การประเมินศักยภาพพลังงานลมเพื่อการสูบน้ำในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

EVALUATION OF WIND ENERGY AVAILITY FOR WATER PUMPING IN CENTRAL THAILAND

แสนทรัพย์ ชูรัศมี
SANSUB CHURASSMEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL 2018-EN-M-030-013

การประเมินศักยภาพพลังงานลมเพื่อการสูบน้ำในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

EVALUATION OF WIND ENERGY AVAILABILITY FOR WATER PUMPING IN CENTRAL THAILAND

แสนทรัพย์ ชูรัศมี

SANSUB CHURASSMEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL 2018-EN-M-030-013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF WIND ENERGY AVAILABILITY FOR WATER PUMPING IN CENTRAL THAILAND

SANSUB CHURASSMEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

OF MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M- KMITL 2018-EN-M-030-013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินศักยภาพพลังงานลมเพื่อการสูบน้ำในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย
Thesis Title Evaluation of Wind Energy Availability for Water Pumping in Central Thailand
นักศึกษา นายแสนทรัพย์ ชูรัศมี
รหัสประจำตัว 57601164
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-030-013

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พรชัย	นิเวศน์รังสรรค์	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
ผศ.ดร.อุนนัต	พิณโสภณ	
ผศ.ดร.เอกพจน์	ตันตราภิวัฒน์	
รศ.ดร.จำลอง	ปราบแก้ว	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินศักยภาพพลังงานลมเพื่อการสูบน้ำในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย
นักศึกษา	นายแสนทรัพย์ ชูรัศมี
รหัสนักศึกษา	57601164
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเพื่อใช้ในการสูบน้ำ ในพื้นที่การเกษตรบริเวณ 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทยได้แก่ จังหวัด กาญจนบุรี นนทบุรี ฉะเชิงเทรา ชัยนาท นครนายก นครปฐม ปทุมธานี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี ลพบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สระแก้ว สระบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อยุธยา และอ่างทอง โดยได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลมบนเสาวัดลมที่มีความสูงเสา 12 m แล้วนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยและทิศทางทุกๆ 10 นาทีมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ โปรแกรม OWC เพื่อหาค่าความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงรายชั่วโมงและรายเดือนที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่มาทำการเฉลี่ยเป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 เดือนโดยเริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน 2558 ถึงเดือนสิงหาคม 2559 ผลจากการศึกษานั้นพบว่าสถานีที่ค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่สถานีจังหวัดสมุทรปราการโดยมีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 2-5 m/s และค่าต่ำสุดอยู่ที่สถานีจังหวัดนครนายกที่ 1-2 m/s จากนั้นได้เลือกพื้นที่การเกษตรกลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นพื้นที่ทดสอบกังหันลมสูบน้ำ ซึ่งกังหันลมสูบน้ำที่ใช้ทดสอบเป็นกังหันลมสูบน้ำชนิดแนวนอนมีจำนวนใบพัด 30 ใบ และมีความสูง 12 m โดยทดสอบกังหันลมที่ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 1 – 6 m/s จากผลการทดสอบพบว่ากังหันลมเริ่มทำงานที่ค่าความเร็วลมตั้งแต่ 2 m/s เป็นต้นไป โดยที่ความเร็วลม 2 m/s จะได้ปริมาณน้ำ 5.7 ลิตรต่อนาที และที่ความเร็วลมเฉลี่ย 6 m/s จะได้ปริมาณน้ำ 45 ลิตรต่อนาทีและได้นำผลการทดสอบไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมเฉลี่ยเทียบกับอัตราการสูบน้ำ เพื่อที่จะทำการประเมินศักยภาพการสูบน้ำในแต่ละสถานีวัดลม จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต้นทุนของกังหันลมสูบน้ำชนิดนี้กับปั๊มสูบน้ำแบบเครื่องยนต์อีก 2 ชนิด ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบในระยะ 20 ปี การสูบน้ำโดยใช้กังหันลมชนิดนี้คุ้มทุนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Evaluation of wind energy availability for water pumping in Central Thailand
Student	Mr.Sansup Churassamee
Student ID	57601164
Degree	Master of Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chamlong Prabkeao

ABSTRACT

This thesis presents the study of wind power potential that used for water pumping in the central region of Thailand, which includes Kanchanaburi, Nonthaburi, Chachoengsao, Chai Nat, Nakhon Nayok, Nakhon Pathom, Pathum Thani, Prachuap Khiri Khan, Prachin Buri, Phetchaburi, Ratchaburi, Lop Buri, Samut Prakan, Samut Songkhram, Samutsakhon, Sa Kaeo, Saraburi, Singburi, Suphan Buri, Ayutthaya and Ang Thong. Moreover,wind speed and direction were evaluated by installing the wind gauge at 12 meters above ground level. In addition, the average wind speed and direction that were measured every 10 minutes were analyzed using the Microsoft Excel and OWC program to find the mean hourly and monthly wind speed in each area for 12 months. The result showed that the highest average wind speed was at Samut Prakan station, and the lowest average wind speed belonged to Nakhon Nayok station, which were 2-5 m/s and 1-2 m/s, respectively. Furthermore, the selected area for water pumping wind turbine test was Lat Bua Luang district, Ayutthaya, which was the same area as the wind gauge installation. In this experiment, the water pumping wind turbine was a horizontal wind turbine with 30 rotor blades and 12m height. The wind turbine was tested at the wind speed of 1-6 m/s. The findings indicated that the wind turbine started propelling at the wind speed of 2 m/s, where we acquired the water at the rate of 5.7 liters/min, and we got the water volume at the rate of 45 liters/min when we used the 6m/s win speed. Next, we bring these results to plot the graph showing the relationship between the average wind speed and the pumping rate in order to evaluate the pumping potential of each wind station. Finally, comparing the expenses of this wind turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

to the other two engine pumps, we found that pumping by the wind turbine could be worth the cost within 20 years.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำสั่งสอน คำปรึกษาแนะนำและความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว และอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยสั่งสอน ให้คำปรึกษาแนะนำช่วยแก้ปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงผลักดันการดำเนินการต่างๆ ให้ประสบผลสำเร็จด้วยดีมาโดยตลอดมา

ขอบคุณเพื่อน พี่ น้องสำหรับความช่วยเหลือทุกๆ ด้านที่ทำให้การทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอบคุณพ่อ แม่ และญาติพี่น้อง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้วิจัยมาอย่างดี พร้อมให้โอกาสการศึกษาอย่างเต็มที่ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเป็นกำลังใจให้ต่อสู้พากเพียรและผ่านอุปสรรคต่างๆ ตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้แล้วนั้นขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษาต่อและทำงานวิจัยชิ้นนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

แสนทรัพย์ ชูรัศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... III

กิตติกรรมประกาศ..... IV

สารบัญ..... V

สารบัญตาราง..... X

สารบัญรูป..... XIV

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... XXI

บทที่ 1 บทนำ..... 1

ความสำคัญและความเป็นมา..... 1

1.1 วัตถุประสงค์..... 2

1.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษา..... 2

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ..... 5

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ..... 9

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 12

3.1 การแบ่งประเภทของลม..... 12

3.1.1 ลมบกลมทะเล..... 12

3.1.2 ลมภูเขาและลมหุบเขา..... 13

3.1.3 ลมมรสุม..... 13

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลลม..... 14

3.2.1 การหาความเร็วลมเฉลี่ย..... 15

3.2.2 การวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของทิศทางลม..... 15

3.2.3 พลังงานลมและกำลังลม..... 17

3.2.4 การแจกแจงทางสถิติ..... 19

3.3 เครื่องวัดลม..... 24

3.4 กังหันลม..... 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การติดตั้งเครื่องมือวัดลมและการเก็บข้อมูล..... 30

4.1 การสำรวจและคัดเลือกพื้นที่..... 30

4.2 เครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลม..... 30

4.2.1 การสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลม..... 32

4.3 การติดตั้งเครื่องวัดลมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล..... 32

4.4 พื้นที่ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมและทิศทาง..... 33

4.5 วิธีการเก็บข้อมูล..... 41

บทที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลลมและศักยภาพพลังงานลม..... 43

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพพลังงานลม..... 43

5.1.1 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม โครงการปลูกพืชผักทฤษฎีใหม่ หมู่ 4 ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา..... 44

5.1.2 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม หมู่ 14 ตำบลเสือโฮก อำเภอเมือง ชัยนาท จังหวัดชัยนาท..... 48

5.1.3 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม หมู่ 9 ตำบลพรหมณี อำเภอเมือง นครนายก จังหวัดนครนายก..... 53

5.1.4 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีมหาวิทยาลัยชาวนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม..... 57

5.1.5 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีหมู่ 4 ตำบลขุนศรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี..... 62

5.1.6 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 6 ตำบลคลองพระอุดม อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี..... 66

5.1.7 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 1 ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.8 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 7 ตำบลดงขี้เหล็ก
อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี..... 75
5.1.9 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 4 ตำบลห้วยทรายเหนือ
อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี..... 79
5.1.10 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี พื้นที่หมู่ 5 ตำบลกรับใหญ่
อำเภอบ้านโป่ง จังหวัด ราชบุรี..... 84
5.1.11 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 4 ตำบลมะนาวหวาน
อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี..... 88
5.1.12 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 10 ตำบลเปร็ง อำเภอบางบ่อ
จังหวัดสมุทรปราการ..... 92
5.1.13 ลักษณะข้อมูลความเร็วจาก สถานี หมู่ 3 ตำบลแพรกหนามแดง
อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม..... 97
5.1.14 ลักษณะข้อมูลความเร็วจาก สถานี หมู่ 3 ตำบลคลองตัน
อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร..... 101
5.1.15 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 13 ตำบลท่าแยก
อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว..... 105
5.1.16 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 5 ตำบลกุดนกเปล้า
อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี..... 110
5.1.17 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี โครงการฟาร์มตัวอย่างพระราชดำริ
หนองลาด ตำบล ท่าข้าม อำเภอค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี..... 114
5.1.18 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง
หมู่ 3 ตำบลบางปลาม้า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี..... 118
5.1.19 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีกลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ
บ้านหลุม ทองหลาง หมู่ 5 ตำบลสิงหนาท อำเภอลาดบัวหลวง
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา..... 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.20 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีหมู่ 3 ตำบลบางเสร็จ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง 127

5.1.21 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม หมู่ 6 ตำบลหนองขนาด อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี 131

5.1.22 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ย ใน 1 ปี 136

5.1.23 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน 137

5.1.24 ความหนาแน่นกำลังลม 138

บทที่ 6 กังหันลมและการทดสอบสมรรถนะกังหันลมสูบน้ำ 139

6.1 คุณลักษณะของกังหันลมสูบน้ำและปั๊มน้ำ 139

6.2 การติดตั้งกังหันลมสูบน้ำ 141

6.3 การทดสอบและผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำ 142

6.3.1 ผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำ 144

6.3.2 การเปรียบเทียบกังหันลมสูบน้ำชนิดอื่นๆ 148

6.4 ขั้นตอนการใช้งานและการบำรุงรักษากังหันลมและปั๊มน้ำ 151

6.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ของกังหันลมสูบน้ำ 152

บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง 154

เอกสารอ้างอิง 155

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม OWC 158

ภาคผนวก ข ความถี่ของความเร็วและทิศทางลมรายปี Weibull 163

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ค่า c k โดยวิธี Graphical 166

ภาคผนวก ง การหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยและทิศทางโดยวิธี bin 170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์ 173
ภาคผนวก ฉ ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหัน 182

ประวัติผู้เขียน 203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ตารางแสดงขั้นตอนในการปฏิบัติงาน..... 3

3.1 ค่า n ตามลักษณะพื้นผิวต่างๆ..... 21

4.1 แสดงพิกัดแต่ละ 21 สถานี ที่ทำการติดตั้งเสาวัดลมเพื่อศึกษา..... 41

5.1 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม
สถานีจังหวัดฉะเชิงเทรา..... 48

5.2 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดชัยนาท..... 52

5.3 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดนครนายก..... 56

5.4 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดนครปฐม..... 60

5.5 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดนนทบุรี..... 66

5.6 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดปทุมธานี..... 70

5.7 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม
สถานีจังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 74

5.8 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม
สถานีจังหวัดปราจีนบุรี..... 79

5.9 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดเพชรบุรี..... 83

5.10 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดราชบุรี.. 87

5.11 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆ ของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดลพบุรี. 91

5.12 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม
สถานี จังหวัดสมุทรปราการ..... 95

5.13 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม
จังหวัดสมุทรสงคราม..... 100

5.14 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม
จังหวัดสมุทรสาคร..... 105

5.15 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี
จังหวัดสระแก้ว..... 109

5.16 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดสระบุรี..... 114

5.17 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม จังหวัดสิงห์บุรี..... 118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.18 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดสุพรรณบุรี..... 122

5.19 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดอยุธยา..... 126

5.20 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดอ่างทอง..... 131

5.21 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดกาญจนบุรี..... 135

6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของกังหันลมสูบน้ำที่ช่วงความเร็วลมต่างๆจังหวัดอยุธยา..... 143

6.2 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำ ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของ จังหวัดฉะเชิงเทรา..... 148

6.3 แสดงผลของข้อมูลและการคาดการณ์สำหรับกังหันชนิด multi-blade..... 149

6.4 แสดงผลของข้อมูลและการคาดการณ์สำหรับกังหันชนิด Vita windmill..... 150

6.5 การเปรียบเทียบต้นทุนของชนิดของต้นกำลังที่ใช้ในการสูบน้ำตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี.... 153

ค.1 จำนวนชั่วโมงในช่วงความเร็ว..... 166

ค.2 จำนวนชั่วโมงในช่วงความเร็วคูณกับค่ากลางของbin จะได้เป็น product..... 167

ค.3 แสดงค่าความเร็ว จำนวนชั่วโมง ค่าความน่าจะเป็นไวล์บูลล์ ค่าความถี่สะสม..... 168

ค.4 แสดงค่า Xi และ Yi..... 169

ง.1 แสดงค่า ช่วงความเร็วลมและจำนวนชั่วโมง..... 170

ง.2 แสดงรายละเอียดค่ากลางของ bin..... 171

ง.3 แสดงรายละเอียดค่ากลางของทิศทาง..... 172

ฉ.1 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา..... 182

ฉ.2 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดชัยนาท..... 183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ.3 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดสิงห์บุรี 184

ฉ.4 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดอ่างทอง 185

ฉ.5 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดปทุมธานี 186

ฉ.6 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดกาญจนบุรี 187

ฉ.7 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดนครปฐม 188

ฉ.8 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดนนทบุรี 189

ฉ.9 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดราชบุรี 190

ฉ.10 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดสุพรรณบุรี 191

ฉ.11 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดฉะเชิงเทรา 192

ฉ.12 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดนครนายก 193

ฉ.13 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดปราจีนบุรี 194

ฉ.14 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดลพบุรี 195

ฉ.15 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดสมุทรปราการ 196

ฉ.16 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลม ที่วัดได้ของจังหวัดสระแก้ว 197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ฉ.17 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสระบุรี..... 198

ฉ.18 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดเพชรบุรี..... 199

ฉ.19 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 200

ฉ.20 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสมุทรสงคราม..... 201

ฉ.21 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสมุทรสาคร..... 202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ศักยภาพกำลังลมที่ระดับความสูง 40 เมตร..... 5

2.2 ตารางแสดงระดับกำลังลมและระดับความเร็วที่ความสูงต่างกัน..... 6

2.3 ผังลมระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 80 เมตร (ขวา) สถานีวัดลมปากพนัง..... 7

2.4 ผังลมระดับความสูง 60 เมตร (ซ้าย) 80 เมตร (ขวา) สถานีวัดลม เชียรใหญ่..... 7

2.5 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละสถานีตลอดทั้งปี
ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2554 – กันยายน 2555..... 8

2.6 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมที่เมืองกัมปอต..... 9

2.7 กำลังที่ผลิตได้ของกังหันลมแต่ละชนิดที่นำมาเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ที่ความเร็วลมต่างๆ..... 10

3.1 ความแตกต่างระหว่างลมบกกับลมทะเล..... 12

3.2 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขาช่วงเวลากลางวันกลางคืน..... 13

3.3 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้..... 13

3.4 การแจกแจงความถี่ความเร็วลมซึ่งพล็อตระหว่างจำนวนชั่วโมงที่เกิดความเร็วลม
ที่แต่ละความถี่กับความเร็วลม..... 15

3.5 เป็นการแจกแจงทิศทางลมจะพบว่าปริมาณความเร็วลมส่วนมากจะมาจากทิศตะวันออก..... 16

3.6 แสดงตัวอย่างกราฟเส้นตรงโดยการ Graphical Method..... 22

3.7 เครื่องวัดลม..... 25

3.8 แอนโมมิเตอร์แบบรูปถ้วย..... 25

3.9 แอโรเวน..... 26

3.10 การติดตั้งเครื่องวัดลมที่ระดับความสูง เสา 12 เมตร..... 27

3.11 เครื่องเมือวัดความเร็วและทิศทางลม และเครื่องบันทึกข้อมูล..... 27

3.12 แสดงตัวอย่างกังหันลมแนวแกนตั้ง..... 28

3.13 แสดงตัวลักษณะทั่วไปของกังหันลมชนิดแนวนอน..... 29

4.1 อุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทางลม..... 31

4.2 แสดง data logger ยี่ห้อ windlog..... 31

4.3 แสดงการทำงานของ data logger..... 32

4.4 แบบการติดตั้งเครื่องวัดลมทั้ง 21 สถานี..... 33

4.5 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานี หมู่ 6 ตำบลหนองขนาด อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานี โครงการปลูกพืชผักทฤษฎีใหม่ หมู่ 4 ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัด ฉะเชิงเทรา..... 34

4.7 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานี หมู่ 9 ตำบลพรหมณี อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก..... 34

4.8 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีมหาวิทยาลัยชาวนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม..... 35

4.9 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีหมู่ 4 ตำบลขุนศรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี..... 35

4.10 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีหมู่ 1 ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 35

4.11 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 7 ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี..... 36

4.12 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีหมู่ 4 ตำบลห้วยทรายเหนือ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี..... 36

4.13 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีพื้นที่หมู่ 5 ตำบลกรับใหญ่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี..... 36

4.14 บริเวณพื้นที่ศึกษา .สถานีหมู่ 4 ตำบลมะนาวหวาน อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี..... 37

4.15 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 10 ตำบลเปร็ง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ..... 37

4.16 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานี หมู่ 3 ตำบลแพรกหนามแดง อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม..... 37

