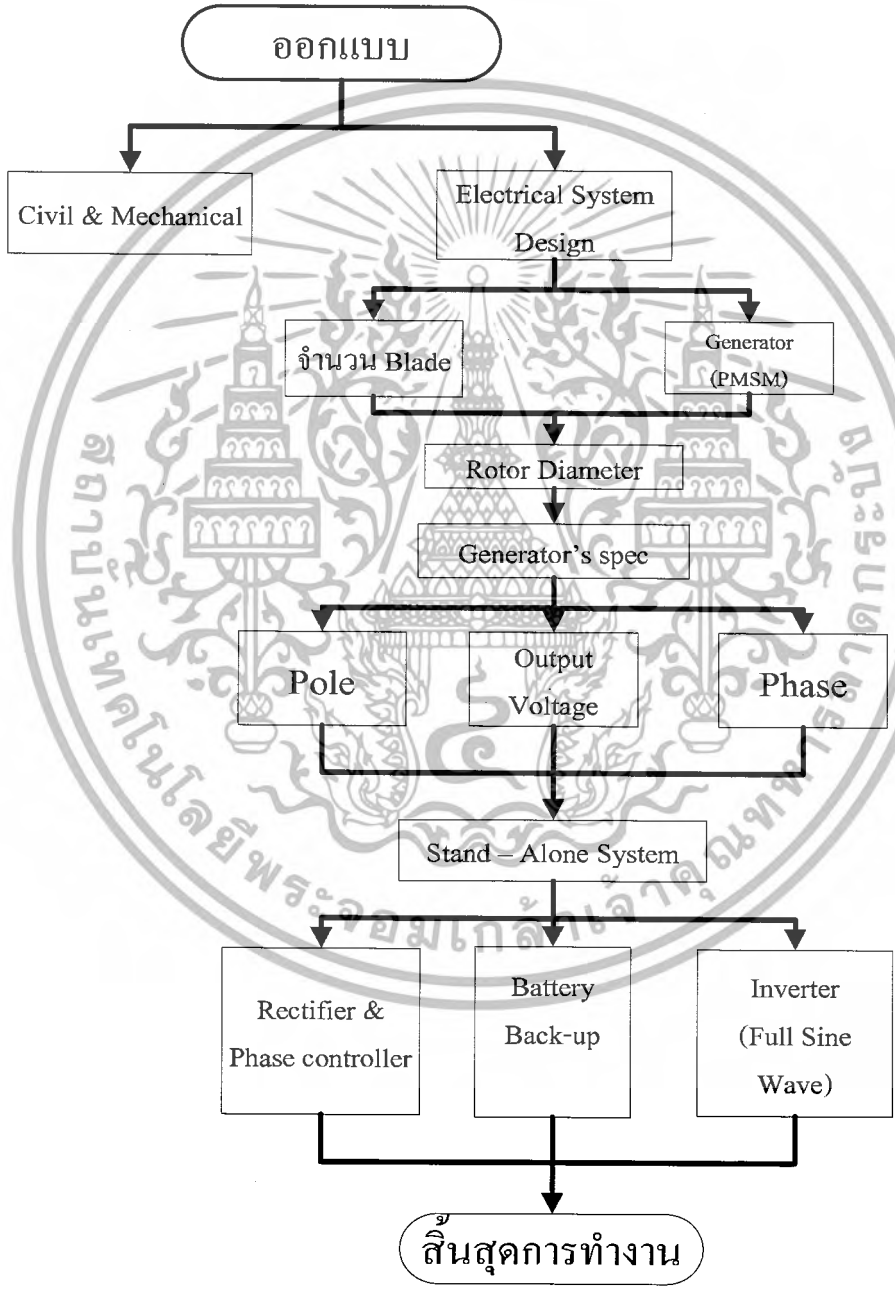
แล้วที่บริเวณเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี จะได้ประมาณ 60,000 บาท ถึง 86,000 บาท และที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา จะอยู่ที่ประมาณ 40,000 บาท ถึง 60,000 บาท ในแต่ละช่วง Rated Wind Speed จะพบว่าราคาแตกต่างกันมากอยู่ในระดับ 10,000 บาท แต่ช่วง Cut-in Wind Speed ที่แตกต่างกันราคาจะต่างกันในระดับ 1000 บาท แสดงว่าความเร็วลมที่ Rated Wind Speed ของกังหันลมขนาดเล็กในแต่ละพื้นที่มีผลมากกว่าช่วงความเร็วลม Cut-in ซึ่งเป็นการประเมินราคาค่าไฟฟ้าโดยคร่าวๆ เพื่อที่จะทำการศึกษาหาความเหมาะสมของระบบที่จะทำการออกแบบสร้างจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การออกแบบ

7.1 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบ สามารถแสดงเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 7.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบทั้งหมดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 รูปแบบของใบพัด

ใบพัด เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากใบพัดจะส่งผลโดยตรงต่อการรับลมและเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังกลในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการออกแบบกังกันลมนั้นมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาได้แก่ จำนวนใบพัด ความยาวใบพัด และความนิยมในตลาด

7.2.1 จำนวนใบพัด

จำนวนของใบพัด ส่งผลโดยตรงต่อสัมประสิทธิ์พลังงานของกังหัน จำนวนใบพัดที่มากกว่าจะให้สัมประสิทธิ์พลังงานที่สูงกว่า การเพิ่มจำนวนใบพัดจากใบพัดเดี่ยว เป็นชนิดสองใบพัดจะได้ค่าสัมประสิทธิพลังงานเพิ่มขึ้นมาประมาณร้อยละ 10 และหากเปลี่ยนจากชนิดสองใบพัดเป็นชนิดสามใบพัดจะได้ค่าสัมประสิทธิพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 การเพิ่มจำนวนใบพัดจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิพลังงานที่สูงขึ้นโดยอัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิพลังงานจะลดลง และจะเพิ่มความซับซ้อนของข้อต่อใบพัด แต่การมีจำนวนใบพัดมากไปจะส่งผลให้ราคาเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในปัจจุบันนี้พบว่า ผู้ผลิตกังกันนิยมผลิตกังหันชนิด 3 ใบพัดมากที่สุด เนื่องจากมีความคุ้มค่าสูงสุด

