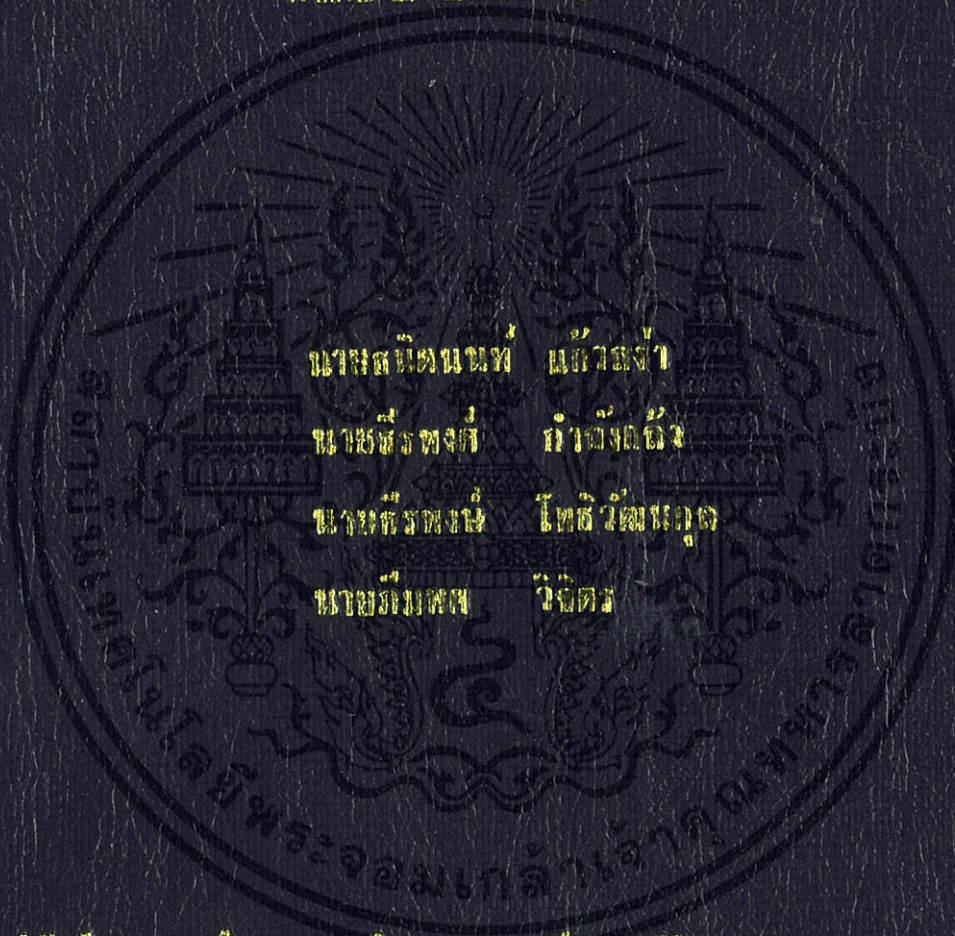


ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การออกแบบและจัดการบริหารระบบผลิตไฟฟ้า

ด้วยพลังงานลม

FUTURE RENEWABLE CENTER: THE DESIGN AND MANAGEMENT OF  
WIND ENERGY SYSTEM



นายตติเทพ มั่งคั่ง  
นายธีรพงษ์ กำจัดอ้วน  
นายธีรพงษ์ โทษวิเศษกุล  
นายวิมล พิศ วิจิตร

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ณ สำนักเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2555

ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การออกแบบและการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้า  
ด้วยพลังงานลม

FUTURE RENEWABLE CENTER: THE DESIGN AND MANAGEMENT OF  
WIND ENERGY SYSTEM



โดย

นาย ธนิตนนท์ แก้วสง่า

นาย ธีรพงศ์ กำลั้งกล้า

นาย ธีรพงษ์ โพธิ์วัฒนกุล

นาย ภิรมพศ วิจิตร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา ปีการศึกษา 2555 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUTURE RENEWABLE CENTER: THE DESIGN AND MANAGEMENT OF  
WIND ENERGY SYSTEM



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BECHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสาร KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ะโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง 2012 อังถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การออกแบบและการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้า  
ด้วยพลังงานลม

FUTURE RENEWABLE CENTER: THE DESIGN AND MANAGEMENT OF  
WIND ENERGY SYSTEM



โดย

นาย ธนิตนนท์ แก้วสง่า

นาย ชีรพงศ์ กำลิ่งกล้า

นาย ชีรพงษ์ โพธิ์วัฒนกุล

นาย ภิรมพศ วิจิตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **รศ.ศุภี** ภาควิชา **บรรจงจิตร** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การออกแบบและการบริหารจัดการระบบ  
ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

ผู้จัดทำ

1. นาย ธนิตนนท์ แก้วสง่า
2. นาย อีรพงศ์ กำลังกล้า
3. นาย อีรพงษ์ โพธิ์วัฒนกุล
4. นาย ภิรมศ วิจิตร



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องขอยกเลิกเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ศุภี บรรจงจิตร)

ศูนย์พลังงานทดแทนเพื่ออนาคต: การออกแบบและการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้า  
ด้วยพลังงานลม

นาย ธนิตนนท์ แก้วสง่า  
นาย ชีรพงศ์ กำลิ่งกล้า  
นาย ชีรพงษ์ โพธิ์วัฒนกุล  
นาย ภิรมพศ วิจิตร  
ผศ.ดร. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ. ศุภี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมของระบบไฟฟ้าใน โครงการ Future Renewable Center โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยีกังหันลมทั้งแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง และอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ รวมถึงการศึกษาความเร็วลมในประเทศไทยโดยใช้ฐานข้อมูลพลังงานลมของประเทศไทยโปรแกรม Windmap และทำการออกแบบติดตั้งเข้ากับระบบไฟฟ้า โดยที่ภายในโครงการใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าจ่ายโหลด ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ (hybrid solar and wind energy system) ผลของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นำไปออกแบบระบบควบคุมการจ่ายโหลดโดยวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติหลักการ Weibull Distribution และจาก Power curve ของกังหันลม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีในการใช้งานและสอดคล้องกับความเร็วลมของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUTURE RENEWABLE CENTER: THE DESIGN AND MANAGEMENT OF  
WIND ENERGY SYSTEM

Tanitnon Kaewsanga  
Teerapong Kamlangkla  
Teerapong Pothiwattanakul  
Peemapot Wijit  
Asst.Prof. Chai Chompoo-inwai Supervisor  
Assoc.Prof. Sulee Bunjongjit Supervisor  
Year 2012

**Abstract**

The objective of this thesis is to present the design and management of wind energy system in the power system of the Future Renewable Center Project. This thesis examines the study of the wind turbine technology in both horizontal and vertical axis. Also, it displays the study of the main components in the project's power system. This thesis includes the study of the wind speed in Thailand based on Thailand's wind energy information using Windmap program which was later applied to the power system. As the Future Renewable Center project deliberately uses wind-solar hybrid turbine system, the generated electricity was used to design the electrical load control by using the analysis of wind speed based on the Weibull Distribution model and wind turbine power curve. In addition, in this dissertation, economical reason was concerned accordingly with the wind speed in Thailand in order to meet the great efficiency of the wind turbines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาย ชมภูอินทิว และ รองศาสตราจารย์ ศุภี บรรจงจิตร ที่ปรึกษาปริญญา นิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและคำแนะนำ ตลอดทั้งตรวจสอบแก้ไขเนื้อหา รูปแบบ ข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยรู้สึก ขาบซึ่งในความอนุเคราะห์ที่ได้รับ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าของเอกสาร บทความ ตำรา หนังสือทุกท่านที่ผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นข้อมูลที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโททุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมต่างๆ รวมถึงให้ความรู้และคำแนะนำในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณและขอใจ ครอบครัวยุและเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ของคณะผู้จัดที่คอยให้กำลังใจและ คำปรึกษา ซึ่งทำให้ปริญญาานิพนธ์ สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์จากการค้นคว้าอันพึงมีของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบ ทดแทนบุญคุณค่าต่อครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

18 มีนาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ลมและความเร็วลม	5
2.2 นิยามพลังงานลม	5
2.3 การวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ	6
2.4 หลักการทำงานของกังหันลม	7
2.5 ประเภทของกังหันลม	10
2.6 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง และกังหันแกนนอน	14
2.7 ผลกระทบของการใช้กังหันลม	14
2.8 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้า	16
2.9 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	17
2.10 เทคโนโลยีการขับเคลื่อนของกังหันลม	18
2.11 การประมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	18
2.12 กังหันลมกับการใช้งาน	19
2.13 ระบบการติดตั้งของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	20
2.14 ชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ	21
2.15 อินเวอร์เตอร์(Inverter)	23
2.15.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์	23
2.15.2 ชนิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	25
2.15.3 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์	27
บทที่ 3 การออกแบบระบบจัดการพลังงานลม	29
3.1 Flow chart การทำงาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น	29
3.2 ฐานข้อมูลพลังงานลมประเทศไทย โดยโปรแกรม WindMap ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	30
3.3 การพิจารณาและเปรียบเทียบเพื่อเลือกกังหันลมที่มีอยู่ในท้องตลาด	37

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 ข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลมที่จะติดตั้งในโครงการ Future Renewable Center	38
3.4.1 กังหันลม Aeolos แกนนอน ขนาด 5 กิโลวัตต์	39
3.4.2 กังหันลม Aeolos แกนตั้ง ขนาด 5 กิโลวัตต์	39
3.5 ระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเชื่อมต่อกริดเพื่อจ่ายโหลด Future Renewable Center	42
3.5.1 Aeolos Controller Wind turbine	42
3.5.2 Dump Load Box	43
3.5.3 Windy Boy 5000TL	43
3.5.4 ระบบการป้องกันและความปลอดภัย	45
3.6 การออกแบบติดตั้งกังหันลม 5 กิโลวัตต์ ในพื้นที่โครงการ Future Renewable Center ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร	46
3.6.1 พื้นที่ติดตั้งกังหันลม	46
3.6.2 การติดตั้งกังหันลม	46
3.7 การติดตั้งเสาและฐานราก	47
3.8 การทำงานของกังหันลม 3 เฟส	48
3.9 ข้อมูลการศึกษาและออกแบบเพิ่มเติม	50
3.9.1 กังหันลมแกนตั้ง Helix ขนาด 4.5 กิโลวัตต์	50
3.9.2 การติดตั้งกังหันลมบนอาคาร	52
3.9.3 สถานที่ในประเทศไทยที่เหมาะสมต่อการติดตั้งกังหันลม	52
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	54
4.1 Weibull Distribution	54
4.2 การวิเคราะห์พลังงานจากลม	58
4.2.1 ช่วงเวลา 01:00 น.	60
4.2.2 ช่วงเวลา 04:00 น.	62
4.2.3 ช่วงเวลา 07:00 น.	64
4.2.4 ช่วงเวลา 10:00 น.	66
4.2.5 ช่วงเวลา 13:00 น.	68
4.2.6 ช่วงเวลา 16:00 น.	70
4.2.7 ช่วงเวลา 19:00 น.	72
4.2.8 ช่วงเวลา 22:00 น.	74
4.3 การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน	76
4.4 การศึกษาแผนงานโครงการและทิศทางลม	82

เอกสารนี้เป็นบทที่ 5 สรุปการทำงานและการแก้ไขปัญหาการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ บรรณานุกรม ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

## สารบัญ(ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
บทความ	88
ประวัติผู้เขียน	89
	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อะเนมิโมมิเตอร์	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระดับความสูง และกับกำลังงานต่อพื้นที่	7
2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในอุดมคติของกังหันลม	8
2.4 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า	10
2.5 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน	10
2.6 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน	11
2.7 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง	13
2.8 กังหันลมแนวแกนตั้งชนิด Helix Wind	13
2.9 ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไป	16
2.10 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบ Stall limit (เส้นประ) และแบบ Pitch control (เส้นทึบ)	19
2.11 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว	20
2.12 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่ง	21
2.13 ชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไป	22
2.14 ชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า	22
2.15 อินเวอร์เตอร์	23
2.16 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์	24
2.17 วงจรการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	24
2.18 รูปคลื่นไฟฟ้าที่แปลงออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	24
2.19 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified sine wave มี soft start	25
2.20 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave	26
2.21 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)	27
2.22 กระบวนการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะการใช้ไฟสำรอง	27
3.1 Flow chart	29
3.2 พิกัดพื้นที่ที่ติดตั้งกังหันลมจากโปรแกรม Google Earth	30
3.3 ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีจากโปรแกรม Windmap	31
3.4 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนมกราคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.9 m/s	31
3.5 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนกุมภาพันธ์จากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.3 m/s	32
3.6 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนมีนาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.6 m/s	32
3.7 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนเมษายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.6 m/s	33
3.8 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนพฤษภาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.4 m/s	33

เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.9 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนมิถุนายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.5 m/s	34
3.10 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.5 m/s	34
3.11 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนสิงหาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.2 m/s	35
3.12 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนกันยายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.3 m/s	35
3.13 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนตุลาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.7 m/s	36
3.14 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.7 m/s	36
3.15 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนธันวาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.6 m/s	37
3.16 กำลังผลิตไฟฟ้าของกังหันลมขนาดเล็ก	38
3.17 Power curve ของกังหันลมที่มีอยู่ในท้องตลาด	38
3.18 กังหันลมแกนนอน Aeolos	40
3.19 เส้นโค้งแสดงกำลังและความเร็วลมของกังหันลมแกนนอน Aeolos ขนาด 5 กิโลวัตต์	40
3.20 เส้นโค้งแสดง Noise และความเร็วมของกังหันลมแกนนอน Aeolos ขนาด 5 กิโลวัตต์	40
3.21 กังหันลมแกนตั้ง Aeolos	42
3.22 เส้นโค้งแสดงกำลังและความเร็วลมของกังหันลมแกนตั้ง Aeolos ขนาด 5 กิโลวัตต์	42
3.23 Aeolos Controller	42
3.24 Dump Load Box	43
3.25 Windy Boy Inverter รุ่น 5000TL และ รุ่น 5000TL with reactive power control	45
3.26 แนวพื้นที่ติดตั้งกังหันลม	46
3.27 ระบบไฟฟ้าของโครงการ Future Renewable Center	47
3.28 การติดตั้งระบบกังหันลมเพื่อจ่ายโหลดในโครงการ Future Renewable Center	47
3.29 ขนาดฐานรากของเสาชนิด Monopole แบ่งตามโซนของความเร็วลม	48
3.30 การออกแบบฐานรากของกังหันลมที่จะติดตั้ง	48
3.31 ระบบควบคุมกังหันลม	49
3.32 วงจรระบบควบคุมกังหันลม	49
3.33 กังหันลมแกนตั้ง Helix Wind	51
3.34 Production curve ของกังหันลม Helix Wind	51
3.35 Roof top wind turbine	52
3.36 แผนที่ลมของประเทศไทย จากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน	53

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 ความเร็วลม(น้ือด)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2011	55
4.2 ความเร็วลม(น้ือด)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2012	56
4.3 ทิศทางลม(องศา)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2011	56
4.4 ตัวอย่างทิศทางลม(องศา)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2012	57
4.5 Power curve ของกังหันลม	58
4.6 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 01:00 น.	60
4.7 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 01:00 น.	61
4.8 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 01:00 น.	61
4.9 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 04:00 น.	62
4.10 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 04:00 น.	63
4.11 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 04:00 น.	63
4.12 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 07:00 น.	64
4.13 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 07:00 น.	65
4.14 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 07:00 น.	65
4.15 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 10:00 น.	66
4.16 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 10:00 น.	67
4.17 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 10:00 น.	67
4.18 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 13:00 น.	68
4.19 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 13:00 น.	69
4.20 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 13:00 น.	69
4.21 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 16:00 น.	70
4.22 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 16:00 น.	71
4.23 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 16:00 น.	71
4.24 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 19:00 น.	72
4.25 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 19:00 น.	73
4.26 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 19:00 น.	73
4.27 fitting curve เพื่อหา $c$ , $k$ ของช่วงเวลา 22:00 น.	74
4.28 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 22:00 น.	75
4.29 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 22:00 น.	75
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆโดยเฉลี่ยในสองปี	76
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนมกราคม	78
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนกุมภาพันธ์	78
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนมีนาคม	78
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนเมษายน	79
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนพฤษภาคม	79

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนมิถุนายน	79
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนกรกฎาคม	80
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนสิงหาคม	80
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนกันยายน	80
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนตุลาคม	81
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนพฤศจิกายน	81
4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนธันวาคม	81
4.43	ทิศทางการ	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแยกประเภทความเร็วลมของสเกลความเร็วลม Beaufort	6
2.2 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง	14
2.3 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนนอน	14
2.4 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	17
2.5 เปรียบเทียบคุณลักษณะที่สำคัญของกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด Asynchronous Generator (Gear box) และ Synchronous Generator (Gearless)	18
3.1 คุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแกนนอนขนาด 5 กิโลวัตต์	39
3.2 คุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแกนตั้งขนาด 5 กิโลวัตต์	41
3.3 คุณลักษณะของ Dump Load Box for 5KW Wind Turbine	43
3.4 คุณลักษณะของ WINDY BOY 5000TL อินเวอร์เตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์	44
3.5 คุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแกนตั้ง Helix Wind S594 ขนาด 5 กิโลวัตต์	50
4.1 ความถี่ของการเกิดความเร็วลมที่ความเร็วลมต่างๆในระยะเวลา 2 ปี	57
4.2 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 01:00 น.	60
4.3 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 04:00 น.	62
4.4 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 07:00 น.	64
4.5 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 10:00 น.	66
4.6 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 13:00 น.	68
4.7 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 16:00 น.	70
4.8 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 19:00 น.	72
4.9 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 22:00 น.	74
4.10 ค่า C,K จากการวิเคราะห์สถิติความเร็วลมในช่วงเวลาราย 3 ชั่วโมงในแต่ละเดือน	76
4.11 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชนิด Horizontal ในช่วงเวลาแต่ละเดือน	77
4.12 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชนิด Vertical ในช่วงเวลาแต่ละเดือน	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ มีความต้องการที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เพราะพลังงานมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ พลังงานไฟฟ้าก็เป็นปัจจัยหนึ่งในปัจจุบันมีความต้องการอย่างไม่หยุดยั้ง ซึ่งแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าก็ได้มาจากพลังงานเชื้อเพลิงต่างๆ ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งขัดกับความต้องการที่มากขึ้นทุกๆ ปี ดังนั้นการหาพลังงานที่ทดแทนเป็นสิ่งจำเป็นในอนาคตอันใกล้นี้

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญและสนใจในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทน และพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องซื้อจากต่างประเทศที่นับวันมีราคาแพงขึ้น กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานทดแทนอื่นๆ และพลังงานลมเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งในการสนับสนุนพัฒนาให้เป็นไปตามยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ เทคโนโลยีกังหันลมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ

ดังนั้นพลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่ยังจำเป็นอย่างยิ่ง พลังงานลมก็เป็นพลังงานทดแทนหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ดังนั้นพลังงานลมจึงเป็นพลังงานที่น่าสนใจสำหรับการนำมาใช้ในประเทศไทย ที่ยังมีการนำมาใช้ยังไม่แพร่หลาย เพื่อลดการเกิดมลภาวะ ลดต้นทุนการลงทุนซื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้ในชุมชนที่ห่างไกล หรือบนเกาะที่ห่างไกลได้ ดังนั้นการศึกษาเทคโนโลยีกังหันลมจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการนำมาใช้ในอนาคต การจัดทำโครงการ Future Renewable Center จึงได้ทำการศึกษาด้านพลังงานทดแทนเพื่อการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน คือพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ กับประเทศไทย ให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต คณะผู้จัดทำจึงเกิดแนวคิดที่จะทำโครงการเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องของการบริหารจัดการเกี่ยวกับกังหันลมขนาดเล็กที่มีอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากมีความเหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทย ทั้งทางด้านการออกแบบ การติดตั้ง และศึกษาผลกระทบทั้งระยะยาวและระยะสั้น รวมถึงการเก็บข้อมูลความเร็วลม เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนด้านพลังงานลมในอนาคต

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมขนาดเล็ก และระบบการจ่ายภาระไฟฟ้าร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ ในโครงการ Future Renewable Center
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลของการของการทำงานของกังหันลมขนาดเล็ก และความเหมาะสมกับการใช้งานกับความเร็วลมในพื้นที่ประเทศไทย
3. เพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
4. เพื่อศึกษาผลของการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมในการจ่ายภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5. เพื่อเป็นการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศมากยิ่งขึ้น และการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ เป็นแบบอย่างเพื่อการศึกษาลงทุนด้านพลังงานลมอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายภาระไฟฟ้าร่วมกันกับเซลล์แสงอาทิตย์ และออกแบบควบคุมการทำงานจ่ายภาระไฟฟ้าร่วมกัน

7. เพื่อให้ได้ผลเปรียบเทียบในการทำงานและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ ทั้งแกนนอนและแกนตั้ง

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการออกแบบ ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมขนาดเล็ก (Small wind Turbine) พิจารณากังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 5 kW แนวแกนนอน 2 ตัว และแนวแกนตั้งอีก 2 ตัว และเทคโนโลยีต่างๆ ของกังหันลม รวมทั้งศึกษาข้อมูลพลังงานลมจากฐานข้อมูลพลังงานลมประเทศไทยโดยโปรแกรม Windmap และการนำพลังงานลมไปใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าในระบบร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Power) เพื่อที่จะเสนอความคิดในการออกแบบติดตั้ง ควบคุมการทำงานการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่โหลด Future Center โดยเน้นทางระบบไฟฟ้าเป็นหลัก รวมทั้งระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ตัวควบคุมกังหันลม (Controller) ในการเชื่อมต่อกับกังหันลมร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับโหลด Future Renewable Center และวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมโดยแบบจำลองทางสถิติใช้หลักการ Weibull Distribution และจาก Power curve ของกังหันลม คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม วิเคราะห์ความเหมาะสมกับการใช้งาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กในประเทศไทย

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับกังหันลมในระบบไฟฟ้า
2. วิเคราะห์คุณลักษณะของกังหันลมแต่ละประเภท
3. ศึกษาความเร็วลมประเทศไทยจากฐานข้อมูลพลังงานลมประเทศไทยโดยโปรแกรม Windmap
4. ศึกษาและออกแบบติดตั้งระบบพลังงานร่วมโซลาร์เซลล์และกังหันลมที่ใช้จ่ายภายใต้โหลดใน Future Center
5. รวบรวมสถิติข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งกังหันลม และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการจำลองทางสถิติใช้หลักการ Weibull Distribution เพื่อหาค่ากำลังที่ผลิตได้ของกังหันลมแต่ละชนิดเพื่อเปรียบเทียบ และนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบกังหันสามารถผลิตได้โดยเฉลี่ย
6. วิเคราะห์ Power curve ของระบบกังหันลมและการนำไปใช้ร่วมกับ Load curve ของ Future Center

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

เนื้อหาการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่จะศึกษา										
- วิเคราะห์คุณลักษณะของ กังหันลมผลิตไฟฟ้าในแต่ละ แต่ประเภท										
- รวบรวมข้อมูลสถิติ ความเร็วลมในพื้นที่ ปี2011 และ ปี2012										
- ศึกษาและวิเคราะห์ ความเร็วลมโดยการทำ แบบจำลองทางสถิติ และ การใช้งานโปรแกรม Wind Cap ช่วยคำนวณกำลังผลิต ไฟฟ้าของกังหันลมในพื้นที่										
- ศึกษาและทำการออกแบบ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม ร่วมกับพลังงานที่ได้จาก เซลล์แสงอาทิตย์กับการใช้ พลังงานไฟฟ้าของ Future Center										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
- ศึกษา power curve ของกังหันลมในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้ง										
- จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับระบบการทำงานของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ารวมถึงการออกแบบและการบริหารจัดการพลังงานให้เหมาะสม
2. ได้ความรู้เกี่ยวกับระบบการทำงานร่วมกันของระบบ hybrid solar and wind energy system
3. ได้ความรู้เกี่ยวกับพลังงานลม และการวิเคราะห์สถิติความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก
4. สามารถออกแบบและทำงานร่วมกันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ, ภูมิอากาศ และสภาพแรงลมของประเทศไทย ในโครงการ Future Renewable Center
5. เพื่อสนับสนุนและผลักดันให้เกิดการนำพลังงานทางเลือกมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและมากยิ่งขึ้นเรื่อยๆ
6. สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงต่างๆ มาเป็นพลังงานทดแทนมากยิ่งขึ้น

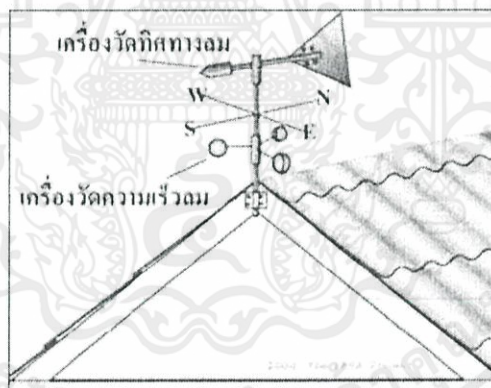
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลมและความเร็วลม [11]

ลม (wind) สาเหตุหลักของการเกิดลม คือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังโลก แต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในแต่ละตำแหน่ง บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำ อากาศในบริเวณนั้นก็จะลอยตัวขึ้นสูง อากาศจากบริเวณที่เย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลมนั่นเอง และจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้ ทำให้เกิดเป็นพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ลมมีความเร็วไม่คงที่แต่ละเวลามีความเร็วเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศในบริเวณนั้น ๆ และความสูงของบรรยากาศในระดับที่ต่างกัน

ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือวัดความเร็วลม เรียกว่าอะนิโมมิเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยลูกถ้วยครึ่งวงกลม ทำด้วยอะลูมิเนียม หรือ พลาสติก แล้วแต่ประเภทการใช้งานจากการหมุนของลูกถ้วยจะมีผลทำให้เราทราบถึงจำนวนรอบในการหมุน จึงทำให้สามารถหาความเร็วลมได้ซึ่งมีหน่วยเป็น นอต, ไมล์ต่อชั่วโมง, กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมที่ใช้กันในปัจจุบันมีรูปร่างลักษณะดังในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.1 อะนิโมมิเตอร์[12]

### 2.2 นิยามพลังงานลม [1]

พลังงานลมสามารถบอกได้โดยใช้ Beaufort Scale ซึ่งค่าที่ได้จะสามารถนำมาใช้ประมาณพลังงานลมได้ในเบื้องต้น แต่ค่าดังกล่าวมีประโยชน์น้อยในทางเทคนิค ซึ่งในการนำมาใช้ในทางเทคนิคนั้นนิยมที่จะใช้ ลักษณะการกระจายตัวของลมมาใช้มากกว่า โดยจะทำการวัดความเร็วลมในบริเวณที่ต้องการทราบถึงพลังงานเป็นระยะๆ อาจจะทุก 10 นาที หรือทุกชั่วโมง ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกนำมาพล็อตกราฟ แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจว่าพื้นที่ดังกล่าวมีพลังงานลมมาก แต่ก็สามารถนำมาตัดสินใจได้ว่า พื้นที่นั้นมีคุณภาพเพียงไรในการใช้พลังงานจากลม ซึ่ง

ปกติแล้วความเร็วลมเฉลี่ยตามแนวชายฝั่งทะเลจะมีค่ามากกว่า 6 m/s และในพื้นที่ราบจะมีความเร็วลมเฉลี่ยน้อยกว่า 3 m/s

### ตารางที่ 2.1 การแยกประเภทความเร็วลมของสเกลความเร็วลม 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	$\geq 32.7$	Hurricane	Structural damage

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

### 2.3 การวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ (Statistical models for wind data analysis) [7]

การวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ ที่เป็นที่นิยมและใช้งานอย่างกว้างขวาง มี 2 วิธีหลักๆ คือ

#### 1) Weibull Distribution

เป็นวิธีที่ให้ผลที่มีความถูกต้อง แม่นยำสูง แต่ใช้งานค่อนข้างยาก เนื่องจากมีตัวแปรที่แปรเปลี่ยนค่า 2 ตัว คือ k และ c

#### 2) Rayleigh Distribution

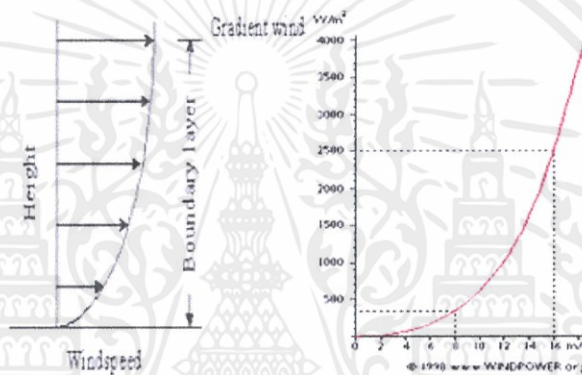
เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการ Weibull Distribution โดยปรับให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น โดยกำหนดให้ค่าตัวแปร k คงที่และมีค่าเท่ากับ 2 เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า c

โดยข้อมูลความเร็วลมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ควรเป็นข้อมูลที่มีการเก็บในระยะเวลาที่นานเป็นเดือน เป็นปีหรือมากกว่า และมีความละเอียดของข้อมูลที่ไม่น้อยจนเกินไป ซึ่งระยะเวลาและความละเอียดของการเก็บข้อมูลจะส่งผลถึงความถูกต้อง แม่นยำของการวิเคราะห์ด้วย การศึกษานี้จะขอล่าถึงรายละเอียดเฉพาะในส่วนของ Weibull Distribution เท่านั้น เนื่องจากว่าเป็นวิธีที่มีความถูกต้อง แม่นยำสูง และสามารถนำไปใช้กับการใช้งานจริงได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.2 จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่มันจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลมเท่าๆ กันแต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพท์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับระดับความสูง และกับกำลังงานต่อพื้นที่ [16]

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1-3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5-5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วลมได้ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลม เป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้

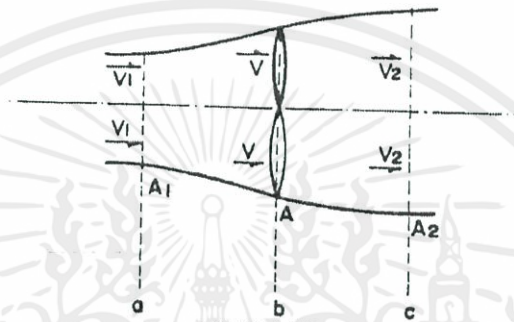
การเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ของกระแสลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่ากังหันลม พิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วลม  $V$  พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A$  ในช่วงหนึ่งหน่วยเวลา จะมีกำลังลม  $P$  ที่ได้จากพลังงานจลน์ ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} (\rho Av)v^2 = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (2.1)$$

กังหันลมจะทำหน้าที่สกัดกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น กำหนดให้ CP เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่ง CP จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันจะสามารถสกัดได้จากกระแสลม ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนั้น

$$P = C_p P_1 = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (2.2)$$

พิจารณากังหันลมที่พื้นที่หน้าตัดรับลม A ตั้งรับกระแสลมซึ่งมีความเร็วลม  $V_i$  ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในอุดมคติของกังหันลม [1]

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3 ณ พื้นที่หน้าตัด  $A_1$ ,  $A$  และ  $A_2$  ของตำแหน่ง a, b, และ c มีความเร็วลม  $v_1$ ,  $v$  และ  $v_2$  ตามลำดับ จะพบว่า

$$P_T = \frac{1}{4} \rho v (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของพลังงานได้

$$C_p = \frac{P_T}{P} = \frac{(v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2)}{2v_1^3} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2}\right) \quad (2.4)$$

และสามารถเขียนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ต่อเนื่อง (Continuity Equations) ได้ดังนี้

$$A_1 v_1 = AV = A_2 v_2 \quad (2.5)$$

การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของกระแสลม ณ ระยะเวลา t

$$P = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ และปริมาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมที่มีต่อกังหัน โดยแรง F เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \rho Av(v_1 - v_2) \quad (2.7)$$

คิดเป็นกำลังงาน

$$P = Fv = \rho AvPv^2(v_1 - v_2) \quad (2.8)$$

ดังนั้น

$$\rho Av^2(v_1 - v_2) = \frac{1}{2} \rho Av(v_1^2 - v_2^2) \quad (2.9)$$

และ

$$v = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \quad (2.10)$$

Betz Coefficient Betz เสนอแนวทางการหาค่าสูงสุดของการสกัดกำลังงานจากกระแสลมให้ได้สูงสุด โดยพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความเร็วลม  $V_1$  และ  $V_2$

ถ้ากำหนดให้  $V_2 = d \cdot V_1$  แทนค่าลงในสมการที่ (2.9)

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \rho A \left\{ \frac{1}{2} (v_1 - dv_1) \right\} (v_1^2 - d^2 v_1^2) \\ &= \frac{1}{4} \rho A v_1^3 (1 + d)(1 - d^2) \end{aligned}$$