4.17 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 3 ตำบลคลองตัน อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร..... 38

4.18 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 13 ตำบลท่าแยก อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว..... 38

4.19 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 5 ตำบลกุดนกเปล้า อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี..... 38

4.20 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง หมู่ 3 ตำบลบางปลาม้า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี..... 39

4.21 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 3 ตำบลบางเสร็จ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง..... 39

4.22 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีกลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ บ้านหลุมทองหลาง หมู่ 5 ตำบลสิงหนาท อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา..... 39

4.23 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 14 ตำบลเสือโฮก อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท..... 40

4.24 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีพื้นที่หมู่ 6 ต.คลองพระอุดม อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี..... 40

4.25 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีโครงการฟาร์มตัวอย่างพระราชดำริหลองลาด ตำบลท่าข้าม อำเภอค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี..... 40

4.26 แสดงข้อมูลดิบ แปลง เป็นไฟล์ Excel..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.1 การกระจายความถี่ของขนาดและทิศทางของความเร็วลมที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัด ฉะเชิงเทรา และการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายชั่วโมง..... 47

5.2 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดฉะเชิงเทรา..... 47

5.3 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดชัยนาท..... 51

5.4 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดชัยนาท..... 52

5.5 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดนครนายก..... 56

5.6 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่สถานีวัดลม จังหวัดนครนายก..... 56

5.7 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดนครปฐม..... 60

5.8 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่สถานีวัดลม จังหวัดนครปฐม..... 61

5.9 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดนนทบุรี..... 65

5.10 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดนนทบุรี..... 65

5.11 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดปทุมธานี..... 69

5.12 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดปทุมธานี..... 70

5.13 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 74

5.14 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 74

5.15 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดปราจีนบุรี..... 78

5.16 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดปราจีนบุรี..... 78

5.17 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดเพชรบุรี..... 82

5.18 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดเพชรบุรี..... 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.19 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดราชบุรี..... 87

5.20 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดราชบุรี..... 87

5.21 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดลพบุรี..... 91

5.22 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่สถานีวัดลม จังหวัดลพบุรี..... 92

5.23 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรปราการ..... 95

5.24 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรปราการ..... 96

5.25 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรสงคราม..... 100

5.26 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรสงคราม..... 100

5.27 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรสาคร..... 104

5.28 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรสาคร..... 104

5.29 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสระแก้ว..... 108

5.30 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่สถานีวัดลม จังหวัดสระแก้ว..... 109

5.31 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสระบุรี..... 113

5.32 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสระบุรี..... 113

5.33 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสิงห์บุรี..... 117

5.34 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่สถานีวัดลม จังหวัดสิงห์บุรี..... 117

5.35 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสุพรรณบุรี..... 111

5.36 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสุพรรณบุรี..... 121

5.37 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดอยุธยา..... 126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.38 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดอยุธยา..... 126

5.39 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดอ่างทอง..... 130

5.40 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่สถานีวัดลม จังหวัดอ่างทอง..... 130

5.41 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดกาญจนบุรี..... 134

5.42 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดกาญจนบุรี..... 135

5.43 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยที่มีความถี่สูงสุด ทั้ง 21 สถานี..... 136

5.44 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลม รายเดือนเฉลี่ย ทั้ง 21 สถานี..... 137

5.45 กำลังลมเฉลี่ยรายปีแต่ละสถานี..... 138

6.1 กังหันลมแบบสูบชักชนิดหลายใบ..... 140

6.2 ตำแหน่งการวางฐานเสาเข็มสำหรับยึดเสากังหัน..... 142

6.3 ฐานสำหรับยึดเสาของถังเก็บน้ำ..... 142

6.4 แสดงส่วนประกอบของเสาโครงสร้างกังหันลมและถังเก็บน้ำที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว..... 142

6.5 Flow meter ที่ติดตั้งไว้ที่ท่อส่งน้ำระหว่างกังหันลมและถังเก็บน้ำ..... 144

6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและอัตราการไหลของน้ำที่กังหันลมสูบได้..... 146

6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบของปั๊มสูบน้ำ..... 146

6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบของกังหันลม..... 147

6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและประสิทธิภาพโดยรวม..... 147

6.10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ความเร็วลมต่างๆกันในแต่ละชนิดกังหัน..... 150

6.11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมที่ความเร็วลมต่างๆกันในแต่ละชนิดกังหัน..... 151

6.12 ช่องสำหรับใส่น้ำ หลังจากประกอบส่วนต่างๆเสร็จแล้ว เพื่อให้กังหันลมทำงาน..... 152

ก.1 Data Retrieval..... 158

ก.2 Data Targets..... 158

ก.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 159

ก.4 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 159

ก.5 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 159

ก.6 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 159

ก.7 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.8 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 160

ก.9 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 160

ก.10 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 160

ก.11 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 160

ก.12 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 160

ก.13 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 161

ก.14 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 161

ก.15 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 161

ก.16 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 161

ก.17 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 161

ก.18 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 162

ก.19 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 162

ก.20 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 162

ข.1 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดนครนายก..... 163

ข.2 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดนนทบุรี..... 163

ข.3 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดนครปฐม..... 163

ข.4 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดปทุมธานี..... 163

ข.5 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์..... 163

ข.6 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดปราจีนบุรี..... 163

ข.7 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดเพชรบุรี..... 164

ข.8 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดราชบุรี..... 164

ข.9 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดลพบุรี..... 164

ข.10 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี
จังหวัดสมุทรปราการ..... 164

ข.11 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี
จังหวัดสมุทรสงคราม..... 164

ข.12 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี – สถานีจังหวัดสมุทรสาคร..... 164

ข.13 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสระแก้ว..... 164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.14 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสระบุรี..... 164

ข.15 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสิงห์บุรี..... 165

ข.16 (ขวา)การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสุพรรณบุรี..... 165

ข.17 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี – สถานี
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา..... 165

ข.18 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดอ่างทอง..... 165

ข.19 การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดกาญจนบุรี..... 165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

Fx	คือ แรงต่อหน่วยที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ (N / Kg)
ΔX	คือ ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวนอน (m)
A	คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (m^2)
c	คือ พารามิเตอร์สเกล
H_0	คือ ความสูงของเครื่องตรวจวัดลม
k	คือ พารามิเตอร์รูปร่าง
KE	คือ พลังงานจลน์ (J)
N	คือ จำนวนครั้งของการตรวจวัด
N_0	คือ จำนวนครั้งลมสงบ
N_1	คือ จำนวนครั้งของลมที่ตรวจวัดได้ (>0 m/s)
P	คือ กำลังลมทั้งหมด (W)
Pr	คือ ความดันบรรยากาศ (mmHg)
t	คือ เวลา (S)
T	คือ อุณหภูมิ (K)
V	คือ ความเร็วลม (m/s)
V_1	คือ ความเร็วลมไม่รวมช่วงลมสงบ
Vp	คือ ความดันไอ (mmHg)
Z	คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)
ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg / m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

พลังงานลมเป็นพลังงานสะอาดที่ใช้แล้วไม่หมด เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ได้จากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถที่จะช่วยลดระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย ดังนั้นพลังงานลมจึงถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่ง จึงไม่แปลกสำหรับหลายๆประเทศทั่วโลกที่นิยมนำพลังงานจากลมมาใช้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านไหน จากรายงานของสภาพพลังงานลมโลก (Global wind energy Council ,2011) [1] ได้รายงานว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลกในปี ค.ศ. 2010 เพิ่มขึ้น 35,802 MW ซึ่งคิดเป็น 22.5% จากกำลังที่ผลิตได้ทั้งหมด 194,390 MW ซึ่งเกือบครึ่งหนึ่งนั้นเพิ่มขึ้นในประเทศจีน เนื่องจากอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจและจำนวนประชากรที่สูงขึ้น ประกอบกับประเทศจีนมีความเชี่ยวชาญในเรื่องกังหันลมเป็นอย่างดีจึงทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมได้เพิ่มขึ้น 65% ส่วนในประเทศอินเดีย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และไต้หวันก็มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเพิ่มขึ้นเกือบทุกปี ทำให้ในปี 2010 ภูมิภาคเอเชียกลายเป็นตลาดพลังงานลมที่ใหญ่ที่สุดและสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มได้มากกว่า 19,022 MW นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานลมเพื่อการสูบน้ำเพื่อการบริโภค อุปโภค การเกษตร การทำนาเกลือ และการเลี้ยงสัตว์ เมื่อปี 1994 (Smulders,1986) [2] และ (Smulders and de Jongh,1994) [3] ได้นำเสนอความคิดเกี่ยวกับการใช้พลังงานลมในการสูบน้ำที่มีความทันสมัย ประหยัด และมีศักยภาพมากที่สุดโดยได้ทำการออกแบบตัวของปั๊มและใบพัดของกังหันลมสูบน้ำให้ตอบสนองต่อคุณลักษณะของลมที่ความเร็วต่างๆกัน และจากนั้นก็ได้มีการศึกษาการนำพลังงานลมมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น ในหลายปีต่อมา (Mohsen and Akash, 1998) [4] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้พลังงานลมเพื่อการสูบน้ำ ในเมืองต่างๆ ของประเทศจอแดนผลการศึกษานั้นพบว่าพื้นที่ที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดมีถึง 11 พื้นที่ โดยการศึกษาศักยภาพความเร็วลมและทิศทางในพื้นที่นั้นๆ ต่อมา (Al-Suleimani and Rao, 2000) [5] ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมสูบน้ำ ที่ความเร็วลมที่แตกต่างกัน และปริมาณน้ำที่ได้รายเดือน เทียบกับค่าปริมาณที่ออกแบบโดยผู้ผลิตซึ่งสรุปได้ว่าสามารถนำพลังงานลมมาใช้ในการสูบน้ำได้สำเสร็จที่ความเร็วต่ำเพื่อสำหรับพื้นที่ห่างไกลในประเทศโอมานซึ่งมีทรัพยากรลมที่สามารถใช้ได้อย่างเพียงพอ (Bouzidi, 2011) [6] จากรายงานการใช้ทรัพยากรพลังงานลม เพื่อใช้ในการสูบน้ำในภูมิภาค Adrar ของประเทศแอลจีเรีย (Algeria) พบว่าระบบสูบน้ำด้วยพลังงานลมสามารถใช้ได้ดีทั้งด้านเทคนิคและความประหยัด เมื่อเทียบกับระบบการสูบน้ำด้วยโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Harries, 2002) [7] ได้นำเสนอบทความการออกแบบ การทดสอบภาคสนาม ในการพัฒนากังหันลมสำหรับการสูบน้ำในพื้นที่ชนบทที่ห่างไกล เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใน จะเห็นได้ว่าพลังงานลมนั้นสามารถนำมาใช้กันได้หลากหลายวิธีและก่อนที่จะนำพลังงานลมมาใช้จะต้องมีการศึกษาศักยภาพลมบริเวณนั้นเสียก่อน ก่อนที่จะลงทุนติดตั้งกังหันลมชนิดอื่นๆ เพื่อให้คุ้มค่าและไม่ขาดทุนในการติดตั้ง

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอผลการศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ทำการเกษตรของเกษตรกรที่ต้องการสูบน้ำมาใช้เพื่อการเกษตรในเขต 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่จังหวัดกาญจนบุรี นนทบุรี ฉะเชิงเทรา ชัยนาท นครนายก นครปฐม ปทุมธานี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี ลพบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สระแก้ว สระบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อยุธยา อ่างทอง โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลมที่ติดตั้งบนเสาวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 12 เมตรในพื้นที่เป้าหมายในรอบ 12 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือน กันยายน 2558 จนถึงเดือน สิงหาคม 2559 และได้ติดตั้งกังหันลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 5 เมตร จำนวนใบพัด 30ใบ เพื่อทดสอบความสามารถในการสูบน้ำที่ความเร็วลมต่างๆเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจติดตั้งกังหันลมสูบน้ำทั้ง 21 สถานีใน 21 จังหวัด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะบริเวณพื้นที่การเกษตรใกล้แหล่งน้ำ ใน 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ในรอบปี

1.2.2 ทดสอบกังหันลมสูบน้ำเพื่อหาสมรรถนะความสามารถในการสูบน้ำที่ความเร็วลมต่างๆ

1.2.3 ประเมินศักยภาพในการสูบน้ำด้วยกังหันลมในพื้นที่การเกษตร 21 จังหวัดภาคกลาง

1.2.4 ศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้กังหันลมสูบน้ำกับปั๊มสูบน้ำแบบเครื่องยนต์

1.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษา

1.3.1 ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดและเครื่องเก็บข้อมูลลม ทั้ง 21 สถานีที่เลือกจากผลการประเมินความเหมาะสมในภาพรวมแล้ว เก็บข้อมูลลม ใช้ระยะเวลา 12 เดือน โดยใช้เครื่องวัดลมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

1.3.2 รวบรวมและศึกษาข้อมูลลมจากสถานีที่ได้ตรวจวัดในพื้นที่ใกล้เคียงทั้ง 21 สถานี เพื่อประเมินหาสถานีที่มีศักยภาพพลังงานลมสูง โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลดิบที่ได้จากการติดตั้งเสาวัดความเร็วลม โดยใช้ระยะเวลา 1 เดือน คือ เดือนสิงหาคม 2559

1.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพพลังงานลม โดยข้อมูลดิบที่ได้จากสถานีวัดลมแต่ละสถานีจะถูกนำมาถ่ายโอนด้วยโปรแกรม Winsite แล้ววิเคราะห์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรม MS Excel และโปรแกรม OWC จะได้ผลการวิเคราะห์ในรูปของกราฟและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงดังต่อไปนี้

(1) ค่าความเร็วลมเฉลี่ยและกำลังลมต่อหน่วยพื้นที่ (รายเดือนและรายปี) ที่ระดับความสูงของเสาวัดลม 12 เมตร

(2) ความถี่ของระดับความเร็วลมรายปีในรูปของ Weibull Distribution

(3) ความถี่ของทิศทางลม และ ความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละทิศทางลม

(4) ศักยภาพพลังงานลมในรูป Weibull Distribution

(5) ความหนาแน่นของกำลังลม

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

ลำดับ	ขั้นตอน	วิธีการปฏิบัติ
1	ติดต่อประสานงานการขอใช้พื้นที่และสำรวจภาคสนาม คัดเลือกพื้นที่เป้าหมาย	-สำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงและเป็นพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ตามพื้นที่ทำการเกษตรใกล้แหล่งน้ำ สำหรับติดตั้งอุปกรณ์วัดลม. -คัดเลือกพื้นที่เป้าหมายจำนวน 21 สถานีใกล้พื้นที่ทำการเกษตรและใกล้แหล่งน้ำ
2	เตรียมฐานรากและติดตั้งเสาวัดลมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติและอุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทาง	-ติดตั้งเสาวัดลมในพื้นที่เป้าหมาย 21 สถานี -ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราเร็วและทิศทางลมรวมทั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติในพื้นที่เป้าหมาย 21 สถานี
3	บันทึกและจัดเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาอัตราเร็วเฉลี่ย k-shape , c-scale ทุกเดือน	-บันทึกและจัดเก็บข้อมูลอัตราเร็วและทิศทางของลมในพื้นที่เป้าหมาย 21 สถานี สำหรับการวิเคราะห์โดยโปรแกรม OWC -วิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนเพื่อหาอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือน k-shape , c-scale ของการแจกแจงไวบูลล์รายเดือนและรายปี 21 สถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ตารางแสดงขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

ลำดับ	ขั้นตอน	วิธีการปฏิบัติ
4	คัดเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงสุดสำหรับการติดตั้งกังหันลมสูบน้ำและเปรียบเทียบปั๊มกังหันลมสูบน้ำกับปั๊มมอเตอร์และเครื่องยนต์	- คัดเลือกพื้นที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงจากผลวิเคราะห์ข้อมูลจากโปแกรม owc เพื่อสำหรับการติดตั้งกังหันลมสูบน้ำในอนาคต - เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายอัตราการไหลระหว่างปั๊มกังหันลมกับปั๊มเครื่องยนต์

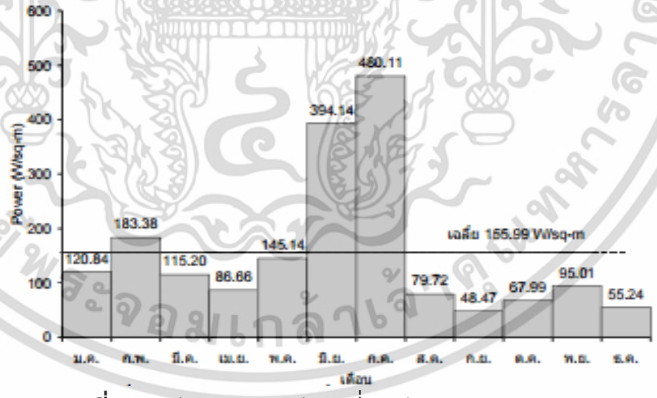
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อ การศึกษาศักยภาพพลังงานลมนั้นก็มีด้วยกันหลากหลายทั้งในประเทศและนอกประเทศ ในที่นี้จะยกตัวอย่าง 10 ตัวอย่างที่เกี่ยวกับการวัดศักยภาพพลังงานลม

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ

ธเนศ ไชยชนะ [8] ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะและศักยภาพพลังงานลมของสถานีวัดลมกิ่วลม จังหวัดแม่ฮ่องสอนและได้กล่าวถึงว่า พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าในประเทศนั้นใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักซึ่งมีความผันผวนตามตลาดโลก รัฐบาลจึงได้ตั้งเป้าหมายในการนำพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ในสัดส่วน 8 % ในปี 2554 พลังงานลมนั้นก็เป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งและยังเป็นพลังงานที่สะอาดแต่การที่จะนำมาพลังงานลมมาใช้นั้นส่วนใหญ่จะต้องทำการตรวจวัดศักยภาพของลมบริเวณนั้น อย่างน้อย 1 ปี เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ



รูปที่ 2.1 ศักยภาพกำลังลมที่ระดับความสูง 40 เมตร [8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะและศักยภาพพลังงาน ที่ สถานีวัดลมกิ่วลม โดยทำการตรวจวัด ความเร็วลมและทิศทางของลม ที่ระดับความสูง 40 เมตรจากพื้นดิน ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ปี 2550-2551 ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าความเร็วลม ทิศทางลม ค่า wind shear coefficient การแจกแจงความถี่ของความเร็วลม กำลังลม รวมถึงประเมินความเป็นไปได้ในการติดตั้งกังหันลม ทั้งนี้การพิจารณาการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม และกำลังลม จะใช้วิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แจกแจงแบบ Weibull ในการวิเคราะห์ และจากผลการศึกษาพบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 5.19 m/s ที่ระดับความสูง 40 m จากพื้นดิน โดยพัดมาจากช่วงทิศตะวันตกเฉียงใต้ถึงทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีค่า wind shear coefficient เท่ากับ 0.263 ค่าพารามิเตอร์ k เท่ากับ 1.55 และพารามิเตอร์ c เท่ากับ 4.89 m/s กำลังลมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 155.99 w/m^2 ที่ระดับความสูง 40 m จากพื้นดิน ผลการพิจารณาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าโดยกังหันลมพบว่า มีต้นทุนการผลิตประมาณ 3-4 บาท/kw-h ซึ่งศักยภาพที่สูงกว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