7.2.2 ความยาวของใบพัด

นอกจากจำนวนใบพัดแล้ว ความยาวใบพัดก็มีผลต่อการแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานกลเช่นกัน ใบพัดที่มีความยาวมาก จะสามารถรับลมและแปลงเป็นพลังงานกลได้ดีกว่าใบพัดที่มีความยาวน้อยกว่า ในกรณีที่มีจำนวนใบพัดเท่ากัน แต่อย่างไรก็ตามการเลือกความยาวใบพัดที่มีค่ามากๆ จะเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลได้ดีแต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายด้านใบพัดและการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้นเนื่องจากใบพัดที่ยาวขึ้นจะทำให้ความเร็วเชิงมุมของใบพัดต่ำลง ทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนช้า จำเป็นต้องเพิ่มโพลของเครื่องจักรไฟฟ้าซึ่งจะมีผลต่อราคาของเครื่องจักรที่จะสูงขึ้น จากการสำรวจผู้ผลิตทั่วไปนิยมผลิตความยาวใบพัดในช่วงรัศมีใบพัดตั้งแต่ 1.8 เมตร จนถึง 3.5 เมตร

7.2.3 ความนิยมในท้องตลาด

เหตุผลที่ความนิยมในท้องตลาดถูกนำมาใช้เป็นปัจจัยในการตัดสินใจเลือกใบพัด เนื่องจากอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมจะช่วยลดราคาในการซ่อมบำรุงลง และสะดวกสบายในการหาอุปกรณ์ต่างๆ การออกแบบโดยไม่คำนึงถึงความนิยมในท้องดลาดจะทำให้ราคาต้นทุนของอุปกรณ์สูงขึ้นเนื่องจากต้องสั่งทำพิเศษ และยังซ่อมบำรุงลำบากอีกด้วย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าในส่วนของกังหันควรเลือก ใบพัดชนิด 3 ใบพัด ความยาวใบพัดในช่วง 1.8 เมตร ถึง 3.5 เมตรซึ่งจะทำการวิเคราะห์อีกครั้งในส่วนของการออกแบบจำนวนโพลของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ความเร็วลม

เนื่องจากลมสามารถเปลี่ยนรูปจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้น การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่เป็นไปได้จากสถิติความเร็วลมเฉลี่ยจึงจำเป็นอย่างมากในการออกแบบกังกันลมผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งสิ่งที่จำเป็นจะต้องรู้จากข้อมูลของลมเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้แก่ ค่าความเร็วลมที่พิกัด และค่าความเร็วลมเริ่มทำงาน

7.3.1 ค่าความเร็วลมที่พิกัด

จากข้อมูลสถิติความเร็วลมในพื้นที่และการใช้โปรแกรม Wind Cap ในการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ทราบได้ว่า ความเร็วลมที่พิกัดหากมีค่าต่ำจะทำให้เครื่องจักรผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในปริมาณมากแต่จะถูกจำกัดด้วยราคาและความเป็นไปได้ของเครื่องจักร ดังนั้นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแล้ว ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ ค่าในช่วงความเร็วลมที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด โดยสามารถเลื่อนได้ความเร็วลงหรือขึ้นได้เล็กน้อยประมาณ 1 เมตรต่อวินาที เพื่อความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งหากเพิ่มความเร็วลมพิกัดให้มากกว่าค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นบ่อยสุดมากกว่า 1 เมตรต่อวินาทีจะส่งผลให้เครื่องจักรผลิตไฟฟ้าได้น้อยลงมากและไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่หาก ลดค่าความเร็วลมที่พิกัดลง จะทำให้เครื่องจักรผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นแต่ราคาระบบจะสูงขึ้นมากและบางทีอาจไม่สามารถหาเครื่องจักรชนิดที่ออกแบบได้ในท้องตลาดโดยรวมแล้วถือว่าไม่เหมาะสมต่อการลงทุนเช่นกัน

ค่าความเร็วลมที่สามารถนำมาออกแบบได้ก่อนในที่นี้คือ ค่าความเร็วตัดออกจากระบบเนื่องจากใช้การวิเคราะห์สภาพข้อมูลลมในพื้นที่และวิเคราะห์ค่าพลังงานลมสูงสุดในพื้นที่นั้นๆ แล้วเปรียบเทียบกับพลังงานที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าได้รับเข้าไป ว่าอาจทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเสียหายได้ ในที่นี้เมื่อทำการวิเคราะห์ออกมา พบว่าที่ความเร็วลม 15 เมตร/วินาที เครื่องจักรจะได้รับพลังงานเกินจากพิกัด 2 เท่าซึ่งอาจทำให้เครื่องจักรเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 การเลือกใช้เครื่องจักรไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดต่างๆในบทที่ผ่านมา ทำให้เราตัดสินใจได้ว่าเราควรใช้เครื่องจักรชนิด แม่เหล็กถาวร เนื่องจากสะดวกในการติดตั้งและซ่อมบำรุง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบอื่น แต่ สิ่งทียังไม่ได้กล่าวถึง คือ เรื่องของจำนวนโพล แรงดันขาออก ความถี่ ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

จากการศึกษาความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรชนิดแม่เหล็กถาวร พบว่า **เครื่องจักรชนิดนี้ให้ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่สูง มีประสิทธิภาพสูงทำให้ขนาดของเครื่องจักรเล็กลง ส่งผลให้น้ำหนักของระบบน้อยลง ทำให้ค่าติดตั้งถูกลง ดังนั้นจึงทำการเลือกใช้เครื่องจักรซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร(PMSM)**

เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร สามารถแบ่งตามลักษณะโรเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

1.ราวด์โรเตอร์ (Round Rotor) เหมาะสมกับงานที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง ซึ่งเครื่องจักรที่มีโรเตอร์ชนิดนี้จะมีราคาค่อนข้างสูง

2. ซาเลนท์โพลโรเตอร์ (salient pole rotor) เหมาะสมกับงานที่มีความเร็วรอบต่ำ และมีราคาถูกกว่า ราวด์โรเตอร์(round rotor)

จากการเปรียบเทียบด้านโรเตอร์ดังกล่าวพบว่า เครื่องจักรซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร ที่จะนำมาใช้ควรมีโรเตอร์ชนิดซาเลนท์โพล ซึ่งเหมาะสมทั้งในด้านการออกแบบ และในด้านเศรษฐศาสตร์