ค่า  $P$  มีค่าสูงสุดเมื่อ  $dP/d = 0$  และ ณ จุดนี้พบว่า  $d = 1/3$

ดังนั้น

$$P_{max} = \frac{1}{4} \rho A v_1^3 \left( 1 + \frac{1}{3} \right) \left( 1 - \frac{1}{9} \right) \quad (2.11)$$

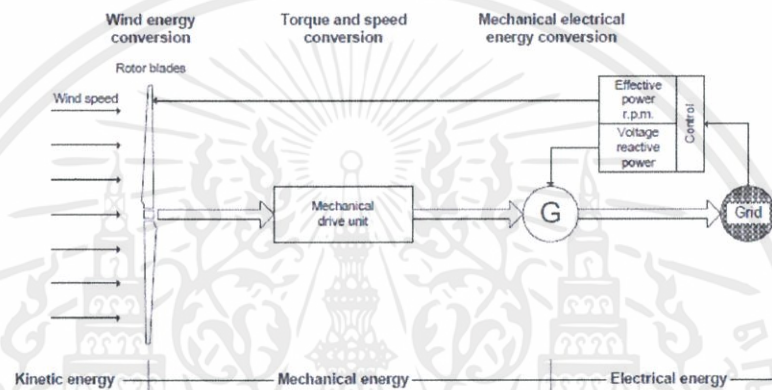
หรือ

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{16}{27} \right) \rho A v_1^3 \quad (2.12)$$

ค่า  $\left( \frac{16}{27} \right)$  ก็คือค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด  $C_{pmax}$  เรียกว่า Betz Coefficient ซึ่งในความจริงแล้วค่า  $C_p$  ที่ได้จริงของระบบที่ดีจะมีค่าประมาณ 0.4-0.5 เนื่องมาจากค่าความสูญเสียอื่นๆ โดยเราสามารถหาค่าประสิทธิภาพของระบบได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่  $\eta = \frac{P_T}{P_{id}} = \frac{P_T}{P_o C_{P,Betz}} = \frac{P_T}{\frac{1}{2} \rho v_1^3 C_{P,Betz}} = \frac{C_P}{C_{P,Betz}}$  เพื่อการใช้งานต่อไปในข้อนี้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีหน้าที่คัดแยกขยะและเอกสารอื่นๆที่มิควรนำออกไปใช้

สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลโดยการหมุนของใบพัด แรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย พลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้เองที่ถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์ตามความต้องการ เช่นในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งเมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนในกรณีของการใช้กังหันลมในการสูบน้ำหรือสีข้าวสามารถนำเอาพลังงานกลจากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้ไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

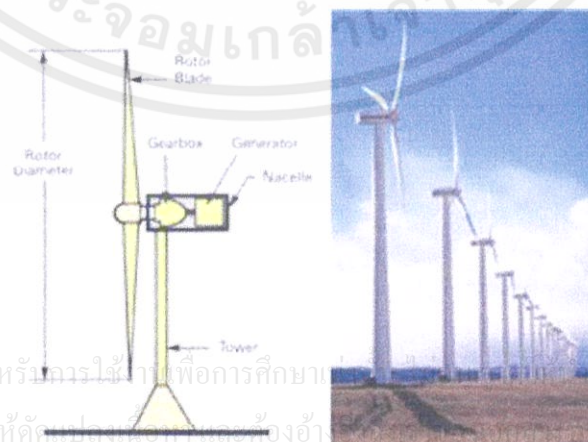


รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า [11]

## 2.5 ประเภทของกังหันลม

กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักๆ คล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนจของรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมีก็จะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) [16]



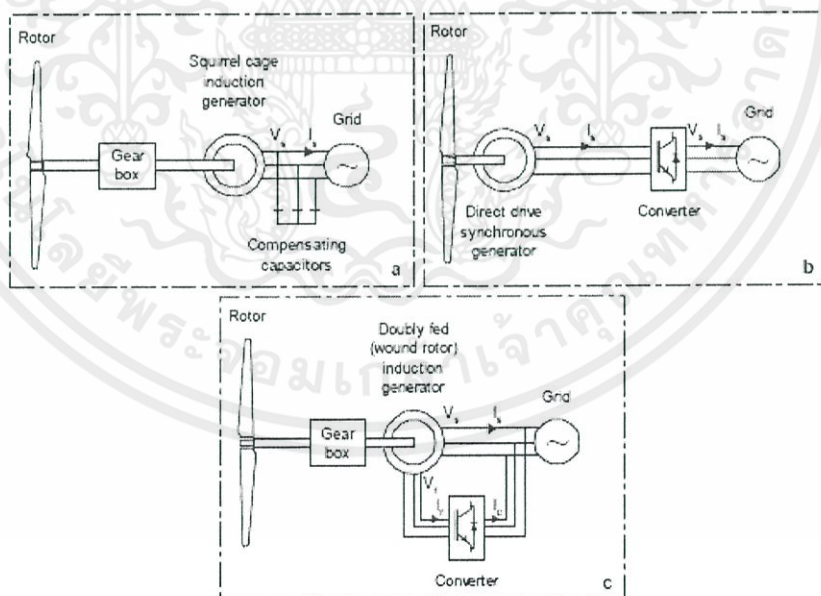
รูปที่ 2.5 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน(horizontal-axis type wind turbine, HAWT)[16]

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา โดยกังหันแบบนี้มีส่วนประกอบคือ

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

กังหันลมแกนนอนสมัยใหม่นิยมสร้างให้มีใบพัด 3 ใบ เนื่องจากใบพัดใบเดียวไม่มีความสม่ำเสมอของความเร็ว ทำให้ใบพัดต้องรับความเครียดสูง และใบพัด 3 ใบ ให้ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานที่สูงกว่า และมีความสม่ำเสมอของการหมุนมากกว่า แบบ 2 พัดเล็กน้อย เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุด และมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ปัจจุบันจึงนิยมแบบ 3 ใบพัด เนื่องจากมีใบพัดมากราคาอุปกรณ์ก็จะสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามในรายละเอียดของรูปแบบ องค์ประกอบ และลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบนี้ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ a) fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage induction generator b) variable speed with doubly fed induction generator และ c) variable speed based on a direct drive synchronous generator (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage induction generator
- Variable speed based on a direct drive and synchronous generator
- Variable speed with doubly fed induction generator

กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่อง เกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า (รูปที่ 2.6a) ในความเป็นจริงแล้ว กังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับภาระเปลี่ยนแปลง ของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมากเพียง 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่ (fix speed turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ นำมักจะดึงพลังงาน (reactive power) จากสายส่งมาใช้ โดยเฉพาะที่ในที่มีระบบสายส่งที่ไม่เสถียรภาพ สำหรับเหตุการณ์ลักษณะดังกล่าวสามารถแก้ไขโดยการชดเชย พลังงานจากตัวเก็บประจุซึ่งติดตั้งอยู่ภายในตัวกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดนี้

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่อง เกียร์ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟด (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบ และความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive) กังหันลมชนิดนี้ ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรง และมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า

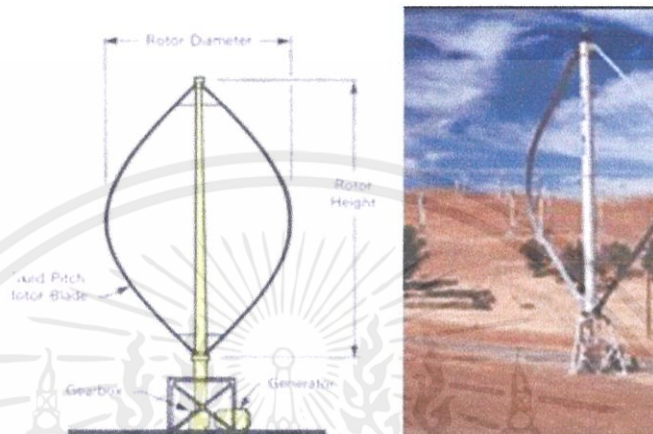
2.5.2 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) [16] เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม บางครั้งเรียกว่า Persian Windmill เป็นกังหันลมที่วิวัฒนาการมาจากเรือใบ ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ ปัจจุบันกังหันลมแกนตั้งมี 3 รูปแบบหลักๆ คือแบบ Savonius Rotor (รูปตัว S) , แบบ Darrieus Rotor (รูปตัว O) และแบบ H-rotor

- แบบซาโวเนียสโรเตอร์ (Savonius Rotor) จะมีหลักการคล้ายๆกันกับ anemometer ซึ่งให้ผลการของแรงลาก โดยมีใบพัดเป็นรูปครึ่งวงกลม 2 อันติดกัน และมีรอยต่อเหลือไว้ เพื่อให้ลมพัดจากใบหนึ่งถึงอีกใบหนึ่งได้ โดยค่า  $C_p$  สูงสุดที่ทำได้มีค่า 0.25 ข้อดีคือสามารถหมุนได้ที่ความเร็วที่ต่ำ ส่วนข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำ และไม่เป็นที่นิยมใช้ในระบบขนาดใหญ่

- แบบดาเรียสโรเตอร์ (Darrieus Rotor) ถูกพัฒนาขึ้นโดยชาวฝรั่งเศส ชื่อ George Darrieus ในปี 1929 กังหันแบบนี้จะมีใบพัด 2-3 ใบ และใช้หลักการในการลาก โดยกังหันชนิดนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Savonius Rotor แต่ประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับ Horizontal Rotor ในปัจจุบันแล้ว แบบนี้จะให้พลังงานแค่ 75% ของแบบ Horizontal Rotor และยังไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง จำเป็นมีระบบเริ่มต้นต่อฟวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ - แบบ H-rotor หรือ Heidelberg ถูกพัฒนาโดยบริษัท Heidelberg Motor โดยการใช้ permanent magnet generator ใส่ในโครงสร้างของกังหัน กังหันชนิดนี้มีหลักการแบบเดียวกับแบบ Darrieus Rotor แต่มีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องใช้ Gearbox และมีความทนทานต่อสภาพอากาศ

จากกังหันลมทั้ง 3 แบบจะเห็นว่ากังหันชนิด Vertical rotor axis มีข้อดีคือ มีการติดตั้งที่ง่าย สามารถติดตั้ง Generator และ Gearbox บนพื้นดินได้ ทำให้สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย และเหมาะสมสำหรับภูมิประเทศที่ลมมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันนี้ กังหันกังหันเกือบทั้งหมดนิยม Horizontal rotor axis เนื่องจากได้ประสิทธิภาพที่สูงกว่า ยกเว้นในบางพื้นที่ที่ต้องการใช้งานรูปแบบพิเศษ



รูปที่ 2.7 กังหันลมที่มีแกนเพลายู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT)[16]

ปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของกังหันลมแกนตั้งหลากหลายรูปแบบ Helix Wind ก็เป็นหนึ่งในที่ผู้พัฒนากังหันแนวตั้ง สมัยใหม่ โดยหลักการ เช่นเดียวกับกับ ซาโวนีเยส แต่การออกแบบนั้นสร้างแตกต่างได้อย่างลงตัว เพียงอาศัยหลักการของ เกลียวของการหมุน ของใบ และยังสามารถประกอบ หรือ ติดตั้งได้ง่าย เหมือนกังหันลมแนวนอน จากการทดสอบ กังหันลมชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพสูงถึง  $> 60\%$  (อ้างอิงเอกสาร ทดสอบ) ซึ่งต่างจากกังหันลมซาโวนีเยส รูปแบบเดิมๆ



รูปที่ 2.8 กังหันลมแนวแกนตั้งชนิด Helix Wind [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยผู้จัดทำไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง และกังหันแกนนอน

ตารางที่ 2.2 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนตั้ง [1]

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. รับลมได้รอบด้าน</li> <li>2. น้ำหนักตกลงบนฐานสมดุลกว่า</li> <li>3. เริ่มหมุนได้เองที่ความเร็วต่ำ</li> <li>4. ระบบการผลิต ส่งกำลัง ทำได้ง่าย ราคาถูก</li> <li>5. เพิ่มแขนการหมุนได้ไม่จำกัด</li> <li>6. ทนทานต่อสภาพอากาศที่เลวร้าย</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ไม่สามารถรับลมไม่ทุกใบ</li> <li>2. เกิดแรงต้านการหมุน</li> </ol>

ตารางที่ 2.3 ข้อดี ข้อเสียของกังหันลมแกนนอน [1]

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน</li> <li>2. มีประสิทธิภาพสูง</li> <li>3. มีแรงบิดสูง</li> <li>4. รอบจัดกว่าเมื่อความเร็วเท่ากัน ความเร็วคงที่กว่า</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีปัญหาในการหมุนใบรับทิศทางลมที่เปลี่ยนไป</li> <li>2. มีปัญหาในการประกอบใบพัดกับฐาน</li> </ol>

## 2.7 ผลกระทบของการใช้กังหันลม [7]

ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้ากันอยู่ในหลายประเทศ ซึ่งได้รับการยอมรับจากประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามกังหันลมยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบข้างเคียงอื่นๆ ดังต่อไปนี้ (John, 2003)

- **พื้นที่:** กังหันลมจะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันห่างถึงสิบเท่าของความสูงกังหัน เพื่อที่กระแสลมจะได้ลดความปั่นป่วนหลังจากที่ผ่านกังหันลมตัวอื่นมา อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ติดตั้งจริงของกังหันลมจะใช้เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นส่วนของเสาและฐานรากและเส้นทางสำหรับการเข้าไปติดตั้งและดูแลรักษา กังหันลมขนาดใหญ่ซึ่งมีความสูงของเสากังหันมาก จะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันเป็นระยะทางไกล ตัวอย่างเช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดระดับเมกะวัตต์ต้องการระยะห่างระหว่างกันถึง 0.5 - 1 กิโลเมตร ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยละเอียด แล้วจะพบว่าการติดตั้งกังหันลมจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ต่างๆ อาทิเช่น พื้นที่ทางการเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรม หรือแม้แต่พื้นที่ป่าธรรมชาติ ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวยังคงสามารถใช้ประโยชน์จากที่ดินได้อย่างปกติ

- **ทัศนวิสัย:** สำหรับผลกระทบทางด้านสายตาหรือการมองเห็นของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า นั้น ยังไม่ได้มีการประเมินผลออกมาอย่างชัดเจน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีความสูงมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ทำให้สามารถมองเห็นได้จากระยะไกล กังหันลมที่ติดตั้งอยู่ตามทุ่งหญ้า สร้างความสวยงาม สร้างจินตนาการ และความคิดต่างๆ ให้กับผู้พบเห็น กังหันลมสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อเทคโนโลยีการบินหรืออากาศยานได้

· เสียง: เสียงของกังหันลมเกิดจากการหมุนของปลายใบพัดตัดกับอากาศ จากการบินพัดหมุนผ่านเสากังหัน จากความปั่นป่วนของลมบริเวณใบกังหันลม และจากตัวเครื่องจักรกลภายในตัวกังหันลม โดยเฉพาะส่วนของเกียร์ เสียงดังของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่สำคัญ ประการหนึ่งที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกังหันลม ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตกังหันลมจึงพยายามพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากเสียงของกังหันลมในช่วงห้าปีที่ผ่านมา ระดับของเสียงในบริเวณอาคารบ้านเรือน หรือที่พักอาศัยที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์อยู่ที่ไม่เกิน 40 เดซิเบล ที่ระยะห่างไม่เกิน 250 เมตร ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมหากต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างจากเขตที่พักอาศัยของมนุษย์ให้มากขึ้น

· นก: มีผลการศึกษาจากหลายแห่งที่ขัดแย้งกัน สำหรับสาเหตุการตายของนกจากการบินชนกังหันลมที่กำลังหมุนอยู่ แต่หากพิจารณาแล้วความถี่ของเหตุการณ์ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงหรือน้อยกว่าการที่นกบินชนรถ หน้าต่างของอาคาร หรือสายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นอยู่เสมอๆ ยกเว้นในบางกรณีจำนวนการตายของนกในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมอาจสูงอันเนื่องมาจากมีฝูงนกที่อพยพย้ายถิ่นฐานในบางฤดูการผ่านพื้นที่ดังกล่าวในเวลากลางคืน หรือพื้นที่นั้นเป็นแหล่งหาอาหารของนกนกล่าบางชนิดนอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญบางคนพบว่าในบริเวณพื้นที่ติดตั้งกังหันลม กลับมีอัตราการผสมพันธุ์ ของเกสรดอกไม้ที่สูงมากเนื่องจากการปั่นป่วนของกระแสลมในบริเวณนั้น

· คลื่นสนามแม่เหล็ก: สัญญาณโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ และเรดาร์ สามารถถูกรบกวนได้จากการหมุนของกังหันลม ซึ่งสร้างคลื่นรบกวนสัญญาณเหล่านั้น สัญญาณเรดาร์ซึ่งมีความสำคัญทางด้านการทหารพบว่ายังไม่มีรายงานของการถูกรบกวนจากกังหันลมอย่างชัดเจน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในปัจจุบันพบว่ากังหันลมได้รับการยอมรับจากทางการทหาร และมีพื้นที่ทางการทหารหลายแห่ง โดยเฉพาะสนามบินที่มีกังหันลมติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งก็ไม่พบว่ามีคามผิดปกติใดๆ กับระบบเรดาร์

· ความยั่งยืน: ปัจจุบันกระแสของความยั่งยืน (sustainable) และเทคโนโลยีที่ปลอดมลพิษ (zero-emission technology) กำลังเป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย หรือแม้แต่เนกการเมือง การทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลพิษ สามารถใช้เป็นเทคโนโลยีหนึ่งเพื่อการผลิตไฟฟ้าทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และนิวเคลียร์ ดังนั้นเทคโนโลยีกังหันลมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

### 2.7.1 ข้อดีของพลังงานลม

- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยลดระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน นี่เป็นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดของการผลิตพลังงานลม นอกจากนี้พลังงานลม

ยังปราศจากสารก่อมลพิษอื่นๆ ที่เกิดจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อีกด้วย

- มีความสมดุลด้านพลังงานที่ตีเทียม - การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการผลิตติดตั้ง และให้บริการของกังหันลมที่มีช่วงอายุโดยเฉลี่ย 20 ปีถูก “ทดแทน” หลังดำเนินการผลิต 3-6 เดือน ซึ่งเท่ากับการผลิตพลังงานมากกว่า 19 ปีโดยแทบไม่มีค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับดำเนินงานได้รวดเร็ว การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

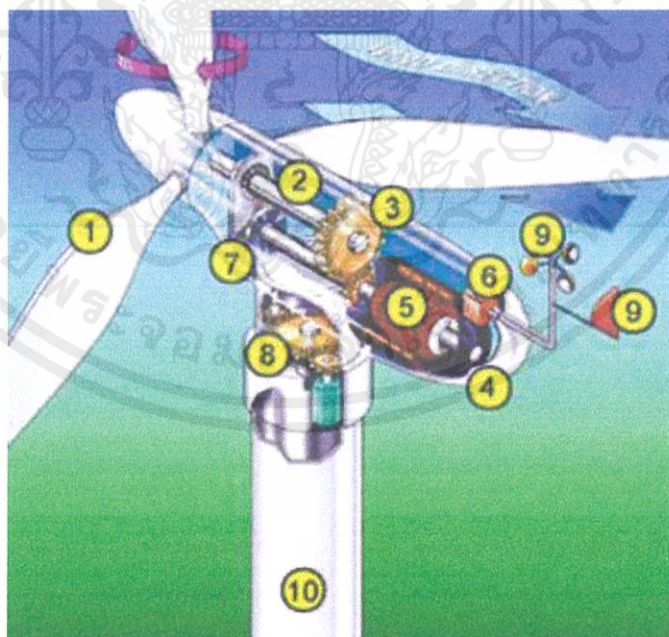
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ ตัดทอน หรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ของเอกสารนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต  
- ฟาร์มกังหันลมสามารถสร้างเสร็จสิ้นภายในไม่กี่สัปดาห์ โดยใช้รถเครนติดตั้งหอคอยของกังหันลม ส่วนเชื่อมต่อกับปีกหมุน (โครงยึด) และ ใบพัดเหนือฐานคอนกรีตเสริมกำลัง

- เป็นแหล่งพลังงานที่น่าเชื่อถือและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากลมที่ใช้ขับเคลื่อนกังหันลมไม่มีค่าใช้จ่ายตลอดกาล และไม่ถูกกระทบโดยราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ขึ้นๆ ลงๆ นอกจากนี้ยังไม่ต้องอาศัยการทำเหมือง ขุดเจาะ หรือ ขนส่งไปยังสถานีจ่ายไฟฟ้า ในขณะที่ราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลสูงขึ้น คุณค่าของพลังงานลมก็สูงขึ้นเช่นกัน ทำให้ค่าใช้จ่ายของการผลิตไฟฟ้าโดยพลังงานลมมีแต่จะลดลง

ลมเป็นพลังงานหมุนเวียนอีกแหล่งหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากว่ามีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์ในอนาคตได้ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น ถึงแม้ว่าจะผ่านไปกว่า 100 ปีแล้ว แต่การที่จะให้เทคโนโลยีนี้สามารถเข้ามาทดแทนเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทั้งหมดคงเป็นไปได้ เพราะในอนาคตรูปแบบการใช้พลังงานจะหลากหลายมากขึ้น การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะลดลงเนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สัดส่วนการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล หรือแม้แต่พลังงานลมจะสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยนั้นยังมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานลมน้อยมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องหันมาให้ความสนใจในเทคโนโลยีพลังงานลม ถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพไม่สูงนักหากเปรียบเทียบกับในต่างประเทศ แต่ก็สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในขนาดพิกัดระดับกิโลวัตต์ได้ หากเราเริ่มวิจัยและพัฒนาตั้งแต่วันนี้ในอนาคต ประเทศเราจะได้มีเทคโนโลยีด้านพลังงานลมเป็นของตัวเอง ไม่ต้องพึ่งพามาจากต่างประเทศทั้งหมดเหมือนเช่นเทคโนโลยีอื่นๆ อย่างในปัจจุบัน

## 2.8 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้า

ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมโดยทั่วไปอาจแบ่งได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไป [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขงเงินเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้ทำเป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใบพัด เป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลลาแกนหมุน
2. เพลลาแกนหมุน ซึ่งรับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านระบบกำลัง เพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. ห้องส่งกำลัง ซึ่งเป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุน ระหว่างเพลลาแกนหมุนกับเพลลา ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. ห้องเครื่อง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อกังหันลม ใช้บรรจุระบบต่างๆ ของกังหันลม เช่น ระบบ เกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
6. ระบบควบคุมไฟฟ้า ซึ่งใช้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานและจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ
7. ระบบเบรก เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลลาแกนหมุนของกังหัน เมื่อได้รับความเร็วลมเกินความสามารถของกังหัน ที่จะรับได้ และในระหว่างการซ่อมบำรุงรักษา
8. แกนคอหมุนรับทิศทางลม เป็นตัวควบคุมการหมุนห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดรับทิศทางลมโดยระบบ อิเล็กทรอนิกส์ ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์ กับทางเสื่อรับทิศทางลมที่อยู่ด้านบนของเครื่อง
9. เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นตัวชี้ขนาดของความเร็วและทิศทางของลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกอื่นๆ ได้ถูกต้อง
10. เสากังหันลม เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน

## 2.9 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 2.4 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า [17]

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต	เส้นผ่านศูนย์กลาง	พื้นที่กวาด ( $m^2$ )
ขนาดจิ๋ว (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5-20	3-10	7-80
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20-200	10-25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200-1,500	25-70	500-3,850
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 เทคโนโลยีการขับเคลื่อนของกังหันลม

ปัจจุบันเทคโนโลยีการขับเคลื่อนของกังหันลมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ แบบ Direct drive gearless และแบบขับเคลื่อนด้วยชุด Gear box โดยแนวโน้มในอนาคตกังหันลมชนิด Gearless จะเป็นที่นิยม เนื่องจากไม่ต้องการบำรุงรักษามาก และการสูญเสียในระบบน้อยกว่า

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณลักษณะที่สำคัญของกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด Asynchronous Generator (Gear box) และ Synchronous Generator (Gearless) [17]

รายละเอียด	Asynchronous Generator	Synchronous Generator
1. ชุดขับเคลื่อนเครื่องกำเนิด	ใช้เพื่อทด	ต่อตรงไม่ต้องใช้เพื่อทด
2. ระบบระบายความร้อนของชุดขับเคลื่อน	น้ำมันหรือน้ำ	ไม่มี
3. ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเสมือนจากระบบ	ต้องการ	ไม่ต้องการ
4. แรงดันไฟฟ้าจากระบบสายส่ง	ต้องการ	ไม่ต้องการ
5. ชุด Converter และ Inverter	ไม่ต้องการ	ต้องการ
6. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	สูง	ต่ำ
7. คุณภาพและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า	ค่อนข้างสูง	สูง
8. ความเร็วลมที่ใช้ในการเริ่มหมุน	สูงกว่า	ต่ำ
9. มลภาวะทางเสียง	ปานกลาง	ต่ำ
10. ราคาที่ใช้ต่อกิโลวัตต์	ปานกลาง	สูง

## 2.11 การประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

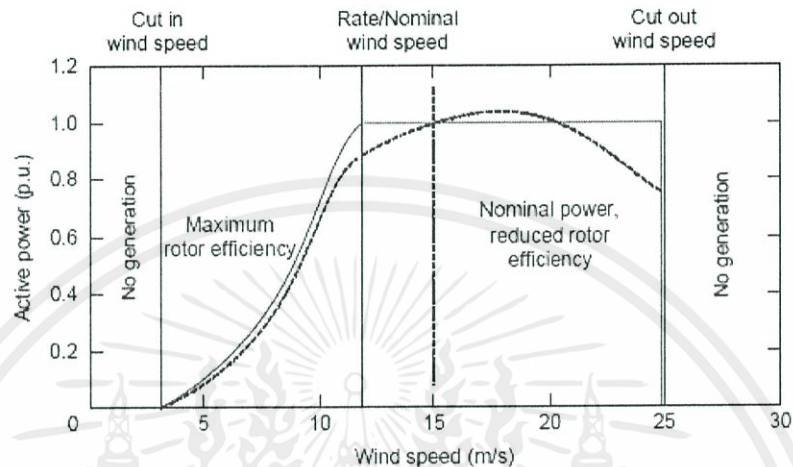
เมื่อแปลงข้อมูลความเร็วลมใน Wind Speed Frequency Distribution ที่ได้จากการตรวจวัดตลอดเวลา 1 ปี แล้ว จึงนำไปประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยคำนวณจาก Power Curve ของกังหันลม ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแต่ละยี่ห้อ และรุ่นที่กำหนดไว้ ตัวอย่างเช่น รูปที่ 2.10 เป็น Power Curve ของกังหันลม แสดงลักษณะการผลิตไฟฟ้า ซึ่งแปลความหมายดังนี้

1. Cut in speed: ความเร็วลมต่ำสุดที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ ประมาณ 3 m/s หากความเร็วลมต่ำกว่า Cut in speed กังหันลมจะไม่ผลิตไฟฟ้า

2. Rated speed: ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด เมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นกว่า Cut in speed กังหันลมจะเริ่มผลิตไฟฟ้า และกำลังผลิต (Production Capacity) จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยแปรตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น จนเมื่อความเร็วลมถึงระดับความเร็วลมพิกัด (Rated speed) ของกังหันลม ประมาณ 14 m/s กังหันลมจะผลิตไฟฟ้าออกมา เริ่มคงที่ ซึ่งจากรูปกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลมอยู่ที่ 250 kW

3. Cut out speed: ความเร็วลมที่กังหันลมจะหยุดการทำงาน เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างของกังหันลม เมื่อมีความเร็วลมสูงกว่า Cut out speed ของกังหันลมประมาณ >25 m/s นั่นคือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh) มีค่าเท่ากับผลของค่าการกระจายของความเร็วลม (Speed frequency distribution: hrs) x Power Curve โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้น ยังไม่

รวมค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบ (ค่าความสูญเสียใน Generator, Mechanical part, Aerodynamic part, ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งระบบควบคุม และความแปรปรวนของอากาศ) ดังนั้น หากต้องการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้จริง ต้องคูณด้วย Efficiency factor ของกังหันลมซึ่งมีค่าประมาณ 80%



รูปที่ 2.10 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบ Stall limit (เส้นประ) และแบบ Pitch control (เส้นทึบ) [16]

การคำนวณหาความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ (Hub Height) ใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$V(y) = V(x) \left[ \frac{h(y)}{h(x)} \right]^\sigma \quad (2.13)$$

เมื่อ  $V(y)$  คือ ความเร็วลมที่ความสูง  $y$  เมตร หน่วยเป็น เมตร/วินาที  
 $V(x)$  คือ ความเร็วลมที่ความสูง  $x$  เมตร หน่วยเป็น เมตร/วินาที  
 $h(y)$  คือ ความสูงที่ระดับ  $y$  เมตร หน่วยเป็น เมตร  
 $h(x)$  คือ ความสูงที่ระดับ  $x$  เมตร หน่วยเป็น เมตร

$$\sigma = 1/7 = 0.142857$$

## 2.12 กังหันลมกับการใช้งาน

เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานที่สม่ำเสมอให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว จะต้องมิตัวกักเก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรอง (Backup) หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น

ก. ตัวกักเก็บพลังงานมีอยู่หลายชนิด ส่วนมากขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ เช่น ถ้าเป็นกังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้แบตเตอรี่เป็นตัวกักเก็บ การสูบน้ำไปกักเก็บไว้ในลักษณะของพลังงานศักย์และการเก็บในรูปของพลังงานกล (อาศัยแรงเฉื่อยมวล) ฯลฯ

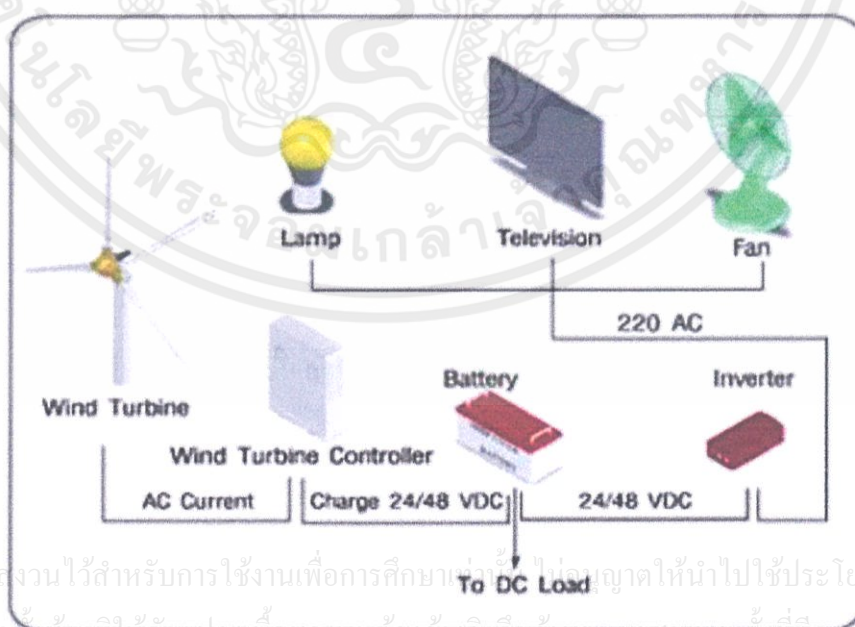
ข. การใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เป็นตัวหมุน ระบบนี้ปกติกังหันลมจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้มอเตอร์ที่ขับเคลื่อนกังหันลมให้หมุนต่อไป หากความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ แหล่งพลังงานชนิดอื่นจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานทดแทน

ค. การใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น ระบบนี้ปกติมีแหล่งพลังงานชนิดอื่นจ่ายพลังงานอยู่แล้ว กังหันลมจะจ่ายพลังงานเมื่อมีความเร็วลมเพียงพอซึ่งในขณะเดียวกันก็ลดการจ่ายพลังงานจากแหล่งอื่น (เช่น ลดการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ดีเซล) ระบบนี้ต่างกับระบบที่กล่าวถึงในข้อ ข. ตรงที่ว่า ข้อ ข. กังหันลมจ่ายพลังงานเป็นตัวหลักและแหล่งพลังงานส่วนอื่นเป็นแหล่งสำรอง แต่ในระบบข้อ ค. นี้ แหล่งพลังงานอื่นจ่ายพลังงานเป็นหลักส่วนกังหันลมทำหน้าที่เสริมพลังงานของต้นพลังงานหลัก พลังงานอย่างอื่นที่กล่าวถึงนี้อาจเป็นเครื่องจักรดีเซล หรือพลังงานน้ำจากเขื่อน ฯลฯ

## 2.13 ระบบการติดตั้งของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ระบบการติดตั้งของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ระบบการติดตั้งแบบเดี่ยว (Stand Alone System) และระบบการติดตั้งแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System)