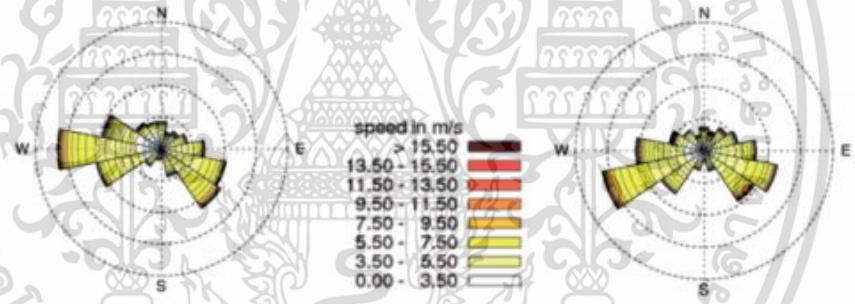
ชนะ จันทร์ฉ่ำ [9] ได้ทำการศึกษาศักยภาพลมบริเวณอำเภอหัวไทรของจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งได้ทำการ วิเคราะห์ข้อมูลอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนในช่วงระยะเวลา 1 ปี (ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ. 2551) ที่ระดับความสูง 20 m 30 m และ 40 m เหนือพื้นดิน ผลการวิจัยนั้นพบว่า ค่าพารามิเตอร์รูปร่างและพารามิเตอร์ระดับจากระเบียบวิธีทางกราฟ มีค่าอยู่ในช่วง 1.52-2.57 และ 3.93-15.81 m/s ตามลำดับ จากการวิเคราะห์การแจกแจงไวบุลล์ พบว่า ความถี่ของอัตรา เร็วลมที่พัดผ่านพื้นที่สำรวจมีค่าอัตราเร็วอยู่ในช่วง 2.50-14.00 m/s ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนลมเฉลี่ยรายเดือนมีค่า อยู่ในช่วง 0.05-0.52 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความหนาแน่นกำลังลมที่ระดับความสูง 80 m 90 m และ 100 m เหนือ พื้นดินตลอดทั้งปีมีค่าเท่ากับ 721 w/m^2 823 w/m^2 และ 965 w/m^2 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในกำลังลมระดับ 5 ดังนั้น พื้นที่อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช มีศักยภาพลมสูงต่อการพัฒนาพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้า

ระดับ	ระดับความสูง (m)							
	10		30		40		80	
	ความเร็ว (m/s)	กำลังลม (W/m^2)	ความเร็ว (m/s)	กำลังลม (W/m^2)	ความเร็ว (m/s)	กำลังลม (W/m^2)	ความเร็ว (m/s)	กำลังลม (W/m^2)
1.1	2.8	25	3.3	40	3.5	45	3.9	62
1.2	3.6	50	4.1	80	4.3	91	4.7	123
1.3	4	75	4.7	120	4.9	136	5.5	185
1.4	4.4	100	5.2	160	5.4	181	6.0	246
2	5.1	150	5.9	240	6.2	272	7.0	370
3	5.6	200	6.5	320	6.8	363	7.5	493
4	6.0	250	7.0	440	7.3	453	8.0	616
5	6.4	300	7.4	480	7.7	544	8.7	739
6	7.0	400	8.2	640	8.5	725	9.4	985
7	9.4	1000	11	1600	11.5	1813	12.8	2463

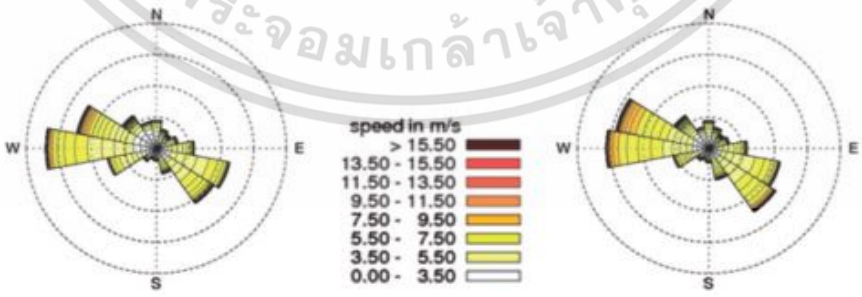
รูปที่ 2.2 ตารางแสดงระดับกำลังลมและระดับความเร็วที่ความสูงต่างกัน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมพล ชีวมงคลกานต์ [10] ได้ทำการวิเคราะห์ศักยภาพลมบริเวณอำเภอปากพนังและอำเภอเชียงใหญ่ของ จังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงจำนวนและข้อมูลอินพุทจากการวัดแบบทวิด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ WindSim 5.0.1 รวมไปถึงได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาคจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงและการคำนวณด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณโดยทำการตรวจวัดความเร็วลมและทิศทางลมทุกๆ 10 นาทีที่ระดับความสูง 60 m , 70 m , 80 m ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 จากผลการวิเคราะห์ทำให้พบว่าอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 60 m , 70 m , 80 m ที่สถานีปากพนัง มีค่าเท่ากับ 3.94 m/s และ 4.12 m/s และ 4.23 m/s และ สถานีวัดลมเชียงใหญ่ มีค่าเท่ากับ 3.84 เมตรต่อวินาที และ 4.06 เมตรต่อวินาและ 4.23 เมตรต่อวินาที การวิเคราะห์ความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานลมระดับจุลภาคพบว่าค่าร้อยละความแตกต่างของทั้ง 2 สถานีมีค่าไมเกินร้อยละ 5



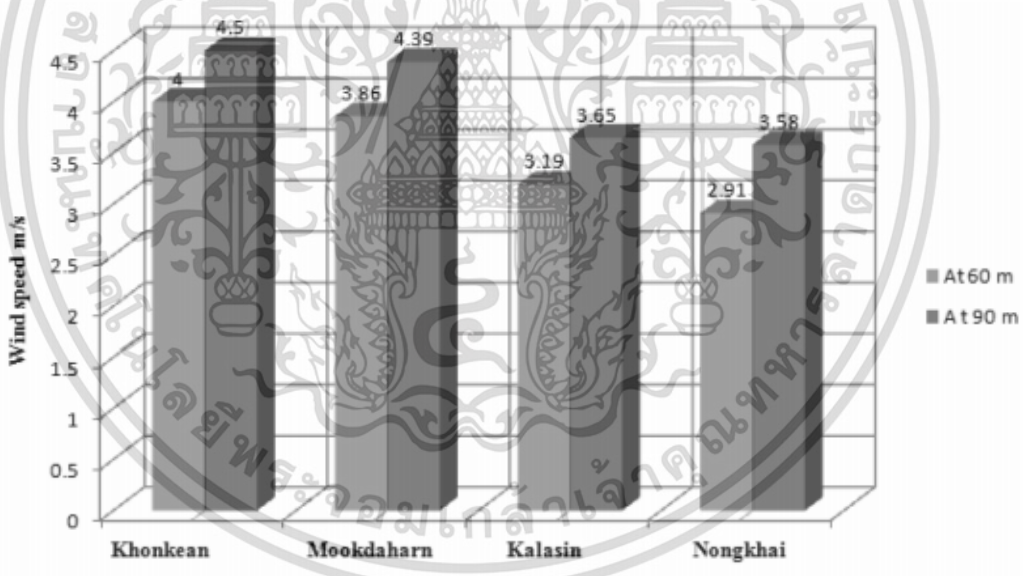
รูปที่ 2.3 แสดงผังลมระดับความสูง 60 m (ซ้าย) 80 m (ขวา) สถานีวัดลม ปากพนัง [10]



รูปที่ 2.4 แสดงผังลมระดับความสูง 60 m (ซ้าย) 80 m (ขวา) สถานีวัดลม เชียรใหญ่ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มานพ พูนน้อย [11]ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยไก้แก่จังหวัด ขอนแก่น , มุกดาหาร , กาฬสินธุ์และจังหวัดหนองคาย โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จริงจากการติดตั้งเสาวัดลม และโดยมีความสูงของเสาวัดลมอยู่ที่ 90 m และ 60 m เหนือพื้นดินและใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมทั้งหมด 12 เดือน เริ่มตั้งแต่ตุลาคม2554 จนถึงเดือนกันยายน 2555 ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะแสดงในรูปของกราฟและตารางเพื่อเปรียบเทียบหาพื้นที่ของสถานีวัดลมที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดเพื่อแสดงให้เห็นว่าพื้นที่นั้นมีพลังงานสูงสุดและสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งกังหันลมต่อไปในอนาคต จากการศึกษานั้นให้ผลสรุปได้ว่าจังหวัดที่มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดคือจังหวัดขอนแก่น , มุกดาหาร ,กาฬสินธุ์ และจังหวัดหนองคาย ตามลำดับ และ สถานีวัดลมที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดคือสถานีโรงเรียนบ้านหนองหัวช้าง อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ระหว่าง 4.00-4.50 m/s พารามิเตอร์รูปร่างเท่ากับ 2.55 และ 2.48 พารามิเตอร์ระดับ 5.2 และ 4.6 m/s และมีกำลังเท่ากับ 93 , 66 w/m^2 สถานีวัดลมที่มีความเร็วลมเฉลี่ยรองลงมาคือสถานีวัดลมอ่างเก็บน้ำห้วยมุก อ.คำชะอี จ.มุกดาหาร และ สถานีวัดลมโรงเรียนคำบอนวิทยาสรรพ์ อ.ท่าคันโท จ.กาฬสินธุ์ และลำดับสุดท้ายสถานีวัดลมมหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย

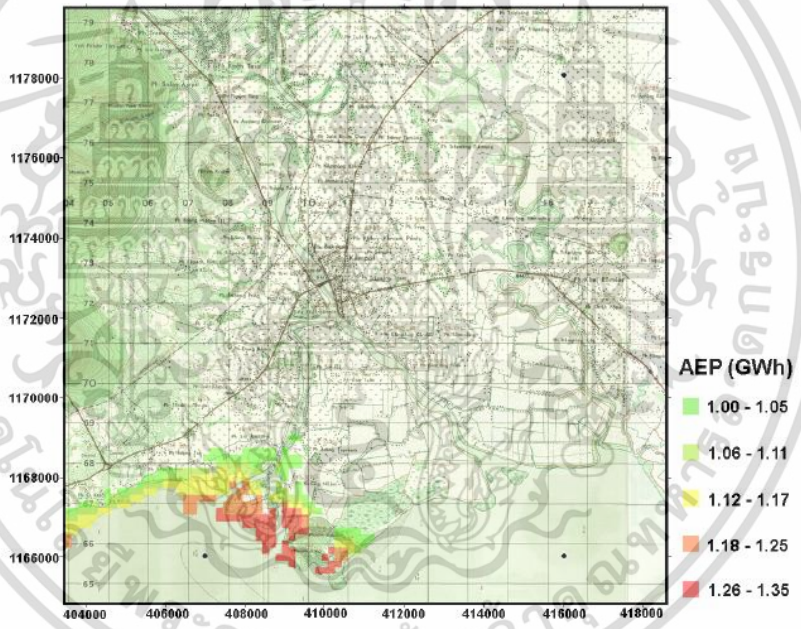


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละสถานีตลอดทั้งปี ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2554 – กันยายน 2555 [11]

ทวีศักดิ์ ธารทะเลชล [12] ได้ทำการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลม ที่เมืองกัมปอต (10.36N,104.11E) ประเทศกัมพูชา ในการศึกษาดังกล่าวได้ทำการรวบรวมข้อมูลความเร็วลม และ ทิศทางลม ที่ระดับความสูง 50 m ซึ่งวัดที่สถานีวัดลมเมืองกัมปอต จำนวน 1 ปี (กันยายน พ.ศ.2550 ถึง สิงหาคม พ.ศ.2551) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หารการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในรอบวัน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี และทำการวิเคราะห์การแจกแจงทางสถิติของความเร็วลม โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์กับการแจกแจงไวย์บูล และทำการหา Shape parameter กับ Scale parameter โดยวิธี Maximum likelihood หลังจากนั้นที่ได้ทำการคำนวณ power density และความเร็วลมเฉลี่ยรายปี จาก Shape parameter กับ Scale parameter ที่ได้ และนำค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าวพร้อมข้อมูลลักษณะพื้นที่ของเมืองกัมปอตมาทำการสร้างแผนที่การกระจายตามพื้นที่ของพลังงานลม ผู้วิจัยนั้นได้นำแผนที่ดังกล่าวพร้อมทั้งแผนที่การใช้พื้นที่ ข้อมูลด้านเครือข่ายสายส่งไฟฟ้า และเส้นทางคมนาคม ทำการวิเคราะห์หาบริเวณที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยใช้วิธีสารสนเทศภูมิศาสตร์และได้คำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี และต้นทุนการผลิต ผลที่ได้พบว่าเมืองกัมปอตมีศักยภาพค่อนข้างสูงในการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมราคาเหมาะสม



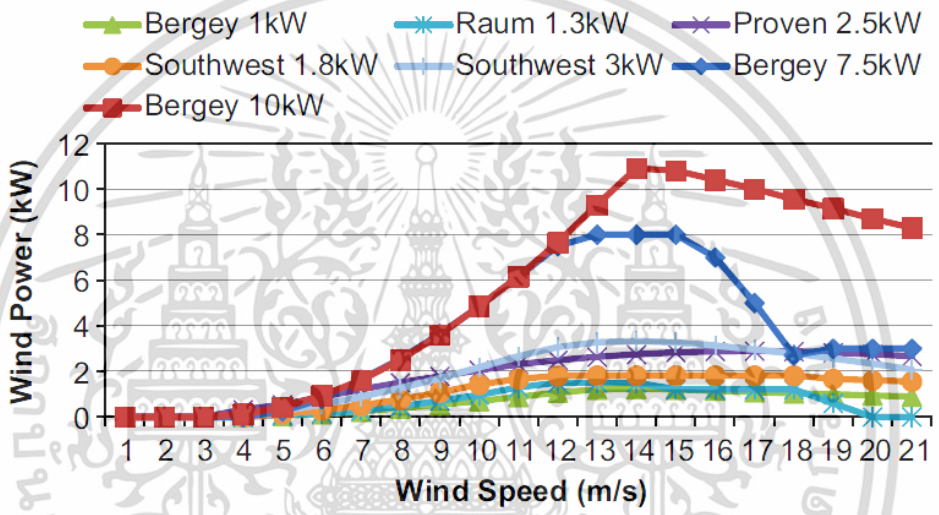
รูปที่ 2.6 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งกังหันลมที่เมืองกัมปอต [12]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

Rehman S [13] ได้ศึกษาและหาวิธีการนำพลังงานลมกลับมาใช้อีกวิธีหนึ่งซึ่งอาจจะเป็นครั้งแรกที่ได้ทำขึ้นในประเทศ-ซาอุดีอาระเบียที่มีการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ในการสูบน้ำเพื่อใช้สอย สำหรับพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลและไฟฟ้าเข้าไม่ถึง กังหันลมที่ใช้เป็นกังหันลมขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตตั้งแต่1-10 kWเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลม และใช้ร่วมกับปั๊มสูบน้ำของ Goulds 45 J เพื่อใช้สูบน้ำที่ Arar,Rawdat ben habbasและที่ Juaymah ซึ่งเป็นพื้นที่ท้องถิ่นในประเทศซาอุดิอาระเบีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความเร็วลมจะทำการวัดที่ความสูงแตกต่างกันจนถึง 40 m จากผลการทดลองทำให้พบว่าความเร็วลมจะสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน เมื่อเทียบกับช่วงฤดูหนาวของพื้นที่ทั้งหมด ในแง่ของผลผลิตพลังงานและค่าใช้จ่าย พบว่ากังหันลมขนาด 2.5 kW จากบริษัท Proven มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการผลิตกำลังงานทั้งสามพื้นที่ ซึ่งแสดงให้เห็นจากปริมาณน้ำที่สูบได้รายปีทั้งหมดซึ่งได้ปริมาณน้ำทั้งหมดประมาณ 30,000 m^3 ที่Totaldynamic head(TDH) เท่ากับ 50 m เมื่อใช้กังหันลมขนาด 2.5 kW ของบริษัท Proven ที่มีความสูงของจุดศูนย์กลางของวงล้อใบกังหันลมจากฐานล่าง 15-40 m ทั้งสามพื้นที่ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำเฉลี่ยต่ำที่สุด 1.28 US$/$m^3$



รูปที่ 2.7 แสดงกำลังกังหันลมแต่ละชนิดที่นำมาเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ที่ความเร็วลมต่างๆ[13]

H.M.Abu EL-Eizz [14] ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมและคุณลักษณะของลมในพื้นที่ประเทศ เยเมน และ อียิปต์ ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยคลอบคลุมพื้นที่ทั้ง 2 ประเทศโดยแบ่งสถานีวัดลมออกเป็นทั้งหมด 12 สถานี โดย 4 สถานีอยู่ในประเทศเยเมนและอีก 8 สถานีอยู่ในประเทศอียิปต์ วิธีการวิเคราะห์จะทำการพล็อตกราฟในรูปของความเร็วลมเฉลี่ยและกำลังลมเฉลี่ย ใน 1 ปี และยังแสดงแผนภูมิการแจกแจงความถี่อีกด้วย จากผลการวิเคราะห์นั้นทำให้สรุปได้ว่า ความสามารถในการใช้พลังงานลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือพลังงานอื่นๆของทั้ง 2 ประเทศนั้นมีแนวโน้มที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมที่สามารถใช้ในกำลังลมที่อยู่ที่ช่วง 103-576 Kwh/m^2ได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องนำหลักอากาศพลศาสตร์ และการสิ้นเปลื้องทางด้านพลังงานไฟฟ้า มาคิดประกอบการศักยภาพพลังงานลมในบริเวณนั้นด้วย