7.4.1 จำนวนโพล

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้า คือ จำนวนโพลของเครื่องจักรกลนั้นๆ เพราะโพล จะเชื่อมโยงการทำงานกับส่วนประกอบอื่นๆของเครื่องจักร ดังนั้น การตัดสินใจหาค่าความเร็วลมพิกัด ความเร็วลมเริ่มทำงาน และความยาวใบพัด จะต้องถูกยกมาพิจารณาพร้อมกันกับการหาจำนวนโพลโดยเราจะเริ่มทำการวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวใบพัดกับกับค่าความเร็วลมพิกัด ที่พลังงานลม 9,971 วัตต์ซึ่งเป็นค่าพลังงานลมที่ชดเชยความสูญเสียของเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ 85% และค่าการแปลงรูปพลังงานลมอีก 59% จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 \qquad (7.1)$$

โดยกำหนดให้ค่า P = 9,971 วัตต์

p = ค่าความหนาแน่นของลม มีค่า 1.23 กิโลกรัม/ลบ.ม.

A = พื้นที่ที่ใบพัดกวาดได้ = ผลคูณของค่าพายกับรัศมีใบพัดกำลังสอง

v = ค่าความเร็วลมพิกัด

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้านบนจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของค่าความยาวใบพัดที่มีผลต่อความเร็วลมที่จะทำให้เกิดพลังงาน 9,971 วัตต์ ได้ดังข้อมูลในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความยาวใบพัดที่มีผลต่อความเร็วลม

ความยาวใบพัด (เมตร)	ความเร็วลมพิกัด (เมตร/วินาที)
1.5	13.1
2	10.9
2.5	9.4
3	8.3
3.5	7.5

จากข้อมูลในตาราง ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่า ที่ความยาวใบพัด 3.5 เมตร จะทำให้ได้ค่าพลังงานต่อปีสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบทั้งด้านความนิยมในตลาดซึ่งมีความนิยมใกล้เคียงกันแล้ว ใบพัดความยาว 3.5 เมตรจะมีความคุ้มค่าทางเศษฐศาสตร์มากที่สุด ที่ความเร็วลมพิกัด 7.5 เมตรต่อวินาที

จากข้อมูลความยาวใบพัด และความเร็วลมที่พิกัดที่เลือกไว้ ทำให้เราสามารถเลือกจำนวนโพลได้จากสมการที่ 7.2 โดยการหาความสัมพันธ์ของจำนวนโพล กับความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_D = \frac{\mu}{\lambda_{opt}} = \frac{2\pi rn}{\lambda_{opd}} \qquad (7.2)$$

โดยที่ V_D = ความเร็วลม (เมตร/วินาที)

r = ความยาวใบพัด (เมตร)

n = ความเร็วซิงโครนัส (รอบ/ วินาที)

λ = Tips speed ratio มีค่าประมาณ 5

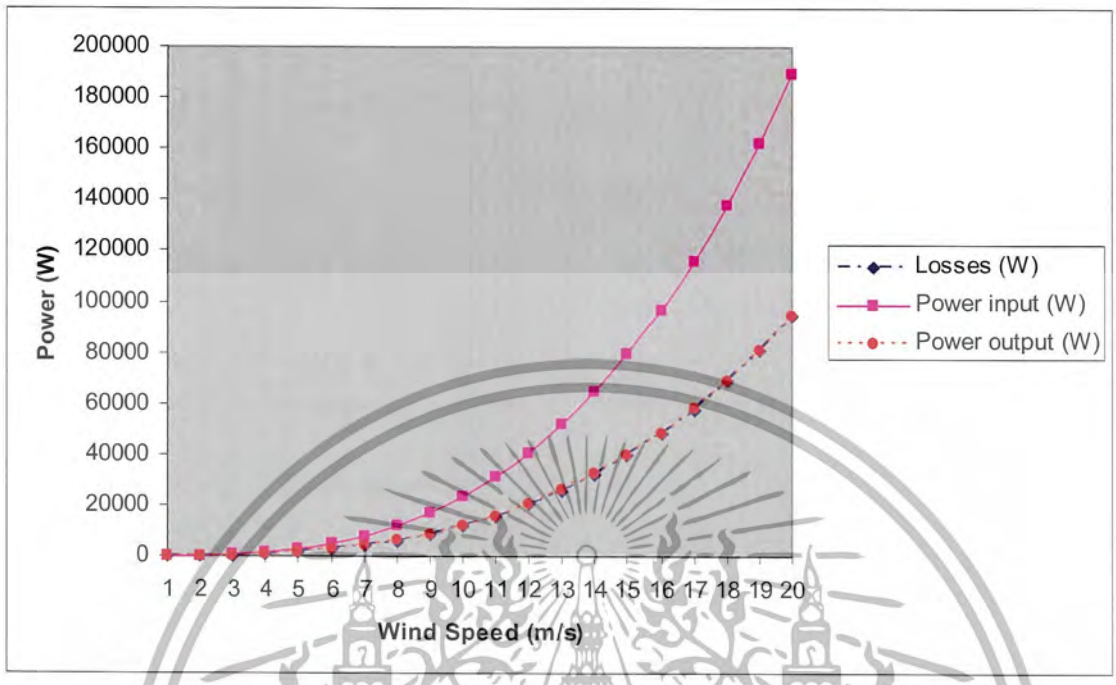
เมื่อทำการแทนค่าความยาวใบพัดลงในสมการที่ 7.2 แล้วทำการคำนวณ จะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 7.2 ดังนี้

ตารางที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความยาวใบพัดที่มีผลต่อความเร็วลม