2.13.1 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว (Stand Alone System) ระบบนี้เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในที่พักอาศัย ชุมชน หรือพื้นที่ที่ห่างไกลจากสายส่งหลัก เช่น บนเกาะหรือชนบทห่างไกลที่ระบบสายส่งเข้าไปไม่ถึงและไม่คุ้มค่ากับการติดตั้งระบบสายส่งเข้าไปสู่พื้นที่ที่ต้องการใช้งาน โดยในระบบการติดตั้งแบบเดียวนั้นจะต้องใช้ชุดเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับเป็นที่เก็บพลังงาน (Battery Bank) ซึ่งอาจเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 12-48 โวลต์ แล้วเก็บพลังงานที่ได้เข้าสู่ชุดแบตเตอรี่ โดยจะต้องทำงานที่สัมพันธ์กันกับระบบควบคุมการทำงานของกังหันลม (Wind Turbine Controller) อย่างเหมาะสมเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เป็นไปตามความต้องการที่ความเร็วลมต่างกันออกไป นอกจากนี้ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลมยังมีระบบป้องกันตัวเอง (Self-Protection) ซึ่งอาจจะมีการทำงานคู่กันระหว่างระบบทางกลและระบบทางไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ความเร็วลมของกังหันลมมากเกินไปกว่าที่ออกแบบไว้

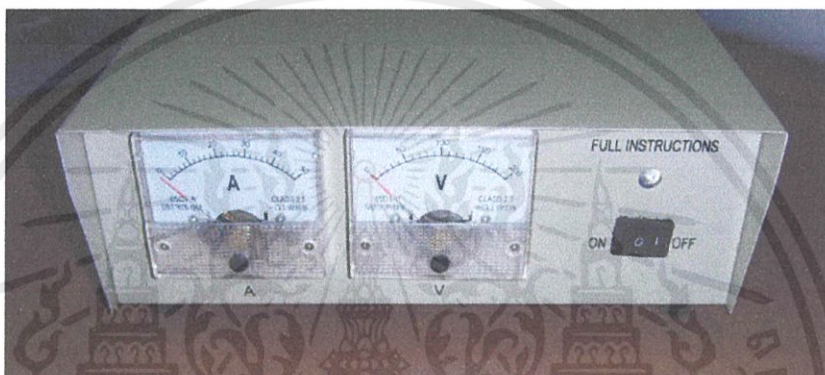


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว [16]



Generator ที่ได้ออกแบบใช้งานกับตัวกังหันลม กระแสไฟฟ้าจากกังหันลมจะถูกส่งต่อไปยังชุดปรับปรุงกระแสไฟฟ้าและควบคุมการประจุ ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังวงจรควบคุมการประจุซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไปประจุไฟฟ้ายังชุดแบตเตอรี่ เมื่อชุดแบตเตอรี่นั้นอยู่ในสถานะที่มีประจุไฟฟ้าอยู่เต็มหรือปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เกินกว่าความต้องการ ชุดควบคุมนี้จะปล่อยกระแสไฟฟ้าไปยังภาระทางไฟฟ้าภายใน (Dummy Load) เพื่อควบคุมให้ได้ปริมาณไฟฟ้าตามความเหมาะสมหรือในทางตรงกันข้าม จะตัดภาระทางไฟฟ้าภายในออกจากชุดแบตเตอรี่ เมื่ออยู่ในสถานะที่มีประจุน้อย ซึ่งการทำงานดังกล่าวจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น



รูปที่ 2.13 แสดงชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า [13]



รูปที่ 2.14 ชุดคอนโทรลเลอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้า [13]

2.14.1 การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุคือ มีวงจรสำหรับตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำงานเป็นสวิตช์ที่สามารถตัดต่อไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็ม เครื่องควบคุมการประจุจะตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อกำหนดสถานะของการประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มจะทำให้แรงดันจะสูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เครื่องควบคุมการประจุจะตัดการประจุไฟฟ้าเมื่อแรงดันสูงถึง 14.4 โวลต์ และจะประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งหลังจากแรงดันลดลงเหลือ 13.4 โวลต์

## 2.15 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [8]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของ 3-Phase Squirrel-Cage Induction Motor โดยวิธีการปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับมอเตอร์



รูปที่ 2.15 อินเวอร์เตอร์ [9]

บางครั้งจะเรียกว่า "V/F Control" อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ยังมีชื่อเรียกอีกหลายอย่างเช่น

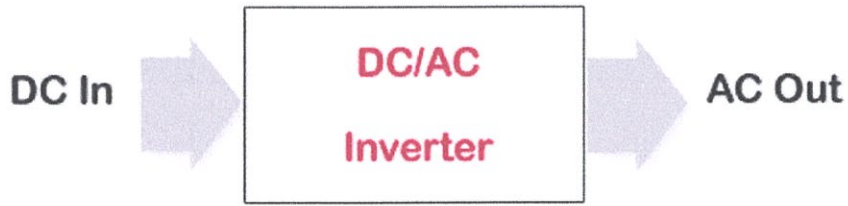
- VSD : Variable Speed Drives
- VVVF : Variable Voltage Variable Frequency
- VC : Vector Control

### 2.15.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ [8]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ ( Converter Circuit ) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์

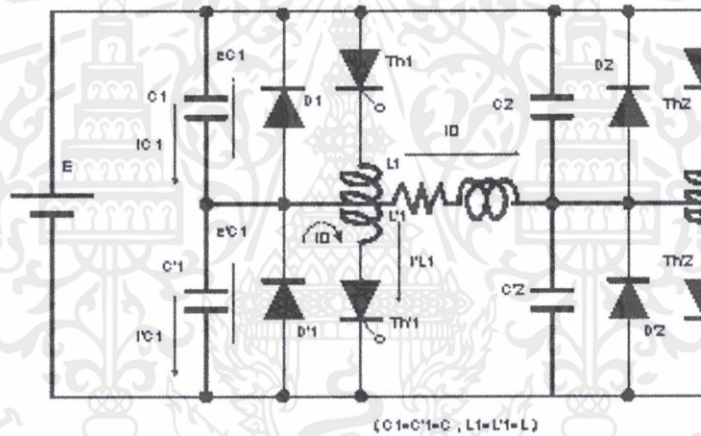
โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นไซน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ 3-phase Induction motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



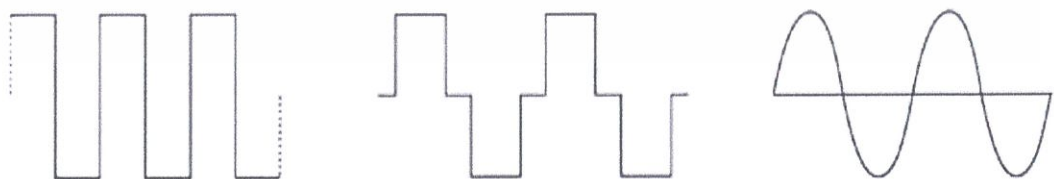
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ [8]

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแบตเตอรี่หรือกังหันลมผลิตไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการทำงานของวงจรสวิตซ์ซึ่งทรานซิสเตอร์ (Switching Transistor) ด้วยการเปิด-ปิดวงจรกระแสตรงของทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วรวมกับหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจ่ายออกมาได้



รูปที่ 2.17 วงจรการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า [10]

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Square wave รับการใช้งานเพื่อ Modified sine wave มอนูชาติให้นำไปเผยแพร่ซึ่งดำเนินการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง รูปที่ 2.18 รูปคลื่นไฟฟ้าที่แปลงออกมาจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า [8] ารนำไปใช้

### 2.15.2 ชนิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า [9]

ชนิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานแยกอิสระ (Stand-Alone Inverter) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งการไฟฟ้า (Grid Connected Inverter) ซึ่งในส่วนเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งการไฟฟ้านั้น เราจะไม่กล่าวถึงในบทนี้ เนื่องจากไม่ใช่ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยว (Stand-Alone System) นั้นเอง

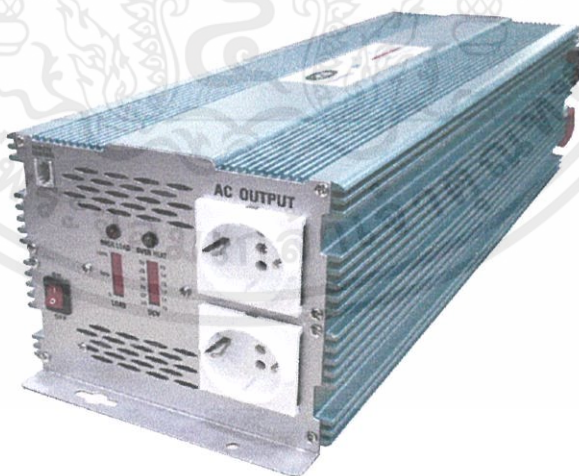
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิดใช้งานแยกเดี่ยว (Stand-Alone Inverter) ถูกนำไปใช้ในการติดตั้งในบริเวณที่ไม่มีระบบไฟฟ้าหรือมีปัญหาไฟฟ้าและจะต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า โดยแบ่งตามสัญญาณขาออกได้ดังนี้

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Square wave

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

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified sine wave

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



รูปที่ 2.19 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Modified sine wave มี soft start [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine wave

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

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

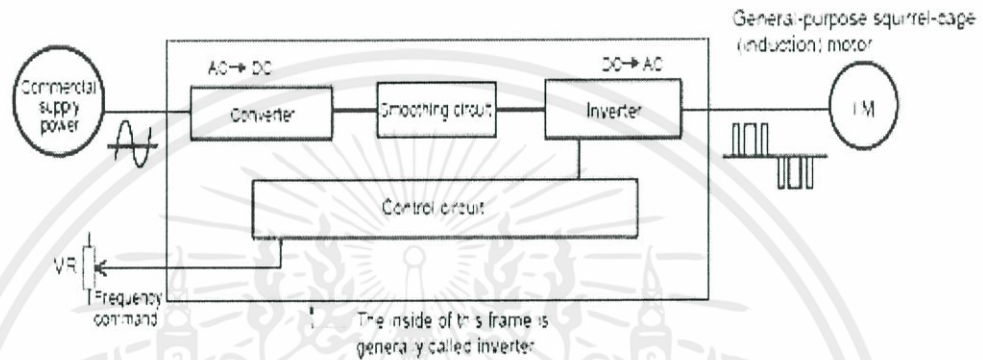


รูปที่ 2.20 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าประเภท Pure Sine Wave [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.3 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ [10]

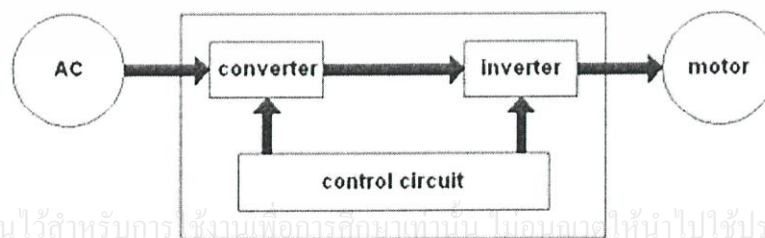
1. ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟ AC. power supply (50 Hz) ให้เป็นไฟตรง (DC Voltage)
2. ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ แปลงไฟตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้
3. ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ซึ่งทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.21 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) [8]

ตัวอย่างการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟสำรอง หรือที่เรียกว่า UPS (Uninterruptible Power Supply) เพื่อแก้ปัญหาไฟเกิน, ไฟตก, ไฟดับ และคลื่นรบกวน ช่วยป้องกันการเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่สำรองไว้จะเก็บในแบตเตอรี่

ยกตัวอย่าง ถ้ากระแสไฟฟ้าดับ ระบบสำรองไฟจะสวิตช์มาใช้ไฟจากแบตเตอรี่โดยทันที ต่อจากนั้นไฟฟ้าซึ่งเป็นกระแสตรง จะเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงนั้นให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่ และถูกต้อง ไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ก็จะป้อนสู่เครื่องไฟฟ้าทั่วไป โดยที่ไฟกระแสสลับที่ได้ออกมาจะถูกนำไปป้อนกลับมาทำการเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงค่าหนึ่ง แล้วนำผลจากการเปรียบเทียบไปควบคุมการกำเนิดความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่และถูกต้อง ตามที่เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องการ



รูปที่ 2.22 กระบวนการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะการใช้ไฟสำรอง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ถูกนำมาใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ, ตู้เย็น, โทรทัศน์ และระบบเซอร์โวควบคุมมอเตอร์ (Servo Motor) เนื่องจากความต้องการลดการสูญเสียกำลังงานที่สูง โดยเฉพาะขณะเริ่มต้นทำงาน และจากการสูญเสียในแกนเหล็ก และในตัวขดลวด (สำหรับเครื่องเชื่อมแบบมือหมุน และมอเตอร์) ซึ่งการสูญเสียกำลังงานหรือค่าไฟฟ้าเป็นดังนี้คือ

เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเริ่มทำงาน จะมีค่ากระแสเริ่มทำงาน I (Start) สูงกว่า ขณะเดินปรกติถึง 4 – 6 เท่าตัว เช่น มอเตอร์เครื่องปรับอากาศ ที่มีขนาด 220 V ,1 A

$$P_{\text{normal}} = 220V \cdot 1A = 220W$$

ขณะเริ่มต้นมอเตอร์หรือหม้อแปลงจะดึงกระแสเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอย่างน้อย 4 เท่าของขณะปกติ

$$P_{\text{start}} = 220V (4 \cdot 1A) = 880W$$

ทำให้ระบบเดิมที่ไม่มีการใช้อินเวอร์เตอร์จะต้องเสียค่าไฟสูงมาก และทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าในสายไม่เสถียร (Stable) รวมถึงทำให้เกิดแรงดันสไปค์ ขณะหยุดการทำงานซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการเสียหาย หรือบั่นทอนอายุการใช้งานให้สั้นลง

การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ระบบเดิมนั้นจะทำงานติดๆ ดับๆ อยู่บ่อยครั้ง ซึ่งสร้างปัญหาต่อบุคคลไฟฟ้าอื่นๆ อีกทั้งยังกินไฟสูง จึงได้มีการนำเอาระบบอินเวอร์เตอร์เข้ามาแก้ไข ทำให้มอเตอร์แอร์ทำงานต่อเนื่องไม่มีการติด-ดับ ดังเช่นในระบบเดิม ซึ่งจากการพิสูจน์แล้วพบว่า "การให้มอเตอร์ทำงานต่อเนื่อง จะช่วยประหยัดพลังงาน และค่าไฟฟ้าได้มากกว่าการหยุด และเริ่มเดินใหม่อย่างน้อย 1 เท่าตัวขึ้นไป" ซึ่งก็มีหลักการการทำงาน ดังนี้ ขณะที่เข้าสู่สถานะการทำงานแล้ว ชุดอินเวอร์เตอร์จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานมากขึ้น (หมุนเร็วขึ้น) โดยการเพิ่มความถี่หรือปรับเปลี่ยน Duty Cycle และขณะสแตนด์บาย หรืออุณหภูมิคงที่ ระบบอินเวอร์เตอร์จะลดการทำงานของมอเตอร์ลง (หมุนช้าลง) แต่ไม่หยุดการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งจะช่วยลดกำลังงานที่ใช้นั่นเอง

อินเวอร์เตอร์ได้นำไปใช้ในระบบงานต่างๆ เช่น

1. ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ที่เรียกว่า Stand by power supply หรือ Uninterruptible Power Supplies (UPS) เพื่อใช้ทดแทนในกรณีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดความขัดข้อง
2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อต้องการให้แรงบิด (Torque) คงที่ทุกๆ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป
3. ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อบริการให้แก่ผู้ใช้
4. ใช้ในระบบเตาถลุงเหล็กที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน (Induction heating) ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการทำงาน

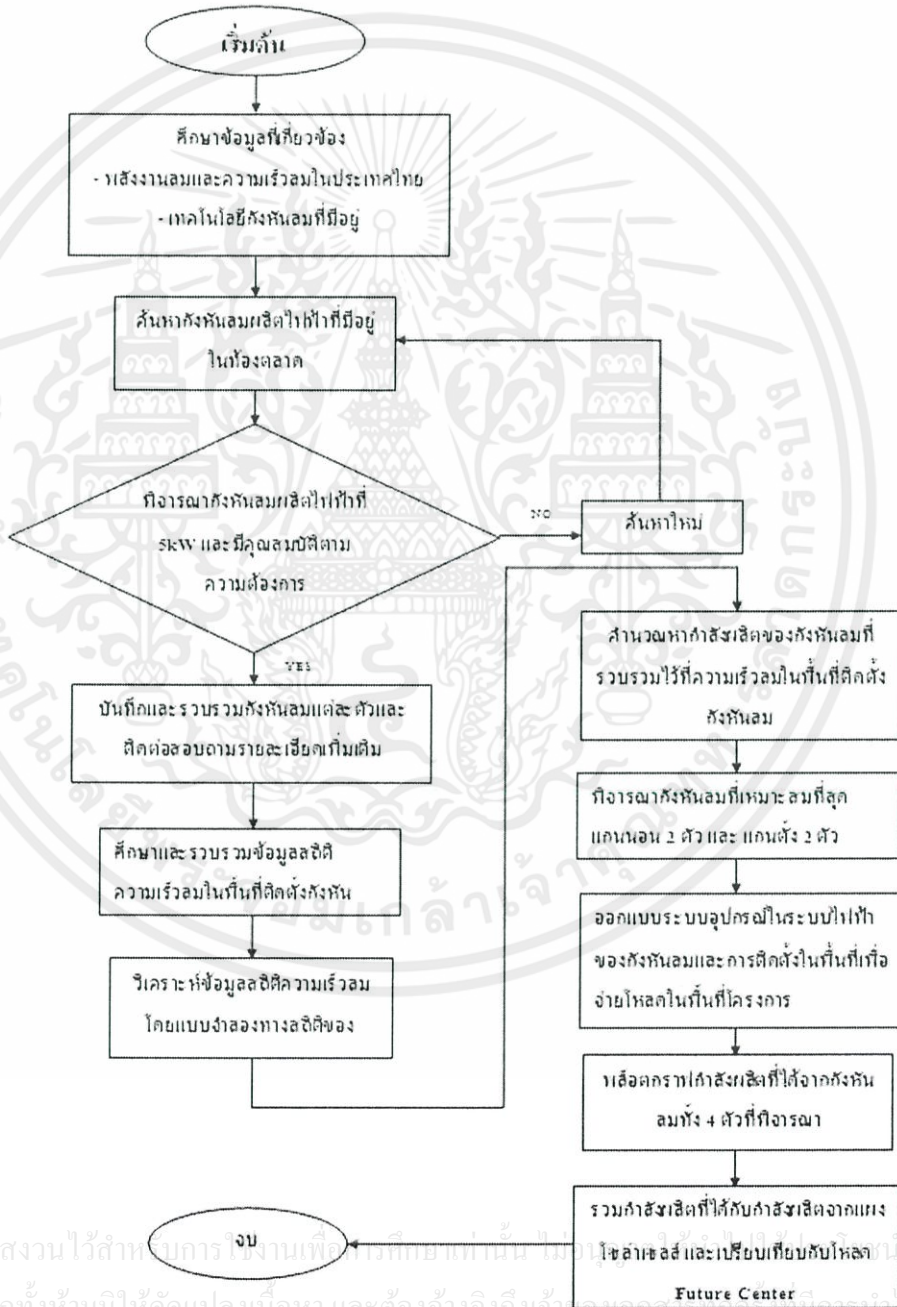
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบการจัดการพลังงานลม

##### 3.1 Flow chart การทำงาน

ขั้นตอนการออกแบบระบบการจัดการพลังงานโดยทำการในเรื่องพลังงานลมและเทคโนโลยี  
กังหันลมเพื่อออกแบบติดตั้งกังหันลมในโครงการ Future Renewable Center



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้

รูปที่ 3.1 Flow chart การทำงาน

### 3.2 ฐานข้อมูลพลังงานลมประเทศไทย โดยโปรแกรม Windmap

ศึกษาข้อมูลความเร็วลมของพื้นที่ติดตั้งกังหันลม โดยพื้นที่ติดตั้งสามารถอ้างอิงพิกัดได้จาก Google Earth เพื่อนำไปหาความเร็วลมของพื้นที่ (Annual average wind speed) ณ ความสูงที่มีในฐานข้อมูล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของกำลังผลิตที่จะได้จากกังหันลม



รูปที่ 3.2 พิกัดพื้นที่ที่ติดตั้งกังหันลมจากโปรแกรม Google Earth

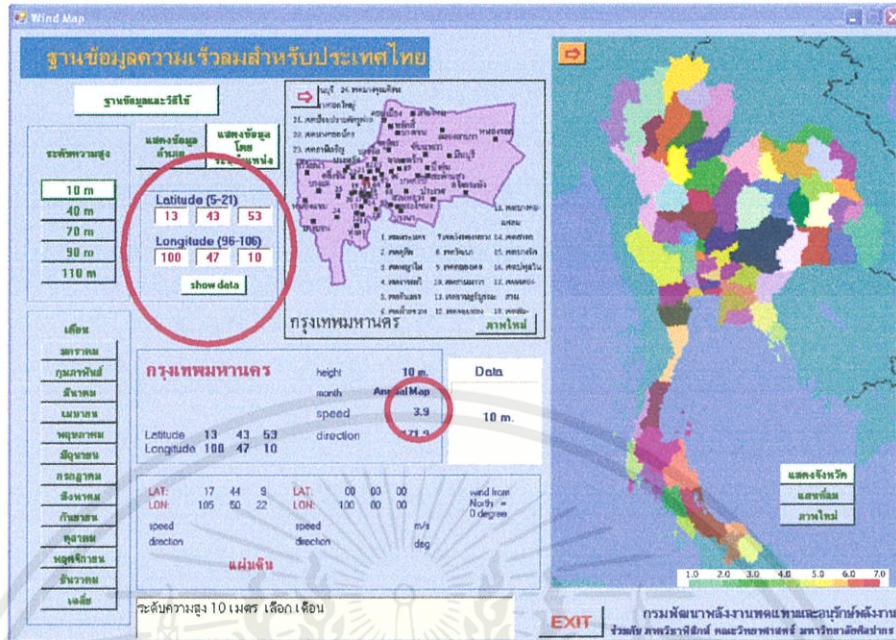
นำพิกัดความเร็วลมที่ตำแหน่งติดตั้งกังหันลม ไปหาความเร็วลมเฉลี่ย ณ จุดติดตั้งกังหันลม ที่ความสูง 10 เมตร เนื่องจากจุดที่จะติดตั้งกังหันลมอยู่ที่ระดับความสูง 20 เมตรจึงต้องแปลงความเร็วลมเฉลี่ยที่ 10 เมตร เป็น 20 เมตร โดย

$$V(y) = V(x) \left[ \frac{h(y)}{h(x)} \right]^{\sigma} \quad (3.1)$$

เมื่อ	$V(y)$ คือ ความเร็วลมที่ความสูง $y$ เมตร	หน่วยเป็น	เมตร/วินาที
	$V(x)$ คือ ความเร็วลมที่ความสูง $x$ เมตร	หน่วยเป็น	เมตร/วินาที
	$h(y)$ คือ ความสูงที่ระดับ $y$ เมตร	หน่วยเป็น	เมตร
	$h(x)$ คือ ความสูงที่ระดับ $x$ เมตร	หน่วยเป็น	เมตร

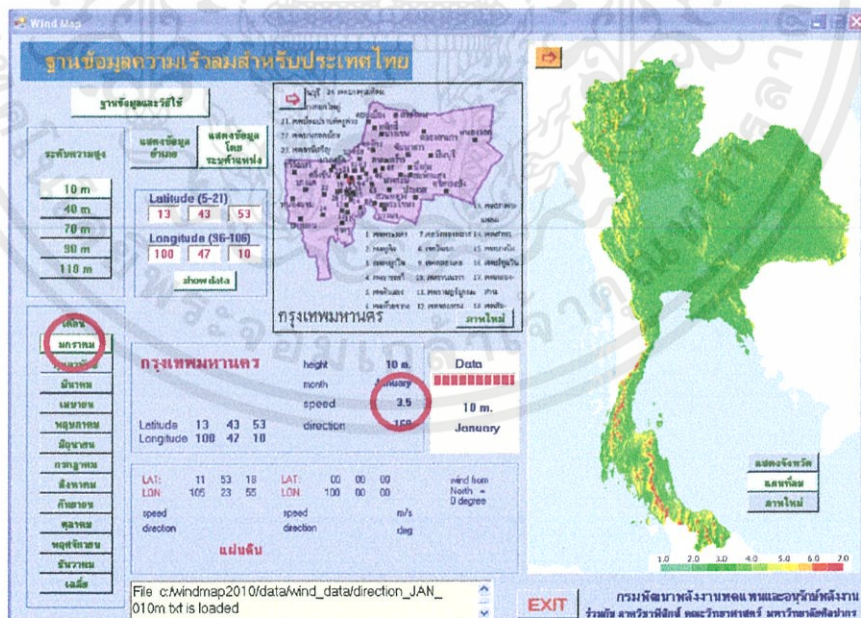
$$\sigma = 1/7 = 0.142857$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

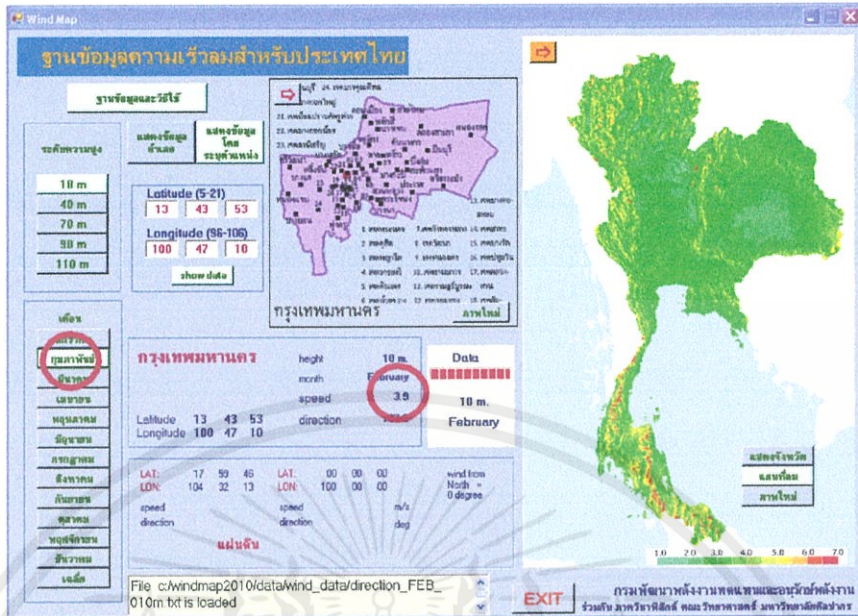


รูปที่ 3.3 ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีจากโปรแกรม Windmap

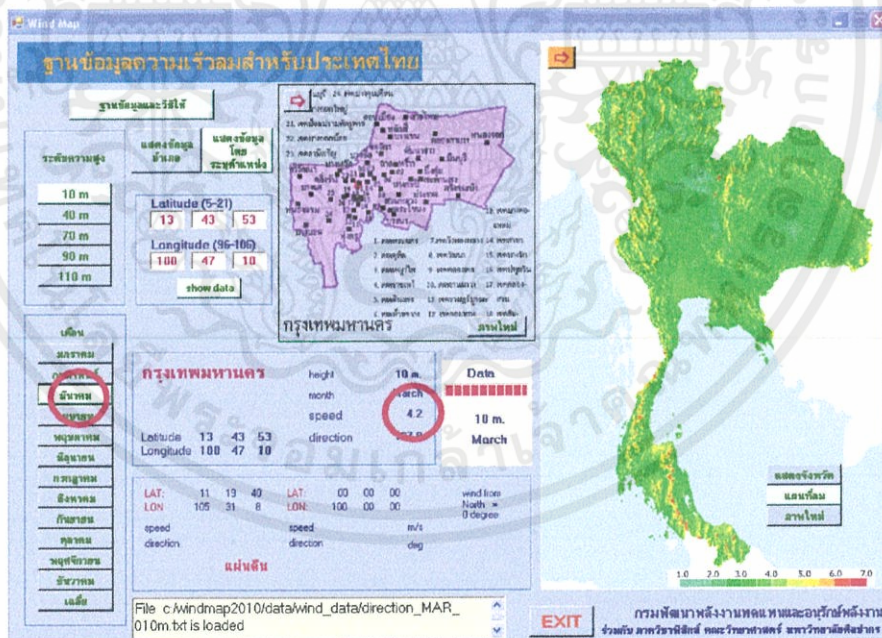
จากโปรแกรม Windmap ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่ความสูง 10 เมตร เท่ากับ 3.9 m/s ทำการแปลงค่าเป็นความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่ความสูง 20 เมตรโดยสมการ 3.1 ได้เท่ากับ 4.3 m/s จากนั้นทำการศึกษาค่าความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละเดือนได้ผลการดำเนินการดังนี้



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.4 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนมกราคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกปีทีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.9 m/s เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



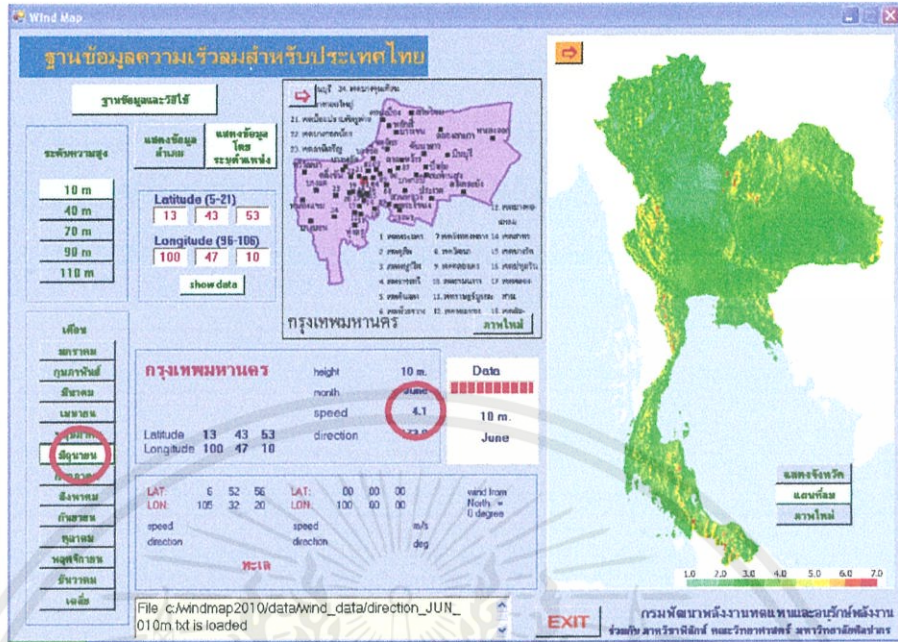
รูปที่ 3.5 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนกุมภาพันธ์จากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.3 m/s



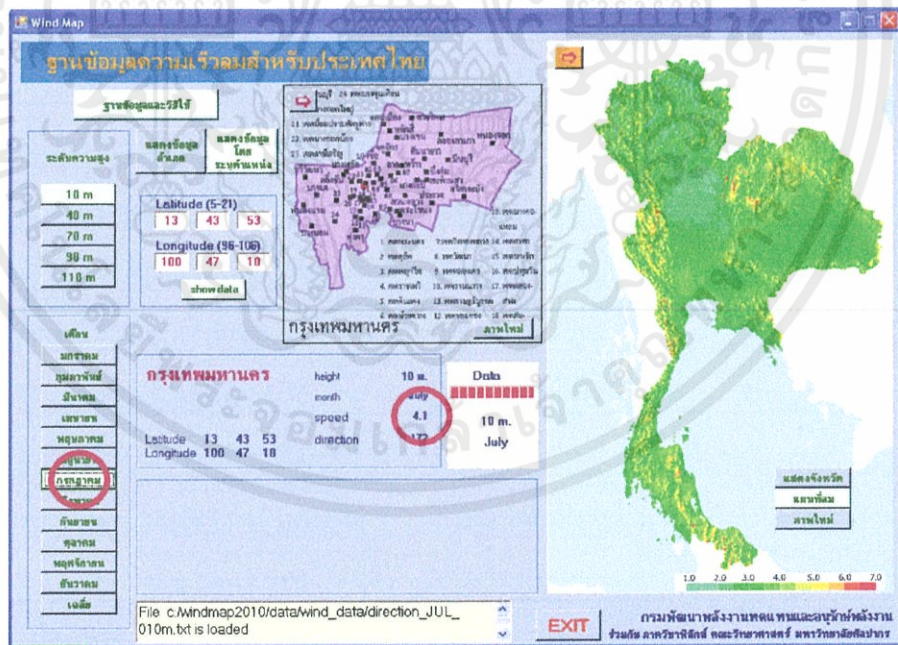
รูปที่ 3.6 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนมีนาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.6 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



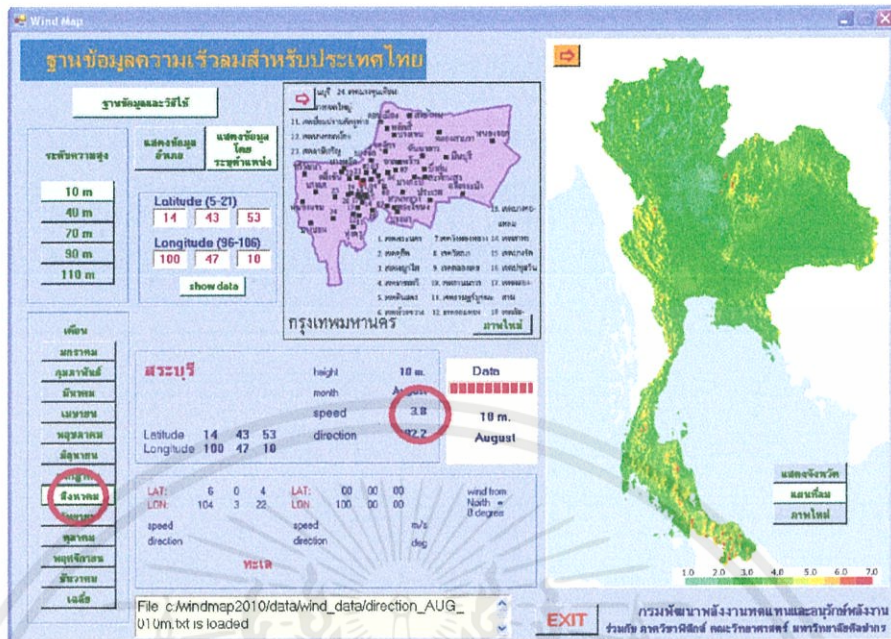


รูปที่ 3.9 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนมิถุนายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่ความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.5 m/s