A.Allouhi [15] ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ 6 รัฐในประเทศมอร็อคโก ได้แก่ Al hoceima , Tetouane ,Assila , Essouira ,Laayoune,Dakhla อันดับแรกก่อนหน้านี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของลักษณะทางภูมิศาสตร์ในสถานีทั้ง 6 สถานี หลังจากนั้นจะทำการติดตั้งเสาวัดลมและทิศทาง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำข้อมูลลมที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ความเร็ว กำลังลม และการแจกแจงความถี่ของข้อมูลลม ตลอด 5 ปี 2011-2015 ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงในรูปของการแจกแจงความถี่แบบไวย์บูลล์และใช้อัลกอลิทรึม เพื่อทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ระดับและรูปร่าง จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า สถานี Dakhla นั้นเหมาะสมที่สุดที่จะติดตั้งกังหันลมที่สามารถใช้ได้กับพลังงานลมที่มีกำลังอยู่ในช่วง 255-900 Kw

Amir Dabbaghiyan [16] ได้ทำการศึกษา ศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่เขต Bushehr ประเทศอิหร่าน ซึ่งการใช้พลังงานทดแทนนั้นได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นในภาคของอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศอิหร่านนั้นก็มีการใช้พลังงานทดแทนหลายชนิดพลังงานลมก็เป็นพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ได้โดยการติดตั้งกังหัน ซึ่งในการศึกษานี้จะศึกษาศักยภาพพลังงานลมทั้ง 4 สถานีของ จังหวัด Bushehr ประเทศอิหร่าน ได้แก่ Asaluyeh , Bordkhun , delvar ,Hatt-Chah โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมในปี 2011 ที่ความสูง 10m , 30m , 40m เหนือพื้นดินตามลำดับ และยังแสดงถึงการแจกแจงไวย์บูลล์อีกด้วย จากผลจากการวิเคราะห์ทำให้สรุปได้ว่าในส่วนของความเร็วลมและทิศทางและการแจกแจงไวย์บูลล์จะพบว่าสถานี Bordkhun นั้นมีศักยภาพพลังงานลมสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานีที่เหลือ และความหนาแน่นของกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีจะอยู่ที่ 265 w/m^2 ที่ความสูง 40 m ซึ่งจะนำไปจัดหากังหันลมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

Ali Mostafaeipour [17] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพพลังงานลมเพื่อนำมาใช้กับผลิตไฮโดรเจนในประเทศอิหร่าน ซึ่งงานวิจัยนี้จะเก็บความเร็วลมและทิศทางลมทุกๆ 10 นาที ที่ระดับความสูง 10m , 30m , 40m ตามลำดับ ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจะเฉลี่ยทุกๆเดือนจนครบ 1 ปี โดยแบ่งสถานีออกเป็น 4 สถานี คือ Abaden ,Juyom ,Eqleed และ Marudashtซึ่งกำลังลมเฉลี่ยจะต้องถูกวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพพลังงานลมในการผลิตไฮโดรเจนในแต่ละเมือง ผลการวิเคราะห์นั้นสรุปได้ว่าสถานี Abadeh นั้นมีศักยภาพของพลังงานลมสูงสุดอยู่ที่ 7.47 m/s และสามารถให้กำลังลมสูงสุดอยู่ที่ 220 w/m^2 นั้นหมายความว่าสามารถผลิตไฮโดรเจนจากพลังงานลมในสถานี Abadeh โดยใช้กังหันลมขนาด 52/900และคาดว่าจะสามารถเป็นเชื้อเพลิงให้กับรถยนต์ได้ถึง 22 คัน ต่อสัปดาห์

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้ง 10 งานวิจัยนั้นได้มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดศักยภาพลมอีกมากมายขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ จะพบว่า ก่อนการติดตั้งกังหันลมต่างๆชนิดนั้น จะต้องทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมนั้นเสียก่อนเพื่อไม่ให้ขาดทุนในการนำกังหันลมไปติดและสามารถที่จะดึงประสิทธิภาพของกังหันออกมาใช้ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

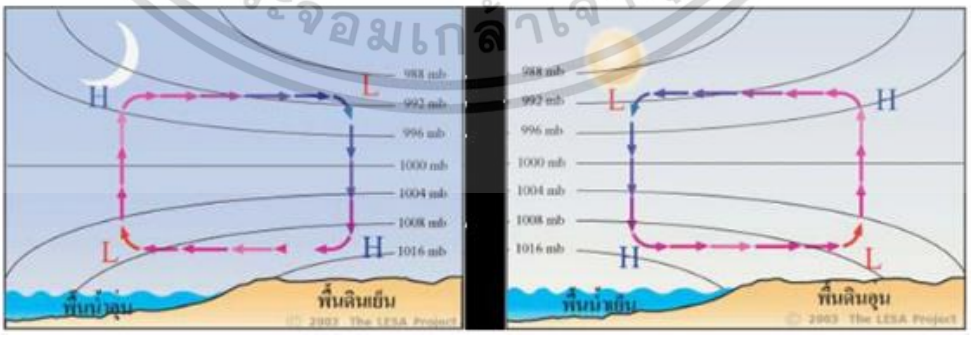
ลม (wind) สาเหตุหลักของการเกิดลมคือดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังโลก แต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในแต่ละตำแหน่ง บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำ อากาศในบริเวณนั้นก็จะลอยตัวขึ้นสูง อากาศจากบริเวณที่เย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลมนั่นเอง และจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้ทำให้เกิดเป็นพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ ลมสามารถเคลื่อนที่ทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนแต่มักจะเคลื่อนที่ในแนวนอนมากกว่า

3.1 การแบ่งประเภทของลม

ลมสามารถจำแนกออกได้หลายชนิดตามสถานที่ที่เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ

3.1.1 ลมบกและลมทะเล

ลมบกและลมทะเล (land and sea breeze) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของบริเวณทะเลกับฝั่ง โดยลมทะเลจะเกิดในตอนกลางวัน เพราะบนฝั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณในทะเลจึงทำให้เกิดลมจากทะเลพัดเข้าสู่ฝั่ง ส่วนลมบกเกิดในเวลากลางคืนเพราะบริเวณในทะเลจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบนฝั่ง ทำให้เกิดลมจากฝั่งออกสู่ทะเล

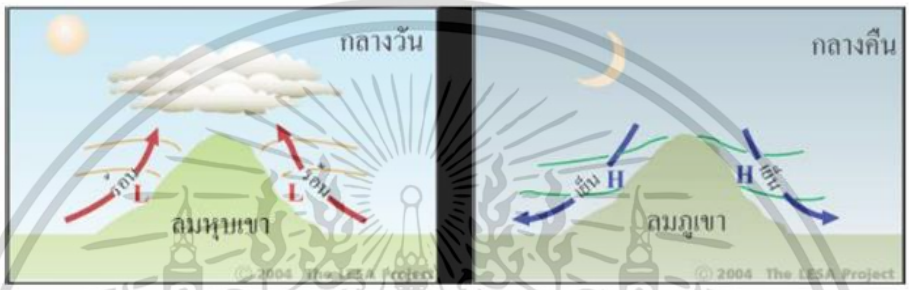


รูปที่ 3.1 ความแตกต่างระหว่างลมบกกับลมทะเล [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ลมภูเขาและลมหุบเขา

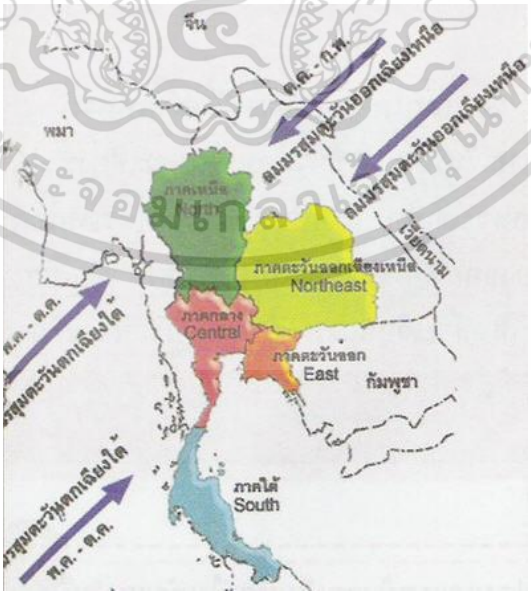
ลมภูเขาและลมหุบเขา (mountain and valley winds) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขา โดยลมภูเขาจะพัดจากสันเขาลงไปสู่หุบเขาในตอนกลางคืน เนื่องจากบริเวณสันเขาอยู่ในที่สูงกว่าจึงเย็นเร็วกว่าหุบเขาดังนั้นจึงมีลมพัดลงจากยอดเขาสู่หุบเขาส่วนลมหุบเขาจะพัดจากหุบเขาขึ้นไปสู่สันเขาโดยเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เนื่องจากบริเวณหุบเขาเบื้องล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ายอดเขาจึงมีลมพัดขึ้นไปตามความสูงของสันเขา



รูปที่ 3.2 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขาช่วงเวลากลางวันกลางคืน [18]

3.1.3 ลมมรสุม

ลมมรสุมเกิดขึ้น ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีความเกี่ยวเนื่องมาจากอุณหภูมิพื้นผิวและสภาพภูมิศาสตร์ คล้ายกับการเกิดลมบกลมทะเลแต่มีสเกลใหญ่กว่ามาก



รูปที่ 3.3 ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงเดือน พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ อากาศแห้งบริเวณตอนกลางของทวีปมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศชื้นเหนือมหาสมุทรอินเดีย กระแสลมพัดจากหย่อมความกดอากาศสูงในเขตไซบีเลีย ในลักษณะตามเข็มนาฬิกา (แอนติไซโคลน) มายังหย่อมอากาศต่ำในมหาสมุทรอินเดียทำให้เกิด ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดผ่านประเทศไทย ในช่วงเดือนมีนาคม-ตุลาคม อากาศบริเวณตอนกลางทวีปมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศเหนือมหาสมุทรอินเดีย อากาศร้อนยกตัวพัดเข้าหาแผ่นดินใจกลางทวีปในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา (ไซโคลน) ทำให้เกิด ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านประเทศไทย

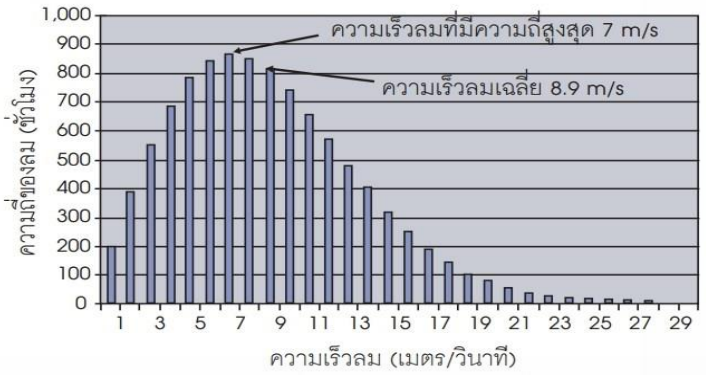
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลลม

ในการประเมินศักยภาพ เมื่อพิจารณาความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง พบว่าความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงจากความเร็วศูนย์ที่ระดับพื้นผิวไปคงที่ระดับความสูงหนึ่งซึ่งดังนั้นในการวิเคราะห์ความเร็วของลมจึงต้องทำการพิจารณาค่าคงที่ของลักษณะการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมหรือสัมประสิทธิ์เฉือนลม (Wind Shear Coefficient) เทียบกับความสูงเพื่อใช้ใน การหาค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ โดยใช้กฎของเพาเวอร์ (Power law) ตามสมการ (3.1) ดังนี้

$$\frac{V_h}{V_{hr}} = \left(\frac{h}{h_r}\right)^{\alpha} \tag{3.1}$$

โดยที่ V_h เป็นความเร็วลมที่ระดับความสูง h และ V_{hr} ความเร็วลมที่ระดับความสูงอ้างอิง ขณะที่ α เป็นค่า สัมประสิทธิ์เฉือนลม (Wind shear coefficient) ส่วนใหญ่จะมีค่าตั้งแต่ 0.1 – 0.4 ตามสภาพความ ขรุขระของสภาพพื้นที่ที่ทำการศึกษา จะเห็นว่าที่ระดับความสูงมากขึ้นมักจะมีศักยภาพต่อผลิตพลังงานจากพลังงานลมสูงขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะความถี่และความแรงลมหรือ ความเร็วลมที่ระดับความสูงนั้น ก็มีความสำคัญต่อการแสดงถึงศักยภาพต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการประเมินศักยภาพของพื้นที่จึงต้องพิจารณาจากการแจกแจงของความเร็วลมในช่วงเวลาที่ต้องการซึ่งจะพิจารณาบนฮีสโตแกรม (Histogram) ในรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่ที่ความเร็วนั้นเกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาความเร็วลมเฉลี่ย ความสม่ำเสมอของความเร็วลมที่ดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในช่วงเวลาต่างๆที่ต้องการพิจารณานั้น เป็นต้นว่า ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละเดือน ความสม่ำเสมอของความเร็วในเวลากลางวันและเวลากลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การแจกแจงความถี่ความเร็วลมซึ่งพล็อตระหว่างจำนวนชั่วโมงที่เกิดความเร็วลมที่แต่ละความถี่กับความเร็วลม [20]

3.2.1 การหาความเร็วลมเฉลี่ย

ความเร็วลม คือ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรงหรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก ในการวิเคราะห์ลม ถ้ากำหนดค่าความเร็วลมเป็นตัวแปรสุ่มไม่ต่อเนื่อง สมการที่ (3.2) และ สมการที่ (3.3) สามารถถูกใช้คำนวณหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนของความเร็วลม ตามลำดับ ได้ดังนี้

$$V_{avg} = \frac{\sum_i^n m_i v_i}{\sum_i^n m_i} \tag{3.2}$$

และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลม

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_i^n m_i (v_i - v_{avg})^2}{\sum_i^n m_i}} \tag{3.3}$$

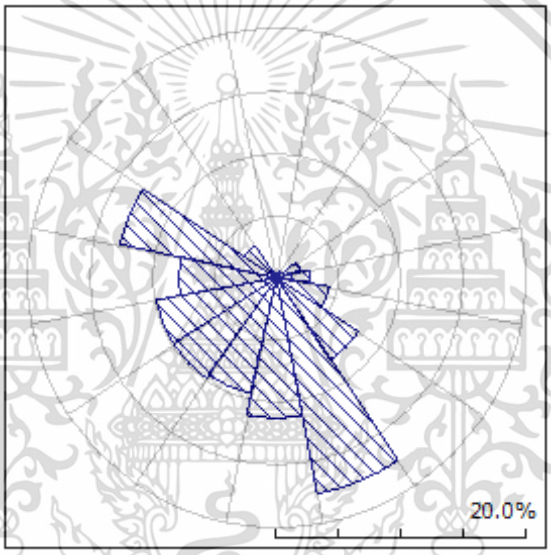
โดยที่ V_{avg} เป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) σ_v เป็นค่าเบี่ยงเบนของความเร็วลม n เป็นจำนวนทั้งหมดของตัวแปรสุ่มความเร็วลม m_i เป็นจำนวนความถี่ที่ตัวแปรสุ่มความเร็วลม v_i และ i เป็นลาดับของตัวแปร สุ่มความเร็วลม

3.2.2 การวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของทิศทางลม

แผนผังแสดงสภาพ ปริมาณความเร็ว และทิศทางของลมในช่วงเวลาหนึ่งๆณบริเวณที่วัดข้อมูลการจัดทำแผนภูมิทิศทางลมจำเป็นต้องใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยของความเร็วลมและทิศทางลมของช่วงเวลาสั้นๆ เช่น 1 สัปดาห์ 1 เดือนหรือนานกว่า จากนั้นจัดเรียงข้อมูลความเร็วลมที่เก็บรวบรวมได้ในแต่ละทิศทางลมและคำนวณเป็นร้อยละของเวลาที่ลมพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจากทิศทางที่กำหนดการแสดงข้อมูลอยู่ในรูปกราฟวงกลม โดยข้อมูลทิศทางลมจะถูกจัดเรียง โดยแบ่งวงกลมออกเป็นสิบสองส่วนโค้งที่รองรับมุมเท่ากับ 30 องศาละความยาวกราฟในแนวรัศมีของแต่ละสิบสองส่วนแสดงร้อยละของเวลาที่ลมพัดในทิศทางนั้นๆข้อมูลความเร็วลมสามารถซ้อนทับในส่วนของแต่ละทิศทาง เพื่อแสดงปริมาณความเร็วลมเฉลี่ยเมื่อลมพัดมาจากทิศทางนั้นๆ ถ้าพลังงานลมส่วนใหญ่มาจากทิศทางใดทิศทางหนึ่ง การตั้งกังหันลมต้องเลือกบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางน้อยที่สุดในทิศทางนั้น และควรมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ รูปแบบของลมในแต่ละปีอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง ทำให้พลังงานที่เกิดจากลมมีค่าเปลี่ยนไปบ้าง (ปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 10)



รูปที่ 3.5 เป็นการแจกแจงทิศทางลมจะพบว่าปริมาณความเร็วลมส่วนมากจะมาจากทิศตะวันออก

ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุด คือการเก็บข้อมูลต่อเนื่องกันหลายปี แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล ในการวางแผนติดตั้งทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่โดยปกติจะต้องติดตั้งสถานีตรวจอากาศในบริเวณนั้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อยหนึ่งปี เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและใช้ข้อมูลระยะยาวจากสถานีตรวจอากาศที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อปรับแต่งข้อมูลให้มีความถูกต้องมากขึ้น

การวิเคราะห์ ทิศทางของลมก็สามารถคำนวณหาทิศทางลมเฉลี่ย θ_{avg} และ σ_{θ} ค่าเบี่ยงเบนของทิศทางลม ได้เช่นเดียวกับการคำนวณหาค่าความเร็วลมเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนของความเร็วลมในสมการ (3.2) และสมการที่ (3.3) ตามลาดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 พลังงานลมและกำลังลม (Wind Energy and Wind Power)

ปริมาณกำลังลมต่อพื้นที่หน้าตัด โดยองค์ประกอบที่มีผล 2 องค์ประกอบ คือ ความเร็วลม และความหนาแน่นของอากาศ ความหนาแน่นกำลังลมแปรผันกับกำลัง 3 ของความเร็วลม และแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นของอากาศ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าลดลงถ้าระดับความสูง และอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นกำลังลมลดลง ทุ่งกังหันลมที่ติดตั้งอยู่บนภูเขา และอยู่ในเขตร้อนต้องคำนึงถึงผลกระทบนี้ด้วยการเปรียบเทียบแหล่งของทรัพยากรลมพิจารณาจากค่าความหนาแน่นกำลังลมที่แบ่งออกเป็นหลายระดับ โดยวัดความเร็วลมที่ความสูงที่กำหนด