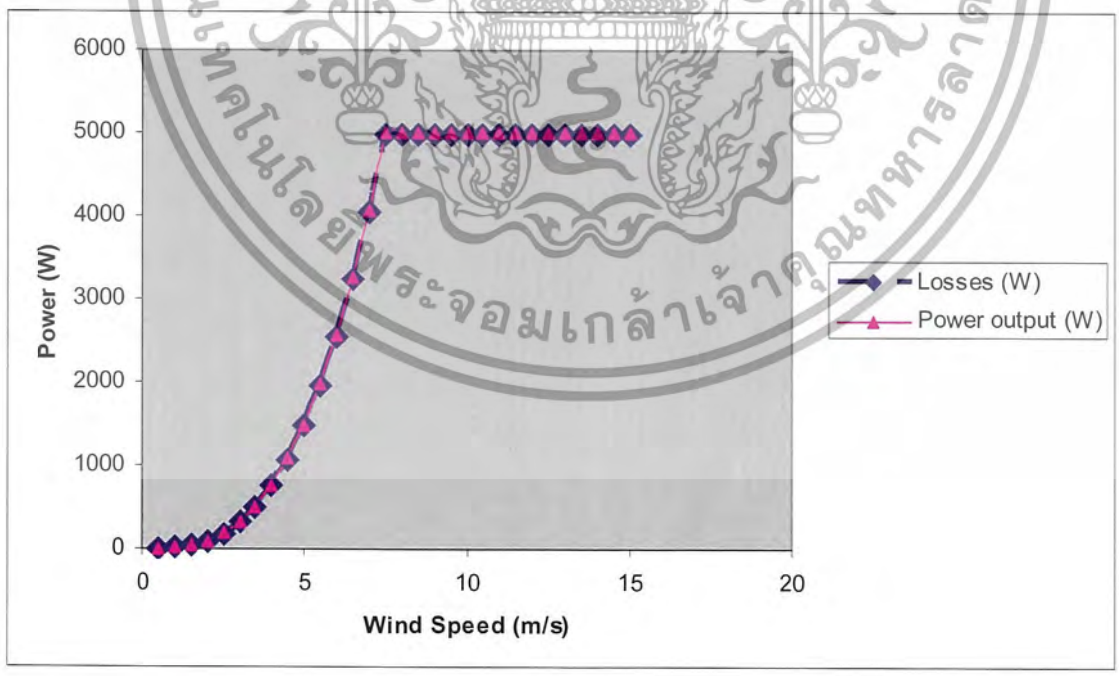
จำนวนโพล	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
4	20
6	13.33
8	10
10	8
12	6.66

จากข้อมูลในตารางที่ 7.2 การเลือกโพลจะเลือกให้ค่าความเร็วลมของโพลมีค่ามากกว่าค่าค่าความเร็วลมพิกัดของใบพัดไม่ได้ เนื่องจากจะเกิดการสูญเสียพลังงานลมโดยเปล่าประโยชน์ไปส่วนหนึ่ง ดังนั้นจากตารางด้านบนทำให้เราตัดสินใจเลือก เครื่องจักรที่มีจำนวนโพล 12 โพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

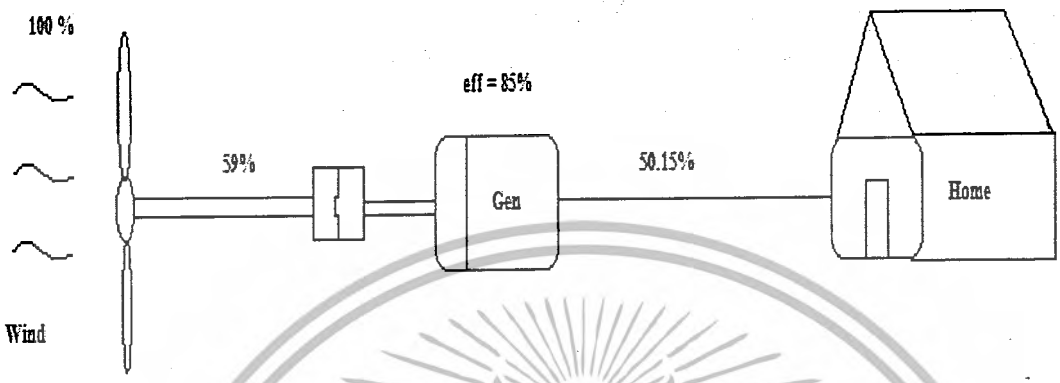


รูปที่ 7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่สูญเสีย พลังงานลม และพลังงานงานไฟฟ้าที่ได้รับกับความเร็วลมที่ค่าต่าง ๆ



รูปที่ 7.3 กราฟแสดง Power Curve ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการเลือกไว้ที่ค่าพิกัด 5 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงขั้นตอนการสูญหายไปของพลังงานลมในระบบ

7.4.2 ความเร็วลมเริ่มทำงาน

ความเร็วลมเริ่มทำงานสามารถทำการคำนวณได้โดยทำการคิดจาก 5% ของพลังงานที่พิกัด แล้วทำการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าความเร็วลม ในที่นี้เราได้ทำการเลือกใช้เครื่องจักร 12 โพล ใบพัดยาว 3.5 เมตรจากการคำนวณค่าพลังงาน 5% ของพลังงานพิกัดจะอยู่ที่ช่วงความเร็วลม ประมาณ 2.8 เมตรต่อวินาที ที่ระดับพลังงานไฟฟ้า 250 วัตต์

7.4.3 รายละเอียดอื่น ๆ

รายละเอียดอื่น ๆของเครื่องจักรในที่นี้ได้แก่ ค่าความถี่และแรงดันเอาต์พุตและจำนวนเฟส เราจะทำการเลือกโดยอาศัยความนิยมและความสะดวกในการนำมาใช้งานเป็นสำคัญ ดังนั้นความถี่ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าควรมีค่า 50 Hz แรงดันไฟฟ้าควรมีค่า 240 V และใช้เครื่องจักรชนิดเฟสเดียว เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์มารองรับกับระบบได้ง่ายและมีราคาไม่แพง และมีความซับซ้อนในการติดตั้งน้อยกว่าซึ่งเหมาะกับการใช้งานในต่างจังหวัดของประเทศไทย

7.5 การติดตั้งเสากังหัน

ในการติดตั้งเสากังหันจำเป็นที่จะต้องดูลักษณะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าและใบพัดว่ามีลักษณะทางกายภาพอย่างไร ในที่นี้เราเลือกใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร ซึ่งมีจุดเด่นที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา ทำให้การเลือกเสาเราสามารถลดต้นทุนโดยการติดตั้งเสาแบบเส้นเดียว (tubular tower) ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านความสูงของเสา แน่นอนว่าเสาที่มีความสูงมากจะส่งผลให้กังหันรับลมได้ดีขึ้น แต่ขณะเดียวกันเสาที่มีความสูงมากเกินพอดีจะทำให้ยากต่อการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดปัญหาขึ้น แต่หากสูงน้อยไปจะเกิดปัญหาด่อทัศนียภาพและอาจเกิดอันตรายได้ ดังนั้นเสาจึงควรออกแบบความสูงโดยอ้างอิงจุดต่ำสุดของใบพัดขณะหมุนควรสูงจากพื้น 10 เมตร ดังนั้นในกรณีนี้ จึงสรุปได้ว่าเสา ที่จะทำการติดตั้งกังกันควรมีความสูง 17 เมตร