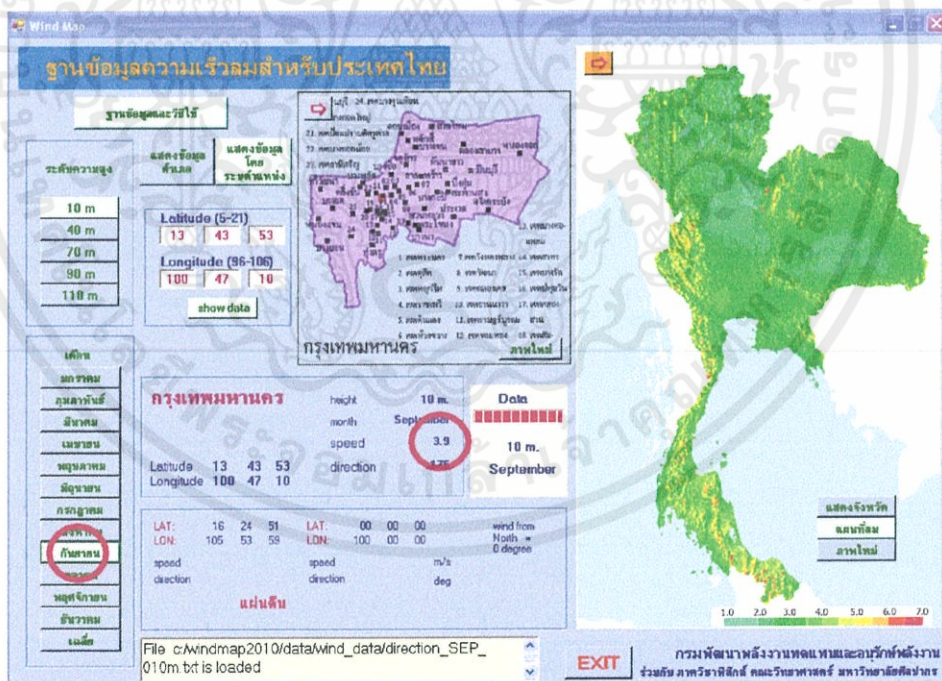


รูปที่ 3.10 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยใน

หนึ่งปีที่ความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.5 m/s เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น หากท่านมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของเราที่เบอร์ 1676 หรือที่เว็บไซต์ www.1676.com

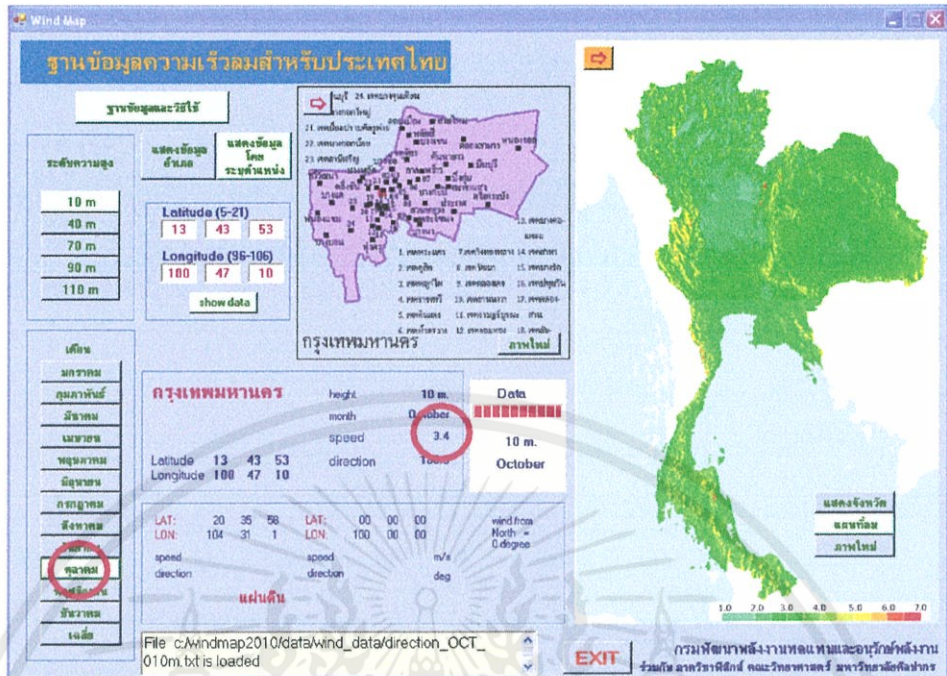


รูปที่ 3.11 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนสิงหาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.2 m/s

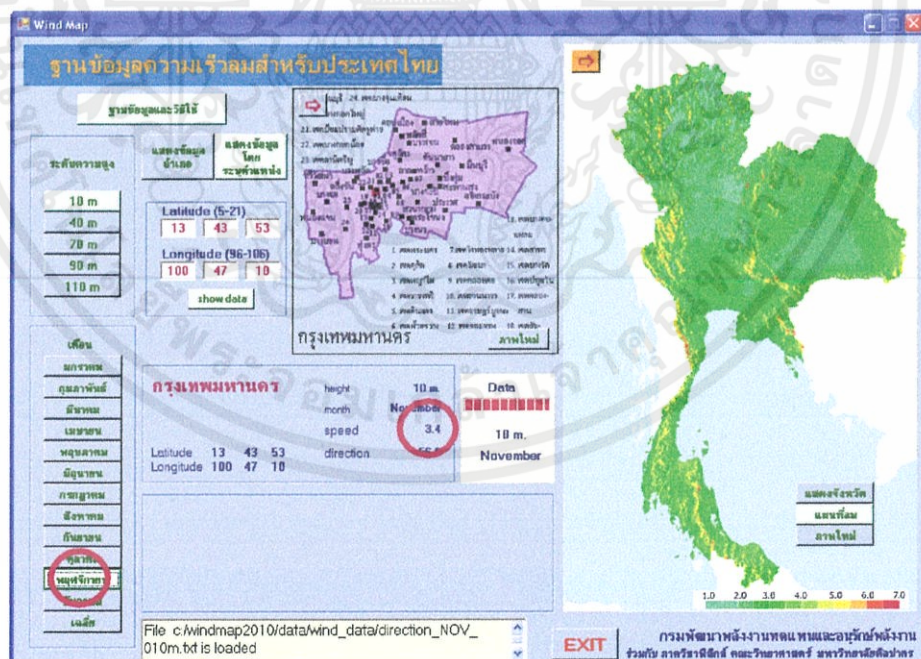


รูปที่ 3.12 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนกันยายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 4.3 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอเชิญชวนให้ท่านช่วยกันตรวจสอบและแจ้งข้อผิดพลาดให้ทางมหาวิทยาลัยได้รับทราบ

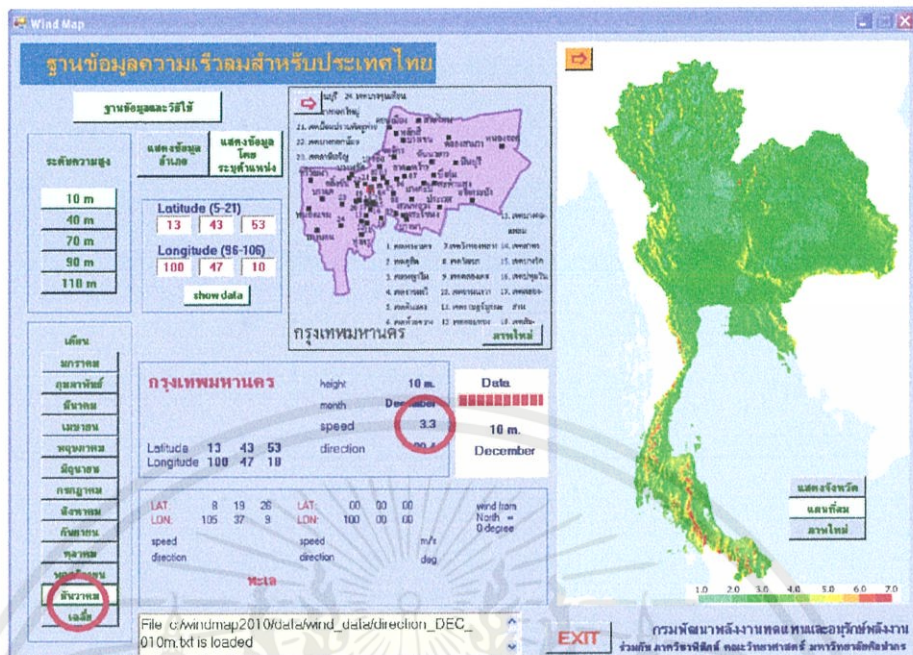


รูปที่ 3.13 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนตุลาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.7 m/s



รูปที่ 3.14 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายนจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.7 m/s

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จะถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 3.15 ความเร็วลมเฉลี่ยของเดือนธันวาคมจากโปรแกรม Windmap ได้ความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งปีที่มีความสูง 20 เมตรเท่ากับ 3.6 m/s

จากการศึกษาพบว่า ในพื้นที่โครงการ Future Renewable Center มีความเร็วลมที่ระดับความสูง 20 เมตร เฉลี่ยอยู่ที่ 4.3 m/s ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับความเร็วลมปานกลาง และพบว่าในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี

### 3.3 การพิจารณาและเปรียบเทียบเพื่อเลือกกังหันลมที่มีอยู่ในท้องตลาด

เนื่องจากในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมมีความเร็วลมในระดับปานกลางจึงเหมาะสมที่จะติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กในช่วง 1-10 กิโลวัตต์ จึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบกำลังผลิตของกังหันลม พบว่ากังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีกำลังผลิตที่ดี และคุ้มค่าต่อการลงทุนที่สุด เนื่องจากการติดตั้งที่เสาสูง 20 เมตร มีราคาแพง และจากการเปรียบเทียบกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์พบว่ากังหันลมของบริษัท Aeolos มีการผลิตกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพดีกว่ากังหันลมอื่นๆ และยังมีมาตรฐานและคุณภาพของอุปกรณ์ที่ดี จึงทำการเลือกกังหันลมชนิดนี้เพื่อทำการติดตั้งในโครงการ Future Renewable Center

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aeolos-H 1kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	14	40	172	400	670	1000	1070	1200
Annual Energy Output(kwh)	123	350	1507	3504	5869	8760	9373	10512

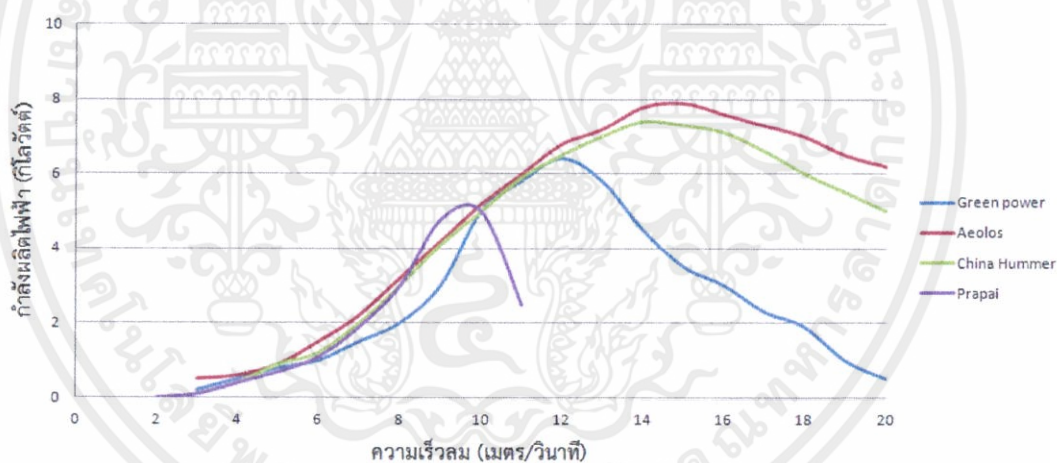
Aeolos-H 2kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	20	60	212	400	620	1000	1682	2400
Annual Energy Output(kwh)	175	526	1857	3504	5431	8760	14734	21024

Aeolos-H 3kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	110	210	400	720	1100	1650	2300	2900
Annual Energy Output(kwh)	964	1840	3504	6307	9636	14454	20148	25404

Aeolos-H 5kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	170	460	930	1463	2210	3000	4100	5152
Annual Energy Output(kwh)	1489	4030	8147	12816	19360	26280	35916	45132

Aeolos-H 10kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	342	920	1860	2926	4200	6000	8200	10080
Annual Energy Output(kwh)	2996	8059	16294	25632	36792	52560	71832	88301

รูปที่ 3.16 กำลังผลิตไฟฟ้าของกังหันลมขนาดเล็ก [13]



รูปที่ 3.17 Power curve ของกังหันลมที่มีอยู่ในท้องตลาด

### 3.4 ข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลมที่จะติดตั้งในโครงการ Future Renewable Center

โครงการ Future Renewable Center จะดำเนินการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ในโครงการ Future Renewable Center ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ซึ่งติดตั้งกังหันลมทั้งหมด 4 ตัว ประกอบด้วยกังหันลมแกนนอน 2 ตัว กังหันลมแกนตั้ง 2 ตัว ซึ่งใช้กังหันลม Aeolos ซึ่งมีส่วนประกอบที่ดี มีการออกแบบการป้องกันที่ดีในตัวกังหันลม และมีประสิทธิภาพสูง (Generator Efficiency > 0.96) อีกทั้งมีแหล่งผลิตอยู่ในประเทศแคนาดาซึ่งเป็นอันดับต้นๆทางด้านเทคโนโลยีกังหันลมของโลกอีกด้วย

ในส่วนของระบบควบคุมกังหันลมที่ทำการติดตั้งเป็นระบบเชื่อมต่อเพื่อจ่ายโหลด Future Renewable Center ประกอบด้วยระบบควบคุมกังหันลมของ Aeolos ซึ่งเป็นตัวควบคุมโดย PLC Control system มีความน่าเชื่อถือ อีกทั้งยังมี Dump load ควบคุมกังหันลมจากการเกิดกำลังไฟฟ้าที่สูงเกินไปจากพิคกการการผลิตของกังหันลมอีกด้วย และใช้อินเวอร์เตอร์ Windy boy ขนาด 5 กิโลวัตต์ของ SMA ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อเข้ากริดของโครงการ เพื่อนำไปช่วยจ่ายโหลดร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้อินเวอร์เตอร์ Sunny boy ของ SMA ที่ออกแบบในโครงการ Future Renewable Center

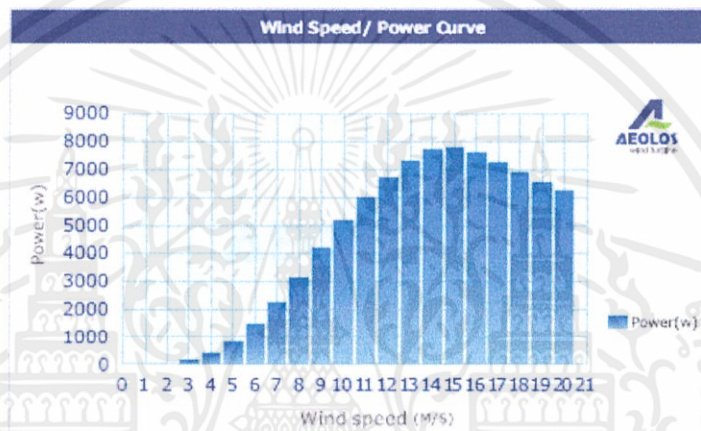
### 3.4.1 กังหันลม Aeolos แกนนอน ขนาด 5 กิโลวัตต์

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแกนนอนขนาด 5 กิโลวัตต์ [13]

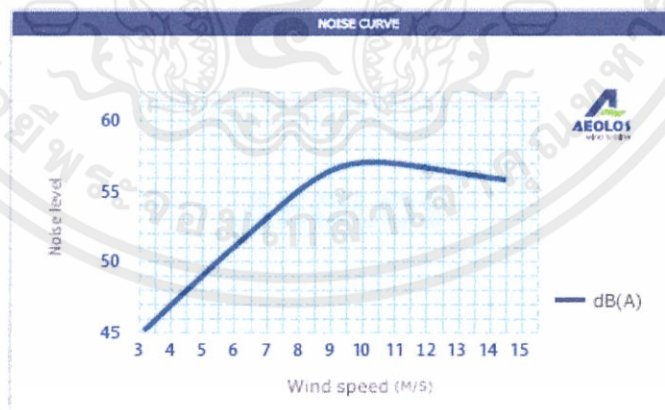
	Model:	HAWT Aeolos 5kW
TURBINE	Rated power	5 kW
	Start wind speed	2.5 m/s
	Cut-in wind speed	3.0 m/s (6.7mph)
	Cut-out wind speed	25 m/s (55.9mph)
	Survival wind speed	45 m/s (100.7mph)
	Generator	Permanent magnet generator
	Design lifetime	20 years
	Overall weight	180 kg (396.8lbs)
ROTOR	Rotor diameter	6.4 m (21 ft)
	Rotor speed	200 rpm
	Blade material	Glass fiber
GENERATOR	Frequency	50 Hz or 60 Hz
	Voltage	120V – 260V
	Type	Three Phase Permanent magnetic generator
	Generator efficiency	>0.96
CONTROL & SAFETY SYSTEM	Main Brake system	Yaw and Electronic brake system
	Secondary safety System(Optional)	Hydraulic brake system
TOWERS	Monopole tower	9 m, 12m, 18m
	Hydraulic tower	12 m, 18m
WARRANTY	Standard warranty	5 years
	Extended warranty	10 years



รูปที่ 3.18 กังหันลมแกนนอน Aeolos [13]



รูปที่ 3.19 เส้นโค้งแสดงกำลังและความเร็วลมของกังหันลมแกนนอน Aeolos ขนาด 5 กิโลวัตต์ [13]



รูปที่ 3.20 เส้นโค้งแสดง Noise และความเร็วมของกังหันลมแกนนอน Aeolos ขนาด 5 กิโลวัตต์ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4.2 กังหันลม Aeolos แกนตั้งขนาด 5 กิโลวัตต์

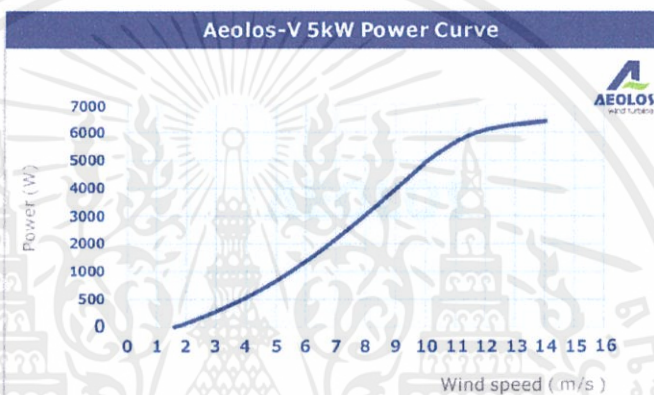
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมแกนตั้งขนาด 5 กิโลวัตต์ [13]

	Model:	VAWT Aeolos 5kW
Specification	Generator Type	Three Phase Permanent Magnet
	Rotor Height	3.6m (11.8ft)
	Rotor Width	4m (13.1ft)
	Turbine Weight	285kg (633.5lbs)
	Blades Material	Aluminum Alloy
	Blade Quantity	4 pcs
	Working Temperature	-20 °C to 50 °C
	Design Lifetime	20 years
Performance	Rated Power	5000 W
	Max Output Power	7000 W
	Cut-in wind speed	2.5m/s (5.6 mph)
	Rated Wind Speed	10m/s (22.3 mph)
	Survival wind speed	55m/s (122.65 mph)
	Generator efficiency	96%
	Noise Level	< 45 dB(A)
	Warranty	5 year
Safety	Blades RPM Limitation	200 RPM
	PWM Dump Load	7.5 kW Box
	Mechanical Brake	Manual/Auto
Optional	Remote Monitoring System	(Internet/Wireless)
	Auto Hydraulic Brake System	(Unattended Site)
	Off Grid	48 V or 96 V
	Grid Tie	300 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 กังหันลมแกนตั้ง Aeolos [13]

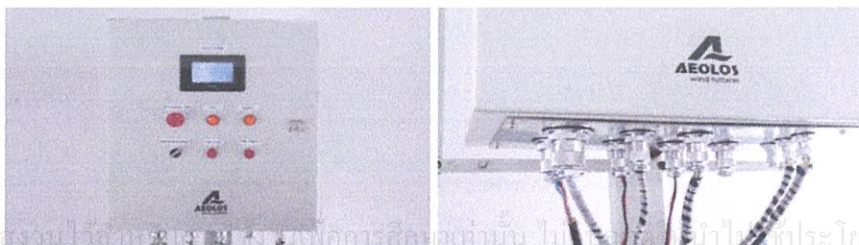


รูปที่ 3.22 เส้นโค้งแสดงกำลังและความเร็วลมของกังหันลมแกนตั้ง Aeolos ขนาด 5 กิโลวัตต์ [13]

### 3.5 ระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเชื่อมต่อกฤตเพื่อจ่ายโหลด Future Renewable Center

#### 3.5.1 Aeolos Controller Wind turbine

Controller ของบริษัท Aeolos มีคุณสมบัติในการควบคุมการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากตัวกังหันลม โดยการทำงานเป็น PLC Controller, วงจรเรียงกระแส และฟังก์ชันการป้องกัน การทำงานของจจะสามารถแสดงผลและควบคุมโดยระบบสัมผัส และสามารถแสดงผลระยะไกลจากการทำงานของ PLC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขเอกสารฉบับนี้โดยเด็ดขาด หากมีการนำออกไปใช้

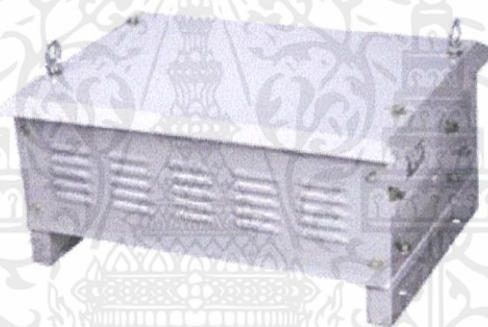
รูปที่ 3.23 Aeolos Controller [13]

### 3.5.2 Dump Load Box

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวต้านทานสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก สามารถเก็บความร้อนได้ดี และเป็นตัวช่วยเมื่อขณะเกิดความเร็วลมสูงเกิน Rated wind speed เพื่อให้กำลังที่ผลิตสูงเกินสูญเสียที่ Dump Load Box

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของ Dump Load Box for 5KW Wind Turbine [13]

Rated Capacity	8KW
Nominal Resistance and tolerance	$6.5\Omega \pm 2\%$
Rated Voltage	DC 228V
Rated Current	DC 35.09A
Protection Level	IP20



รูปที่ 3.24 Dump Load Box [13]

### 3.5.3 Windy Boy 5000TL Inverter [15]

Windy boy inverter ของบริษัท SMA ซึ่งเป็นผู้ผลิตสินค้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งสินค้าที่ผลิตเป็นอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทน Windy boy 5000TL เป็นอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของ WINDY BOY 5000TL อินเวอร์เตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์ [15]

Input(DC)	Max.DC power	5300 W
	Max.input voltage / nominal DC voltage	550 V / 400 V
	Min.open-circuit voltage for activating “Turbine Mode”	125 V
	Voltage range in “Turbine Mode”	80 V - 550 V
	Max.input current	30 A
Output(AC)	Rated outputpower (@230V,50Hz)	4600 W
	Max.apparent AC power	5000 VA
	Nominal AC voltage / range	220 V,230 V,240 V / 180
	Power line frequency / range	V-280 V
	Rated power frequency / rated power voltage	50 Hz,60 Hz / -5 Hz...+5 Hz
	Max.output current	50 Hz / 230 V
	Power factor at rated output power	22 A
	Feed-in phases / connection phases	1 / 1
Efficiency	Max. efficiency / European efficiency	97% / 96.5%
Protection	Ground fault monitoring / /grid monitoring	● / ●
	DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability	● / ●
	Protection class(according to IEC62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I/III
General Data	Dimensions (W/H/D)	470 / 445 / 180 mm (18.5 / 17.5 / 7.1 inch)
	Weight	26kg / 57.3 lb
	Operating temperature range	-25°C ...+60°C / -13°F ...
	Noise emission	+140°F
	Topology	29 db(A)
	Cooling concept	Transformerless
	Protection class of electronics / connection area	OptiCool IP65 / IP54
	(according to IEC 60529)	
Climatic category (according ti IEC 60721-2-1)	4K4H 100%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	
Features	DC terminal AC terminal Display Interfaces: RS485 / Bluetooth Warranty: 5 / 10 years Certificates and approvals (additional on request)	SUNCLIX Screw-type terminal Graphical ●/● ●/● CE,VDE0126-1-1 DK 5940 ED2.2, G83/1-1, RD 1663/2000, EN 50438



รูปที่ 3.25 Windy Boy Inverter รุ่น5000TL และ รุ่น5000TL  
with reactive power control [15]

#### 3.5.4 ระบบการป้องกันและความปลอดภัย [13]

- Yaw control เป็น PLC control ควบคุมทิศทางของกังหันลมเพื่อให้ใบพัดหันเข้ารับลม
- Electronic break โดย dump load ทำโดย PWM technology ทำให้ความเร็วโรเตอร์อยู่ภายใต้ช่วงที่คงที่ เพื่อป้องกันการทำงานของกังหันเมื่อความเร็วสูงเกิน (output power สูงกว่า 125%ของพิกัด) dump load จะตัวเป็นความต้านทานเพื่อจัดการกับไฟฟ้าที่ผลิตเกินเพื่อให้ความเร็วโรเตอร์อยู่ในสภาวะคงที่
- Mechanical break จะทำการหยุดเมื่อเกิด over speed, over voltage, over temperature หรือ grid failure
- Tail-bend protection เมื่อความเร็วลมเกิน 25 m/s โรเตอร์จะทำการเปลี่ยนทิศทางทันที เพื่อให้ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ต่ำลง
- Pitch control เมื่อเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้าเกินพิกัด จะมีการปรับ pitch เพื่อให้ผลิตกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วงพิกัด และสามารถทำให้พลังงานลมที่สูงอยู่ในจุดที่เที่ยงตรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรอ้างอิงงานที่วารสารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยไม่ให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- Tilt angle of rotor shaft เป็นฟังก์ชันหลักสำหรับการป้องกันใบพัด และ tower เสียหาย
- Over wind speed protection ป้องกันให้ความเร็วลมอยู่ในจุดที่มั่นใจได้ว่าปลอดภัย
- Over temperature protection
- Over voltage protection

### 3.6 การออกแบบติดตั้งกังหันลม 5 กิโลวัตต์ ในพื้นที่โครงการ Future Renewable Center ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

#### 3.6.1 พื้นที่ติดตั้งกังหันลม

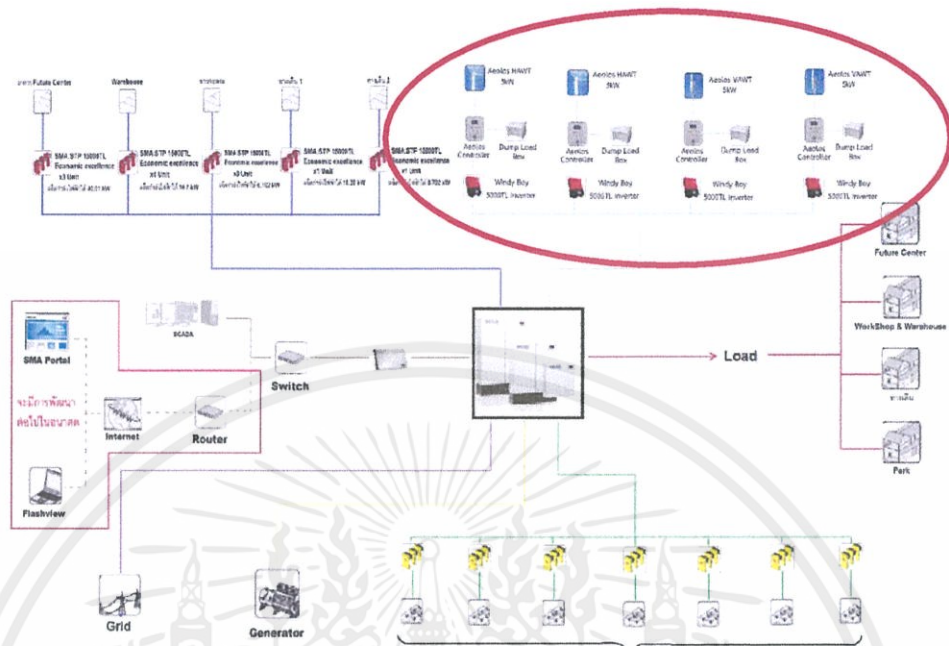
จากการพื้นที่ที่จะถูกพัฒนาในโครงการ Future Renewable Center บริเวณเขตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่าในบริเวณโครงการไม่มีอาคารสูงหรือต้นไม้ใหญ่ที่ขวางทิศทางลมสู่กังหันลม พื้นที่เป็นพื้นที่โล่งทุ่งหญ้า ด้านหน้าติดกับถนนมอเตอร์เวย์ และด้านหลังติดกับศูนย์ปฏิบัติการดาวเทียมภาคพื้น และในพื้นที่นี้อยู่ใกล้กับสนามบิณสูวรรณภูมิ แต่พื้นที่ติดตั้งกังหันลมนี้ไม่มีเครื่องบินผ่านซึ่งจะกระทบกับการหมุนของกังหันลมได้



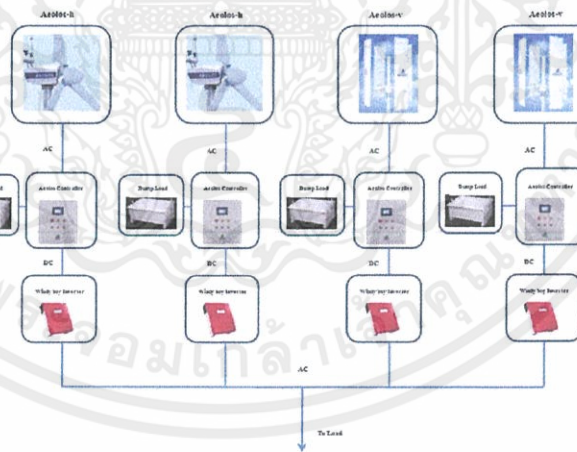
รูปที่ 3.26 แนวพื้นที่ติดตั้งกังหันลม

#### 3.6.2 การติดตั้งกังหันลม

การติดตั้งกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์เพื่อจ่ายโหลด Future Renewable Center และบริเวณใกล้เคียงร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะทำการติดตั้งกังหันลม 4 ตัว ประกอบด้วยกังหันลมแกนนอน Aeolos 5 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว และกังหันลมแกนตั้ง Aeolos 5 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว ซึ่งจะทำการติดตั้งห่างกัน 80 เมตร ตามทางยาวของพื้นที่โครงการ Future Renewable Center เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของลมที่ผ่านกังหันลมตัวอื่น และมีเสาสูง 20 เมตร ชนิด Monopole tower เนื่องจากมีเสามีความสวยงาม การสั่นสะเทือนต่ำ มีความน่าเชื่อถือดี และง่ายต่อการติดตั้ง และไม่ต้องใช้สายสลิงเพื่อยึดกับพื้นเหมือนกับ Guyed tower ซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้พื้นที่มากเนื่องจาก Guyed tower แต่การบำรุงรักษาต้องใช้เครน



รูปที่ 3.27 ระบบไฟฟ้าของโครงการ Future Renewable Center



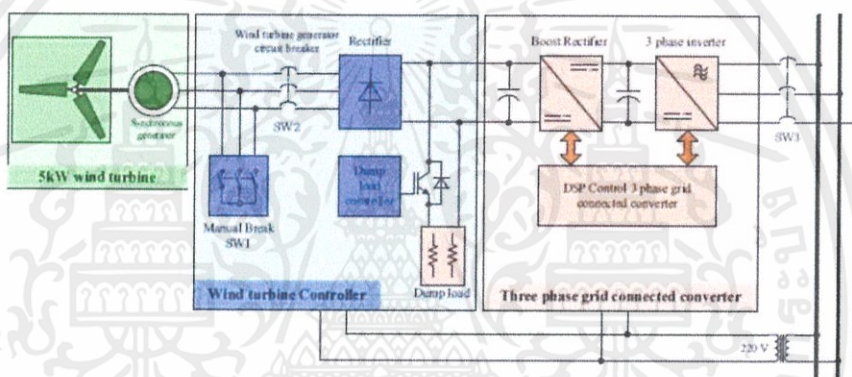
รูปที่ 3.28 การติดตั้งระบบกักหน้ลมเพื่อจ่ายโหลดในโครงการ Future Renewable Center