การคำนวณพลังงานและกำลังลมที่ได้สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ และวิเคราะห์ศักยภาพกำลังลม (P) ทั้งหมดที่ไหลผ่านพื้นที่ตั้งฉากคำนวณจากสมการที่ 3.4

$$P=\frac{KE}{t}=0.5\rho AV^3 \tag{3.4}$$

เมื่อ

KE	คือ	พลังงานจลน์ (J)
P	คือ	กำลังลมทั้งหมด (W)
t	คือ	เวลา (S)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
V	คือ	ความเร็วลม (m/s)
A	คือ	พื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (m^2)

กำลังของลมทั้งหมดที่ได้ต่อหน่วยพื้นที่คำนวณจากสมการที่ (3.5)

$$\frac{P}{A}=0.5\rho V^3 \tag{3.5}$$

การที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้จะต้องมีอุปกรณ์ที่เปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ของกระแสลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่ากังหันลม (wind turbine) พิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วลม V พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในช่วงหนึ่งหน่วยเวลา จะมีกำลังลม P ที่ได้จากพลังงานจลน์ ดังนี้

$$P=\frac{1}{2}\rho AV^3 \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น กำหนดให้ C_p เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power coefficient) ซึ่ง C_p จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันจะสามารถนำไปใช้ได้จากกระแสลม ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนั้น

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \tag{3.7}$$

ค่าความหนาแน่นของอากาศสามารถคำนวณได้จากค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิขณะทำการตรวจวัดความเร็วลม คำนวณได้จาก

$$\rho = 1.2929\left(\frac{P}{760}\right)\frac{273}{273+T} \tag{3.8}$$

หรือ

$$\rho = 0.464\left(\frac{P}{273+T}\right) \tag{3.9}$$

เมื่อ ρ เป็น ความดันบรรยากาศ (mm-Hg)

T เป็น อุณหภูมิ (c^o)

ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศที่ความสูงต่างกันมีค่าไม่เท่ากัน อุณหภูมิของบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ สามารถ คำนวณได้จาก

$$T = T_0 - 0.00651y \tag{3.10}$$

เมื่อ T_0 เป็น อุณหภูมิบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล (c^o)

y เป็น ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (m)

ดังนั้นความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูงใด ๆ เหนือระดับน้ำทะเลคำนวณได้จาก

$$\rho = 0.464\frac{p}{273+(T_0-0.00651y)} \tag{3.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นอากาศมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบกำลังลมที่ได้คือ 1.225 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ 15 c^o เมื่อทราบค่าความเร็วลมที่ตรวจวัดได้ สามารถคำนวณหากำลังลมเฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเดือน ช่วงฤดูกาล หรือในแต่ละปีได้จาก

$$\frac{P_{avg}}{A} = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i}{AN} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} 0.5\rho_i v_i^3 \tag{3.12}$$

เมื่อ N เป็น จำนวนข้อมูลที่ทำการตรวจวัด

จากที่ได้กล่าวข้างต้น ความเร็วลมที่มีการแจกแจงตามฟังก์ชั่นการแจกแจงไวย์บูลล์ ดังนั้นกาลังลม ต่อพื้นที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.13) ในเทอมของฟังก์ชั่น γ

$$P = \frac{1}{2}\rho c^3 \gamma(1+\frac{3}{k}) \tag{3.13}$$

3.2.4 การแจกแจงทางสถิติ

เนื่องจากข้อมูลลมนั้นค่อนข้างที่เยอะในการศึกษาครั้งนี้จะมีศึกษาเปรียบเทียบการแจกแจงที่ได้จากการวัดจริงเทียบกับการแจกแจงที่ได้จากแบบจำลองทางสถิติ เพื่อให้ทราบถึงความน่าเชื่อถือของการใช้ทำนายของข้อมูล เนื่องจากในการจำลองทางสถิตินั้นมีหลายวิธีแต่ในกรณีศึกษาศักยภาพลมครั้งนี้จะเลือกแบบจำลองไวย์บูลล์ (Weibull model) เพราะเนื่องในการทำการแจกแจงของข้อมูลความเร็วลมนั้นในรูปของแผนภูมิ Histogram นั้นลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองการแจกแจงทางสถิติ ไวย์บูลล์ และ เรย์เลย์ การวิเคราะห์ข้อมูลลมและการแจกแจงความถี่ของข้อมูลในงานด้านการศึกษาศักยภาพพลังงานลมจะมี สมการที่ใช้ ทำนายหรือการแจกแจงข้อมูลลมหลักๆอยู่ 2 วิธีคือ

1. การแจกแจงไวย์บูลล์ (Weibull Distribution)
2. การแจกแจงเรย์เลย์ (Reyleigh Distribution)

3.2.4.1 การแจกแจงเรย์เลย์ (Reyleigh distribution)

การแจกแจงแบบเรย์เลย์ เป็นการแจกแจงแบบง่าย เพราะต้องการข้อมูลเฉพาะค่าความเร็ว ลมเฉลี่ยโดยสมการแจกแจงความน่าจะเป็น และแบบการแจกแจงสะสม คำนวณได้ ตาม สมการที่ 3.13 ทั้งนี้สมการเรย์เลย์ดังกล่าวจะกำหนดให้ ค่า k=2 โดยเป็นค่าคงที probability density function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ cumulative distribution สำหรับ Rayleigh distribution เขียนได้ดังสมการที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ

$$f(v)=\frac{\pi}{2}\left(\frac{v}{\bar{v}^2}\right)\exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2\right) \quad (3.13)$$

$$F(v) = 1-\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2\right] \quad (3.14)$$

3.2.4.2 การแจกแจงแบบไวย์บูลล์ (Weibull distribution)

การแจกแจงไวย์บูลล์เป็นการแจกแจงแบบทางสถิติ แบบหนึ่งสถิติ ซึ่งเป็นระเบียบวิธีพื้นฐานที่สามารถอธิบายคุณลักษณะของลมได้ การกระจายตัวของความเร็วลมโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแบบเบ้ไปข้างใดข้างหนึ่ง(Skew Function) ซึ่งไม่ใช่การกระจายตัวแบบสมมาตร ลักษณะข้อมูลความเร็วลมจะแสดงในรูป density function ซึ่งใช้ในการอธิบายลักษณะในรูปเส้นกราฟความถี่ของความเร็วลม โดยที่ Weibull ที่เป็นการกระจายแบบ 2 พารามิเตอร์ ทำให้ Weibull สามารถใช้งานได้ครอบคลุมลักษณะการกระจายแบบ Weibull จะถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์ 2 พารามิเตอร์ คือ พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter , k) และ พารามิเตอร์สเกล,ระดับ (Scale Parameter , c)

ส่วนลักษณะของการกระจายของความเร็วลมในรูปการกระจายแบบไวย์บูลล์(Weibull Distribution) เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น probability density function และ cumulative distribution สามารถหาดังนี้

$$f(v)=\frac{k}{A}\left(\frac{v}{A}\right)^{k-1}\exp\left\{-\left(\frac{v}{A}\right)^{k}\right\} \quad (3.15)$$

$$k>0, u>1, A>1$$

โดยที่ $f(v)$ เป็น ฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจาย

k เป็น Weibull's shape parameter

A เป็น Weibull's scale parameter

V เป็น ความเร็วลมกึ่งกาง

โดยที่ f(v) เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจาย (probability density function) หรือแทนความน่าจะเป็นของความเร็วลมแต่ละช่วง 1 m/s

ฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (cumulative density function) F(V) คำนวณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F(V)=1-\exp(-(\frac{V}{c})^{k}) \quad (3.16)$$

พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape Parameter , k)

เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะการกระจายของลม ในบริเวณที่มีค่า k ต่ำ แสดงว่าในบริเวณนั้นมีความเร็วลมต่ำพัดโดยความถี่ที่บ่อยครั้งกว่าความเร็วสูง และในกรณีที่ค่า k สูงก็จะแสดงถึงผลที่ตรงกันข้ามกันโดยค่า k ตามโซนต่างๆของโลกตามลักษณะของพื้นผิวแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ k ของลมชนิดต่างๆ [21]

k	ชนิดของลม
1	ลมที่ขั่วโลก ลมที่พัดในที่มีสิ่งปกคลุม
1.5	ลมแทบเมดิเตอร์เรเนียน ลมพัดบริเวณทะเลทราย
2	ลมพัดบนพื้นดินและทะเลบริเวณอบอุ่น
2.5	ลมพัดบริเวณละติจูดที่ 40 องศา
4	ลมสินค้า

พารามิเตอร์สเกล,ระดับ(Scale Parameter , c)

เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับ อัตราเร็วลมเฉลี่ย เมื่อ อัตราเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูง C จะมีค่าสูงและเมื่ออัตราเร็วลมเฉลี่ยต่ำค่า C จะมีค่าต่ำด้วย

การหาพารามิเตอร์ k-shape และ C-scale มีวิธีดังต่อไปนี้

1. Graphical Method
2. Standard deviation Method
3. Moment method
4. Maximum likelihood method
5. Energy pattern factor method

1. Graphical Method

เป็นวิธีการแจกแจงความถี่สะสมในรูปของสมการเส้นตรงตามวิธีการ logarithmic ซึ่งอธิบายการแจกแจงความเร็วลมสะสม

$$F(V)=1-\exp(-(\frac{V}{c})^{k})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปสมการใหม่ โดยการ In ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$\mathrm{In}\left[-\ln\left(1-F(V)\right)\right] = k\ln V - k\ln C \tag{3.17}$$

$$Yi = kXi + kInc \tag{3.18}$$

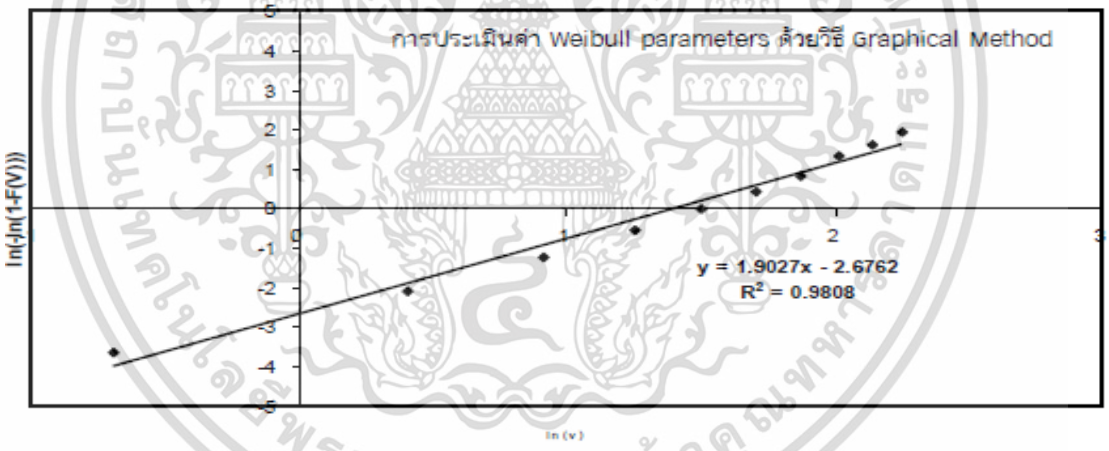
$$Yi = In[-\ln(1-F(V))] \tag{3.19}$$

$$Xi = InV \tag{3.20}$$

โดยที่ $$f(v) = \frac{N}{\sum N} \tag{3.21}$$

$$F(V) = \text{Cumulatiive } f(v) \tag{3.22}$$

โดยที่ N คือ จำนวนชั่วโมงในช่วงความเร็ว



รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างกราฟเส้นตรงโดยการ Graphical Method

จากสมการที่ 3.20 จะพบว่า ค่าความชันของกราฟที่ได้คือค่า k และค่า พารามิเตอร์ c หาได้จาก c=exp(-b/k) ในการหาค่า c , k โดยวิธี Graphical Method สามารถดูได้ที่ ภาคผนวก ค

2. Standard deviation Method

ไวย์บูลล์ พารามิเตอร์ k และ c ประเมินมาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลลม ดังสมการต่อไปนี้

$$k = \left[\frac{\sigma_V}{V_m}\right]^{-1.09} \tag{3.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c=\frac{2V_m}{\sqrt{\pi}} \tag{3.24}$$

เมื่อ σ_V คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

V_m คือ ความเร็วลมเฉลี่ย

เพื่อความถูกต้องมากขึ้นพบว่า c สามารถหาได้ จากสมการ 3.25 ได้เช่นกัน

$$c=\frac{V_m k^{2.6674}}{0.184+0.816k^{2.73855}} \tag{3.25}$$

3. Moment method

อีกวิธีการหนึ่งสำหรับประเมินการหาค่า k และ c คือวิธีการโมเมนต์ลำดับหนึ่งและสองซึ่งวิธีนี้ต้องใช้ แกมม่าฟังก์ชั่นด้วย ดังสมการดังนี้

$$M_m=c^n\gamma[1+\frac{n}{k}] \tag{3.25}$$

ถ้า M_1และM_2 คือโมเมนต์ลำดับที่ 1 และ 2 ตามสมการ ที่ 3.26 ค่า c จะสามารถหาได้จากสมการที่

$$c=\frac{M_2\gamma(1+\frac{1}{k})}{M_1\gamma(1+\frac{2}{k})} \tag{3.26}$$

4. Maximum likelihood method

วิธีนี้พารามิเตอร์ไวย์บูลล์ทั้ง 2 ตัว สามารถหาได้จากสมการ 3.27 และ 3.28 ดังนี้

$$k=[\frac{\sum_{i=1}^{n}V_i^k}{\sum_{i=1}^{n}V_i^k}-\frac{\sum_{i=1}^{n}\ln(V_i)}{n}]^{-1} \tag{3.27}$$

$$c=[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}V_i^k]^{1/k} \tag{3.28}$$

5. Energy pattern factor method

วิธีการ Energy pattern factor method (E_{pf}) คืออัตราส่วนระหว่างพลังงานของลมและกำลังงานที่ได้จากความเร็วลมเฉลี่ย ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{pf}=\frac{1/n\sum_{i=1}^{n}V_i^2}{[1/n\sum_{i=1}^{n}V_i]^2} \quad (3.29)$$

ดังนั้นประมาณค่า k ได้ดังนี้

$$k=3.957E_{pf}^{-.0898} \quad (3.30)$$

ซึ่งท้ายที่สุดค่าพารามิเตอร์ระดับ c และ พารามิเตอร์รูปร่าง k นั้นมีความสำคัญมากเนื่องจากพารามิเตอร์สองตัวนี้จะถูกมาใช้ในการประเมินหน่วยทางไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้า อีกทั้งยังจะเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งเมื่อนำค่า c , k ไปแทนในสมการ 3.15 แล้วพล็อตกราฟออกมา จะทำให้ทราบถึงการกระจายตัวของข้อมูลความเร็วลมและความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในช่วงที่เราพิจารณาและยังสามารถใช้ทำนายแบบจำลองของข้อมูลความเร็วลมในพื้นที่อื่นๆของภาคกลางของประเทศไทยอีกด้วย

ทฤษฎีที่ได้กล่าวข้างต้นแสดงถึงหลักการเบื้องต้นที่สำคัญและจำเป็นในการวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดความเร็วลมและทิศทางในพื้นที่จริง เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมซึ่งอาจกำหนดได้จากกำลังลมต่อพื้นที่ที่สูงในพื้นที่ที่ทาการศึกษาและนำไปสู่การประมาณการการผลิตไฟฟ้าต่อปี ความคุ้มทุน และการเลือกกังหันลมให้เหมาะสมที่สุด ปัจจุบันได้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และได้เขียนเป็นซอฟท์แวร์ประยุกต์จานวนหนึ่งเพื่อหาศักยภาพพลังงานลมและใช้กันในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย เช่น WAsP (The Wind Atlas Analysis and Application Program) ซึ่งถูก พัฒนาโดย Wind Energy Department ในหน่วยงาน Riso National Laboratory ของประเทศเดนมาร์ก ซึ่งได้รับการยอมรับในการกำหนดตำแหน่งฟาร์มกังหันลม ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ฟังก์ชั่น OWC ในโปรแกรม WAsP ในการทำนายหาพื้นที่มีศักยภาพทางพลังงานในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

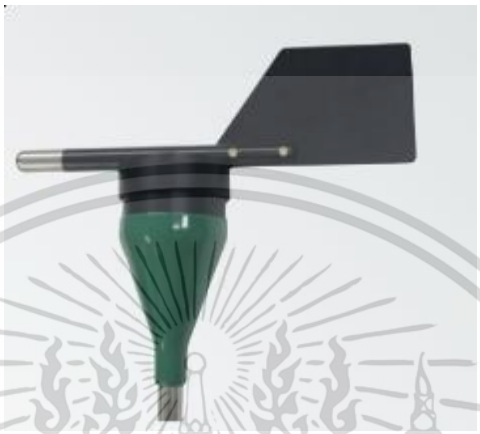
3.3 เครื่องวัดลม

3.3.1 เครื่องวัดทิศลม

เรียกว่า ศรลม (Wind Vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาวมีหางเป็นแผ่นแนวตั้งเป็นตัวบังคับให้หัวศรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามา โดยเครื่องวัดทิศทางลมจะ ใช้หลักการการต้านทานอากาศของแพนหาง เมื่อมีอากาศไหลผ่านในทิศทางตั้งฉากหรือทำมุมกับเครื่องวัดจะเกิดแรงกระทำมากที่สุดที่บริเวณแพนหางของเครื่องวัด เนื่องจากมีพื้นที่ต้านอากาศมากที่สุด แรงลมจะผลักให้แพนหางหมุนจนกว่าแพนหางจะมีทิศทางขนานกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

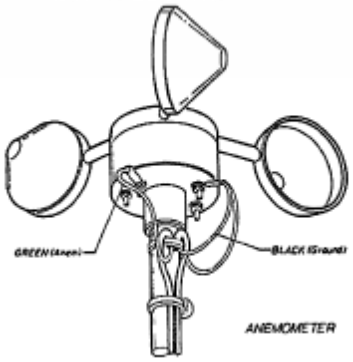
ทิศทางลมซึ่งมีพื้นที่ต้านอากาศน้อยที่สุด จากหลักการนี้ทำให้สามารถระบุทิศทางลมได้ เครื่องวัดทิศทางลมสมัยใหม่ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องวัด ทิศทางลม เพื่อให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปกับทิศทางลม จุดที่ค่าความต้านทานเป็นศูนย์ตรงกับทิศเหนือ ป้อนแรงดันไฟฟ้า และวัดแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนตามค่าความต้านทานเพื่อเก็บในหน่วยเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดลม [22]