7.6 สรุปข้อมูลการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

- ชนิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า	Permanent Magnet Generator 12 Pole
- กำลัง	5,000 watt (5kW)
- จำนวนเฟส	1 phase
- ความถี่	50 Hz
- แรงดันไฟฟ้า Output	240 V
- ชนิดของกังหัน	Horizontal
- จำนวนใบพัด	3 ใบพัด (stall blade)
- ความยาวใบพัด	3.5 เมตร
- ความเร็วลมเริ่มทำงาน	2.8 เมตร/วินาที ที่กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์
- ความเร็วลมพิกัด	7.5 เมตร/วินาที ที่กำลังไฟฟ้า 5,000 วัตต์
- ความเร็วลมตัดออกจากระบบ	20 เมตร/วินาที
- ลักษณะการติดตั้งเสา	ใช้เสาต้นเดียว ติดตั้งตามหลักวิศวกรรมโยธา
- ความสูงของเสา	17 เมตร

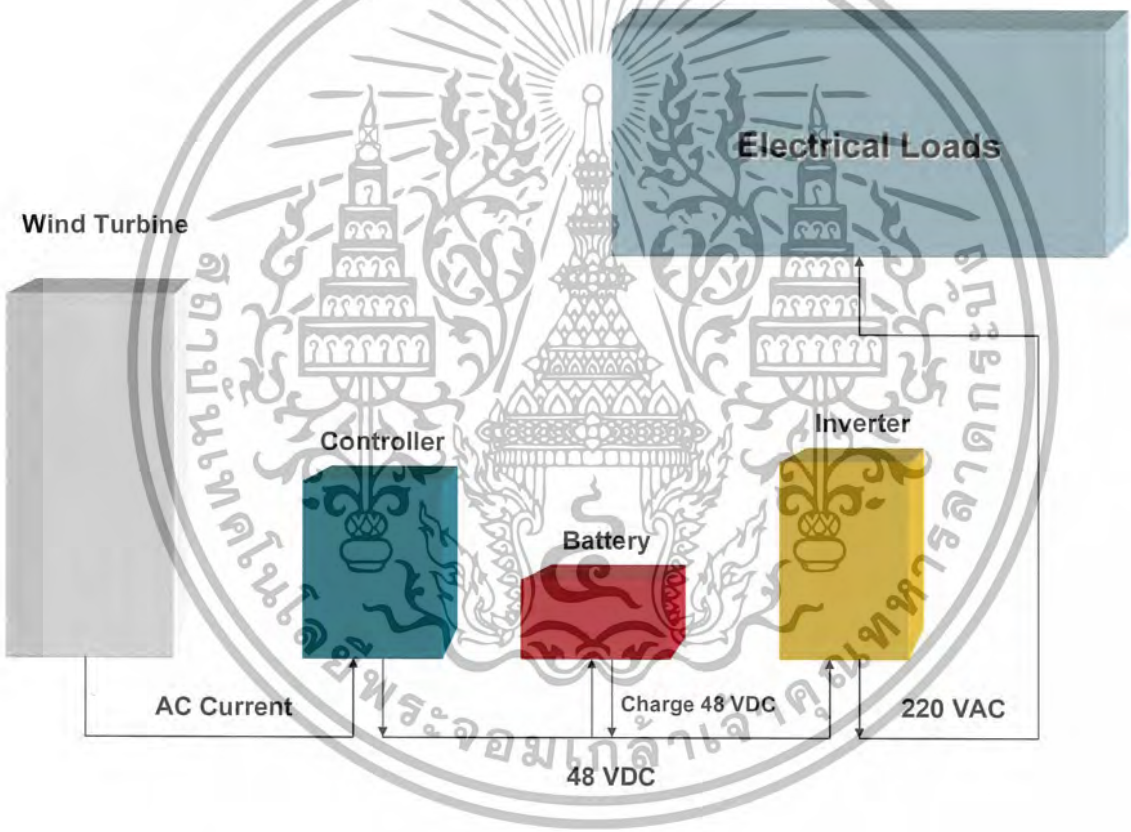
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 การออกแบบระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone System)

สำหรับระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระจะทำการออกแบบระบบแบบขั้นต่ำ (Minimum-requirement) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ 3 ส่วน ได้แก่

1. ชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ (Rectified and charge controller)
2. ชุดแบตเตอรี่ (Battery Bank)
3. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

โดยสามารถแสดงระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone System) ที่ทำการออกแบบได้ดังนี้