### 3.7 การติดตั้งเสาและฐานราก

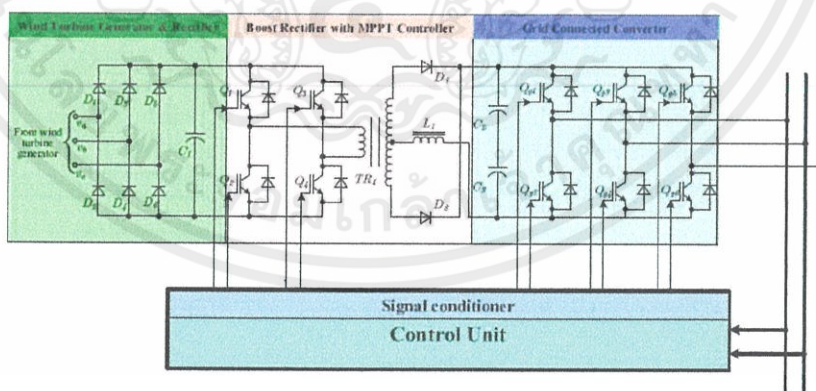
การติดตั้งเสาและฐานรากมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายอย่างเช่น ประเภทของดินในพื้นที่ติดตั้ง ความเร็วลมแรงลมที่จะปะทะกั้นลมเพื่อแบ่งโซนในการออกแบบฐานราก อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงประเภทของเสาและความสูงเสา ซึ่งการออกแบบฐานรากต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมโยธาเพื่อที่จะออกแบบฐานรากให้เหมาะสมที่สุด



ตีฟายเออร์ เพื่อขยายระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้สูงขึ้น (ประมาณ 650 โวลต์) เพื่อส่งต่อไปให้กับ อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสซึ่งมีหน้าแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่รับมาเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดแรงดันและความถี่เท่ากับระบบจำหน่าย เพื่อถ่ายโอนพลังงานที่สร้างขึ้นเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยรายละเอียดของวงภาคกำลังถูกแสดงในรูปที่ 3.28 ซึ่งวงจรเร็คตีฟายเออร์ 3 เฟสใช้ไดโอด 6 ตัว มาต่อเป็นวงจรบริดจ์ 3 เฟสและใช้ตัวเก็บประจุช่วยในการกรองแรงดัน โดยส่วนถัดมาของรูปเป็น วงจรขยายระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่และทำการขยายระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้สูงขึ้นโดยใช้ หม้อแปลงความถี่สูง และแรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลง จะถูกแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไดโอด และใช้อินดักเตอร์ ช่วยในการกรองกระแส ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ถูกยกให้มีระดับแรงดันที่สูงขึ้นจะถูกส่งต่อไปให้อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสเพื่อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันและความถี่ที่คงที่ก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อกับระบบ



รูปที่ 3.31 ระบบควบคุมกังหันลม [6]



รูปที่ 3.32 วงจรระบบควบคุมกังหันลม [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 ข้อมูลการศึกษาและออกแบบเพิ่มเติม

การศึกษาเกี่ยวกับกังหันลมที่มีในท้องตลาดหึ่งอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในระบบของกังหันลม และการออกแบบติดตั้ง มีหลายแบบแต่สำหรับการออกแบบที่ได้นำเสนอไปเป็นการออกแบบตามความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ติดตั้งและแผนงานของโครงการ Future Renewable Center ข้อมูลเพิ่มเติมนี้อาจใช้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการขยายโครงการในอนาคตหรือการนำไปศึกษาเพิ่มเติมสำหรับผู้สนใจเพื่อนำไปติดตั้งในพื้นที่อื่นๆต่อไป

#### 3.9.1 กังหันลมแกนตั้ง Helix Wind ขนาด 4.5 กิโลวัตต์ [14]

กังหันลมแกนตั้ง Helix Wind เป็นกังหันลมที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถรับลมได้จากทุกทิศทาง แม้ว่าจะมี Cut-in wind speed ที่สูงกว่ากังหันลมขนาดเดียวกันที่มีอยู่ในท้องตลาด แต่มี Rated wind speed ที่ต่ำกว่า หากนำไปติดตั้งในพื้นที่ที่มี Annual average wind speed ที่สูงก็จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพดีและมีกำลังผลิตที่ค่อนข้างเรียกว่า , เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบ Ultra reliable Low PRM Permanent magnet และ ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คนและนก

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติเฉพาะของกังหันลมแกนตั้ง Helix Wind S594 ขนาด 5 กิโลวัตต์ [14]

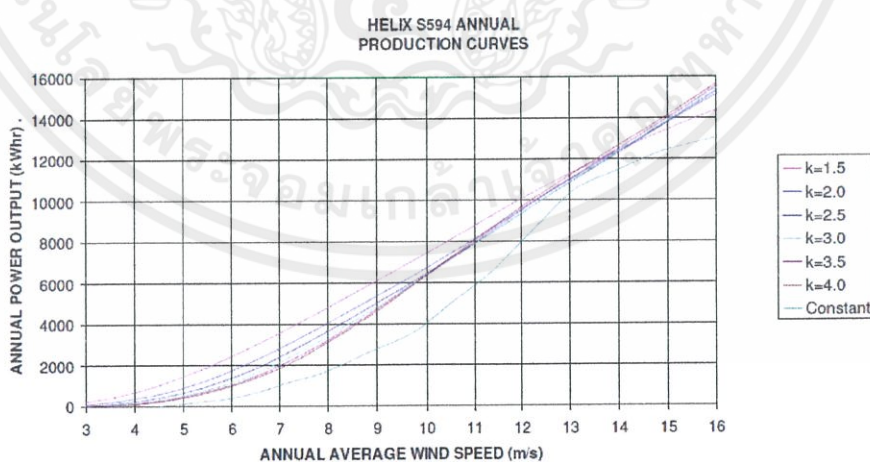
Specifications	Model:	Helix S594
	Swept Area	5.88m <sup>2</sup> (63.29 ft <sup>2</sup> )
	Rotor Dimensions	1.21 mW x 4.87mH (4 ft x 16 ft)
	Overall Height	6.0 m (19.8')
	Rotor Construction	Ultra tough Aluminum Alloy
	Type	Vertical axis helical Savonius rotor (VAWT)
	Generator	4.5 kW (peak) high efficiency Permanent Magnet Generator
	Cut-in Speed	5 m/s (11.1 MPH) *The lowest wind speed at which the turbine begins producing usable power.
	Optimal Annual Wind Speed	An average of 7 m/s (15.6 MPH) or greater
	Braking	No breaking needed for normal operation. Manual override for maintenance.
	Grid Connection	110 VAC – 240VAC, 50-60 Hz Grid Tied Inverter.
Tower Weight	Recommended 4.57m (15 ft) depending on obstructions. 605 kg (1330 lb)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่มีการนำไปใช้

Design Life	30 years
Monopole Tower	4.5m to 6.0m (15 ft to 20 ft) depending on obstructions
Warranty	5 year Limited Warranty.
Monopole Certifications	NOT INCLUDED
	Current List



รูปที่ 3.33 กังหันลมแกนตั้ง Helix Wind [14]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.34 Production curve ของกังหันลม Helix Wind [14] ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9.2 การติดตั้งกังหันลมบนอาคาร



รูปที่ 3.35 Roof top wind turbine

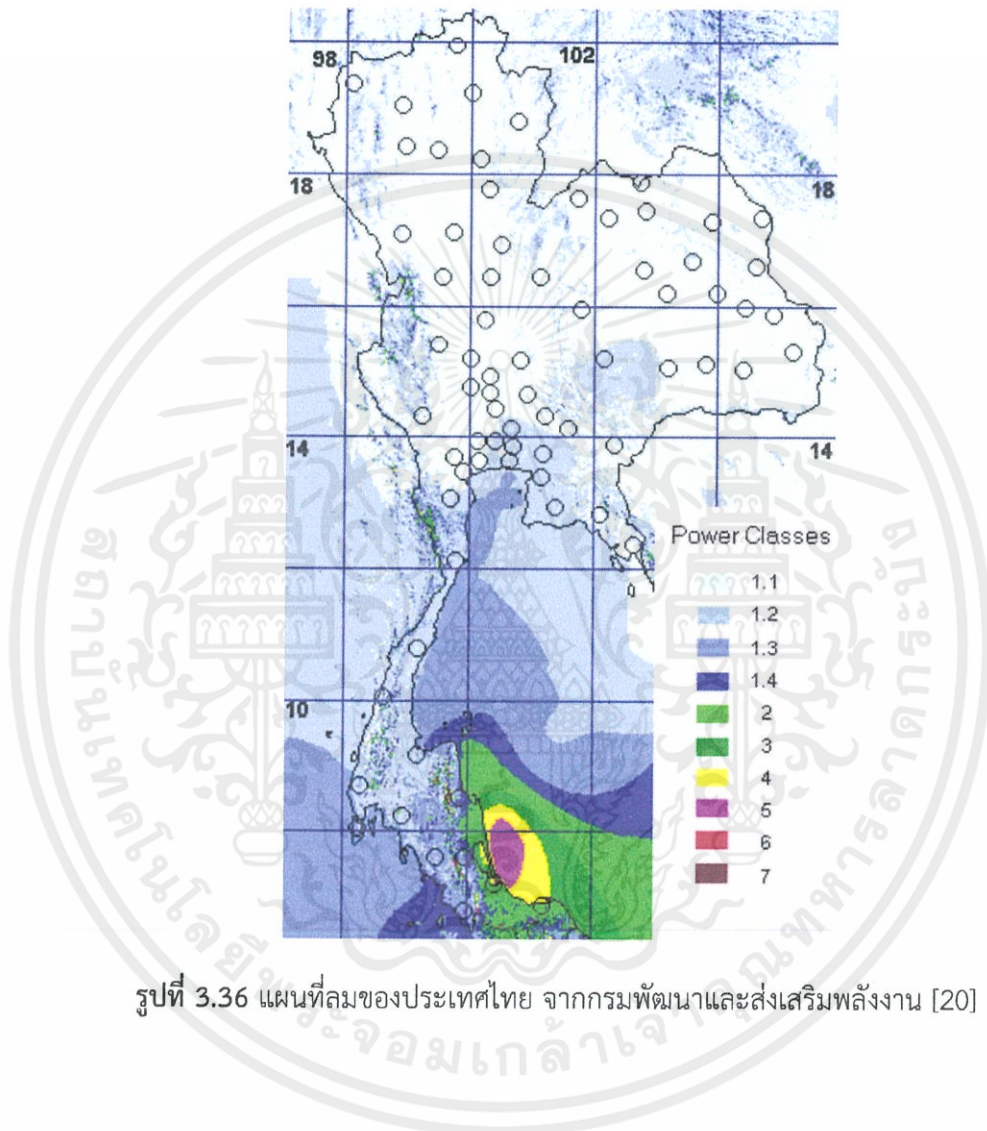
การติดตั้งกังหันลมบนอาคาร Roof top wind turbine จะช่วยประหยัดพื้นที่และประหยัดค่าใช้จ่ายที่สูงของ Tower หากเราติดตั้งบนพื้น ซึ่งความสูงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการออกแบบติดตั้งเนื่องจากความสูงในการติดตั้งกังหันลมมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมจะผลิตได้ แต่ในการติดตั้งกังหันลมบนอาคารมีเงื่อนไขและสิ่งที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

- การคงทนของพื้น เราต้องทำการตรวจสอบโครงสร้างของพื้น ความหนา อีกทั้ง material ของพื้นอาคารอีกด้วย
- noise ของกังหันลมที่จะนำมาติดตั้งบนอาคาร เนื่องจากอาจทำให้เกิดเสียงรบกวนสำหรับผู้อยู่อาศัยในอาคารได้ กังหันลมแกนตั้งจะเหมาะสมที่จะติดตั้งบนอาคารมากกว่ากังหันลมแกนนอนเนื่องจากมีเสียงรบกวนที่ต่ำกว่ากังหันลมแกนนอน
- vibration ของกังหันลมที่จะนำมาติดตั้งบนอาคาร เนื่องจากอาจทำให้เกิดการสั่นสำหรับรบกวนสำหรับผู้อยู่อาศัยในอาคาร อีกทั้งผลต่อโครงสร้างของอาคารอีกด้วย
- ความเข้ากันของกังหันลมกับอาคาร กังหันลมควรมีรูปลักษณ์ที่เข้ากันกับอาคาร

### 3.9.3 สถานที่ในประเทศไทยที่เหมาะสมต่อการติดตั้งกังหันลม [19]

แหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีของประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 6.4 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ที่ระดับความสูง 50 เมตร ในแถบภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสงขลา จังหวัดปัตตานี และที่อุทยานแห่งชาติตอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ อันเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และอีกแหล่งคือบริเวณเทือกเขาด้านทิศตะวันตกตั้งแต่ภาคใต้ตอนบนจรดภาคเหนือตอนล่างในจังหวัดเพชรบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดตาก อันเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนแหล่งที่มีศักยภาพรองลงมาจะมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ 4.4 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งที่มีศักยภาพลมสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม

สำหรับการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น นอกจากจะต้องพิจารณาถึงศักยภาพของแรงลมบริเวณพื้นที่ติดตั้งแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของกังหันลมที่นำมาใช้ติดตั้งด้วย เนื่องจากศักยภาพแรงลมของประเทศไทยนั้นจะไม่เหมาะกับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ ทางเลือกที่เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมของประเทศไทยจึงควรเป็นระบบขนาดเล็กในช่วงกำลังระดับกิโลวัตต์ที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

พิจารณากังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 5 กิโลวัตต์ เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้งกังหันลม พิจารณาทั้งกังหันลมแนวแกนนอน และแนวแกนตั้ง การพิจารณาเลือกกังหันลมมีเงื่อนไขโดย ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าในความเร็วลมของพื้นที่ติดตั้ง อุปกรณ์ที่ประกอบร่วมกับกังหันในระบบ คุณภาพของอุปกรณ์ มาตรฐานของกังหันลม ราคาของกังหันลม และรูปร่างความเหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้ง

พิจารณาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมโดยการเปรียบ Capacity Factor ของกังหันลม แต่ละตัวที่จะนำมาติดตั้งในพื้นที่ Future Renewable Center สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ Wind Cap ใช้ค่า  $c$ ,  $k$  จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางสถิติหลักการ Weibull Distribution

### 4.1 Weibull Distribution [21]

การวิเคราะห์ความเร็วลมโดยใช้วิธีการ Weibull Distribution วิธีการนี้จะแยกออกเป็น 2 ลักษณะฟังก์ชัน คือ

1) The probability density function

The probability density function ( $f(V)$ ) เป็นตัวบ่งชี้แสดงความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วลมที่ค่าความเร็วลมที่กำหนด มีสมการ คือ

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $k$  คือ Weibull shape factor  
 $c$  คือ Scale factor

2) The cumulative distribution function

The cumulative distribution function ( $F(V)$ ) เป็นตัวบ่งชี้แสดงความน่าจะเป็นที่ความเร็วลมจะเท่ากับหรือน้อยกว่าความเร็วลมที่กำหนด ดังนั้น the cumulative distribution function ( $F(V)$ ) จึงเท่ากับผลการอินทิกรัลของ the probability density function ( $f(V)$ ) มีสมการ คือ

$$F(V) = \int_0^\infty f(V)dV = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4.2)$$

การหาค่า  $k$  และค่า  $c$  ของ Weibull distribution

จากสมการ cumulative distribution function (สมการที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1 - F(V) = e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4.3)$$

ทำการ Take the logarithm ทั้งสองข้างสองครั้ง

$$\ln\{-\ln[1 - F(V)]\} = k\ln(V_i) - k\ln c \quad (4.4)$$

Plot กราฟความสัมพันธ์ของสมการที่ (4) แล้วทำการ fitting curve ให้ได้สมการเชิงเส้นอยู่ในรูป  $y = mx + c$  แล้วทำการหาค่า  $k$  และค่า  $c$  โดยเทียบสมการเส้นตรงที่ได้กับสมการที่ (4) ตัวอย่างการหาค่า  $k$  และ  $c$

ข้อมูลความเร็วลมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

รหัสสถานี-สถานี-จังหวัด	วันที่	เวลาทำการตรวจ								
		0100	0400	0700	1000	1300	1600	1900	2200	เฉลี่ย
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	1/1/2011	3	2	2	9	8	7	3	5	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	2/1/2011	3	2	4	10	9	6	5	4	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	3/1/2011	4	4	3	7	3	5	5	6	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	4/1/2011	5	3	3	6	7	8	4	8	6
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	5/1/2011	0	3	6	9	11	9	10	7	7
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	6/1/2011	4	5	6	12	14	8	9	13	9
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	7/1/2011	12	7	6	14	10	9	6	5	9
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	8/1/2011	10	6	7	11	9	11	6	7	8
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	9/1/2011	11	5	3	9	9	9	5	3	7
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	10/1/2011	8	6	9	13	9	4	5	4	7
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	11/1/2011	3	2	4	10	9	5	8	5	6
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	12/1/2011	5	0	7	4	6	7	8	6	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	13/1/2011	7	4	6	7	10	7	5	5	6
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	14/1/2011	6	3	5	9	8	4	4	4	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	15/1/2011	4	2	5	8	11	6	4	5	6
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	16/1/2011	8	7	10	12	12	13	9	9	10
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	17/1/2011	8	5	6	8	9	5	4	8	7
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	18/1/2011	9	5	4	8	8	7	3	3	6
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	19/1/2011	6	4	3	6	7	5	2	5	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	20/1/2011	6	3	5	2	6	6	4	3	4
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	21/1/2011	4	3	3	6	7	7	3	4	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	22/1/2011	4	2	5	10	10	6	6	6	6
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	23/1/2011	3	4	3	8	10	5	3	4	5
429601-สนามบินสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	24/1/2011	6	3	3	8	8	7	8	2	6

รูปที่ 4.1 ความเร็วลม(ม็อด)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	1/1/2012	3	4	6	8	8	5	4	5	5
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	2/1/2012	6	6	7	13	12	9	7	3	8
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	3/1/2012	3	3	3	3	8	6	8	7	5
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	4/1/2012	7	4	3	5	7	4	5	5	5
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	5/1/2012	3	3	3	2	3	3	2	3	3
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	6/1/2012	2	0	3	6	6	4	6	3	4
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	7/1/2012	0	0	3	10	11	8	5	9	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	8/1/2012	5	5	3	8	8	7	5	8	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	9/1/2012	7	6	5	10	4	9	4	7	7
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	10/1/2012	3	4	4	8	8	9	7	4	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	11/1/2012	4	4	4	8	8	7	9	6	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	12/1/2012	4	5	6	11	9	10	8	4	7
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	13/1/2012	3	4	6	8	8	6	8	5	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	14/1/2012	5	3	4	4	5	2	2	3	4
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	15/1/2012	5	3	2	4	10	8	7	5	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	16/1/2012	5	2	2	3	3	6	4	4	4
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	17/1/2012	5	4	3	5	5	6	8	4	5
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	18/1/2012	4	2	3	5	7	11	8	10	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	19/1/2012	10	2	0	4	7	8	12	5	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	20/1/2012	4	3	2	5	6	14	10	8	7
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	21/1/2012	8	0	4	3	7	9	3	6	5
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	22/1/2012	7	3	3	5	9	10	8	5	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	23/1/2012	5	3	3	5	9	10	8	5	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	24/1/2012	9	6	6	6	11	8	8	8	8
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	25/1/2012	8	4	4	5	7	8	8	7	6
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	26/1/2012	3	0	4	6	6	5	5	7	5
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	27/1/2012	4	3	6	3	3	3	6	5	4

รูปที่ 4.2 ความเร็วลม(น็อต)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2012

รหัสสถานี-สถานี-จังหวัด	วันที่	เวลาทำการตรวจ								
		0100	0400	0700	1000	1300	1600	1900	2200	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	1/1/2011	20	30	30	70	40	50	350	330	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	2/1/2011	60	60	70	80	80	100	360	10	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	3/1/2011	40	10	70	70	70	90	350	330	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	4/1/2011	350	50	350	90	90	90	30	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	5/1/2011	0	340	80	60	80	80	50	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	6/1/2011	360	360	10	90	80	70	70	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	7/1/2011	70	100	90	80	70	50	60	70	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	8/1/2011	60	90	70	60	40	70	360	30	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	9/1/2011	70	40	330	70	80	70	360	350	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	10/1/2011	70	90	90	70	60	350	340	10	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	11/1/2011	100	30	80	90	100	110	70	350	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	12/1/2011	330	0	350	110	120	50	70	70	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	13/1/2011	80	60	50	60	90	80	30	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	14/1/2011	100	20	60	100	60	140	310	200	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	15/1/2011	280	310	70	80	70	100	80	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	16/1/2011	70	60	100	90	70	70	50	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	17/1/2011	70	90	70	70	60	50	30	60	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	18/1/2011	70	90	20	80	80	70	340	10	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	19/1/2011	10	320	10	90	70	80	70	330	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	20/1/2011	110	100	20	60	110	80	330	330	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	21/1/2011	20	70	300	90	90	10	340	340	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	22/1/2011	350	70	80	80	70	60	10	350	
429601-สนามบึงสุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ	23/1/2011	70	90	90	60	60	60	60	20	

รูปที่ 4.3 ทิศทางลม(องศา)รายสามชั่วโมงบางส่วนจากกรมอุตุนิยมวิทยาของปี 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 4.2 การวิเคราะห์พลังงานจากลม [21]

ความหนาแน่นของพลังงานลม (Wind Energy density ;ED)หาได้จาก

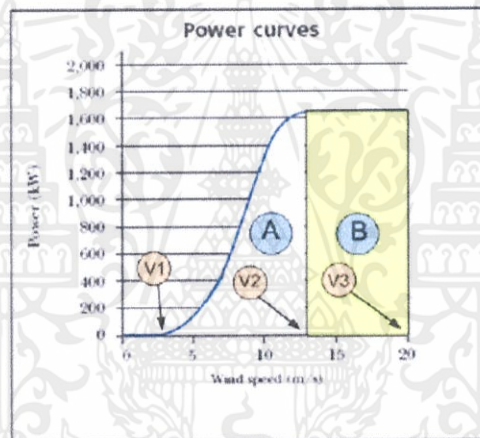
$$E_D = \int_0^\alpha Pvf(V)dV \quad (4.5)$$

เมื่อทราบค่า ED ก็สามารถหาค่าพลังงานทั้งหมดตลอดช่วงเวลา (Energy available over a period ; EI) ได้จาก

$$E_I = TE_D \quad (4.6)$$

เมื่อ T หน่วยเป็นชั่วโมง ดังนั้นถ้า T = 24 ก็แสดงถึงการผลิตพลังงานในแต่ละวัน

กราฟการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลม



รูปที่ 4.5 Power curve ของกังหันลม

พิจารณาพื้นที่ A เขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าได้เป็น

$$Pv = aV^n + b \quad (4.7)$$

ที่จุด V1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ (7) จะได้

$$aPV1^n + b = P_R \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า a และ b จากสมการที่ (7), (8) แทนใน (6) จะได้

$$Pv = P_R \left( \frac{V^n - V_1^n}{V_2^n - V_1^n} \right) \quad (4.9)$$

พลังงานที่ได้จากกังหันลมจะเท่ากับผลคูณของกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตออกมาได้กับเวลา จากรูปที่ผ่านมาระหว่างเราสามารถหาพลังงานไฟฟ้าที่กังหันผลิตได้โดยแบ่งเป็นสอง พื้นที่ คือ A และ B ตามสมการต่อไปนี้

$$E_A = T \int_{V_1}^{V_2} Pvf(V)dV \quad (\text{พลังงานที่ผลิตได้ในพื้นที่ A}) \quad (4.10)$$

$$E_B = TP_R \int_{V_2}^{V_3} f(V)dV \quad (\text{พลังงานที่ผลิตได้ในพื้นที่ B}) \quad (4.11)$$

ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดที่กังหันลมผลิตได้จะเท่ากับ

$$E_T = E_A + E_B \quad (4.12)$$

Capacity factor

คือ อัตราส่วนของพลังงานที่กังหันลมผลิตออกมาได้จริงต่อพลังงานที่ปกติที่กังหันลมตัวนั้นผลิตได้

$$C_F = \frac{E_T}{TP_R} \quad (4.13)$$

โดยปกติค่า Capacity factor จะคิดเป็นความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยที่ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.4 ซึ่งถ้าสถานที่ติดตั้งกังหันลมมี Capacity factor มากกว่า 0.4 แสดงว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมมีประสิทธิภาพสูง

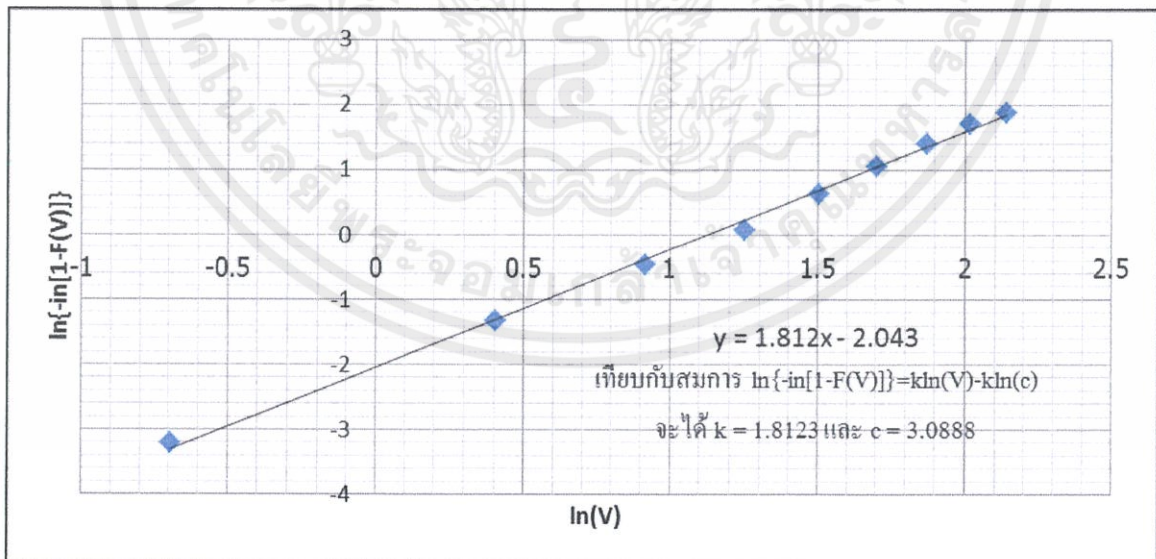
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสถิติความถี่ของการเกิดความเร็วลม เป็นการคำนวณโอกาสที่จะเกิดความเร็วลมที่กำหนดมา วิเคราะห์และพล็อตกราฟ เพื่อหาค่า  $k$  และ  $c$  แล้วนำค่า  $k$  และ  $c$  ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากตัว กังหันลมที่พิจารณาโดยใช้โปรแกรม Wind cap ช่วยคำนวณทางสถิติ โดยใช้วิธี Weibull distribution

#### 4.2.1 ช่วงเวลา 01:00 น.

ตารางที่ 4.2 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 01:00 น.

m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln[-ln[1-F(V)]]
จาก 0-1	87	87	0.039671683	0.039671683	-0.69315	-3.206945868
จาก 1-2	426	513	0.194254446	0.233926129	0.405465	-1.322468557
จาก 2-3	507	1020	0.23119015	0.465116279	0.916291	-0.468874826
จาก 3-4	426	1446	0.194254446	0.659370725	1.252763	0.074142781
จาก 4-5	414	1860	0.18878249	0.848153215	1.504077	0.633865888
จาก 5-6	210	2070	0.095759234	0.943912449	1.704748	1.058082404
จาก 6-7	84	2154	0.038303694	0.982216143	1.871802	1.393633395
จาก 7-8	30	2184	0.013679891	0.995896033	2.014903	1.703984394
จาก 8-9	6	2190	0.002735978	0.998632011	2.140066	1.886222887
จาก 9-10	3	2193	0.001367989	1	2.251292	#NUM!
จาก 10-11	0	2193	0	1	2.351375	#NUM!
จาก 11-12	0	2193	0	1	2.442347	#NUM!
จาก 12-13	0	2193	0	1	2.525729	#NUM!
จาก 13-14	0	2193	0	1	2.60269	#NUM!
จาก 14-15	0	2193	0	1	2.674149	#NUM!
จาก 15-16	0	2193	0	1	2.74084	#NUM!
จาก 16-17	0	2193	0	1	2.80336	x



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.6 fitting curve เพื่อหาค่า  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 01:00 น. ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wind Turbine - [Wind]

Duration: 2193

Wind Turbine:  New Wind Turbine Fixed Speed

Input Data: Height 10, Hub height 20, Roughness length 0.1, k=1.8123, c=3.0939

Fixed Speed	m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW
1	0	8	3	15	7.85	21	6.2	
2	0	9	4.1	16	7.4	22	6.2	
3	0.17	10	5.192	17	7.2	23	6.2	
4	0.46	11	6	18	6.9	24	6.2	
5	0.93	12	6.7	19	6.4	25	0	
6	1.463	13	7.2	20	6.2	26	0	
7	2.21	14	7.5					

Result: Energy Production = 5800 kWh, Capacity Factor = 0.0157 %

รูปที่ 4.7 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 01:00 น.

Wind Turbine - [Wind]

Duration: 2193

Wind Turbine:  New Wind Turbine Variable Speed

Input Data: Height 10, Hub height 20, Roughness length 0.1, k=1.8123, c=3.0688

Variable Speed	m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW
1	0	8	3	15	6.3	21	6.3	
2	0.1	9	4.0	16	6.3	22	6.3	
3	0.250	10	5.0	17	6.3	23	6.3	
4	0.6	11	5.5	18	6.3	24	6.3	
5	0.8	12	6.0	19	6.3	25	0	
6	1.3	13	6.2	20	6.3	26	0	
7	2.2	14	6.3					

Result: Energy Production = 1029.159 kWh, Capacity Factor = 0.3351 %

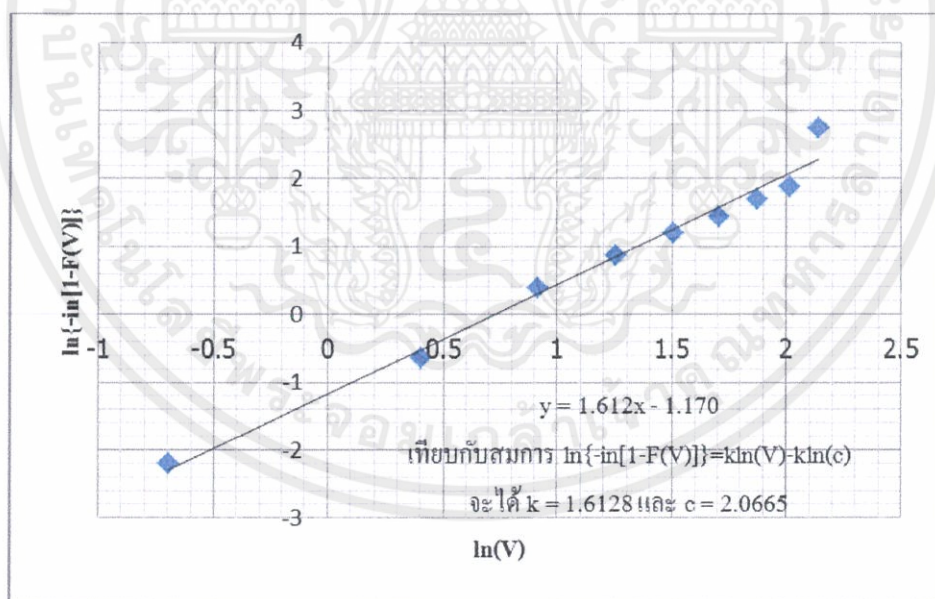
รูปที่ 4.8 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 01:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2 ช่วงเวลา 04:00 น.