3.3.2 เครื่องวัดความเร็วลม

เรียกว่าแอนิโมมิเตอร์ (Anemometer) แอนิโมมิเตอร์แบบเก่าแก่ที่สุดคือแบบแผ่นกระดก (Pressure Plate Anemometer) ประดิษฐ์โดย โรเบิร์ต ฮุค (Robert Hook) เมื่อปี พ.ศ. 2210 ประกอบด้วยแผ่นโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแขวนติดอยู่กับแกน และแกนนี้ ติดอยู่กับเสาในแนวตั้ง แผ่นโลหะนี้หมุนรอบแกนได้อย่างอิสระ และตั้งฉากกับทิศทางลมเสมอ เมื่อมีลมพัดปะทะกับแผ่นโลหะปลายด้านหนึ่งของแผ่นโลหะจะกระดกขึ้น มุมที่แผ่นโลหะทำกับแนวตั้งนั้น จะขึ้นอยู่กับความแรงของลม ถ้าลมนั้นแรงมากมุมที่ทำจะใหญ่ขึ้น ความเร็วลมอ่านได้.จากสเกลที่ทำไว้บนโลหะโค้งที่ติดอยู่กับแขนของแผ่นโลหะ ปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ แบบลูกถ้วย (Cup Anemometer) ประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบ ติดอยู่กับเพลาในแนวตั้ง

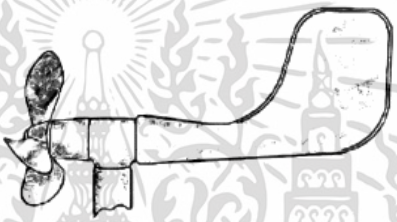


รูปที่ 3.8 แอนิโมมิเตอร์แบบรูปถ้วย [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันอากาศจากกระแสลมที่แตกต่างกันบนลูกถ้วย เป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนไปรอบเพลา (รูปที่ 3.8) อัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนตรงกับความเร็วลม สามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัด หรือส่งไปยังเครื่องบันทึก

เครื่องวัดที่วัดได้ทั้งความเร็วลมและทิศทางลม เรียกว่า แอโรเวน (Aero vane) เป็นชุดรวมแอนิโมมิเตอร์และศรลมเข้าด้วยกัน เครื่องวัดนี้ใช้ใบพัด 3 ใบวัดความเร็วลม ใบพัดหมุนเป็นอัตราส่วนกับความเร็วลม รูปร่างของเครื่องมีรูปทรงอากาศพลศาสตร์ดีและมีหางเสืออยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบพัดหันเข้าหาลม (รูปที่ 2.4) ศรลมจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ บอกทิศทางลม และช่วยให้แกนของใบพัดชี้เข้าหาทิศทางลม ทั้งแอนิโมมิเตอร์และศรลม เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล

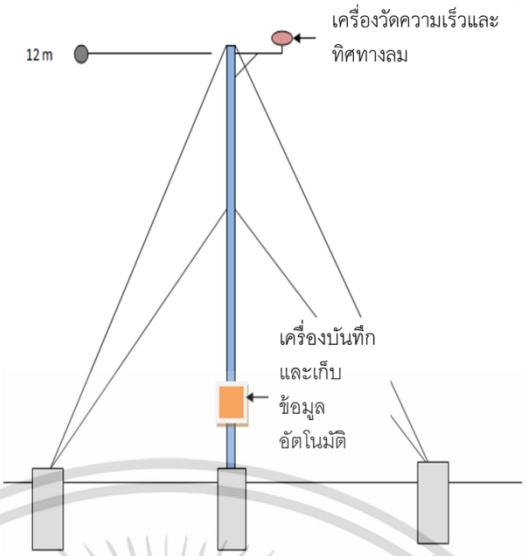


รูปที่ 3.9 แอโรเวน [22]

เครื่องวัดลมที่กล่าวมานี้ใช้วัดลมเหนือพื้นดิน เพื่อบอกทิศทางและความเร็วลมของจุดที่ติดตั้ง แต่เนื่องจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อความเร็วและทิศทางลม เช่น อาคาร ต้นไม้ และอื่น ๆ โดยที่ความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นพ้นจากสิ่งกีดขวาง ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่ลมไหลได้สะดวก และควรอยู่สูงกว่าหลังคาอาคาร แต่ในทางปฏิบัตินั้นเครื่องวัดลมจะถูกติดตั้งวางไว้ในระดับความสูงแตกต่างกัน ทำให้ข้อมูลการวัดลมที่ได้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้านพลังงานลม

การวัดอัตราเร็วและทิศทาง ของลมสามารถทำได้โดยการติดตั้งเครื่องวัดลม (Anemometer) กับเสาสูง 12 เมตร พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องบันทึกและเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) และทำการตรวจวัดทุก 10 นาที ส่วนรูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดลมที่ระดับความสูง 12 เมตร สำหรับการประเมินศักยภาพพลังงานลมในโครงการวิจัยนี้ และรูปที่ 3.11 แสดงเครื่องวัดอัตราเร็ว (wind Speed) และศรลมสำหรับวัดทิศทางลม (Wind vane)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การติดตั้งเครื่องวัดลมที่ระดับความสูง เสา 12 เมตร

รูปที่ 3.11 เครื่องเมือวัดอัตราเร็วและทิศทางลม และเครื่องบันทึกข้อมูล

อุปกรณ์วัดอัตราเร็วลม (Anemometer)มีรูปร่างเหมือนกรวยดักลม มีหลักการทำงาน ดังนี้ เมื่อกระแสลมพัดมาปะทะใบพัดจะทำให้แกนหมุนและส่งสัญญาณจำนวนอบมาให้เครื่องคำนวณเป็นค่าอัตราเร็วอีกทีหนึ่ง โดยมีหน่วยวัดเป็น m/s

3.4 กังหันลม

กังหันลม คือเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับและแปลงพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ และนำพลังงานกลมาใช้เพื่อสูบน้ำโดยตรงหรือผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด กังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) กังหันลมชนิดนี้ เพลาแกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นราบ หรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมมีหลายรูปแบบ ข้อดีที่สำคัญ คือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับบริเวณที่มีการเปลี่ยนทิศทางลมบ่อยๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบเกียร์วางอยู่ใกล้พื้นดิน เพลาของกังหันลมสามารถขับต่อโดยตรงกับเกียร์ที่อยู่ที่พื้นดินทำให้บำรุงรักษาได้ง่าย ทำงานเงียบ เหมาะสำหรับติดตั้งในชุมชน ข้อเสีย คือ ติดตั้งในระดับพื้นดินซึ่งมีความเร็วลมต่ำ ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ลดลง นอกเหนือจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) ของกังหันลมต่ำกว่ากังหันลมแกนหมุนแนวนอน เนื่องจากใบพัดด้านหนึ่งเกิดแรงยก แต่อีกด้านเกิดแรงลากสวนทิศทางลม ชนิดที่นิยมมากที่สุด คือ กังหันลมแบบแดร์เรียส (Darrieus Vertical Axis Wind Turbine) และกังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius Wind Turbine) กังหันลมแบบแดร์เรียสเป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็น “eggbeater” ถูกคิดค้นโดย Georges Darrieus ในปี ค.ศ.1931 กังหันลมแบบแดร์เรียสหมุนด้วยความเร็วสูง แรงบิดต่ำ (เปรียบเทียบกับกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งแบบอื่นๆ เหมาะสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปการเริ่มต้นหมุนจำเป็นต้องมีเครื่องช่วยในการออกตัวของกังหัน เพราะแรงบิดออกตัวของกังหันลมมีค่าต่ำมาก กังหันลมแบบแดร์เรียสมีใบพัดสองใบหมุนรอบเพลาแนวตั้ง โดยแรงที่ใช้ในการหมุนใช้แรงยกทางอากาศพลศาสตร์

กังหันลมแบบซาโวเนียสเป็นกังหันที่ทำงานโดยอาศัยแรงลาก (มีประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันที่ทำงานโดยอาศัยแรงยก) ขณะทำงานจะหมุนด้วยความเร็วต่ำแต่แรงบิดสูง เหมาะสำหรับใช้แรงบิดในการสูบน้ำ การโม่แป้ง จะแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างกังหันลมแนวแกนตั้ง [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) เป็นกังหันลมที่เพลาใบพัดกังหันลมหลักและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ด้านบนสุดของเสา และขนานกับพื้นราบในแนวนอนหรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม การทำงานแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำงานโดยหันหน้าให้ลมและหันหลังให้ลม การหมุนคอของกังหันลมขนาดเล็กจะหันหน้าเข้าหาลมโดยใช้หางเสือ กังหันขนาดใหญ่ใช้เซ็นเซอร์วัดทิศทางลมร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ (servomotor) เพื่อขับเคลื่อนคอให้หันหน้าเข้าหาลม กังหันลมส่วนใหญ่มีกล่องเกียร์เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วรอบของเพลาให้หมุนเร็วขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมระดับเมกะวัตต์ที่มีขายในท้องตลาดเป็นแบบกังหันลมแกนหมุนแนวนอนทั้งสิ้น จะแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แสดงตัวลักษณะทั่วไปของกังหันลมชนิดแนวนอน [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การติดตั้งเครื่องมือวัดลมและการเก็บข้อมูล

การคัดเลือกพื้นที่ติดตั้งเครื่องวัดลมเพื่อตรวจวัดและบันทึกสถิติข้อมูลลมนั้น เริ่มจากสำรวจพื้นที่ที่ทำการเกษตรและใกล้แหล่งน้ำ แล้วออกสำรวจพื้นที่ภาคสนามเพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพสูง

4.1 การสำรวจและคัดเลือกพื้นที่

ในการออกสำรวจพื้นที่ทำการเกษตรโดยจะเน้นไปที่บริเวณใกล้แหล่งทำการเกษตรใน 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ได้มีการประสานงานกับหน่วยงานท้องถิ่นและประชาชนพื้นที่ เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องแล้วนำมาประเมินความเหมาะสมในภาพรวมของบริเวณสถานที่ตั้งวัดลม

การออกสำรวจพื้นที่ เริ่มจากการวางแผน กำหนดบริเวณพื้นที่เป้าหมายจากข้อมูลที่ได้รวบรวม สำรวจสภาพพื้นที่ เส้นทางคมนาคม เป็นต้น

4.2 เครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลม

เครื่องมือที่จะใช้ทำการวัดความเร็วลมและทิศทางนี้หรือเรียกอีกแบบ Windlog จะใช้ของบริษัท Rainwise รายละเอียดของเครื่องวัดลมยี่ห้อ Windlog เครื่องวัดลมยี่ห้อ Windlog เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลลมขนาดกะทัดรัดและราคาไม่แพงซึ่งออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้คนในการพิจารณาติดตั้งกังหันลม ซึ่งจะดีกว่าการใช้แผ่นที่ภูมิภาคของลมซึ่งจะไม่ได้ประสิทธิภาพ แต่ WindLog จะช่วยให้สามารถศึกษาคุณลักษณะลมได้อย่างถูกต้องและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดศักยภาพลมได้ดียิ่งขึ้น ในตัว Windlog จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนตัววัดความเร็วและทิศทางและส่วนบันทึกข้อมูล ส่วนตัววัดความเร็วและทิศทางใบพัดเอาไว้ใช้วัดความเร็วโดยจะมีหลักการคือเมื่อลมพัดผ่านใบพัด ใบพัดจะหมุนซึ่งจะการที่ใบพัดหมุดความเร็วรอบในการหมุนจะเปลี่ยนเป็นความเร็ว ส่วนต่อมาคือส่วนหางมีไว้เพื่อวัดทิศทางของลม 2 ส่วนนี้รวมกันเรียกว่าเครื่องวัดความเร็วลม และจะมีคุณสมบัติของตัวเครื่องดังนี้ ตัวเครื่องนั้นจะมีช่วงการวัดความเร็วลมไม่น้อยกว่า 0 - 60 m/s และมีความเที่ยงตรงไม่มากกว่าบวกลบ 2% ส่วนหัววัดความเร็วแบบ 4 ใบพัดทำจากโพลีคาร์บอเนตเล็กแซนด์ แบะสามารถป้องกันรังสี UV ได้ ตัวแปลงสัญญาณเป็นแบบสวิตซ์แม่เหล็ก ส่วนเครื่องวัดทิศทางลม จะมีทิศทางการหมุนได้ 360 องศา

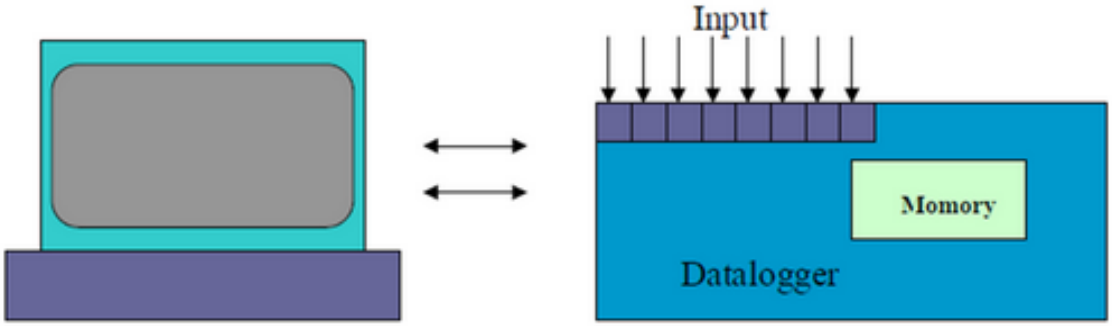
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 อุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทางลม

ส่วนต่อมาเครื่องบันทึกข้อมูล คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณชนิดต่างๆ โดย Data logger จะมี Memory สำรับเก็บค่าที่วัดได้สัญญาณตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติและสามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจาก Memory ของ Data logger มานำวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ ส่วนคุณสมบัติของเครื่องบันทึกข้อมูลนี้ มีความจำไม่น้อยกว่า 1MB สามารถทำงานด้วยแบตเตอรี่ขนาด AA แบบแบตเตอรี่แบบลิเทียมหรือแบบอัลคาไลน์ สามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB ได้ และยังสามารถบันทึกค่าความเร็วและทิศทางลมในช่วงเวลาที่เลือกในการเก็บตัวอย่างได้ตั้งแต่ 1 นาที ถึง 60 นาที

รูปที่ 4.2 แสดง data logger ยี่ห้อ windlog

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการทำงานของ data logger

4.2.1 การสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดลมที่ได้ติดตั้งทั้ง 21 แห่ง ดังกล่าวข้างต้น ประกอบไปด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องวัดความเร็วลมพร้อมกับเครื่องวัดทิศทางลม 21 ชุด ที่ระดับความสูง 12 เมตร
2. เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) 21 ชุด ยี่ห้อ Rainwise พร้อมการ์ดบันทึกข้อมูล
3. กล่องสเตนเลส สำหรับบรรจุเครื่องวัดและแบตเตอรี่

อุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบและสอบเทียบได้แก่ เครื่องวัดความเร็วลมพร้อมกับวัดทิศทาง พร้อมด้วยอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูล (Data logger)

เครื่องวัดดังกล่าวได้รับการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุโมงค์ลมที่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.5 m/s จนถึง 10 m/s

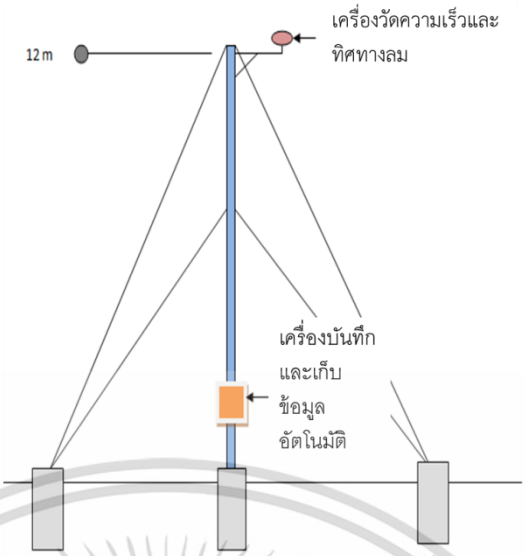
4.3 การติดตั้งเครื่องวัดลมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ก่อนการติดตั้งเครื่องวัดลมและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลนั้น คณะทำงานได้ทำการสอบเทียบด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐาน เพื่อความแม่นยำในการตรวจวัดข้อมูลลม

1. การออกแบบจัดจ้างและติดตั้งเสาวัดลม คณะทำงานได้ดำเนินการออกแบบโครงสร้างกำหนดรายละเอียดประกอบแบบ คัดเลือกผู้รับเหมา และดำเนินการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดลม จำนวน 21 แห่ง ตามพื้นที่ที่ได้ศึกษาความเหมาะสมแล้ว

2. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด คณะทำงานร่วมกับผู้ว่าจ้าง ได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดลม จำนวน 21 ชุด ตามพื้นที่ได้ศึกษาความเหมาะสมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แบบการติดตั้งเครื่องวัดลมทั้ง 21 สถานี

เสาวัดลมที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วและทิศทางลมและฐานราก จะใช้ตามแบบของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานดังแสดงในรูปที่ 4.4 เสาวัดลมที่สร้างขึ้นเพื่อติดตั้งที่สถานีที่ได้ทำการสำรวจคัดเลือกทั้ง 21 สถานีมีการออกแบบเสาวัดลมโดยการใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 3/16 นิ้ว ยาวท่อนละ 6 m มาเชื่อมด้วยหน้าแปลนเหล็กหนา ½ นิ้ว แล้วเจาะรู 4 รู ยึดท่อเหล็กแต่ละท่อนเข้าด้วยกับโดยใช้โบลท์ บริเวณหน้าแปลนจะมีการเจาะรู 3 รู ตามแนวเส้นรอบวงแต่ละรูทำมุม 120 องศา ใช้เป็นจุดยึดลวดสลิง 3 มุม ที่ระยะเสาสูง 6 m , 10 m

4.4 พื้นที่ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมและทิศทาง

พื้นที่จะทำการติดตั้งเป็นพื้นที่บริเวณที่ใกล้แหล่งน้ำสำหรับทำการเกษตร ซึ่งได้มีการสำรวจพื้นที่นี้มาก่อนข้างต้นแล้ว ดังนั้นจึงได้พื้นที่ที่เหมาะสมที่ตรงกับวัตถุประสงค์ทั้งหมด 21 สถานี ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเสาวัดความเร็วลมพร้อมกับวัดระดับของน้ำที่จะใช้ด้วย บริเวณที่ติดตั้งจะแสดงในรูปที่ 4.5-4.25 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานี หมู่ 6 ตำบลหนองขนาด อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี

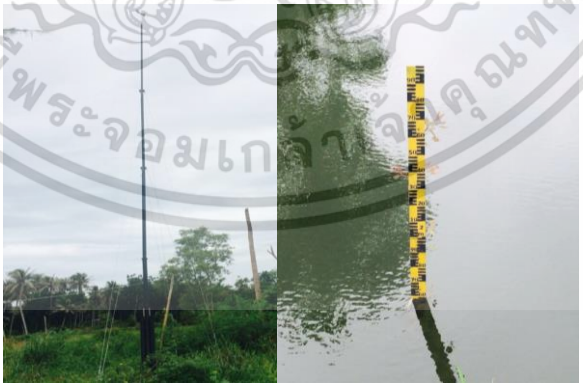
รูปที่ 4.6 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานี โครงการปลูกพืชผักทฤษฎีใหม่ หมู่ 4 ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