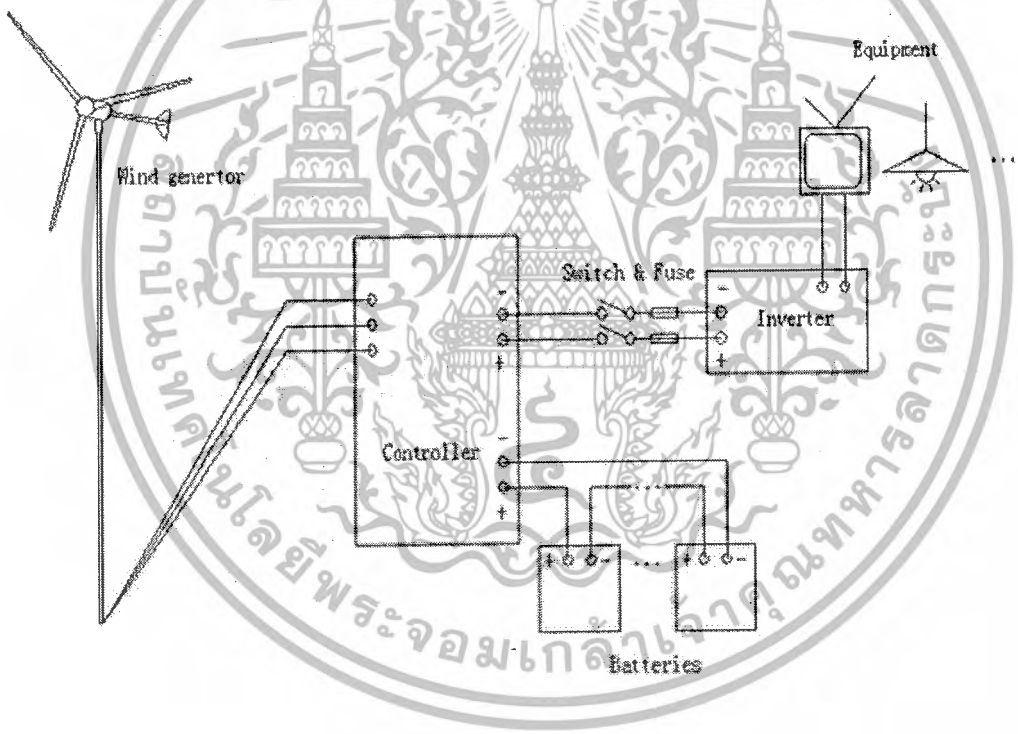


รูปที่ 7.5 แสดงภาพระบบแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7.1 การเลือกขนาดชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ (Rectified and charge controller)

สำหรับการเลือกชุดคอนโทรลเลอร์นั้น จะทำการเลือกชุดคอนโทรลเลอร์ที่มีพิกัดกำลังขนาด 5000 W (5 kW) โดยชุดคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (1 phase, 240 VAC) ให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัดแรงดัน 48 โวลต์ (48 VDC Output) เพื่อนำไปใช้งานกับชุด-แบตเตอรี่สำหรับสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งานภายในระบบต่อไปนั่นเอง



รูปที่ 7.6 แสดงภาพการติดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (Stand-Alone) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7.2 การเลือกขนาดชุดแบตเตอรี่ (Battery Bank)

เมื่อทำการตรวจสอบความเร็วลมในพื้นที่ที่ทำการติดตั้งซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเร็วลมต่ำ จะได้ความเร็วลมเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่ที่ติดตั้งโดยเฉลี่ย คือ 2-5 เมตรต่อวินาที (m/s) มีลมเฉลี่ยในพื้นที่ต่อวันเป็นเวลาโดยประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน จะได้ว่ากังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กขนาด 5 kW ที่ได้ทำการออกแบบไว้นี้จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 12 หน่วยต่อวัน (kWh/day) ซึ่งเราจะทำการหาขนาดของชุดแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ 7.3 ดังนี้

$$\text{ขนาดชุดแบตเตอรี่ (Ah)} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Wh) x ระยะเวลาใช้งาน (h) x 50\%}}{\text{แรงดันไฟฟ้า(Voltage)}} \quad (7.3)$$

หมายเหตุ : 50% คือ เปอร์เซ็นต์การใช้งานจริงของแบตเตอรี่ก่อนการประจุไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระนี้จะออกแบบให้สำรองไฟฟ้าไว้ใช้ได้นานประมาณ 3 ชั่วโมง ในช่วงที่ไม่มีลม โดยกำหนดให้ใช้งานที่ระบบแรงดันไฟฟ้า 48 VDC ซึ่งเป็นแรงดันที่ได้รับมาจากชุดคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณหาขนาดชุดแบตเตอรี่ ได้ดังนี้

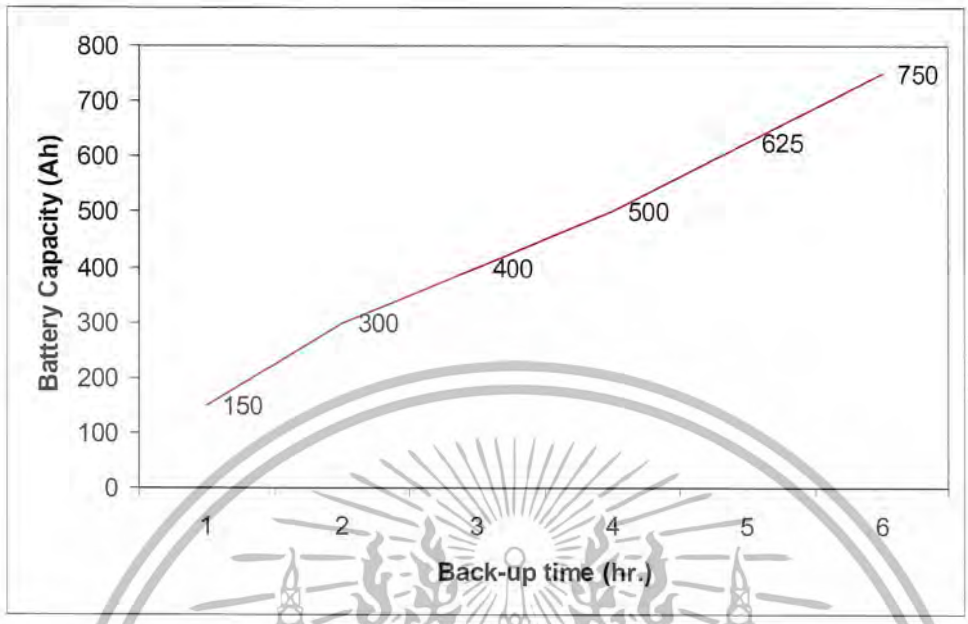
$$\text{ขนาดชุดแบตเตอรี่ (Ah)} = \frac{12{,}000(\text{Wh}) \times 3(\text{hr}) \times 50\%}{48\text{V}}$$