ตารางที่ 4.3 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 04:00 น.

m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln{-ln[1-F(V)]}
จาก 0-1	231	231	0.105335157	0.105335	-0.693147181	-2.195472721
จาก 1-2	669	900	0.30506156	0.41039656	0.405465108	-0.638081316
จาก 2-3	786	1686	0.358413133	0.768809692	0.916290732	0.381523491
จาก 3-4	303	1989	0.138166895	0.906976587	1.252762968	0.864957042
จาก 4-5	126	2115	0.05745554	0.964432127	1.504077397	1.204866155
จาก 5-6	45	2160	0.020519836	0.984951963	1.704748092	1.434252687
จาก 6-7	24	2184	0.010943912	0.995895876	1.871802177	1.703977402
จาก 7-8	6	2190	0.002735978	0.998631854	2.014903021	1.886205407
จาก 8-9	3	2193	0.001367989	0.999999843	2.140066163	2.751428407
จาก 9-10	0	2193	0	0.999999843	2.251291799	2.751428407
จาก 10-11	0	2193	0	0.999999843	2.351375257	2.751428407
จาก 11-12	0	2193	0	0.999999843	2.442347035	2.751428407
จาก 12-13	0	2193	0	0.999999843	2.525728644	2.751428407
จาก 13-14	0	2193	0	0.999999843	2.602689685	2.751428407
จาก 14-15	0	2193	0	0.999999843	2.674148649	2.751428407
จาก 15-16	0	2193	0	0.999999843	2.740840024	2.751428407
จาก 16-17	0	2193	0	0.999999843	2.803360381	x

รูปที่ 4.9 fitting curve เพื่อหา  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 04:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wind Turbine - [Wind]

Duration (h): 2193

Wind Turbine:  Wind Turbine from Data  New Wind Turbine Variable Speed  New Wind Turbine Fixed Speed

New Wind Turbine: Rated Power (kW): 5

Variable Speed		Fixed Speed					
m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW		
0	0	3	15	7.65	21	6.2	
2	0	3	4.1	16	7.4	22	6.2
3	0.17	10	15.152	17	7.2	23	6.2
4	0.46	11	6	18	6.9	24	6.2
5	0.93	12	6.7	19	6.4	25	0
6	1.463	13	7.2	20	6.2	26	0
7	2.21	14	7.5				

Input Data: Height: 10 m, Roughness length: 0.1 m, Hub height: 20 m, k: 1.6120, c: 2.0665

Rayleigh Graph: f(v) vs v(m/s)

Result: Energy Production = 357.755 kWh, Capacity Factor = 3.2073 %

รูปที่ 4.10 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 04:00 น.

Wind Turbine - [Wind]

Duration (h): 2193

Wind Turbine:  Wind Turbine from Data  New Wind Turbine Variable Speed  New Wind Turbine Fixed Speed

New Wind Turbine: Rated Power (kW): 5

Variable Speed		Fixed Speed					
m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW		
0	0	3	15	6.3	21	6.3	
2	0.1	9	4.0	16	6.3	22	6.3
3	0.250	10	6.0	17	6.3	23	6.3
4	0.5	11	5.5	18	6.3	24	6.3
5	0.8	12	6.0	19	6.3	25	0
6	1.3	13	6.2	20	6.3	26	0
7	2.2	14	6.3				

Input Data: Height: 10 m, Roughness length: 0.1 m, Hub height: 20 m, k: 1.6128, c: 2.0665

Rayleigh Graph: f(v) vs v(m/s)

Result: Energy Production = 434.3363 kWh, Capacity Factor = 3.9511 %

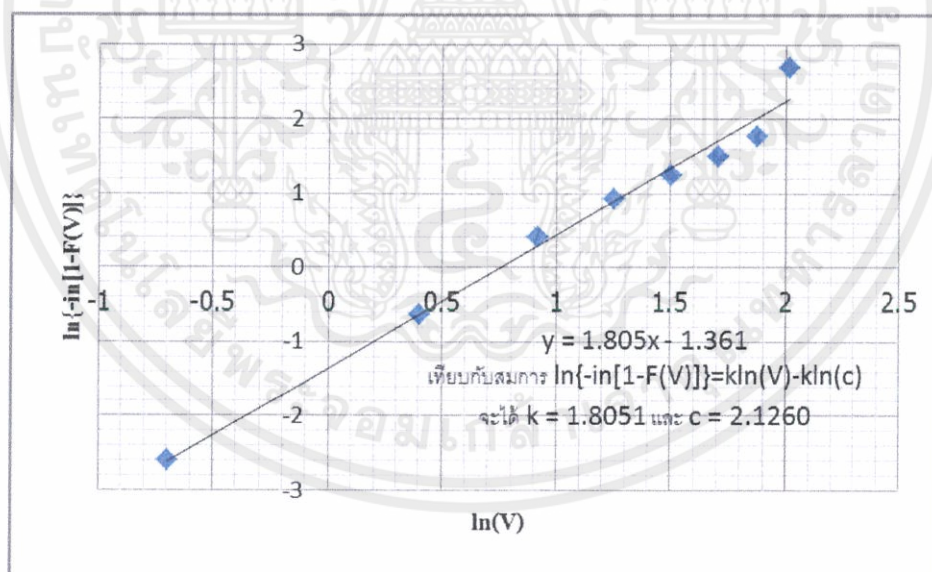
รูปที่ 4.11 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 04:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.3 ช่วงเวลา 07:00 น.

ตารางที่ 4.4 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 07:00 น.

m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln[-ln[1-F(V)]]
จาก 0-1	156	156	0.071135431	0.071135	-0.693147181	-2.606506739
จาก 1-2	744	900	0.339261286	0.410396286	0.405465108	-0.638082194
จาก 2-3	804	1704	0.366621067	0.777017353	0.916290732	0.405905895
จาก 3-4	315	2019	0.143638851	0.920656204	1.252762968	0.929785277
จาก 4-5	108	2127	0.049247606	0.96990381	1.504077397	1.253721563
จาก 5-6	42	2169	0.019151847	0.989055657	1.704748092	1.507390246
จาก 6-7	18	2187	0.008207934	0.997263591	1.871802177	1.775140264
จาก 7-8	6	2193	0.002735978	0.999999569	2.014903021	2.68494201
จาก 8-9	0	2193	0	0.999999569	2.140066163	2.68494201
จาก 9-10	0	2193	0	0.999999569	2.251291799	2.68494201
จาก 10-11	0	2193	0	0.999999569	2.351375257	2.68494201
จาก 11-12	0	2193	0	0.999999569	2.442347035	2.68494201
จาก 12-13	0	2193	0	0.999999569	2.525728644	2.68494201
จาก 13-14	0	2193	0	0.999999569	2.602689685	2.68494201
จาก 14-15	0	2193	0	0.999999569	2.674148649	2.68494201
จาก 15-16	0	2193	0	0.999999569	2.740840024	2.68494201
จาก 16-17	0	2193	0	0.999999569	2.803360381	x

รูปที่ 4.12 fitting curve เพื่อหา  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 07:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wind Turbine - [Wind]

File Help

Duration: Duration (h) 2193 Hint Enter

Wind Turbine:
 

- Wind Turbine from Data
- New Wind Turbine Variable Speed Back
- New Wind Turbine Fixed Speed Hint Enter

New Wind Turbine:
 

- Rated Power (kW) 5
- Variable Speed:
 

Date Speed		Fixed Speed	
m/s	kW	m/s	kW
1	0	3	15
2	0	9	4.1
3	0.17	10	5.152
4	0.46	11	6
5	0.93	12	6.7
6	1.463	13	7.2
7	2.21	14	7.5
- Wind Turbine name
- Cut-in Velocity (m/s)
- Rated Velocity (m/s)
- Cut-out Velocity (m/s)
- n
- Back Enter Save

Distribution:
 

- Weibull
- Rayleigh Hint Back Enter

Weibull:
 

- Weibull "k" and "c" Site Wind Data Back Enter

Input Data:
 

- Height 10 m Roughness length 0.1 m
- Hub height 20 m Hint
- k = 1.8051 c = 2.1260 Back Calculate

Rayleigh Graph:

Result:
 

- Energy Production = 325.8373 kWh
- Capacity Factor = 2.9716 % Back Exit

รูปที่ 4.13 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 07:00 น.

Wind Turbine - [Wind]

File Help

Duration: Duration (h) 2193 Hint Enter

Wind Turbine:
 

- Wind Turbine from Data
- New Wind Turbine Variable Speed Back
- New Wind Turbine Fixed Speed Hint Enter

New Wind Turbine:
 

- Rated Power (kW) 5
- Variable Speed:
 

Date Speed		Fixed Speed	
m/s	kW	m/s	kW
1	0	3	15
2	0.1	9	4.0
3	0.290	10	5.0
4	0.6	11	6.3
5	0.8	12	6.0
6	1.3	13	6.2
7	2.2	14	6.3
- Wind Turbine name
- Cut-in Velocity (m/s)
- Rated Velocity (m/s)
- Cut-out Velocity (m/s)
- n
- Back Enter Save

Distribution:
 

- Weibull
- Rayleigh Hint Back Enter

Weibull:
 

- Weibull "k" and "c" Site Wind Data Back Enter

Input Data:
 

- Height 10 m Roughness length 0.1 m
- Hub height 20 m Hint
- k = 1.8051 c = 2.1260 Back Calculate

Rayleigh Graph:

Result:
 

- Energy Production = 418.0615 kWh
- Capacity Factor = 3.8199 % Back Exit

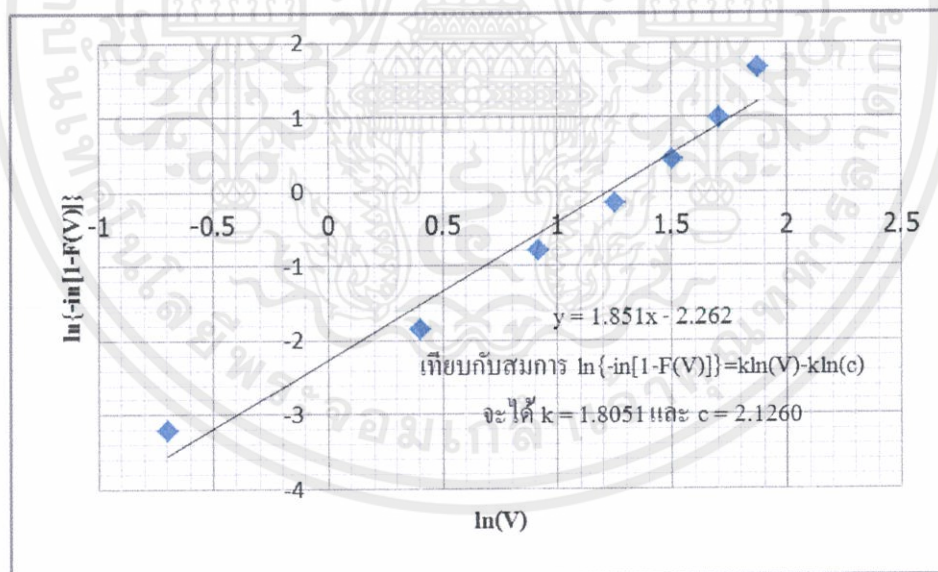
รูปที่ 4.14 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 07:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.4 ช่วงเวลา 10:00 น.

ตารางที่ 4.5 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 10:00 น.

m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln{-ln[1-F(V)]}
จาก 0-1	18	18	0.008207934	0.039671683	-0.693147181	-3.206945868
จาก 1-2	231	249	0.105335157	0.14500684	0.405465108	-1.853665871
จาก 2-3	480	729	0.218878249	0.363885089	0.916290732	-0.793241466
จาก 3-4	465	1194	0.212038304	0.575923393	1.252762968	-0.153336321
จาก 4-5	459	1653	0.209302326	0.785225719	1.504077397	0.430591874
จาก 5-6	318	1971	0.14500684	0.930232559	1.704748092	0.979298519
จาก 6-7	141	2112	0.064295486	0.994528044	1.871802177	1.650218786
จาก 7-8	54	2166	0.024623803	1.019151847	2.014903021	#NUM!
จาก 8-9	15	2181	0.006839945	1.025991792	2.140066163	#NUM!
จาก 9-10	9	2190	0.004103967	1.03009576	2.251291799	#NUM!
จาก 10-11	3	2193	0.001367989	1.031463749	2.351375257	#NUM!
จาก 11-12	0	2193	0	1.031463749	2.442347035	#NUM!
จาก 12-13	0	2193	0	1.031463749	2.525728644	#NUM!
จาก 13-14	0	2193	0	1.031463749	2.602689685	#NUM!
จาก 14-15	0	2193	0	1.031463749	2.674148649	#NUM!
จาก 15-16	0	2193	0	1.031463749	2.740840024	#NUM!
จาก 16-17	0	2193	0	1.031463749	2.803360381	x



รูปที่ 4.15 fitting curve เพื่อหา c , k ของช่วงเวลา 10:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wind Turbine - [Wind]

File Help

Duration: Duration (h) [2193] Hint Enter

Wind Turbine:
 

- Wind Turbine from Data
- New Wind Turbine Variable Speed Back
- New Wind Turbine Fixed Speed Hint Enter

New Wind Turbine:
 

- Rated Power (kW) [5]
- Variable Speed:
  - Wind Turbine name
  - Cut-in Velocity (m/s)
  - Rated Velocity (m/s)
  - Cut-out Velocity (m/s)
  - n
- Fixed Speed:
 

m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW
1	0	8	3	15	7.65	21	6.2
2	0	9	4.1	16	7.4	22	6.2
3	0.17	10	5.152	17	7.2	23	6.2
4	0.46	11	6	18	6.9	24	6.2
5	0.93	12	6.7	19	6.4	25	0
6	1.463	13	7.2	20	6.2	26	0
7	2.21	14	7.5				

Distribution:
 

- Weibull
- Rayleigh Hint Back Enter

Weibull:
 

- Weibull "k" and "c"
- Site Wind Data Back Enter

Input Data:
 

- Height [10] m Roughness length [0.1] m
- Hub height [20] m Hint
- k = [1.8513] c = [3.3940] Back Calculate

Rayleigh Graph:

Result:
 

- Energy Production = [1252.266] kWh
- Capacity Factor = [11.420] % Back Exit

รูปที่ 4.16 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 10:00 น.

Wind Turbine - [Wind]

File Help

Duration: Duration (h) [2193] Hint Enter

Wind Turbine:
 

- Wind Turbine from Data
- New Wind Turbine Variable Speed Back
- New Wind Turbine Fixed Speed Hint Enter

New Wind Turbine:
 

- Rated Power (kW) [5]
- Variable Speed:
  - Wind Turbine name
  - Cut-in Velocity (m/s)
  - Rated Velocity (m/s)
  - Cut-out Velocity (m/s)
  - n
- Fixed Speed:
 

m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW	m/s	kW
1	0	8	3	15	6.3	21	6.3
2	0.1	9	4.0	16	6.3	22	6.3
3	0.250	10	5.0	17	6.3	23	6.3
4	0.5	11	5.5	18	6.3	24	6.3
5	0.8	12	6.0	19	6.3	25	0
6	1.3	13	6.2	20	6.3	26	0
7	2.2	14	6.3				

Distribution:
 

- Weibull
- Rayleigh Hint Back Enter

Weibull:
 

- Weibull "k" and "c"
- Site Wind Data Back Enter

Input Data:
 

- Height [10] m Roughness length [0.1] m
- Hub height [20] m Hint
- k = [1.8513] c = [3.3940] Back Calculate

Rayleigh Graph:

Result:
 

- Energy Production = [1274.317] kWh
- Capacity Factor = [11.621] % Back Exit

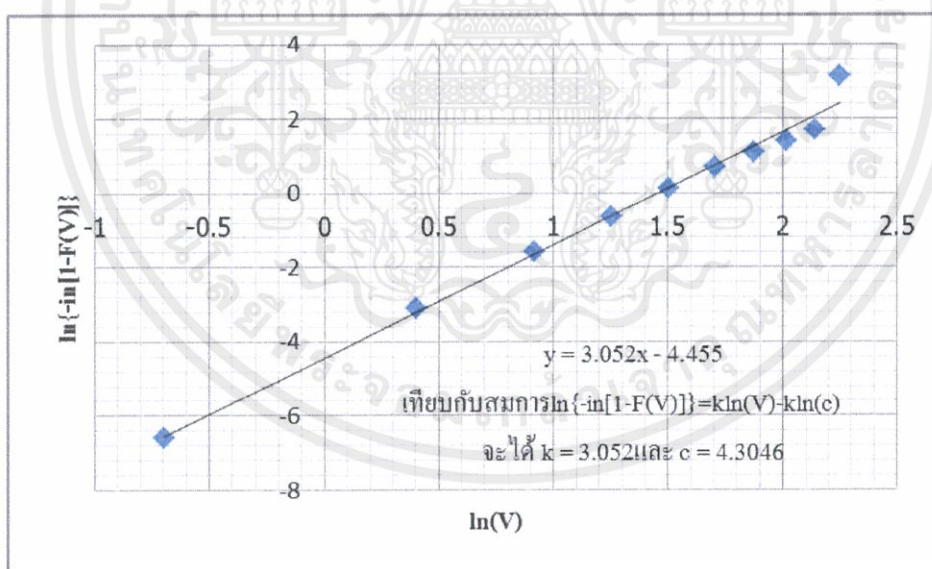
รูปที่ 4.17 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 10:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

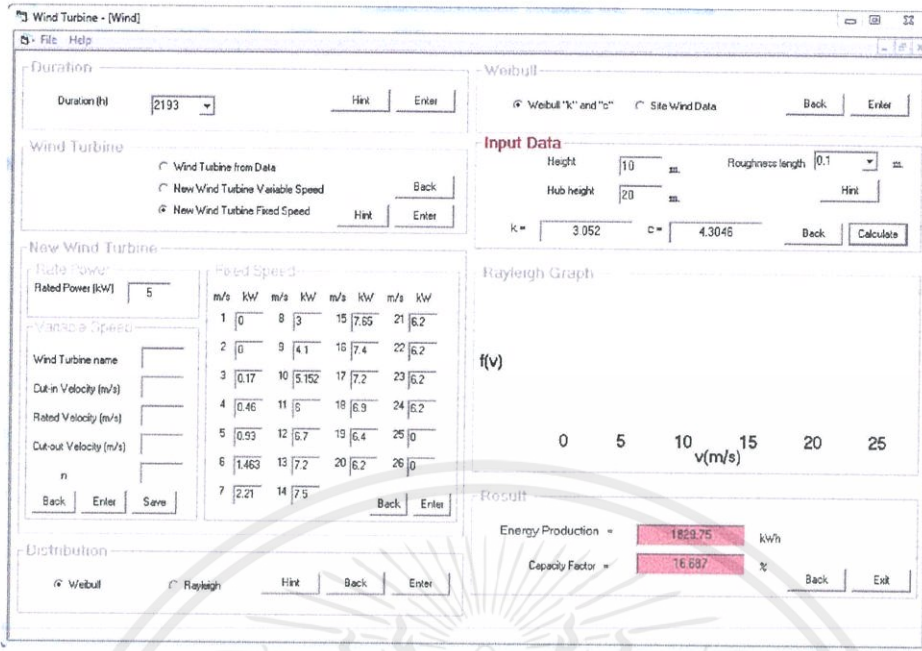
## 4.2.5 ช่วงเวลา 13:00 น.

ตารางที่ 4.6 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 13:00 น.

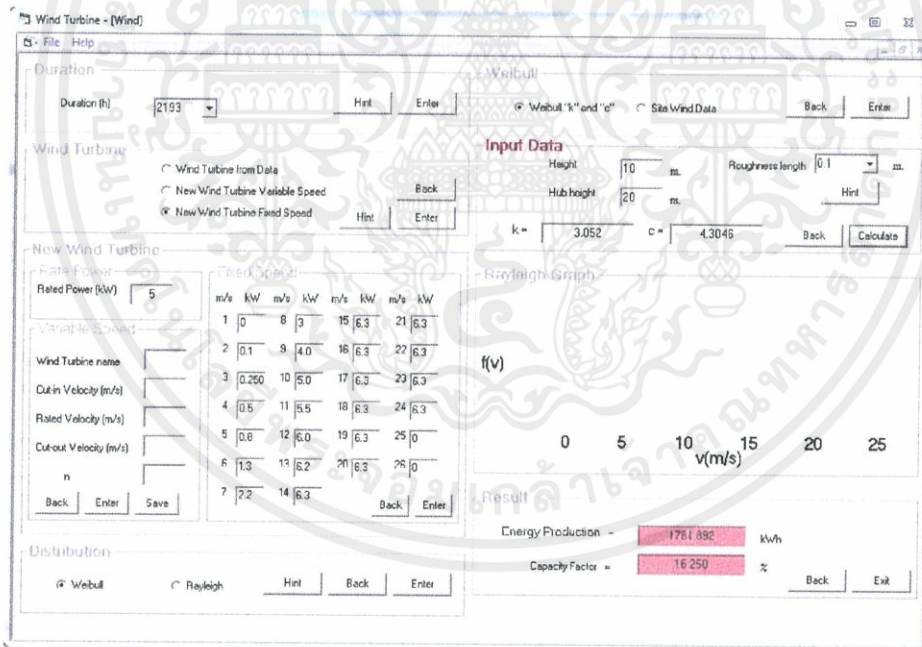
m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln{-ln[1-F(V)]}
จาก 0-1	3	3	0.001367989	0.001367989	-0.693147181	-6.593729116
จาก 1-2	93	96	0.042407661	0.04377565	0.405465108	-3.106379686
จาก 2-3	309	405	0.140902873	0.184678523	0.916290732	-1.588788621
จาก 3-4	480	885	0.218878249	0.403556771	1.252762968	-0.660155024
จาก 4-5	609	1494	0.277701778	0.68125855	1.504077397	0.13398442
จาก 5-6	402	1896	0.183310534	0.864569083	1.704748092	0.692793923
จาก 6-7	186	2082	0.084815321	0.949384405	1.871802177	1.093095615
จาก 7-8	75	2157	0.034199726	0.983584131	2.014903021	1.413303023
จาก 8-9	27	2184	0.012311902	0.995896033	2.140066163	1.703984375
จาก 9-10	9	2193	0.004103967	1	2.251291799	3.161420879
จาก 10-11	0	2193	0	1	2.351375257	3.161420879
จาก 11-12	0	2193	0	1	2.442347035	3.161420879
จาก 12-13	0	2193	0	1	2.525728644	3.161420879
จาก 13-14	0	2193	0	1	2.602689685	3.161420879
จาก 14-15	0	2193	0	1	2.674148649	3.161420879
จาก 15-16	0	2193	0	1	2.740840024	3.161420879
จาก 16-17	0	2193	0	1	2.803360381	x

รูปที่ 4.18 fitting curve เพื่อหา  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 13:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 13:00 น.



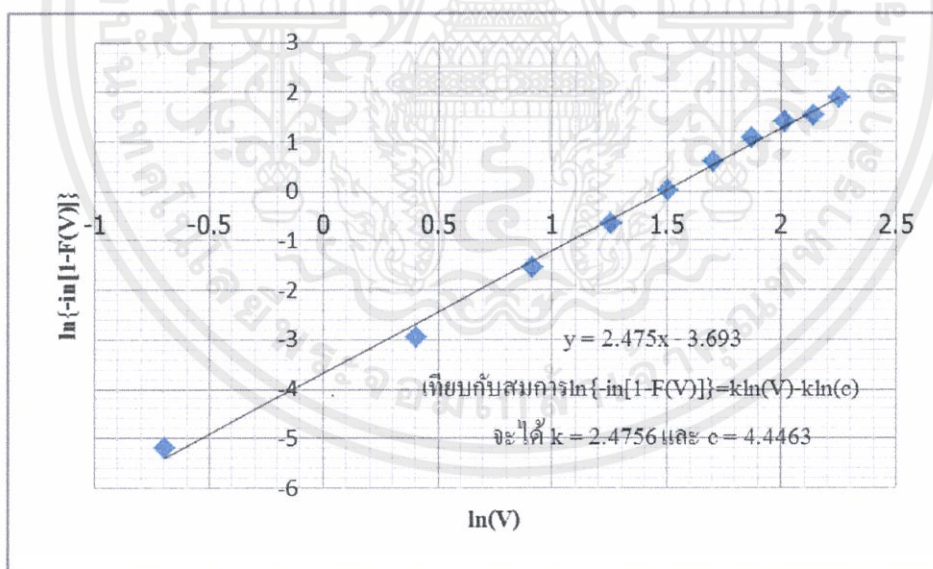
รูปที่ 4.20 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 13:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.6 ช่วงเวลา 16:00 น.

ตารางที่ 4.7 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 16:00 น.

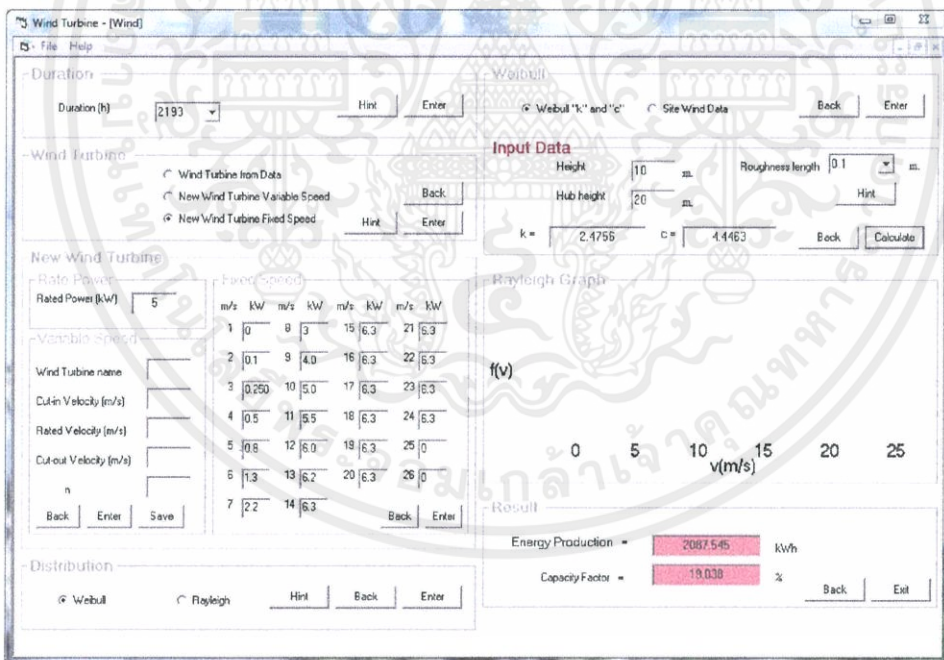
m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln[-ln[1-F(V)]]
จาก 0-1	12	12	0.005471956	0.005472	-0.693147181	-5.20536884
จาก 1-2	99	111	0.045143639	0.050615639	0.405465108	-2.957636321
จาก 2-3	315	426	0.143638851	0.19425449	0.916290732	-1.532535528
จาก 3-4	462	888	0.210670315	0.404924804	1.252762968	-0.655721342
จาก 4-5	510	1398	0.23255814	0.637482944	1.504077397	0.014576992
จาก 5-6	447	1845	0.203830369	0.841313313	1.704748092	0.61021305
จาก 6-7	228	2073	0.103967168	0.945280482	1.871802177	1.066617472
จาก 7-8	81	2154	0.036935705	0.982216186	2.014903021	1.393634001
จาก 8-9	18	2172	0.008207934	0.99042412	2.140066163	1.536546283
จาก 9-10	18	2190	0.008207934	0.998632055	2.251291799	1.886227698
จาก 10-11	3	2193	0.001367989	1.000000044	2.351375257	#NUM!
จาก 11-12	0	2193	0	1.000000044	2.442347035	#NUM!
จาก 12-13	0	2193	0	1.000000044	2.525728644	#NUM!
จาก 13-14	0	2193	0	1.000000044	2.602689685	#NUM!
จาก 14-15	0	2193	0	1.000000044	2.674148649	#NUM!
จาก 15-16	0	2193	0	1.000000044	2.740840024	#NUM!
จาก 16-17	0	2193	0	1.000000044	2.803360381	x

รูปที่ 4.21 fitting curve เพื่อหา  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 16:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 16:00 น.



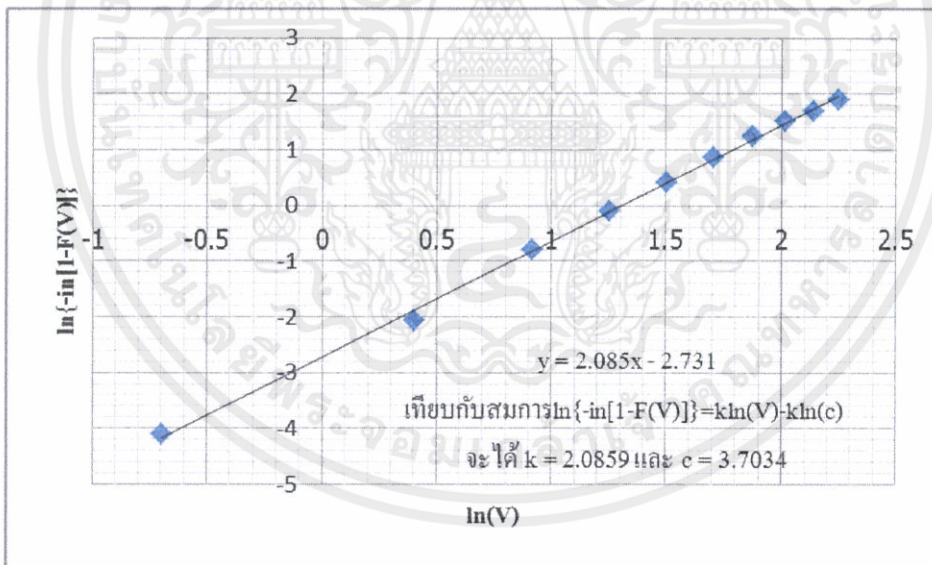
รูปที่ 4.23 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 16:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

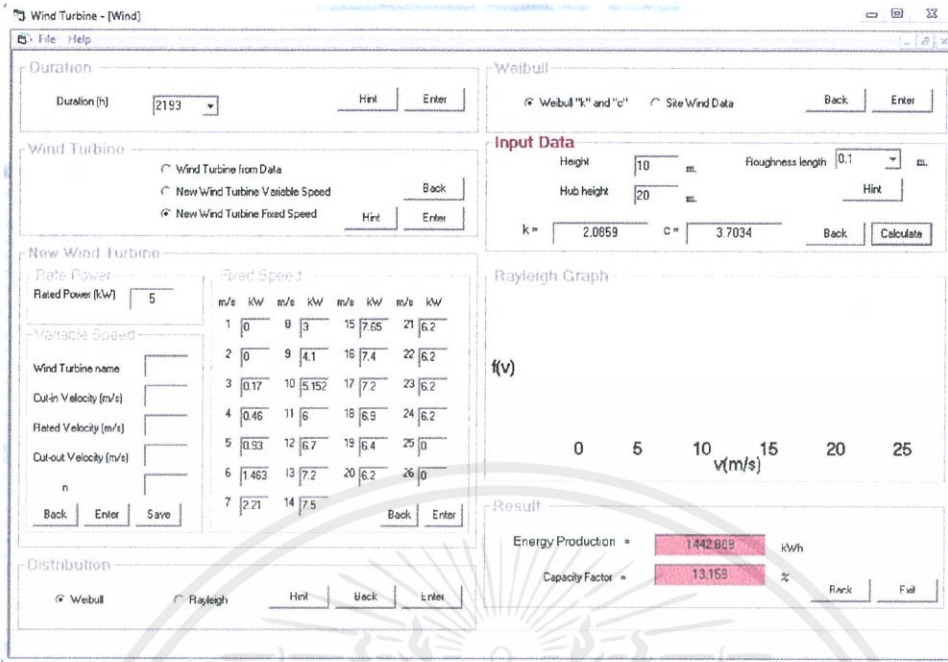
## 4.2.7 ช่วงเวลา 19:00 น.

ตารางที่ 4.8 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 19:00 น.

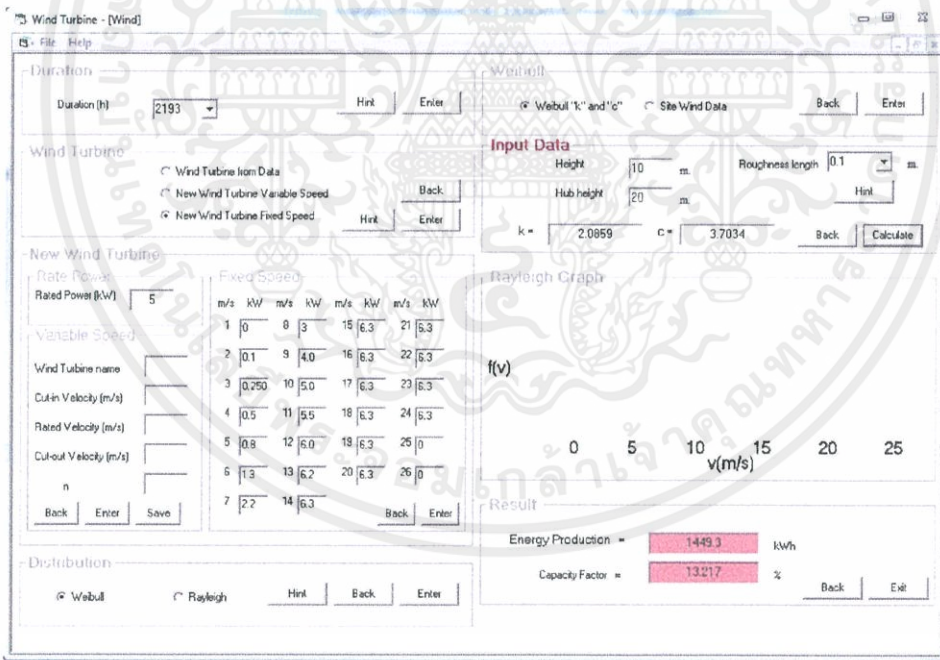
m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln{-ln[1-F(V)]}
จาก 0-1	36	36	0.016415869	0.016415869	-0.693147181	-4.101242154
จาก 1-2	222	258	0.10123119	0.117647059	0.405465108	-2.078137246
จาก 2-3	543	801	0.247606019	0.365253078	0.916290732	-0.788493763
จาก 3-4	513	1314	0.233926129	0.599179207	1.252762968	-0.089661229
จาก 4-5	393	1707	0.179206566	0.778385773	1.504077397	0.409999563
จาก 5-6	285	1992	0.12995896	0.908344734	1.704748092	0.871176557
จาก 6-7	135	2127	0.061559508	0.969904241	1.871802177	1.253725653
จาก 7-8	42	2169	0.019151847	0.989056088	2.014903021	1.507398974
จาก 8-9	15	2184	0.006839945	0.995896033	2.140066163	1.703984392
จาก 9-10	6	2190	0.002735978	0.998632011	2.251291799	1.886222881
จาก 10-11	0	2190	0	0.998632011	2.351375257	1.886222881
จาก 11-12	0	2190	0	0.998632011	2.442347035	1.886222881
จาก 12-13	0	2190	0	0.998632011	2.525728644	1.886222881
จาก 13-14	0	2190	0	0.998632011	2.602689685	1.886222881
จาก 14-15	0	2190	0	0.998632011	2.674148649	1.886222881
จาก 15-16	0	2190	0	0.998632011	2.740840024	1.886222881
จาก 16-17	3	2193	0.001367989	1	2.803360381	x

รูปที่ 4.24 fitting curve เพื่อหา  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 19:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 19:00 น.