รูปที่ 4.7 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานี หมู่ 9 ตำบลพรหมณี อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีมหาวิทยาลัยชาวนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบล กำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

รูปที่ 4.9 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีหมู่ 4 ตำบลขุนศรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี



รูปที่ 4.10 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีหมู่ 1 ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

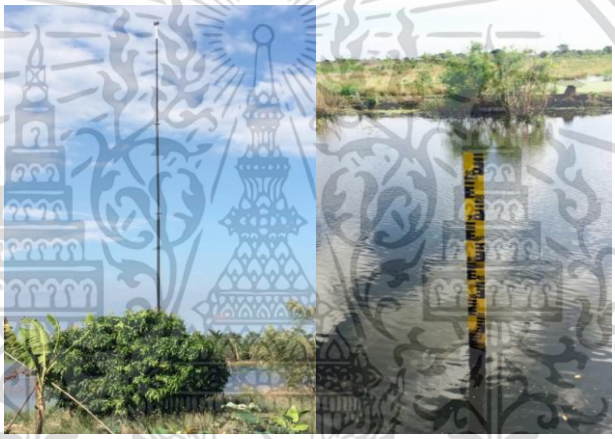
รูปที่ 4.11 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 7 ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี

รูปที่ 4.12 บริเวณพื้นที่ศึกษาสถานีหมู่ 4 ตำบลห้วยทรายเหนือ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

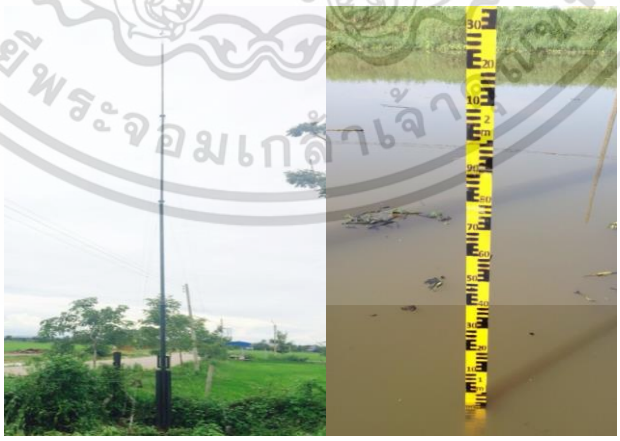
รูปที่ 4.13 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีพื้นที่หมู่ 5 ตำบลกรับใหญ่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 4 ตำบลมะนาวหวาน อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี



รูปที่ 4.15 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 10 ตำบลเปร็ง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ



รูปที่ 4.16 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานี หมู่ 3 ตำบลแพรกหนามแดง อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

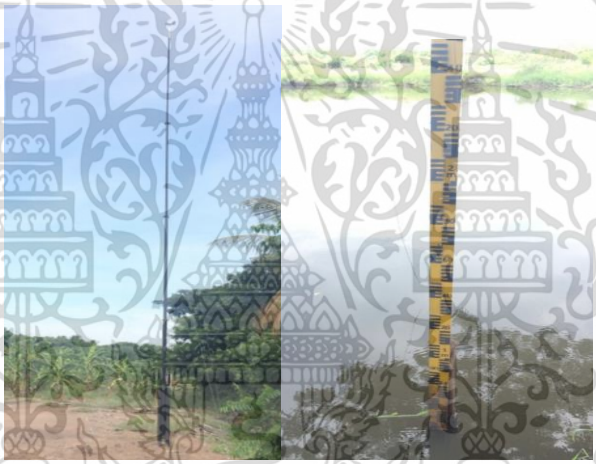
รูปที่ 4.17 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 3 ตำบลคลองตัน อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร

รูปที่ 4.18 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 13 ตำบลท่าแยก อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว

รูปที่ 4.19 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 5 ตำบลกุดนกเปล้า อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง หมู่ 3 ตำบลบางปลาม้า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ 4.21 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 3 ตำบลบางเสร็จ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

รูปที่ 4.22 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีกลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ บ้านหลุมทองหลาง หมู่ 5 ตำบลสิงหนาท อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีหมู่ 14 ตำบลเสือโฮก อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท

รูปที่ 4.24 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีพื้นที่หมู่ 6 ต.คลองพระอุดม อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี

รูปที่ 4.25 บริเวณพื้นที่ศึกษา สถานีโครงการฟาร์มตัวอย่างพระราชดำริหลองลาด ตำบลท่าข้าม อำเภอค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงพิกัดแต่ละ 21 สถานี ที่ทำการติดตั้งเสาวัดลมเพื่อศึกษา

สถานี	ละติจูด(องศา)	ลองติจูด (องศา)	ระดับน้ำ (เมตร)
กาญจนบุรี	14.611	99.451	137.34
ฉะเชิงเทรา	13.806	101.218	3.06
ชัยนาท	15.201	100.197	19.21
นครนายก	14.247	101.194	9.48
นครปฐม	14.021	99.981	12.36
ปทุมธานี	13.984	100.445	4.35
ประจวบคีรีขันธ์	12.071	99.806	22.06
ปราจีนบุรี	14.116	101.372	17.02
เพชรบุรี	12.653	99.863	58.01
ราชบุรี	13.863	99.932	13.87
ลพบุรี	14.902	101.024	65.73
สมุทรปราการ	13.691	100.872	2.39
สมุทรสงคราม	13.344	99.885	3.86
สมุทรสาคร	13.611	100.158	4.74
สระแก้ว	14.043	102.231	222.44
สระบุรี	14.543	100.924	20.75
สิงห์บุรี	14.826	100.377	10.85
สุพรรณบุรี	14.441	100.126	9.88
อยุธยา	14.134	100.422	3.65
อ่างทอง	14.494	100.462	10.13
นนทบุรี	13.862	100.514	8.43

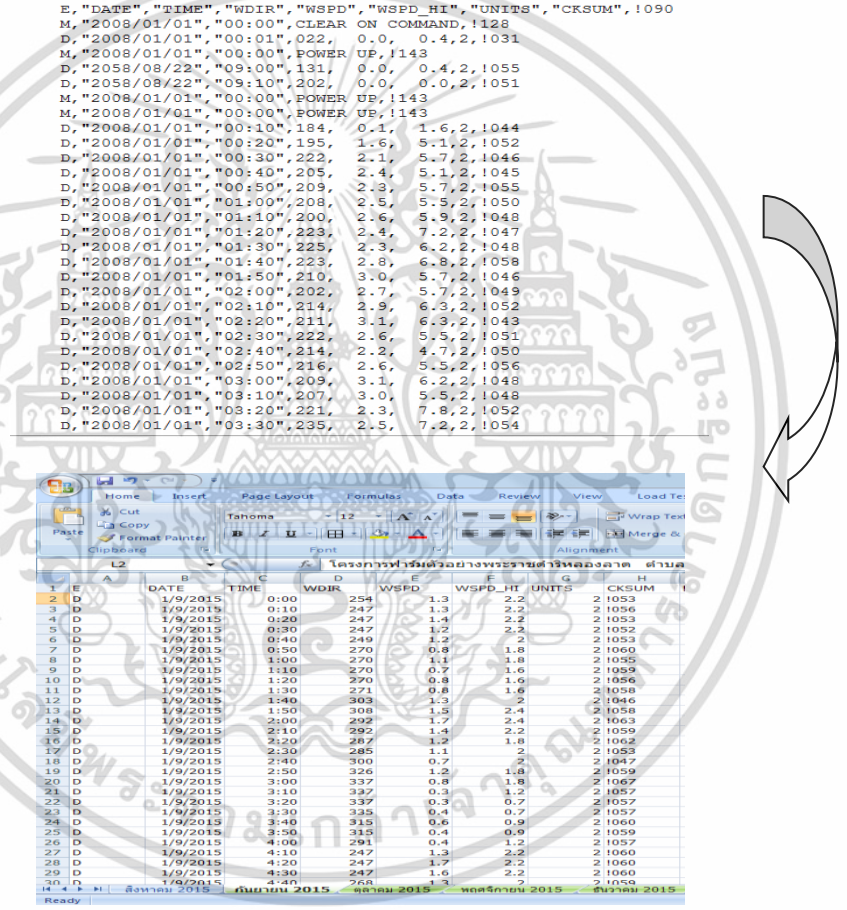
4.5 วิธีการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลเพื่อทำไปใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพนั้นจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 เดือน เป็นเวลา 1 ปี ข้อมูลทั้งหมด 1 ปี ติดต่อกันจะถูกบันทึกลงในกล่องบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ในทางสถิติ ค่าเฉลี่ย รายปี รายเดือนและรายวัน รวมทั้งการกระจายตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลแบบไวย์บูลล์ เพื่อหาค่า พารามิเตอร์ระดับและพารามิเตอร์รูปร่างในแต่ละสถานีที่ความสูง 12 เมตร เหนือพื้นดิน

ในการจัดเก็บข้อมูลลมจะทำการจัดเก็บโดยตรงที่สถานีวัดลมทั้ง21สถานี จากการนำการ์ดบันทึกข้อมูลของกล่อง Data logger เพื่อบันทึกลงสู่คอมพิวเตอร์ ข้อมูลลมที่ได้จากกล่อง Data Logger จะเป็นนามสกุล .RWD ด้วยความถี่ 1 วันต่อ 1 ไฟล์ และจากนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแปลงไฟล์เป็นไฟล์นามสกุล.TXT จากนั้นจะนำไปจัดเรียงในโปรแกรม Microsoft Excel และทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงในรูป ที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงข้อมูลดิบ แปลง เป็นไฟล์Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์ข้อมูลลมและศักยภาพพลังงานลม

การวิเคราะห์ข้อมูลของลมนั้นให้เราทราบว่าข้อมูลในพื้นที่ทำการตรวจวัดมีว่าความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง รายเดือน และรายปีเท่าใด มีลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นอย่างไร การวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมจะใช้สมการในการคำนวณกำลังลม พลังงานลม เพื่อหาศักยภาพของพลังงานลมในพื้นที่ตรวจวัด เนื่องจากข้อมูลลมเป็นข้อมูลที่ตรวจวัดอย่างต่อเนื่องตลอด 1 ปีเต็มจึงมีข้อมูลเป็นปริมาณมาก ต้องอาศัยหลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ในการหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง รายเดือน รายปี การแจกแจงความถี่และฟังก์ชันการกระจายของความเร็ว เป็นต้น สำหรับฟังก์ชันการกระจายความเร็วลมนั้น โดยทั่วไปจะนิยมใช้ฟังก์ชันไวย์บูลล์ในการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพพลังงานลม

จากข้อมูลที่ทำการตรวจวัดได้นำมาถ่ายโอนด้วยโปรแกรม Winsite แล้ววิเคราะห์ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์จากทฤษฎีและสมการต่างๆในบทที่ 3 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MS Excel และโปรแกรม OWC ซึ่งเป็นฟังก์ชันในโปรแกรม WAsP version 8.1 ซึ่งพัฒนาโดย Riso National Laboratory,Denmark ได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ในรูปของตารางและกราฟ ดังต่อไปนี้

(1) ค่าความเร็วลมเฉลี่ยและกำลังลมต่อหน่วยพื้นที่รายเดือนและรายปีที่ระดับความสูง 12

(2) การเปลี่ยนแปลงความเร็วลม รายชั่วโมง ใน 1 วัน

(3) การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายปี

(4) การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายเดือน

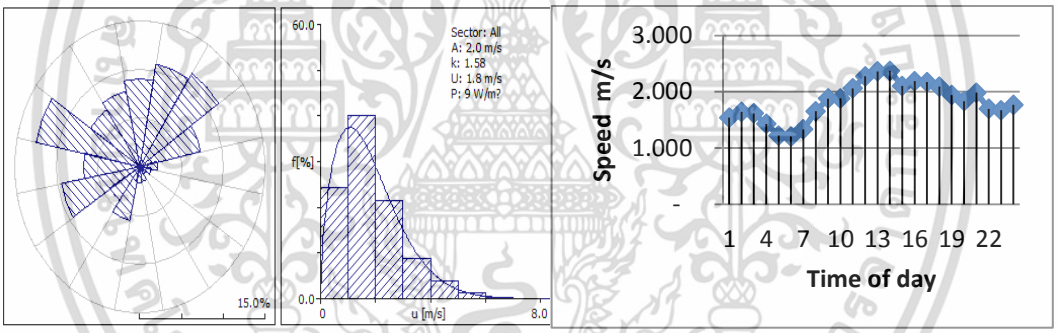
ในการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมและทิศทางจะนำข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลแล้วแปลงไฟล์เรียบร้อยแล้วซึ่งเป็นข้อมูลลมที่เก็บเป็นรายชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย 1.) ปี เดือน วัน และเวลาที่ทาการเก็บบันทึก 2.) ขนาดของความเร็วลม 3.) ทิศทางของความเร็วลม รูปที่ 5.1 ถึง รูปที่ 5.42 นั้นจะแสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 จากการนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม OWC (Observed Wind Climate Report,OWC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

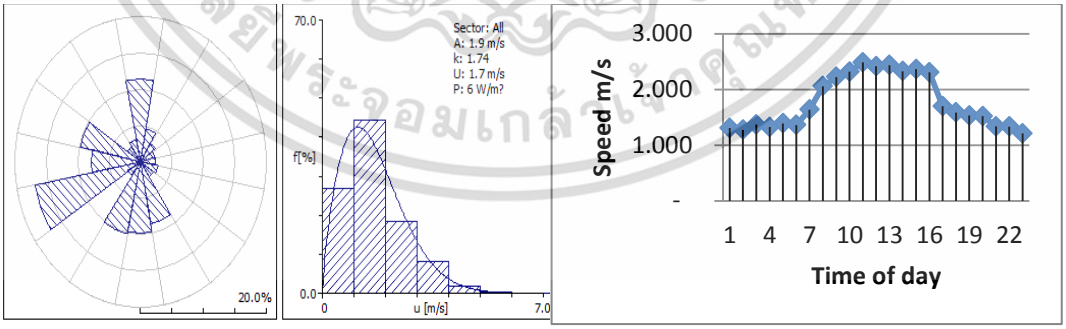
ทั้งหมด 21 สถานี เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ระดับและค่าพารามิเตอร์รูปร่างที่ความระดับความสูง 12 เมตร ในแต่ละเดือน และได้การสรุปเพื่อเปรียบเทียบในตารางที่ 4.1 ขณะที่ค่าทางสถิติอื่นๆที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ถูกคำนวณหาด้วยตามลาดับ ได้แก่ ค่าความเร็วเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็ว ทิศทางลมเฉลี่ย ที่ระดับความสูง 12 เมตร

5.1.1 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม โครงการปลูกพืชผักทฤษฎีใหม่ หมู่ 4 ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดลมในโครงการปลูกพืชผักทฤษฎีใหม่ หมู่ 4 ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

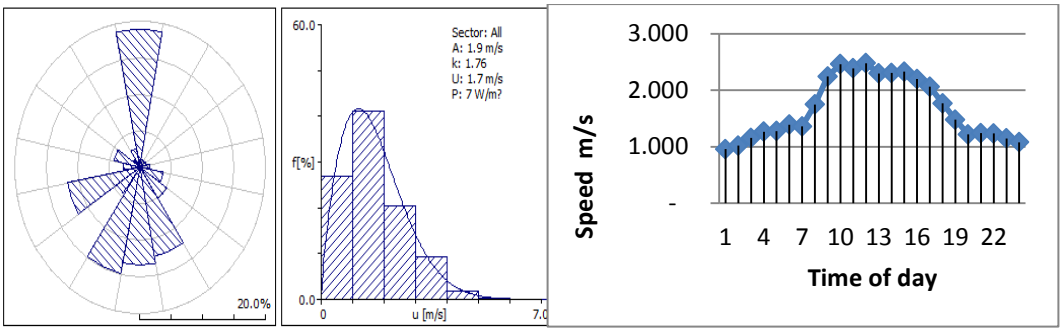


กันยายน 2558

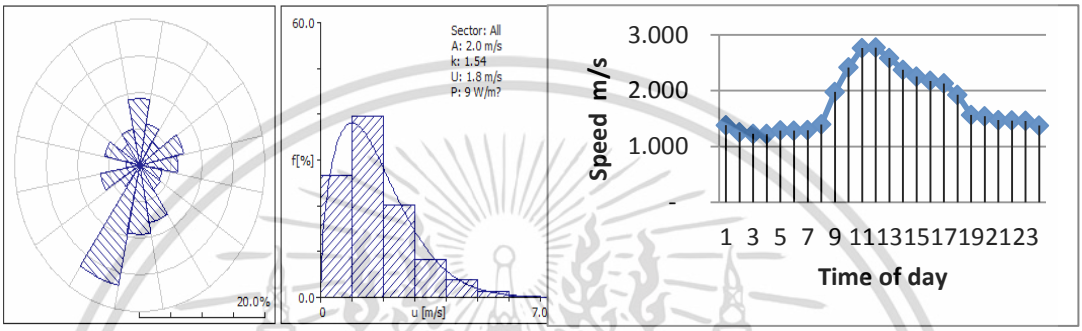


ตุลาคม 2558

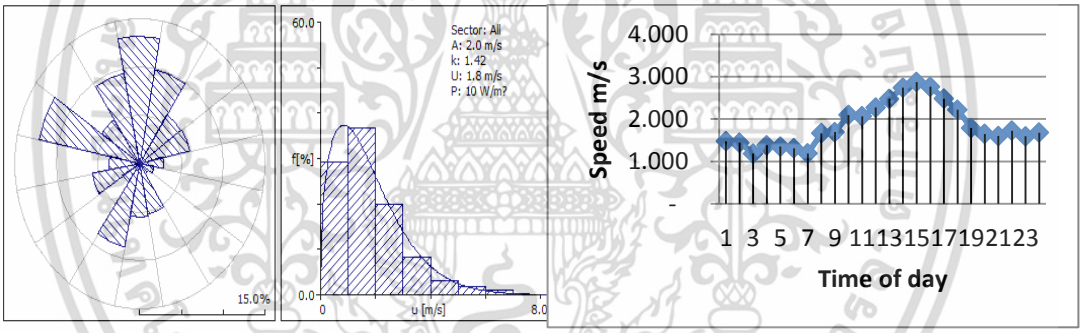
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