$$= 375\text{Ah}$$

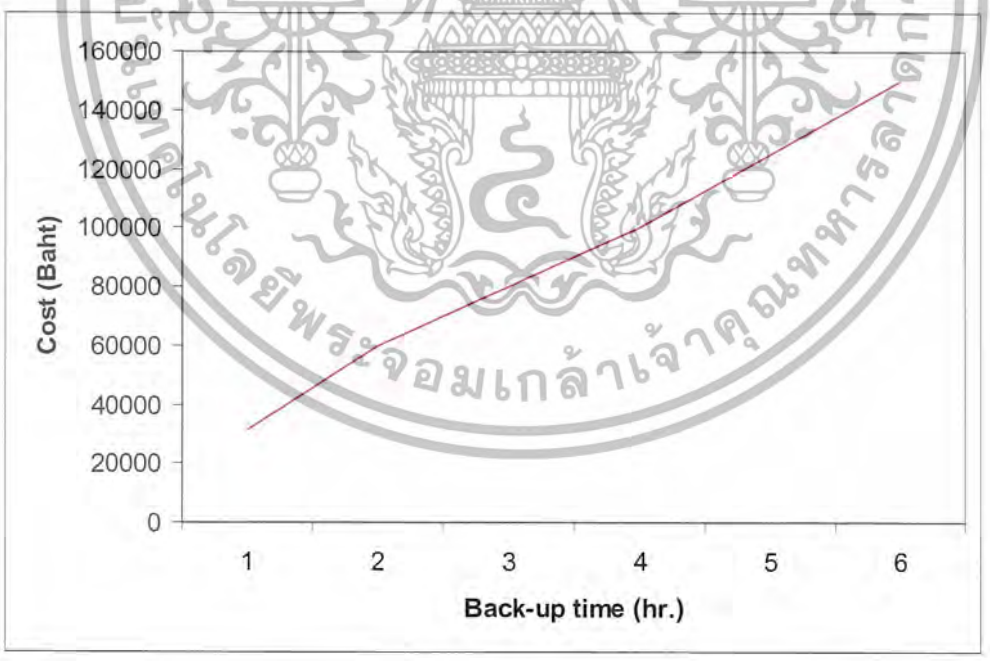
ดังนั้น ภายในชุดแบตเตอรี่จะต้องใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ขนาด 400 Ah จำนวน 4 ลูก มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ชุดแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าที่ 48 โวลต์ ขนาด 400 Ah สำหรับสำรองไฟฟ้า (Battery back-up time) ไว้ใช้งานภายในระบบเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ซึ่งถ้าหากเราต้องการที่จะสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ภายในระบบ โดยมีระยะเวลาที่สามารถสำรองไฟฟ้า (Back-up time) เพื่อไว้ใช้สำรองไฟไว้ใช้งานได้นานมากขึ้นกว่าเดิมจากที่ได้ทำการออกแบบไว้นั้น เช่น 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง เป็นต้น จะได้ว่าขนาดของความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity) นั้น จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ต้องการสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งานภายในระบบ ซึ่งการที่ค่าความจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลทำให้ราคาของชุดแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยราคาของชุดแบตเตอรี่นั้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้สำรองไฟฟ้าไว้ใช้งานภายในระบบด้วยนั่นเอง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.5 และ รูปที่ 7.6 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

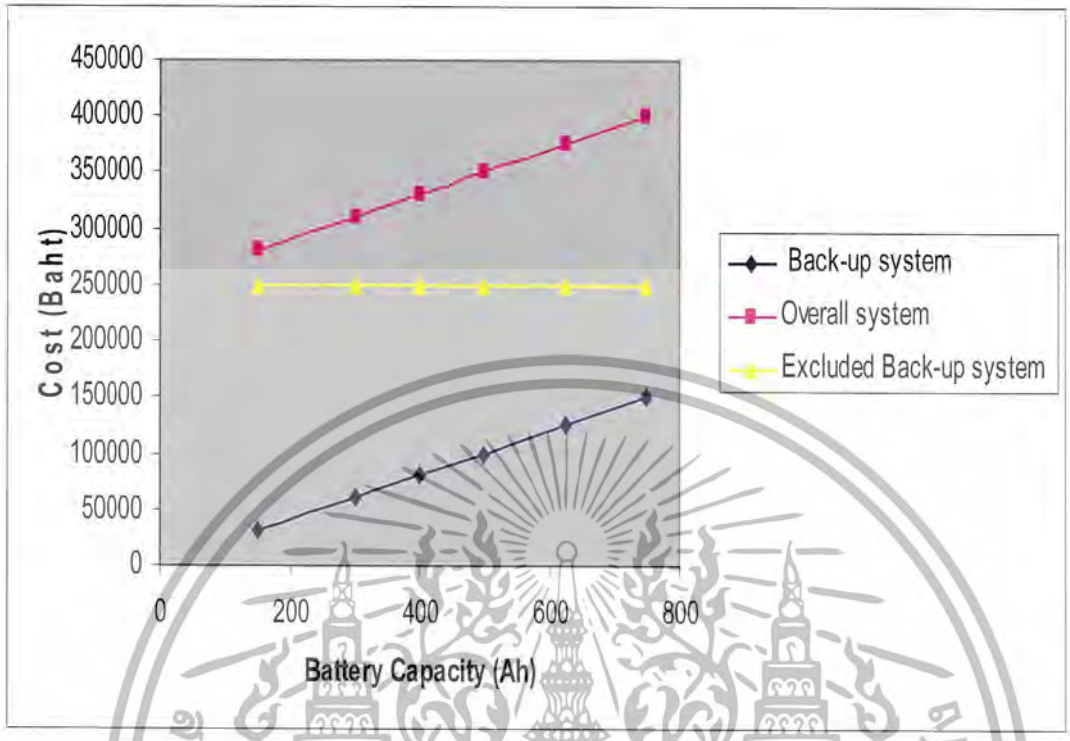


รูปที่ 7.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน (Back-up time) กับความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity)



รูปที่ 7.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งาน (Back-up time) กับราคาของชุดของแบตเตอรี่ (Battery Bank)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity) กับราคาของระบบต่าง ๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (5kW)

7.7.3 การเลือกขนาดของอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (Stand-Alone Inverter)

การเลือกขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้งานภายในระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระนั้น ควรพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งาน ซึ่งในที่นี้จะทำการเลือกเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave Inverter หรือที่ส่วนใหญ่เรียกกันว่า Full Sine Wave Inverter ที่มีพิกัดกำลังขนาด 5000 W มาใช้งาน เนื่องจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภทนี้จะให้สัญญาณขาออกที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับรูปคลื่นซายน์ คุณภาพไฟฟ้าที่ได้ใกล้เคียงกับระบบสายส่งมาก ให้กำลังไฟฟ้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับได้ดีที่สุด จึงทำงานได้ดีกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต่างๆ เกือบทุกประเภท รวมถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง เช่น ปั๊มน้ำ, เครื่องมืออุปกรณ์-อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยภายในตัวเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าควรมีระบบ soft starts เพื่อช่วยในการลดกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทอุปกรณ์ประเภทดังกล่าวได้ ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input -Voltage) เป็นแบบ 48 VDC ซึ่งแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดแรงดันเท่ากับ 220 VAC เพื่อที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้กับระบบไฟฟ้าภายในครัวเรือนได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7.3.1 คุณสมบัติเฉพาะทางเทคนิคของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานแยก-อิสระ (Stand-Alone Inverter)

- กำลังไฟฟ้าขาออก (Output power): 5000 W
- กำลังไฟฟ้ากระชากสูงสุดที่รับได้ (Output power surge): 10,000 W
- แรงดันไฟฟ้าขาออก (AC output voltage): 220 VAC
- ลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้าที่จ่าย (Output wave form): Full sine wave (Pure sine wave)
- ความถี่ไฟฟ้าที่จ่าย (Frequency): 50-60 Hz
- แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้า (DC input voltage): 48 VDC
- ระบบป้องกันเมื่อเครื่องมีอุณหภูมิสูงเกินกำหนด: Electric cooling fan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปการทำงานและการแก้ไขปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลทั้งหมดทั้งความเร็วลมและสภาพพื้นที่ ในการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า ทำให้สามารถเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นประเภทเครื่องจักรกลไฟฟ้า ชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ซึ่งมีข้อดี คือ เป็นเครื่องจักรที่มีขนาดเล็ก สามารถติดตั้งได้ง่าย มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำมีความหนาแน่นของฟลักซ์สูง ส่วนข้อด้อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร คือ เมื่อทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้น จำนวนฟลักซ์แม่เหล็กที่สาร permanent magnet สร้างจะลดลง ดังนั้นในการออกแบบหรือเลือกใช้จำเป็นที่จะต้องนำอุปกรณ์ห้องมาพิจารณาด้วย

- ในส่วนของระบบไฟฟ้า เนื่องจาการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็กเป็นการใช้งานในที่พักอาศัย ย่านชุมชน หรือพื้นที่ห่างไกลจากสายส่งหลัก ระบบไฟฟ้าจึงเป็นระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ ซึ่งเหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ข้างต้น แต่ข้อเสียของระบบนี้คือราคาของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบนี้มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องใช้หลักความต้องการต่ำสุด (Minimum requirement)

- ส่วนของการเก็บและสำรองพลังงาน จะใช้แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรอง ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานเคมี จะใช้การต่อแบบอนุกรมแบตเตอรี่ 400 Ah จำนวน 4 ลูก ๆละ 12 โวลต์ รวมเป็น 48 โวลต์ สามารถสำรองพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 3 ชั่วโมงในโหลดปกติ

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ได้จากแบตเตอรี่ แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการทำงานของวงจรสวิตช์ชิ่งทรานซิสเตอร์ ด้วยการเปิด – ปิดวงจรกระแสตรงของทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วร่วมกับหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนเข้า 48 VDC แรงดันไฟฟ้าขาออก 220 VAC กำลังไฟฟ้าขาออก 5 kW กระชากได้สูงสุด 10 kW ใช้ Electronic cooling fan เป็นระบบป้องกันเมื่อเครื่องมีอุณหภูมิสูงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Syed A. Nasar , **Electric Machines and Power Systems Volume 1 Electric Machines**, McGraw-Hill ,1995

[2] Volker Quaschning , **Understanding renewable energy systems** ,London ,Earthscan, 2007

[3] D.F. Warne , **Wind Power Equipment** ,New York , E.&F.N. Spon, 1983

[4] จิโรจน์ พรวัฒนาและคณะ ,"เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานลม = wind generator" , **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต** , สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539

[5] ขันติ ปานขลิบ, **กังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพ, บริษัท สหมิตรเครื่องกล จำกัด (มหาชน), 2551

[6] Jacek F. Gieras , **Permanent magnet motor technology : design and applications** , New York , Marcel Dekker, 1997

[7] Available : URL : http://www.prapai.co.th/knowledgeview.php?nid=34 (2008)

[8] Available : URL : http://www.leonics.com /html/th/aboutpower (2008)

[9] Available : URL : http://www.windpowerenergy.com.au (2008)

[10] Available : URL : http://lab.excise.go.th/group3/battery/batstruc.htm (2008)

[11] Available : URL : http://www.powermaster.com (2008)

[12] Available : URL : http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/inverter (2008)

[13] Available : URL : http://www.windgen.biz (2009)

[14] Available : URL : http://www.engineo.co.th (2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายเชาวลิต พิทักษ์วงษ์ (แบงค์)
เกิดวันที่ 16 มีนาคม 2530
ที่อยู่ 8/110 ซอยปลูกจิตต์ ถนนพระราม 4 แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน
กรุงเทพฯ 10330
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายที่ ร.ร.เทพศิรินทร์
E-mail address : bank_abagnele@hotmail.com

นายธงชัย อินนันชัย (เอ้)
เกิดวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2529
ที่อยู่ 46 หมู่ 1 ถ.ราษฎร์อุทิศ ต.กล้วยแพะ อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
จบมัธยมศึกษาตอนต้นจาก ร.ร.มัธยมวิทยา จังหวัดลำปาง
จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก ร.ร.ลำปางกัลยาณี จังหวัดลำปาง
E-mail address : chap_cha_cha@hotmail.com

นายธนยศ สีดาคำ (เอก)
เกิดวันที่ 4 ตุลาคม 2529
ที่อยู่ 481/1 ซ.รัชดาภิเษก 10 ถ.รัชดาภิเษก ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
ร.ร.กุนนทีรุทธารามวิทยาคม
E-mail address : tanayot29@hotmail.com

นายธีรชัย แซ่ลิ้ม (ม่อน)
เกิดวันที่ 3 กันยายน 2528
ที่อยู่ 184 ซอยตากสิน 15 ถนนตากสิน แขวงสำเหร่ เขตธนบุรี
กรุงเทพฯ 10600
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลายที่ ร.ร.เทพศิรินทร์
E-mail address : mond030928@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้