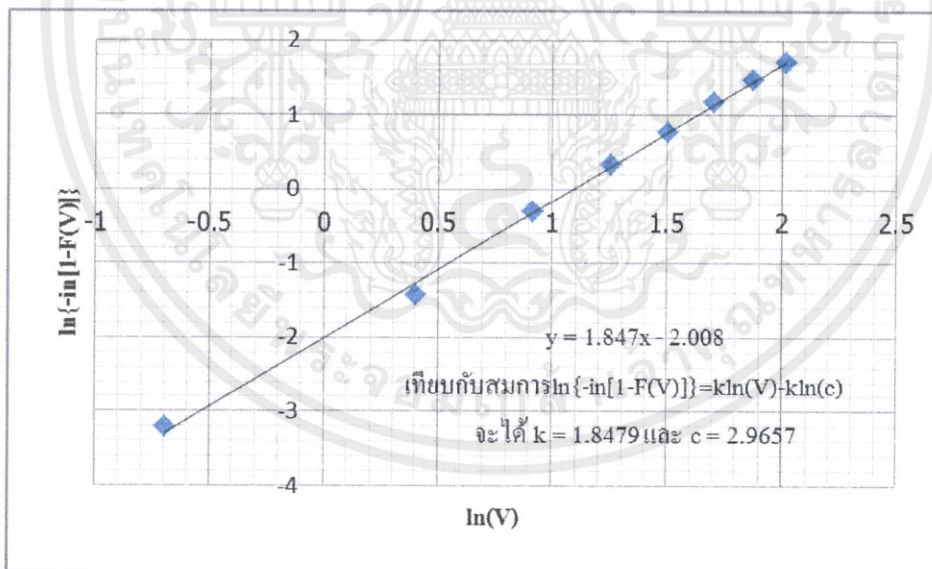
รูปที่ 4.26 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 19:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

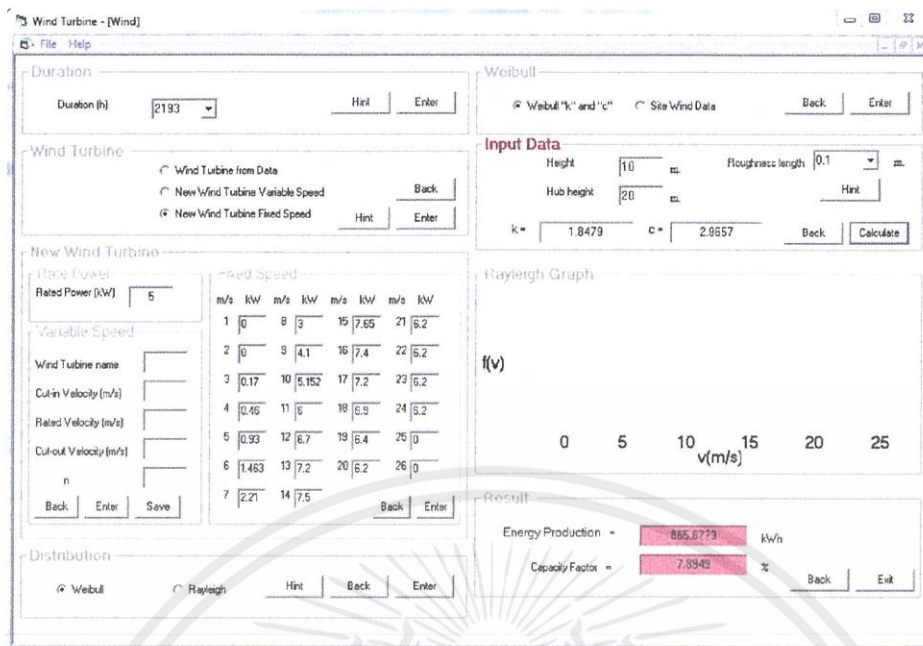
## 4.2.8 ช่วงเวลา 22:00 น.

ตารางที่ 4.9 การกระจายความถี่ของความเร็วลมของช่วงเวลา 22:00 น.

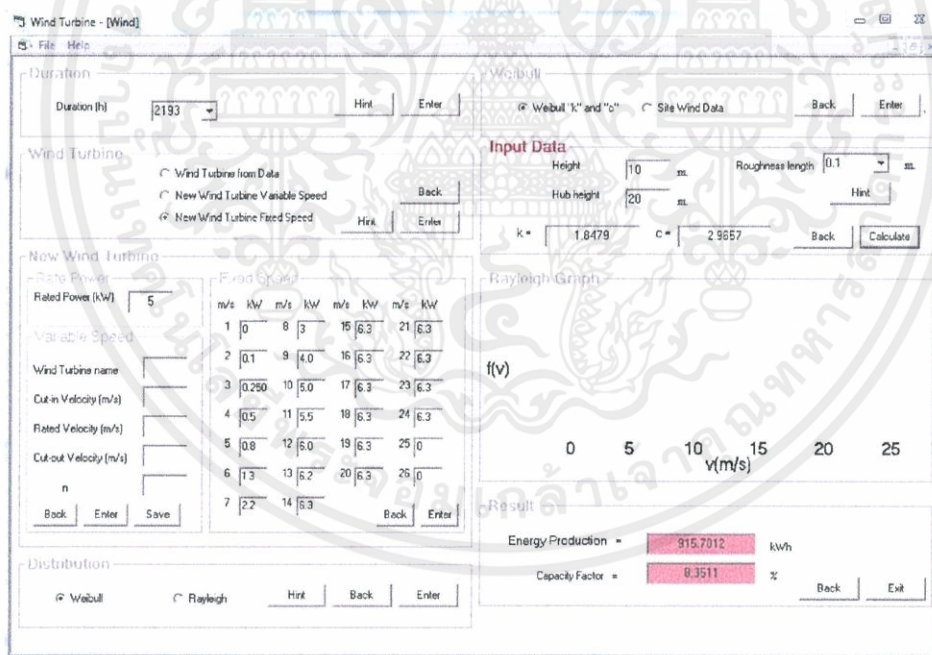
m/s	Frequency	Cumulative	Frequency(%)	F(V)	ln(V)	ln{-ln[1-F(V)]}
จาก 0-1	87	87	0.039671683	0.039671683	-0.693147181	-3.206945868
จาก 1-2	381	468	0.17373461	0.213406293	0.405465108	-1.426935458
จาก 2-3	678	1146	0.309165527	0.52257182	0.916290732	-0.301995302
จาก 3-4	501	1647	0.228454172	0.751025992	1.252762968	0.329596348
จาก 4-5	291	1938	0.132694938	0.883720931	1.504077397	0.766287137
จาก 5-6	168	2106	0.076607387	0.960328318	1.704748092	1.171589367
จาก 6-7	60	2166	0.027359781	0.987688099	1.871802177	1.480965453
จาก 7-8	18	2184	0.008207934	0.995896033	2.014903021	1.703984394
จาก 8-9	9	2193	0.004103967	1	2.140066163	#NUM!
จาก 9-10	0	2193	0	1	2.251291799	#NUM!
จาก 10-11	0	2193	0	1	2.351375257	#NUM!
จาก 11-12	0	2193	0	1	2.442347035	#NUM!
จาก 12-13	0	2193	0	1	2.525728644	#NUM!
จาก 13-14	0	2193	0	1	2.602689685	#NUM!
จาก 14-15	0	2193	0	1	2.674148649	#NUM!
จาก 15-16	0	2193	0	1	2.740840024	#NUM!
จาก 16-17	0	2193	0	1	2.803360381	x

รูปที่ 4.27 fitting curve เพื่อหา  $c$ ,  $k$  ของช่วงเวลา 22:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



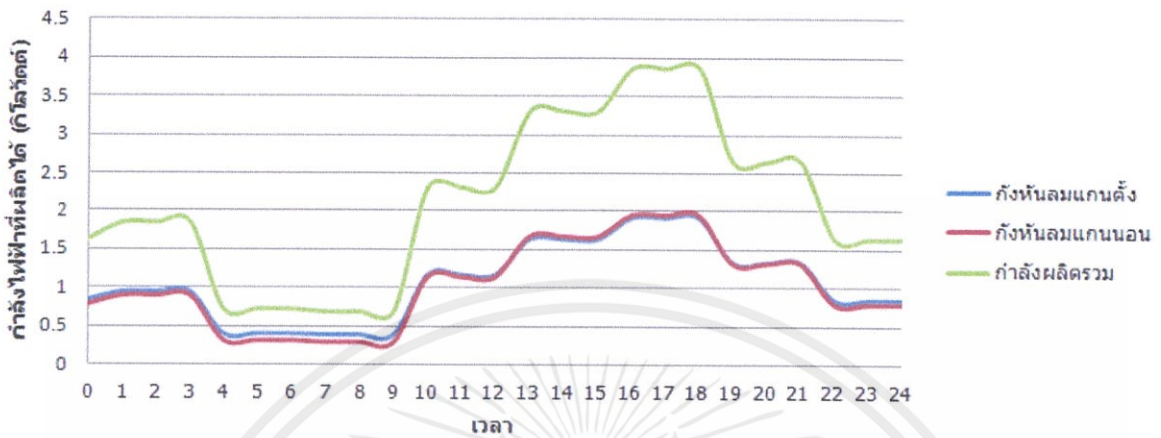
รูปที่ 4.28 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนนอนของช่วงเวลา 22:00 น.



รูปที่ 4.29 Wind cap ของกังหันลมแบบแกนตั้งของช่วงเวลา 22:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้เราสามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ย 2 ปีกับช่วงเวลาต่างๆ จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆโดยเฉลี่ยในสองปี

#### 4.3 การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน

จากนั้นเราได้ทำการคำนวณหาค่า  $k$  และ  $c$  ของแต่ละช่วงเวลาของแต่ละเดือน ซึ่งจะนำไปหา power curve ของแต่ละเดือนต่อไป และได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.10 ค่า  $C, K$  จากการวิเคราะห์สถิติความเร็วลมในช่วงเวลาราย 3 ชั่วโมงในแต่ละเดือน

เดือน	ช่วงเวลา															
	1:00		4:00		7:00		10:00		13:00		16:00		19:00		22:00	
	K	C	K	C	K	C	K	C	K	C	K	C	K	C	K	C
1	1.8863	3.322	2.2747	2.1335	1.9347	2.6633	3.2414	4.9217	3.3643	5.0495	3.1765	3.5962	2.4066	2.9958	3.0386	2.8329
2	2.2206	3.5169	2.3099	1.972	2.3242	1.908	3.2467	3.4644	3.2088	4.4025	3.3754	4.0055	3.2901	3.4055	0.7763	1.8465
3	1.9638	3.2701	1.9197	2.8805	1.9932	2.6966	3.3366	2.8144	3.2277	4.0908	2.4639	3.8941	1.7542	4.1026	1.858	3.7346
4	1.4764	3.412	1.7001	2.0165	1.5522	1.9857	2.151	2.755	3.1591	3.7662	3.3562	4.5069	3.3779	4.0856	3.1374	3.3133
5	2.0402	3.0916	1.3541	2.2262	1.4839	2.1376	1.8086	3.9754	2.0952	4.3998	2.9622	4.8394	2.6927	3.9976	0.8554	1.8968
6	3.1078	3.4272	2.0967	2.9175	1.4819	2.3511	2.1929	4.8587	3.1805	5.7015	2.905	5.7136	2.6053	4.7983	2.1843	3.4336
7	1.4723	2.6745	2.0977	2.0259	3.2836	2.4617	3.3659	4.4023	3.8842	5.5143	4.1788	4.3032	3.4214	4.3901	1.8557	3.657
8	2.1024	3.4032	1.5174	1.9084	1.8002	1.7205	2.3953	4.5056	2.3533	4.5468	3.4452	5.1043	3.0936	3.783	1.8435	2.9105
9	3.162	2.4923	1.8021	2.1032	2.6553	1.783	3.1001	4.1719	3.7006	4.6035	3.5651	4.9267	3.4867	3.865	1.9559	3.5994
10	2.1339	2.0096	1.6398	2.1213	1.7172	1.8023	2.1121	3.3174	3.1998	3.0989	1.8519	3.7091	2.0508	2.7294	1.7281	2.4763
11	2.0433	2.4526	1.7203	2.3815	1.5787	2.618	2.5134	4.1984	3.8128	4.1929	3.6032	3.2101	3.6446	2.8591	2.2482	2.2606
12	2.844	2.87	1.3479	2.5574	1.5028	2.2686	1.2855	4.6846	1.355	4.2263	1.2942	3.8868	1.571	2.3718	1.657	2.4303

เมื่อได้ค่า  $k$  และ เรานำข้อมูลมาหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน โดยแบ่งกักหน้ลมออกเป็น 2 แบบ คือ กักหน้ลมแบบแนวนอน และกักหน้ลมแบบแนวตั้ง ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามตารางต่อไปนี้ อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชนิด Horizontal ในช่วงเวลาแต่ละเดือน

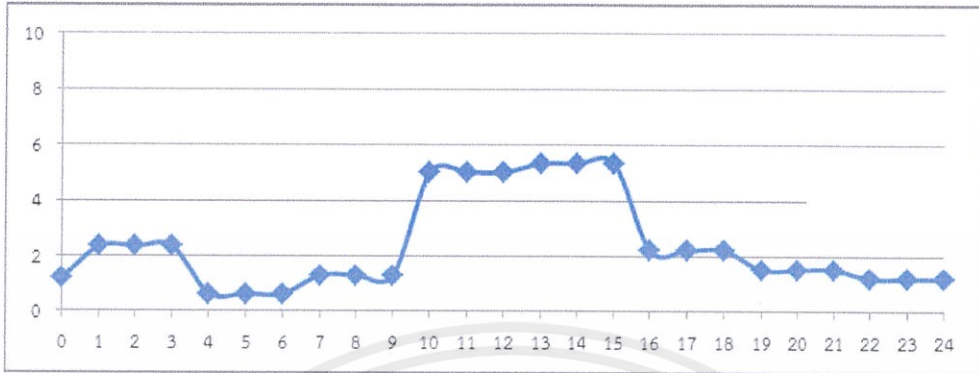
เดือน	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0	0.2744	0.5724	0.79765	0.437735	0.5035	0.57005	0.7569	0.41278	0.69815	0.27889	0.15868	0.278555
1	0.58085	0.60245	0.5385	0.7847	0.44717	0.484345	0.427285	0.57065	0.177075	0.11194	0.225459	0.293745
2	0.58085	0.60245	0.5385	0.7847	0.44717	0.484345	0.427285	0.57065	0.177075	0.11194	0.225459	0.293745
3	0.58085	0.60245	0.5385	0.7847	0.44717	0.484345	0.427285	0.57065	0.177075	0.11194	0.225459	0.293745
4	0.128985	0.096095	0.385665	0.15225	0.296365	0.370885	0.117375	0.15417	0.160375	0.188275	0.24994	0.43248
5	0.128985	0.096095	0.385665	0.15225	0.296365	0.370885	0.117375	0.15417	0.160375	0.188275	0.24994	0.43248
6	0.128985	0.096095	0.385665	0.15225	0.296365	0.370885	0.117375	0.15417	0.160375	0.188275	0.24994	0.43248
7	0.30505	0.08455	0.30761	0.16763	0.225625	0.29731	0.167045	0.08169	0.05667	0.10367	0.36684	0.26275
8	0.30505	0.08455	0.30761	0.16763	0.225625	0.29731	0.167045	0.08169	0.05667	0.10367	0.36684	0.26275
9	0.30505	0.08455	0.30761	0.16763	0.225625	0.29731	0.167045	0.08169	0.05667	0.10367	0.36684	0.26275
10	1.2773	0.48948	0.2602	0.307085	0.94965	1.38125	0.9498	1.1103	0.83685	0.53035	0.90885	1.6254
11	1.2773	0.48948	0.2602	0.307085	0.94965	1.38125	0.9498	1.1103	0.83685	0.53035	0.90885	1.6254
12	1.2773	0.48948	0.2602	0.307085	0.94965	1.38125	0.9498	1.1103	0.83685	0.53035	0.90885	1.6254
13	1.35525	0.95835	0.7867	0.63015	1.1121	1.84235	1.66525	1.1439	1.05425	0.35632	0.81935	1.3257
14	1.35525	0.95835	0.7867	0.63015	1.1121	1.84235	1.66525	1.1439	1.05425	0.35632	0.81935	1.3257
15	1.35525	0.95835	0.7867	0.63015	1.1121	1.84235	1.66525	1.1439	1.05425	0.35632	0.81935	1.3257
16	0.5527	0.7364	0.75125	1.01095	1.2458	1.87465	0.8719	1.3882	1.26275	0.7859	0.3852	1.16845
17	0.5527	0.7364	0.75125	1.01095	1.2458	1.87465	0.8719	1.3882	1.26275	0.7859	0.3852	1.16845
18	0.5527	0.7364	0.75125	1.01095	1.2458	1.87465	0.8719	1.3882	1.26275	0.7859	0.3852	1.16845
19	0.364405	0.46847	1.0455	0.7771	0.77775	1.2617	0.9403	0.6413	0.6636	0.310775	0.2673	0.279385
20	0.364405	0.46847	1.0455	0.7771	0.77775	1.2617	0.9403	0.6413	0.6636	0.310775	0.2673	0.279385
21	0.364405	0.46847	1.0455	0.7771	0.77775	1.2617	0.9403	0.6413	0.6636	0.310775	0.2673	0.279385
22	0.2744	0.5724	0.79765	0.437735	0.5035	0.57005	0.7569	0.41278	0.69815	0.27889	0.15868	0.278555
23	0.2744	0.5724	0.79765	0.437735	0.5035	0.57005	0.7569	0.41278	0.69815	0.27889	0.15868	0.278555
24	0.2744	0.5724	0.79765	0.437735	0.5035	0.57005	0.7569	0.41278	0.69815	0.27889	0.15868	0.278555

ตารางที่ 4.12 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชนิด Vertical ในช่วงเวลาแต่ละเดือน

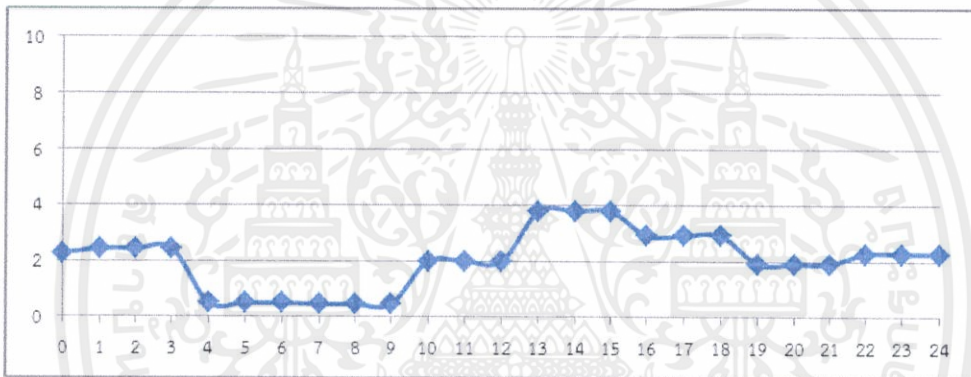
เดือน	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
0	0.31788	0.5586	0.7928	0.45533	0.498395	0.57835	0.7547	0.434185	0.69935	0.309955	0.20832	0.30879
1	0.59015	0.60805	0.55045	0.77775	0.46588	0.4953	0.44532	0.5795	0.236305	0.16303	0.26525	0.332645
2	0.59015	0.60805	0.55045	0.77775	0.46588	0.4953	0.44532	0.5795	0.236305	0.16303	0.26525	0.332645
3	0.59015	0.60805	0.55045	0.77775	0.46588	0.4953	0.44532	0.5795	0.236305	0.16303	0.26525	0.332645
4	0.181535	0.150755	0.409415	0.19226	0.320825	0.3964	0.16751	0.19005	0.20191	0.22471	0.283165	0.44829
5	0.181535	0.150755	0.409415	0.19226	0.320825	0.3964	0.16751	0.19005	0.20191	0.22471	0.283165	0.44829
6	0.181535	0.150755	0.409415	0.19226	0.320825	0.3964	0.16751	0.19005	0.20191	0.22471	0.283165	0.44829
7	0.33554	0.13949	0.338665	0.20356	0.256725	0.32389	0.228665	0.12654	0.114415	0.14638	0.39003	0.291865
8	0.33554	0.13949	0.338665	0.20356	0.256725	0.32389	0.228665	0.12654	0.114415	0.14638	0.39003	0.291865
9	0.33554	0.13949	0.338665	0.20356	0.256725	0.32389	0.228665	0.12654	0.114415	0.14638	0.39003	0.291865
10	1.23385	0.5031	0.30834	0.339325	0.93445	1.339	0.9162	1.08395	0.81405	0.5421	0.89155	1.5365
11	1.23385	0.5031	0.30834	0.339325	0.93445	1.339	0.9162	1.08395	0.81405	0.5421	0.89155	1.5365
12	1.23385	0.5031	0.30834	0.339325	0.93445	1.339	0.9162	1.08395	0.81405	0.5421	0.89155	1.5365
13	1.30905	0.9271	0.76525	0.6232	1.087	1.7799	1.60695	1.1161	1.0104	0.387055	0.78675	1.2682
14	1.30905	0.9271	0.76525	0.6232	1.087	1.7799	1.60695	1.1161	1.0104	0.387055	0.78675	1.2682
15	1.30905	0.9271	0.76525	0.6232	1.087	1.7799	1.60695	1.1161	1.0104	0.387055	0.78675	1.2682
16	0.55435	0.71675	0.7438	0.67475	1.2071	1.8083	0.8301	1.33915	1.21505	0.7818	0.412215	1.1236
17	0.55435	0.71675	0.7438	0.67475	1.2071	1.8083	0.8301	1.33915	1.21505	0.7818	0.412215	1.1236
18	0.55435	0.71675	0.7438	0.67475	1.2071	1.8083	0.8301	1.33915	1.21505	0.7818	0.412215	1.1236
19	0.391365	0.481235	1.02285	0.7541	0.76525	1.2261	0.9062	0.6344	0.64965	0.336935	0.31639	0.308425
20	0.391365	0.481235	1.02285	0.7541	0.76525	1.2261	0.9062	0.6344	0.64965	0.336935	0.31639	0.308425
21	0.391365	0.481235	1.02285	0.7541	0.76525	1.2261	0.9062	0.6344	0.64965	0.336935	0.31639	0.308425
22	0.31788	0.5586	0.7928	0.45533	0.498395	0.57835	0.7547	0.434185	0.69935	0.309955	0.20832	0.30879
23	0.31788	0.5586	0.7928	0.45533	0.498395	0.57835	0.7547	0.434185	0.69935	0.309955	0.20832	0.30879
24	0.31788	0.5586	0.7928	0.45533	0.498395	0.57835	0.7547	0.434185	0.69935	0.309955	0.20832	0.30879

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

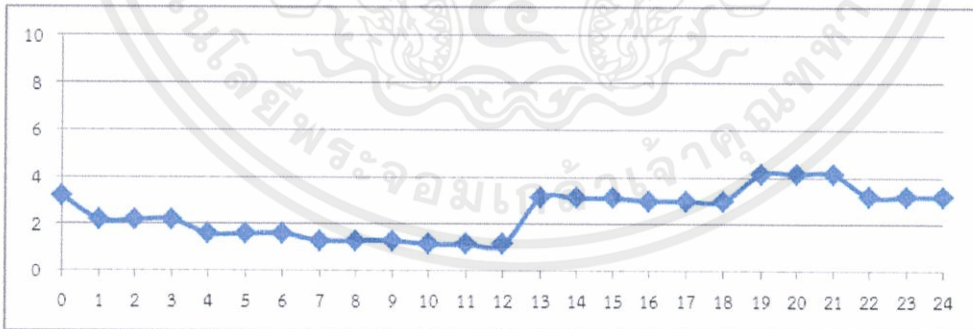
จากนั้นเรานำข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆ ในแต่ละเดือนได้ดังนี้



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนมกราคม

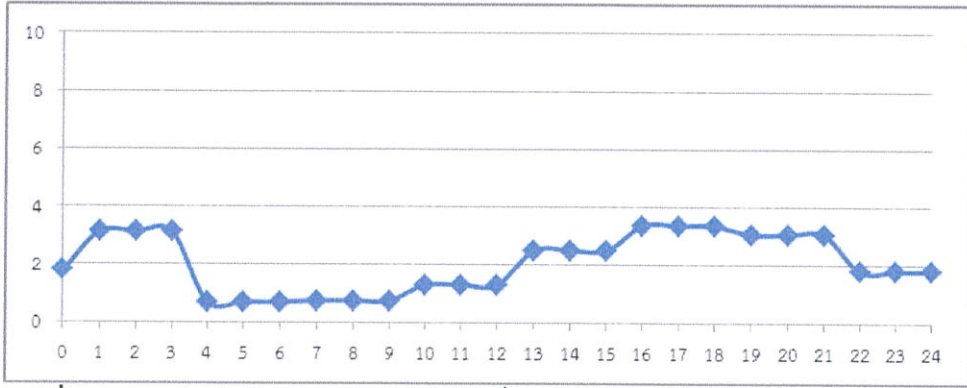


รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนกุมภาพันธ์

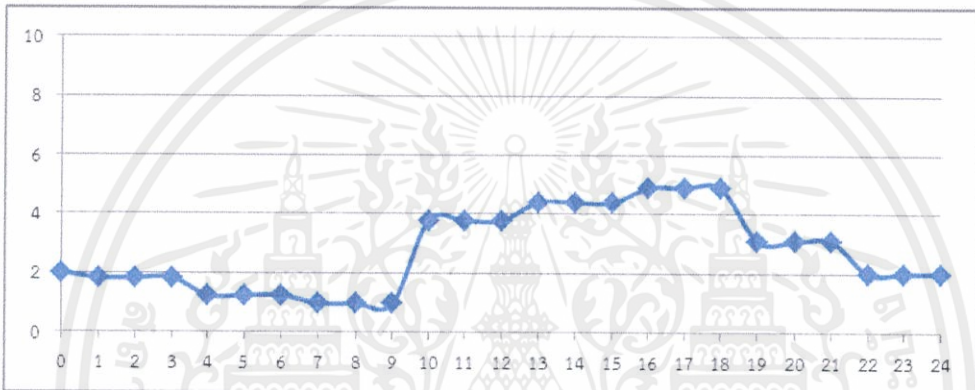


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนมีนาคม

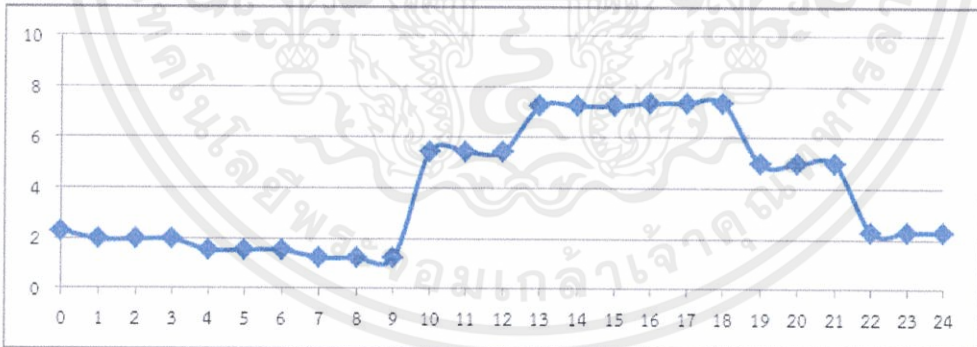
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนเมษายน

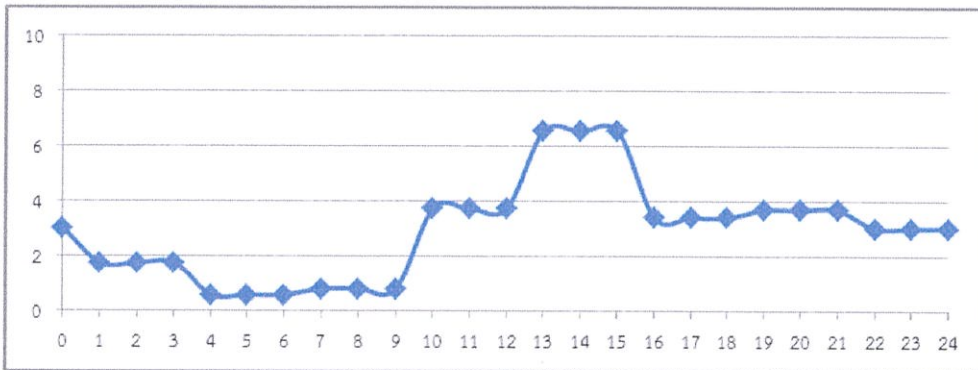


รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนพฤษภาคม

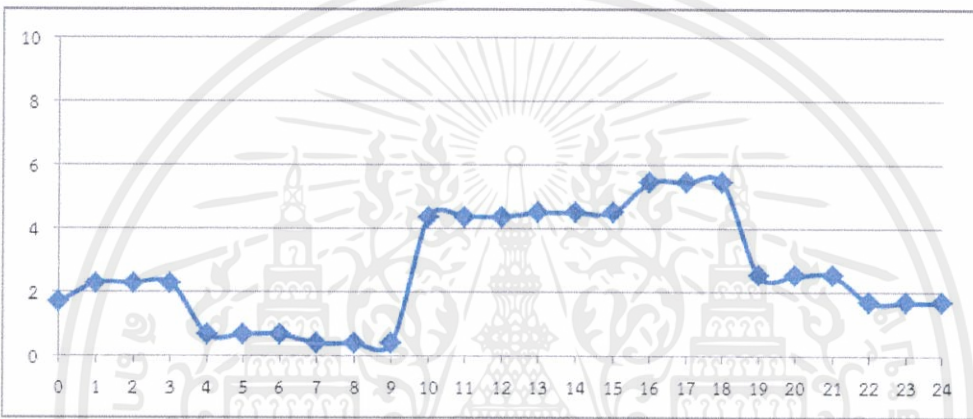


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนมิถุนายน

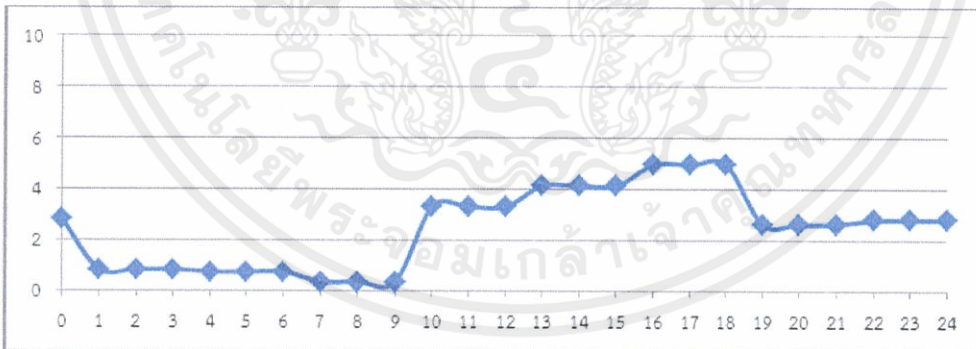
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนกรกฎาคม

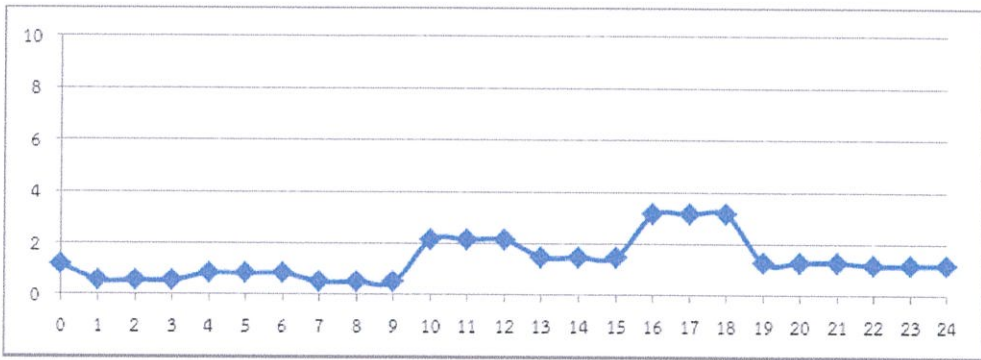


รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนสิงหาคม

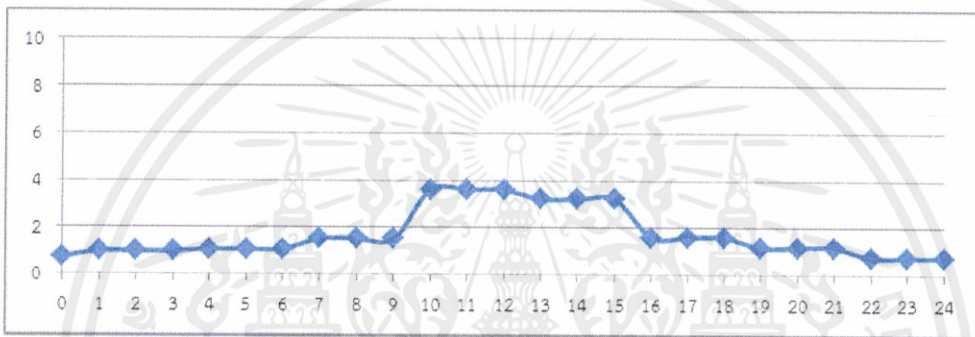


รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนกันยายน

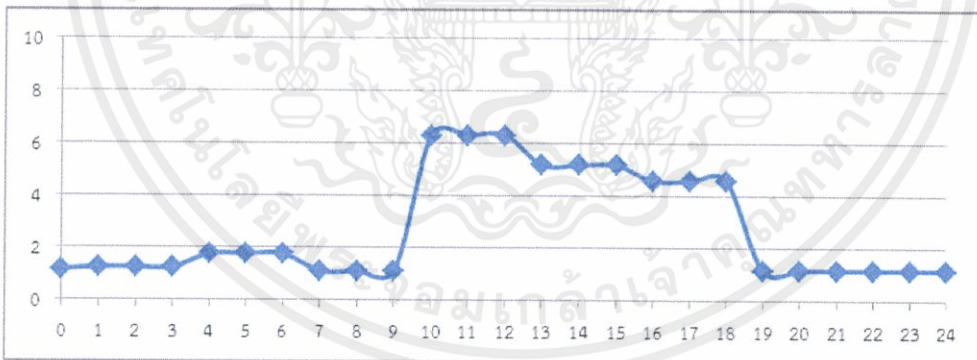
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนตุลาคม



รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนพฤศจิกายน



รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับช่วงเวลาต่างๆของเดือนธันวาคม

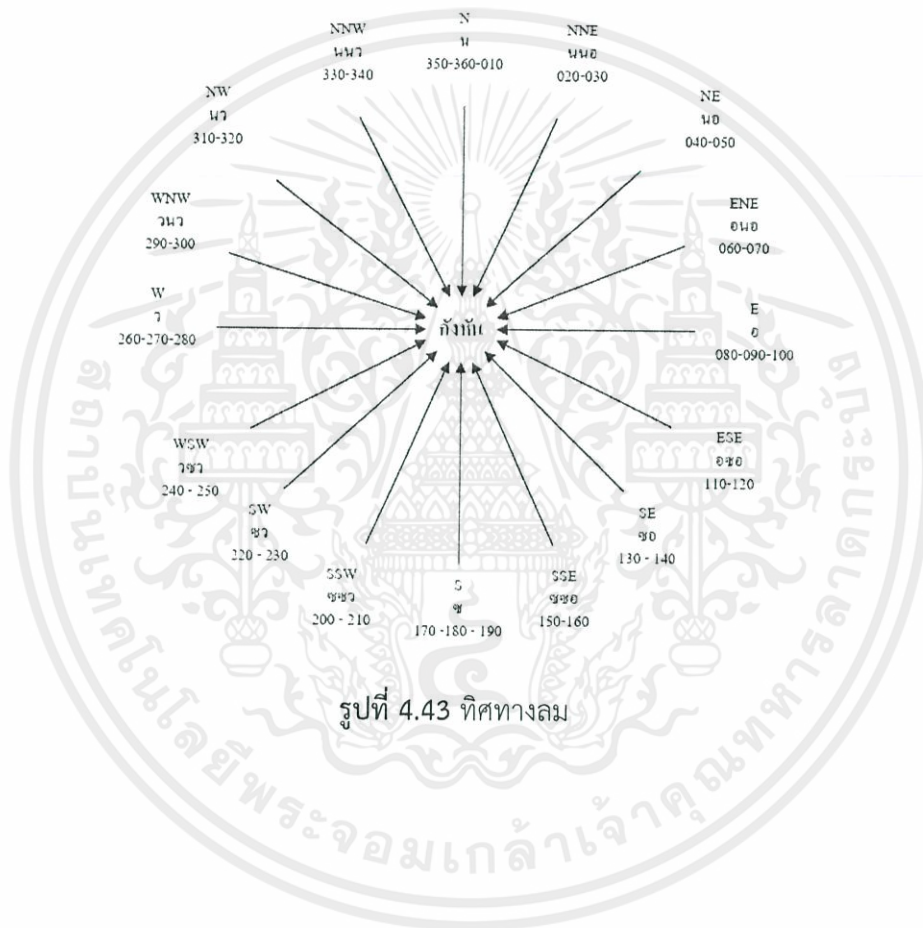
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้กับช่วงเวลาต่างๆของแต่ละเดือนจะพบว่า เดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม และเดือนธันวาคม ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ค่อนข้างสูง และช่วงเวลาที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดคือ ช่วงเวลา 10:00-18:00 น. และในช่วงอื่นๆผลิตไฟฟ้าได้ในขนาดที่ต่ำลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การศึกษาแผนงานโครงการและทิศทางลม

ทิศทางของลมก็มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เพื่อที่จะติดตั้งกังหันลม เนื่องจากในโครงการ จะมีอาคารสูงคือส่วนของแท็งก์น้ำสูงเพื่อเก็บพลังงาน ดังนั้นเราจึงต้องพิจารณาทิศทางของลม จากแผนโครงการ Future Renewable Center พบว่า กังหันลมตัวที่ 1 จะถูกแท็งก์น้ำบังลมที่มาจากทิศเหนือที่ประมาณ 340-360 องศาอยู่ 4.9% กังหันลมตัวที่สองจะถูกแท็งก์น้ำบังลมที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่ประมาณ 40-60 องศาอยู่ 9.1% ส่วนกังหันลมตัวที่ 3 และ 4 อยู่ห่างจากบริเวณแท็งก์น้ำมากจึงไม่นำมาพิจารณา

ในส่วนของทิศทางลมที่ถูกบดบังนี้เป็นเพียงลมส่วนหนึ่งที่ทำให้ลมพัดมายังกังหันได้ไม่สะดวกเท่านั้น ซึ่งส่งผลต่อการหมุนของกังหันลมเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.43 ทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปการทำงานและการแก้ไขปัญหา

โครงการ Future Renewable Center เป็นโครงการศึกษาและพัฒนาด้านพลังงานทดแทน เพื่อให้เกิดความยั่งยืนทางด้านพลังงานของประเทศไทย การศึกษานี้จะเป็นต้นแบบและแนวทาง สำหรับผู้ที่สนใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านพลังงานทดแทนต่อไป

จากการศึกษาสถิติข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีความเร็ว ลมที่ระดับความสูง 20 เมตร เฉลี่ยอยู่ที่ 4.3 เมตรต่อวินาที จึงทำการพิจารณากังหันลมผลิต กระแสไฟฟ้าขนาดเล็กที่ 5 กิโลวัตต์ โดยมีกังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานลมขนาดเล็กคือเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ขนาดเล็ก รวมทั้ง สามารถใช้ร่วมกับระบบแสงอาทิตย์เป็นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน โดยพลังงานลมหรือพลังงาน แสงอาทิตย์ตัวใดตัวหนึ่งจะเป็นตัวประกอบในขณะที่อีกหนึ่งตัวทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ทั้ง สองส่วนในการผลิตไฟฟ้า ทั้งนี้ไม่เพียงแต่พลังงานที่จะได้รับเท่านั้น แต่ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของ แบตเตอรี่ได้ ทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความคุ้มค่าด้านการลงทุน

พิจารณากังหันลมที่จะทำการติดตั้งกังหันลมทั้งหมด 4 ตัว ประกอบด้วย กังหันลมแกนนอน 2 ตัว กังหันลมแกนตั้ง 2 ตัว ซึ่งใช้กังหันลมของบริษัท Aeolos ซึ่งมีส่วนประกอบที่ดี แข็งแรง สามารถปรับทิศทางใบพัดรับลมได้ มีการออกแบบการป้องกันที่ดีในตัวกังหันลม มีนวัตกรรม เทคโนโลยีลดเสียงรบกวน มีประสิทธิภาพสูง มีความน่าเชื่อถือ มี Cut-in speed ต่ำ และมี Power Curve ใกล้เคียงกับเทคโนโลยีกังหันลมความเร็วต่ำที่กำลังถูกพัฒนา อีกทั้งมีระบบควบคุมกังหันลมที่ มีคุณภาพ โดยกังหันลมของบริษัท Aeolos เป็นกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นประเภทเครื่องจักรกล ไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) ซึ่งมีข้อดี คือ เป็นเครื่องจักรที่มีขนาดเล็ก สามารถ ติดตั้งได้ง่าย มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำมีความหนาแน่นของฟลักซ์สูง

โดยในการออกแบบติดตั้งในพื้นที่โครงการ Future Renewable Center ได้พิจารณาให้ กังหันลมห่างกันระหว่างเสา 80 เมตร ตามทางยาวของพื้นที่โครงการ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของลม ที่ผ่านกังหันลมตัวอื่น และเสามีความสูง 20 เมตร ชนิด Monopole tower ซึ่งมีความสวยงาม การ สันสะเทือนต่ำ มีความน่าเชื่อถือดี และง่ายต่อการติดตั้ง

เลือกการออกแบบระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System) เพื่อจ่ายให้โหลด โดยกังหันลมขนาด 5 กิโลวัตต์ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าซิงโครนัส 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรซึ่งต่ออยู่กับระบบควบคุมกังหันลมคือ

- Controller เลือกใช้ Aeolos Controller เพราะมีคุณสมบัติในการควบคุมการผลิตไฟฟ้า จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากตัวกังหันลม โดยการทำงานเป็น PLC Controller โดยวงจรเรียงกระแส และฟังก์ชันการป้องกัน การทำงานของจอจะสามารถแสดงผลและควบคุมโดยระบบสัมผัส และสามารถแสดงผลระยะไกลจากการทำงานของ PLC

- Dump load เป็นตัวช่วยเมื่อขณะเกิดความเร็วลมสูงเกินเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายได้ โดยจะทำการเผาพลังงานผ่าน Dump load

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม Inverter จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ได้จาก Controller แล้ว เปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายไปยังโหลด จึงเลือกใช้ Windy Boy 5000TL Inverter

ของบริษัท SMA ซึ่งเป็นผู้ผลิตสินค้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งสินค้าที่ผลิตเป็นอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทน Windy boy 5000TL เป็นอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าในความเร็วลมของพื้นที่ติดตั้งจากโปรแกรม Wind Cap จะพิจารณาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมทั้งแนวแกนนอนและแนวแกนตั้งโดยการเปรียบ Capacity Factor พบว่า เดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม และเดือนธันวาคม ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ค่อนข้างสูง และช่วงเวลาที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากคือ ช่วงเวลา 10:00-18:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมช่วยลดการจ่ายโหลดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด และนำพลังงานส่วนที่เหลือจากช่วงที่มีแสงแดดเก็บในแบตเตอรี่เพื่อนำไปจ่ายโหลดได้เพียงพอในเวลาไม่มีแสงแดด

ปัญหาที่อาจเกิดจากการติดตั้งกังหันลมในระบบไฟฟ้าของโครงการ Future Renewable Center คือการผลิตไฟฟ้าที่ไม่คงที่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม หรือการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ Voltage dip/sag เนื่องจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขคือต้องใช้อุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันและปรับปรุงคุณภาพของไฟฟ้าช่วยให้กังหันลมทำงานได้ดีขึ้นและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในระบบไฟฟ้า

และเนื่องจากพบว่าพื้นที่ตั้งโครงการ Future Renewable Center มีความเร็วเฉลี่ยในระดับปานกลางทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหันลมได้ไม่เต็มพิกัดแต่เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อขยายผลต่อเมืองสุพรรณที่ต่างๆในประเทศซึ่งพบว่ามีความเร็วลมสูง เช่น ทางภาคใต้ ชายฝั่งทะเลหรือบนภูเขาสูง บางแห่งไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึงการนำเอากังหันลมไปใช้จึงสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงมากหรืออาจทำไปติดตั้งบนอาคารสูงซึ่งช่วยประหยัดต้นทุนเนื่องจากไม่ต้องใช้เสาสูงเนื่องจากความเร็วลมแปรผันตามความสูงก็จะช่วยให้อาคารประหยัดค่าไฟฟ้าได้สูงมาก อีกทั้งยังช่วยประเทศชาติประหยัดพลังงานดังที่ไดรณรงค์ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] เขาวลิต พิทักษ์วงษ์, “การออกแบบและควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [2] Volker Quaschnig, *Understanding renewable energy systems*, London, Earthscan, 2007
- [3] ไพรัช กิจวรารุช และ ทรธชา วัฒนานุกิจ, “พลังงานลม: เทคโนโลยีจากอดีต สู่ปัจจุบันและอนาคต (WIND POWER: Evolution Technology from the Past to Presence and Futurity),” Main theme ภูมิปัญญาวิศวกรไทย ร่วมใจเพื่อสังคม, ปีที่ 63 ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2553
- [4] บริษัท สหมิตรเครื่องกล จำกัด (มหาชน), “คู่มือการติดตั้งและใช้งาน Wind Generator,” Wind Generator.
- [5] อนุรักษ์ ขำดี, “การศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าประเทศไทย,” ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [6] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บังลังก์ นิยมมณี, “โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเชื่อมต่อกริด”, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.
- [7] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, พลังงานลม [ออนไลน์], แหล่งที่มา [http://science.uru.ac.th/pro\\_doc/doc/12.doc](http://science.uru.ac.th/pro_doc/doc/12.doc)
- [8] บริษัท เอส.ที.คอนโทรล จำกัด, อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [ออนไลน์] แหล่งที่มา [www.stcontrol.com/th/articles/อินเวอร์เตอร์-\(inverter\)-คืออะไร.html](http://www.stcontrol.com/th/articles/อินเวอร์เตอร์-(inverter)-คืออะไร.html)
- [9] Outsidesupply, Vacuum Cleaner Power Inverter [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://blog.outsidesupply.com/inverters/power-inverter-applications/vacuum-cleaner-power-inverter.html>
- [10] กนกพร จันทรสีหิต และ วิทยากร แซ่มกัน, การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ Inverter [ออนไลน์], <http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/inverter>
- [11] ไทยกูดวิว, ลม [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.thaigoodview.com/library/contest2551/science04/72/pkwy1.htm>
- [12] สยามพารามอเตอร์, ลม(Wind) [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://siamparamotor.com/webboard/viewtopic.php?f=3&t=1223&view=next>
- [13] Aeolos Wind Energy Ltd., Aeolos Wind Turbine for Sale [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.windturbinestar.com/>
- [14] Helix Wind, Corp., S594 VAWT [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.helixwind.com/en/>
- [15] SMA Solar Technology AG., Wind Energy Inverter [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.sma.de/en/products/wind-energy-inverters.html>

- [16] สำนักวิชาการพลังงานภาค 1 กระทรวงพลังงาน, องค์ความรู้กังหันลม [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.region1.energy.go.th/0gkramrukanghanrom/wind.html>
- [17] Prapai Technoligise Co., Ltd., Knowledge about Wind Energy [ออนไลน์], 18 ธันวาคม 2555, แหล่งที่มา <http://www.prapai.co.th/listgroupknowledge.php?gid=13>
- [18] Southwest Windpower, Inc., Selectional monopole tower foundation & Installation [ออนไลน์], 15 มกราคม 2556, แหล่งที่มา [http://www.windenergy.com/sites/www.windenergy.com/files/3-CMLT-1367-01\\_Skystream\\_segemented\\_tower\\_manual.pdf](http://www.windenergy.com/sites/www.windenergy.com/files/3-CMLT-1367-01_Skystream_segemented_tower_manual.pdf)
- [19] สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, พลังงานลม [ออนไลน์] แหล่งที่มา [www.fio.co.th/institution/woodeconomy/main.../wind%20energy.pdf](http://www.fio.co.th/institution/woodeconomy/main.../wind%20energy.pdf)
- [20] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, แผนที่ศักยภาพลมประเทศไทย [ออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www2.dede.go.th/renew/Twm/main.htm>
- [21] แผนวิจัยพลังงานกองวิจัย ฝ่ายวิจัย และพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, โครงการวิจัยเพื่อการออกแบบและควบคุมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

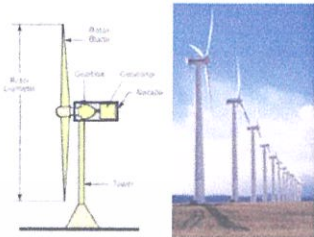


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



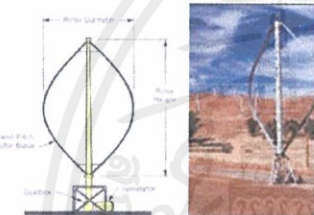
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีการนำมาใช้งานมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูง แต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวอนตลตลอดเวลา



รูปที่ 1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีแกนเพลายูในแนวนอน

2. กังหันลมที่มีแกนเพลายูในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศตั้งฉากกับทิศทางของลม เริ่มหมุนได้เองที่ความเร็วลมต่ำ และทนต่อสภาวะอากาศได้ดี แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลักๆ



รูปที่ 2 กังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีแกนเพลายูในแนวตั้ง

ปัจจุบัน ได้มีการพัฒนารูปแบบของกังหันลมแกนตั้งหลายรูปแบบ Helix Wind ก็เป็นหนึ่งในผู้พัฒนากังหันแนวตั้งโดยใช้หลักการเดียวกับ Savonius แต่เพียงอาศัยหลักการของ เกลียวของการหมุน จากการทดสอบ กังหันลมชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพสูงถึง > 60% (อ้างอิงเอกสารทดสอบ) ซึ่งต่างจากกังหันลม Savonius รูปแบบเดิม



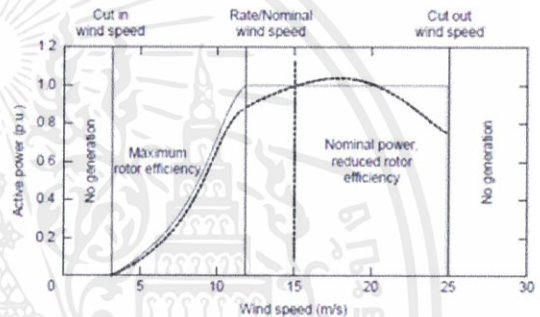
รูปที่ 3 กังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีแกนเพลายูในแนวตั้งชนิด Helix Wind

ระบบการติดตั้งของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ระบบการติดตั้งแบบเดี่ยว (Stand Alone System) และระบบการติดตั้งแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System) ซึ่งแตกต่างกันโดยระบบ Stand Alone จะใช้การชาร์จแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าขณะที่กังหันลมไม่สามารถผลิตพลังงานได้หรือผลิตได้ไม่เพียงพอ ในขณะที่ Grid Connected จะต่อกับสายส่งโดยไม่มีการชาร์จแบตเตอรี่ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม เกิดจากการสกัดกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ในการทำงานของเครื่องกำเนิดในตัวกังหันลม แต่จะนำกำลังงานได้บางส่วนเท่านั้น หากกำหนดให้ CP เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่ง  $C_p$  จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันจะสามารถสกัดได้จากกระแสลม ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนั้น

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

- การประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทำได้จาก Power Curve ของกังหันลม กำลังไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่ด้วยความเร็วลม แต่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง กังหันลมจะเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าที่ cut-in speed จะผลิตเต็มกำลังที่ rated speed และที่ความเร็วสูงกว่า cut-out speed กังหันลมจะหยุดทำงาน



รูปที่ 4 ลักษณะ Power Curve กังหันลม

และการประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องวิเคราะห์ความเร็วลม โดยแบบจำลองทางสถิติด้วยเสนอวิธีการ Weibull Distribution แบ่งเป็น The probability density function เป็นตัวบ่งชี้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเร็วลมที่ค่าความเร็วลมที่กำหนด

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

เมื่อ  $k$  คือ Weibull shape factor และ  $c$  คือ Scale factor

และ The cumulative distribution function เป็นตัวบ่งชี้ความน่าจะเป็นที่ความเร็วลมจะเท่ากับหรือน้อยกว่าความเร็วลมที่กำหนด

$$F(V) = \int_0^{\infty} f(V) dV = 1 - e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (3)$$

ดังนั้นการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลม Capacity factor จะเป็นตัวบอกว่ากังหันลมที่เลือกติดตั้งในพื้นที่นั้นๆ มีการผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาเท่าใดเมื่อเทียบกับพิกัดที่กังหันลมตัวนั้นควรจะผลิตได้

$$C_F = \frac{E_T}{TPR} \quad (4)$$

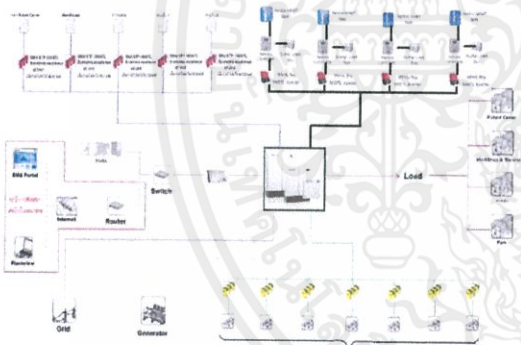
เมื่อ  $E_T$  คือ kWh ที่ผลิตได้จริง, T คือช่วงเวลา และ  $P_R$  คือ kW ที่พิกัด

### 3. การออกแบบติดตั้งกังหันลมในโครงการ Future Center



รูปที่ 5 แบบตัวอย่างโครงการ Future Center

โครงการ Future Renewable Center ในพื้นที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร จะดำเนินการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ ซึ่งติดตั้งกังหันลมทั้งหมด 4 ตัว ประกอบด้วย กังหันลมแกนนอน Aeolos 5 กิโลวัตต์ 2 ตัว กังหันลมแกนตั้ง Aeolos 5 กิโลวัตต์ 2 ตัว ติดตั้งห่างกัน 80 เมตรตามแนวยาวของพื้นที่โครงการ โดยใช้เสาชนิด Monopole tower สูง 20 เมตร ติดตั้งโดยต่อกับกริดของโครงการเพื่อนำไปจ่ายโหลดร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์หรือจากแบตเตอรี่ โดยใช้ Aeolos controller, Dump load box และ Windy boy 5000TL inverter ทำการควบคุมการผลิตไฟฟ้าและแปลงระดับแรงดันและความถี่เพื่อให้สามารถนำไปจ่ายโหลดร่วมกันได้

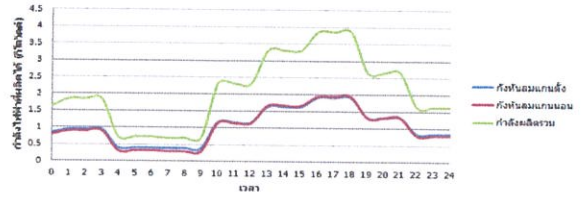


รูปที่ 6 การออกแบบติดตั้งกังหันลมในโครงการ Future Renewable Center

### 4. การวิเคราะห์สถิติความเร็วลม

จากการออกแบบติดตั้งกังหันลมในพื้นที่โครงการ Future Renewable Center และการวิเคราะห์สถิติความเร็วลมโดย Weibull Distribution ของความเร็วลมจุดติดตั้งกังหันลมในระยะเวลา 2 ปี (ค.ศ. 2011-2012) พบว่าช่วงเวลาที่กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพดีอยู่ในช่วงเวลา 10:00-21:00 น. และให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 16:00-18:00 น.

และจากการวิเคราะห์ความเร็วลมในแต่ละเดือนพบว่าในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม และเดือนธันวาคม จะเป็นช่วงที่ให้กำลังผลิตมากกว่าช่วงอื่นๆ โดยเฉพาะในเวลา 10:00-18:00 น. ของช่วงเดือน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์) กับช่วงเวลาต่างๆ โดยเฉลี่ยในสองปี (ค.ศ.2011-2012)

### 5. สรุป

จากการศึกษาสถิติข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีความเร็วลมที่ระดับความสูง 20 เมตร เฉลี่ยอยู่ที่ 4.3 เมตรต่อวินาที จึงทำการพิจารณากังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กที่ 5 กิโลวัตต์ โดยมีกังหันลมแกนนอน และแกนตั้ง เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็กคือเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ขนาดเล็ก รวมทั้งสามารถใช้ร่วมกับระบบแสงอาทิตย์เป็นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน โดยพลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์ตัวใดตัวหนึ่งจะเป็นตัวประกอบในขณะที่อีกหนึ่งตัวทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ทั้งสองส่วนในการผลิตไฟฟ้า ทั้งนี้ไม่เพียงแต่พลังงานที่จะได้รับเท่านั้น แต่ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ ทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความคุ้มค่าด้านการลงทุน

พิจารณากังหันลมที่จะทำการติดตั้งของบริษัท Aeolos ซึ่งมี ส่วนประกอบที่ดี แข็งแรง สามารถปรับทิศทางใบพัดรับลมได้ มีการออกแบบการป้องกันที่ดี มีนวัตกรรมลดเสียงรบกวน ประสิทธิภาพสูง มีคุณภาพตามมาตรฐานโลก มี Cut-in speed ที่ต่ำ และมี Power Curve ใกล้เคียงกับเทคโนโลยีกังหันลมความเร็วต่ำที่กำลังถูกพัฒนา

โดยในการออกแบบติดตั้งในพื้นที่โครงการ Future Renewable Center ได้พิจารณาให้กังหันลมห่างกันระหว่างเสา 80 เมตร ตามทางยาวของพื้นที่โครงการ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของลมที่ผ่านกังหันลมตัวอื่น และเสามีความสูง 20 เมตร ชนิด Monopole tower ซึ่งมีความสวยงาม การสิ้นสละเทือนต่ำ มีความน่าเชื่อถือ และง่ายในการติดตั้ง

เลือกการออกแบบระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเชื่อมต่องานระบบสายส่ง (Grid Connected System) เพื่อจ่ายให้โหลดในโครงการ โดยกังหันลมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตารี 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรซึ่งต่อกับระบบควบคุมกังหันลมคือ

- Controller เลือกใช้ Aeolos Controller เพราะมีคุณสมบัติในการควบคุมการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากตัวกังหันลม โดยการทำงานเป็น PLC Controller โดยวงจรเรียงกระแส และฟังก์ชันการป้องกัน การทำงานของจอจะสามารถแสดงผลและควบคุมโดยระบบสัมผัส และสามารถแสดงผลระยะไกลจากการทำงานของ PLC

- Dump load เป็นตัวช่วยเมื่อขณะเกิดความเร็วลมสูงเกินเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ โดยจะทำการเผาพลังงานผ่าน Dump load

fd

d

- Inverter จะทำการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ได้จาก Controller แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายไปยังโหลด จึงเลือกใช้ Windy Boy 5000TL Inverter เป็นอินเวอร์เตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์ ของบริษัท SMA ซึ่งเป็นผู้ผลิตสินค้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งสินค้าที่ผลิตเป็นอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทน มีการทำงานเข้ากันกับ Sunny boy ของระบบการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าในความเร็วลมของพื้นที่ติดตั้งโดย Weibull distribution พบว่า เดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม และเดือนธันวาคม ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ค่อนข้างสูง และช่วงเวลาที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุด ช่วงเวลา 10:00-18:00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่ลมแรง ซึ่งจะช่วยลดการจ่ายโหลดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีที่สุด และนำพลังงานส่วนที่เหลือจากช่วงที่มีแสงแดดเก็บในแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายโหลดได้เพียงพอในเวลาไม่มีแสงแดด

เนื่องจากพบว่าพื้นที่ตั้งโครงการ Future Center มีความเร็วเฉลี่ยในระดับปานกลางทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหันลมได้ไม่เต็มพิกัด แต่เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาเป็นต้นแบบเพื่อขยายผลต่อเนื่องสู่พื้นที่ต่างๆในประเทศซึ่งพบว่ามีหลายแห่งที่มีความเร็วลมสูง เช่น ทางภาคใต้ ชายฝั่งทะเล หรือบนภูเขาสูง บางแห่งไฟฟ้ายังไม่ถึง การนำเอากังหันลมไปใช้จึงสามารถใช้ประโยชน์ได้หรืออาจนำไปติดตั้งบนอาคารสูงซึ่งช่วยประหยัดต้นทุนเนื่องจากไม่ต้องใช้เสาสูง จะช่วยให้อาคารประหยัดค่าไฟได้มาก

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ปฏิญานพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาย ชมภูอินโหว และ รองศาสตราจารย์ สุทธิ บรรจงจิตร ที่ปรึกษาปฏิญานพนธ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและคำแนะนำ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขเนื้อหา รูปแบบ ข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้ปฏิญานพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ได้รับ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมต่างๆ รวมไปถึงให้ความรู้และคำแนะนำในการทำปฏิญานพนธ์

คุณค่าและประโยชน์จากการค้นคว้าอันพึงมีของปฏิญานพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณค่าต่อครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

## เอกสารอ้างอิง

[1] ไพรัช กิจวรฐ และ วรรณษา วัฒนานุกิจ, “พลังงานลม: เทคโนโลยีจากอดีต สู่ปัจจุบันและอนาคต (WIND POWER: Evolution Technology from the Past to Presence and Futurity),” Main theme **ภูมิปัญญาวิศวกรรม**

ไทย ร่วมใจเพื่อสังคม, ปีที่ 63 ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2553

และต้องอ้างอิงถึง

[2] เสาวลิต พิทักษ์วงษ์, “การออกแบบและควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดเล็ก” **ปฏิญานพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บังลังก์ เนียมมณี, “โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบเชื่อมต่อกริด”, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.

[4] Aeolos Wind Energy Ltd., Aeolos Wind Turbine For Sale

[ออนไลน์], 19 กันยายน 2555, แหล่งที่มา

<http://www.windturbinestar.com/>

[5] Helix Wind, Corp., S594 VAWT [ออนไลน์], 19 กันยายน 2555,

แหล่งที่มา <http://www.helixwind.com/en/>

[6] SMA Solar Technology AG., Wind Energy Inverter [ออนไลน์],

19 กันยายน 2555, แหล่งที่มา <http://www.sma.de/en/products/wind-energy-inverters.html>

## ประวัติผู้เขียนบทความ



นายกิมทศ วิจิตร

เกิดวันที่ 11 กันยายน พ.ศ.2533

ที่อยู่ 258 หมู่ 2 ต.สันทรายนักษ ก.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50210

E-mail address: peemapot.w@gmail.com



นายธนิตนันท แก้วสง่า

เกิดวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ.2534

ที่อยู่ 333 หมู่ 2 ต.สระกรวด อ.ศรีเทพ จ.เพชรบูรณ์ 67170

E-mail address: dew\_doy@hotmail.com



นายธีรพงษ์ โพธิ์วัฒนกุล

เกิดวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ.2533

ที่อยู่ 1042/62 สุขุมวิท101 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260

E-mail address: bubblebubu@hotmail.com



นายธีรพงศ์ กำลังก้า

เกิดวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ.2533

ที่อยู่ 149 หมู่ 5 ต.แจ้ซ้อน อ.เมืองปาน จ.ลำปาง 52240

E-mail address: teera.elf@gmail.com

และต้องอ้างอิงถึง

## ประวัติผู้เขียน



นายภีมพศ วิจิตร (จุน)  
เกิดวันที่ 11 กันยายน พ.ศ.2533  
ที่อยู่ 258 หมู่ 2 ต.สันทรายน้อย อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50210  
จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนปรินส์รอยแยลส์วิทยาลัย จ.เชียงใหม่  
เบอร์โทรศัพท์ 084-804-5403  
E-mail address : peemapot.w@gmail.com



นายธนิตนนท์ แก้วสง่า (ดิว)  
เกิดวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ.2534  
ที่อยู่ 333 หมู่ 2 ต.สระกรวด อ.ศรีเทพ จ.เพชรบูรณ์ 67170  
จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จ.ลพบุรี  
เบอร์โทรศัพท์ 081-971-4479  
E-mail address : dew\_doy@hotmail.com



นายธีรพงษ์ โพธิ์วัฒนกุล (บุม)  
เกิดวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ.2533  
ที่อยู่ 1042/62 สุขุมวิท101 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ 10260  
จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ  
เบอร์โทรศัพท์ 087-795-5551  
E-mail address : bubblebubu@hotmail.com



นายธีรพงศ์ กำลั้งกล้า (เอลฟ์)  
เกิดวันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ.2533  
ที่อยู่ 149 หมู่ 5 ต.แจ้ซ้อน อ.เมืองปาน จ.ลำปาง 52240  
จบมัธยมศึกษาตอนปลายที่ โรงเรียนแจ้ห่มวิทยา จ.ลำปาง  
เบอร์โทรศัพท์ 080-791-7115  
E-mail address : teera.elf@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้