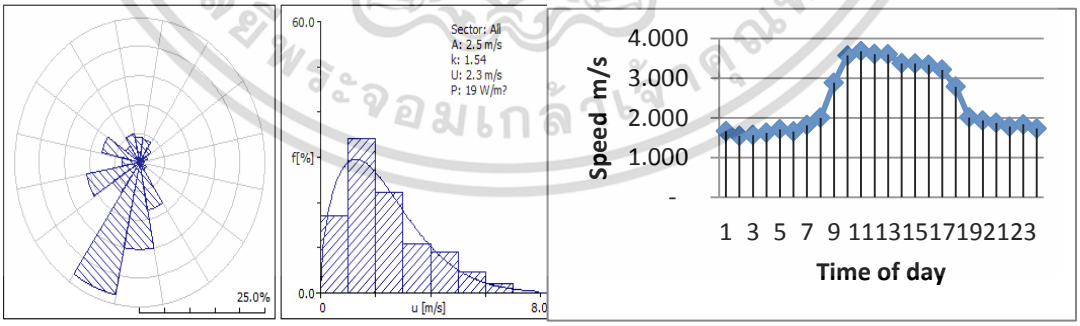
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

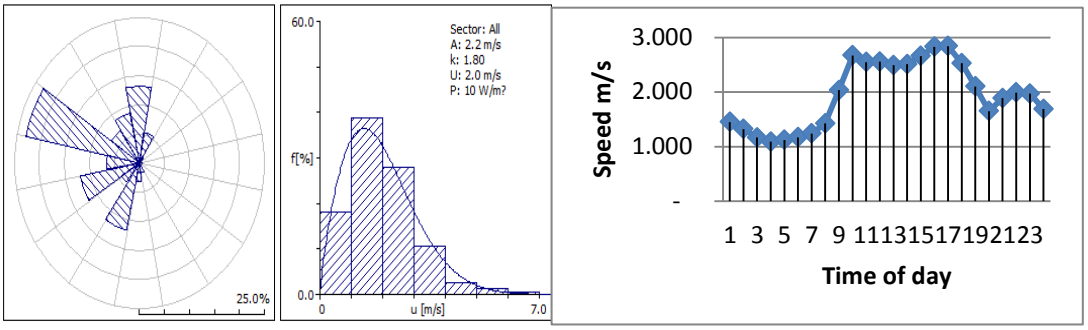


มกราคม 2559

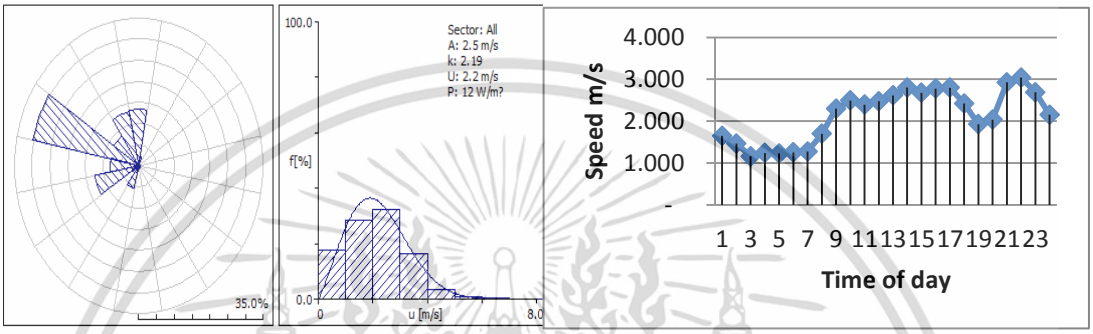


กุมภาพันธ์ 2559

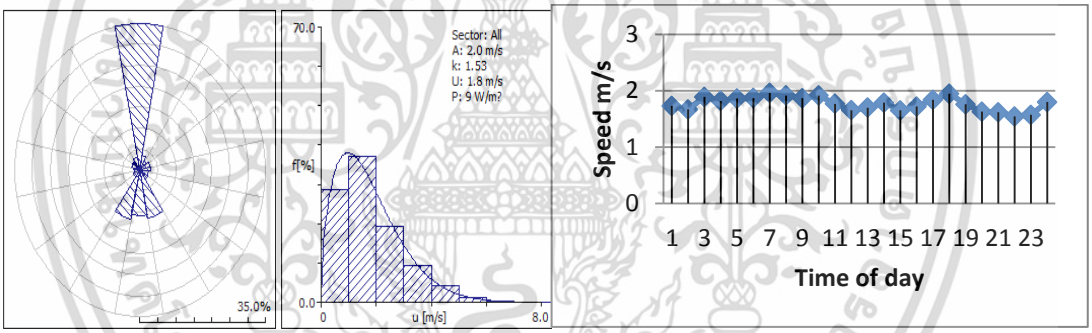
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



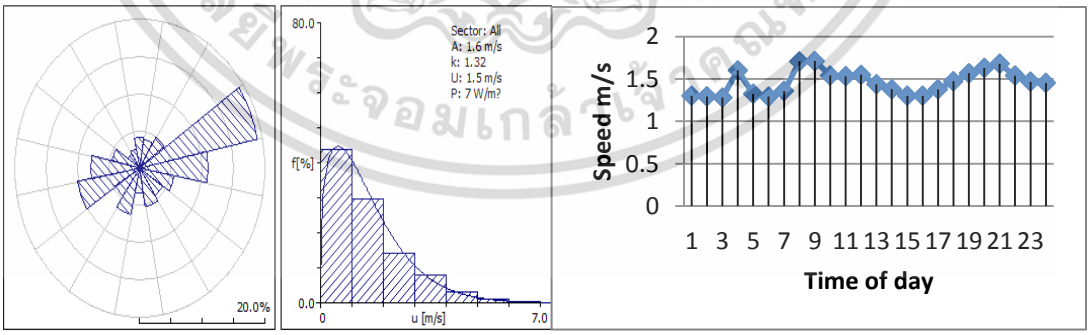
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

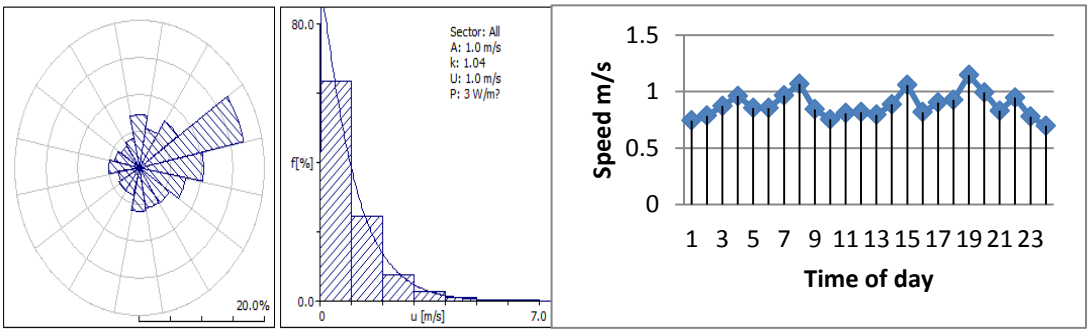


พฤษภาคม 2559

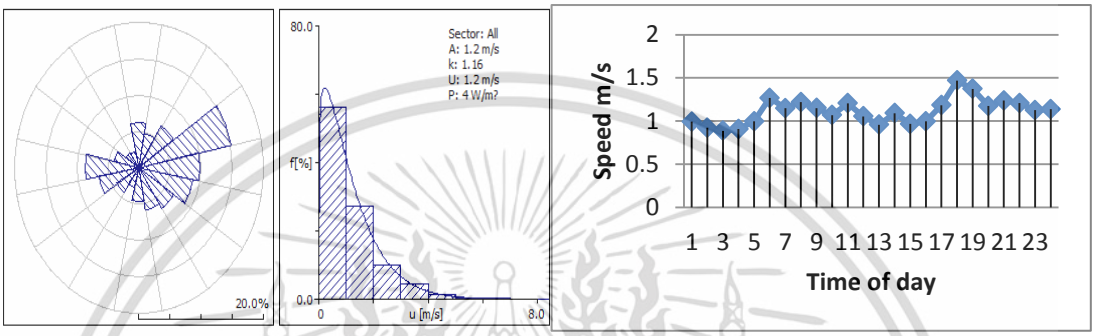


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

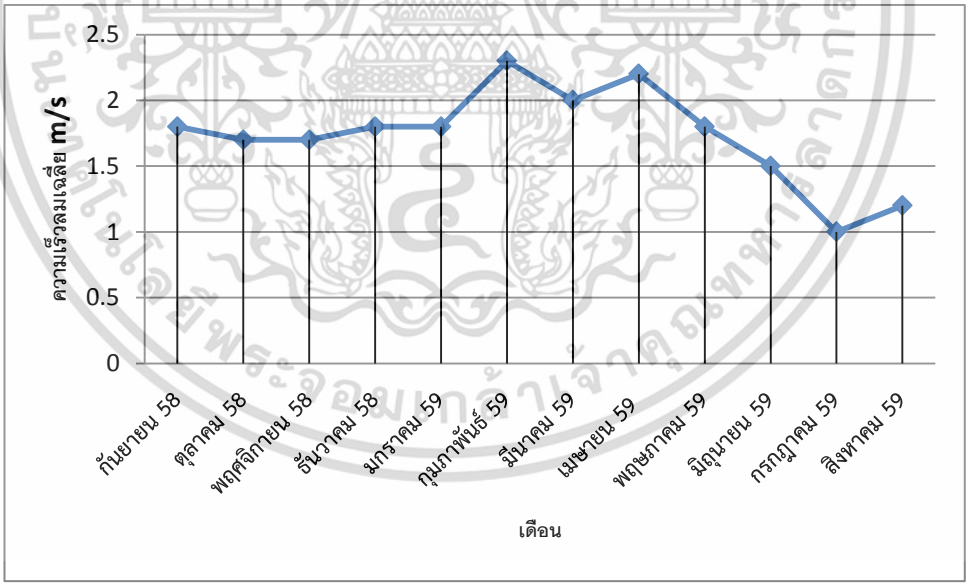


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.1 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานี วัดลม จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 5.2 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดฉะเชิงเทรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดฉะเชิงเทรา

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ทิศทางลมเฉลี่ย	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	องศา(o)	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.82	1.51	189	2	1.58	9
ต.ค.-15	1.75	0.98	213	1.9	1.74	6
พ.ย.-15	1.66	0.99	223	1.9	1.76	7
ธ.ค.-15	1.77	1.15	181	2	1.54	9
ม.ค.-16	1.86	1.61	198	2	1.42	10
ก.พ.-16	2.42	1.63	205	2.5	1.54	19
มี.ค.-16	1.95	1.11	240	2.2	1.81	20
เม.ย.-16	2.14	1.22	270	2.5	2.19	12
พ.ค.-16	1.76	1.18	212	2	1.53	9
มิ.ย.-16	1.46	1.21	155	1.6	1.32	7
ก.ค.-16	0.87	1.03	151	1	1.04	3
ส.ค.-16	1.11	1.08	153	1.2	1.16	4

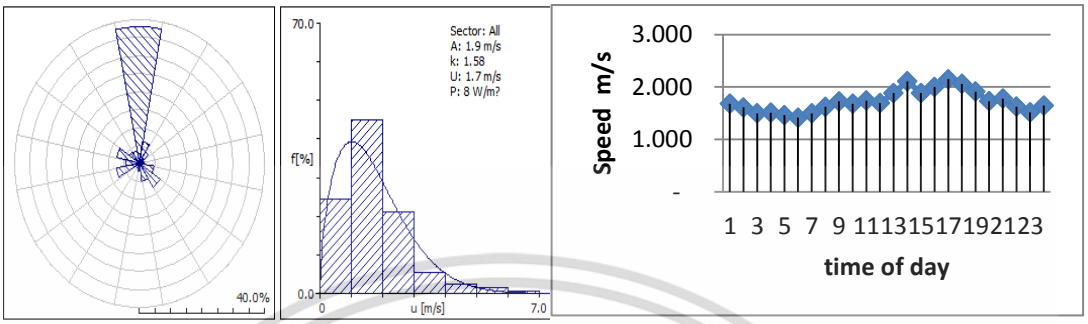
จากรูปที่ 5.1-5.2 และตารางที่ 5.1 กล่าวโดยสรุปจะเห็นว่าลมบริเวณสถานีวัดลมสถานีวัดลมจังหวัดฉะเชิงเทราในช่วงระยะเวลา 1 ปีดังกล่าวมาแล้วนั้นจะพัดมาในแนวเหนือเป็นชะส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาในแต่ละเดือน จะพบว่าที่ความเร็วลมเฉลี่ยโดยรวมระดับความสูง 12 เมตร จะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมไปถึงเดือนพฤษภาคม โดยช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ระดับ 1.8 -2.2 เมตรต่อวินาที โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอยู่ที่ระดับ 0.90-1.60 เมตรต่อวินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลมนั้นมีความเร็วลมค่อนข้างสม่ำเสมอในระดับต่ำ จากนั้นก็จะลดขนาดของความเร็วลมตามลำดับมาจนถึงต้นเดือนมิถุนายน จากนั้นด้วยสมการที่ (3.6) ค่ากำลังลมต่อพื้นที่สามารถถูกคำนวณได้จากค่าพารามิเตอร์ระดับและค่าพารามิเตอร์รูปร่าง และได้ถูกแสดงค่าที่คำนวณได้ในตารางที่ 5.1 ค่ากำลังลมต่อพื้นที่นั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเร็วและตามเดือนเช่นเดียวกับแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของความเร็วลมเฉลี่ยนั่นเอง ค่ากำลังลมต่อพื้นที่อยู่ระหว่าง 7-12 W/m^2 ซึ่งจะเห็นว่าเป็นช่วงของค่ากำลังลมต่อพื้นที่นั้นค่อนข้างที่จะกว้างในรอบระยะเวลา 1 ปี ตามแนวโน้มของขนาดความเร็วลมนั้น จะเพิ่มขึ้นสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และลดลงต่ำสุดในเดือนกรกฎาคมและพฤศจิกายน แล้วกลับมาเพิ่มขึ้นอีกในราวๆเดือนสิงหาคม

5.1.2 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม หมู่ 14 ตำบลเสือโฮก อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท

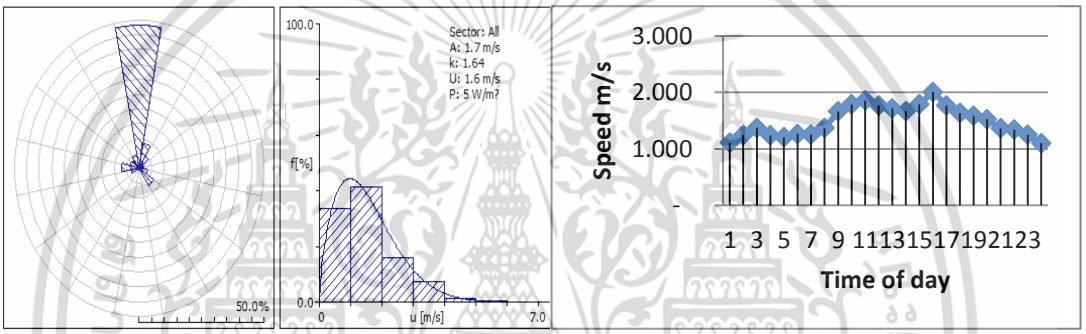
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดลม หมู่ 14 ตำบลเสือโฮก อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

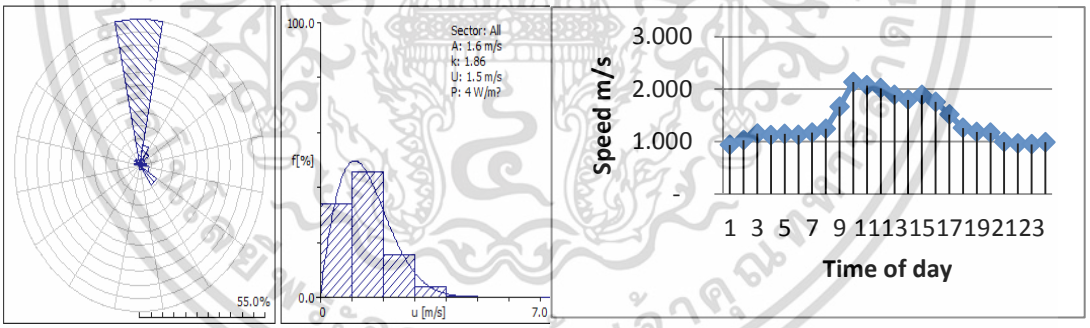
วิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



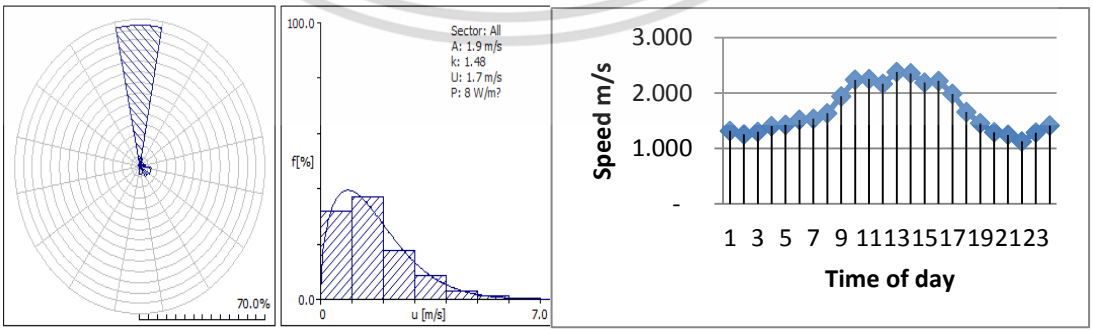
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

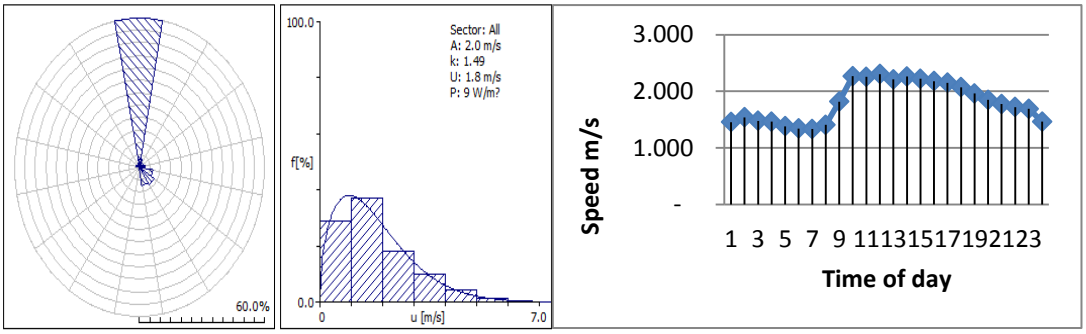


พฤศจิกายน 2558

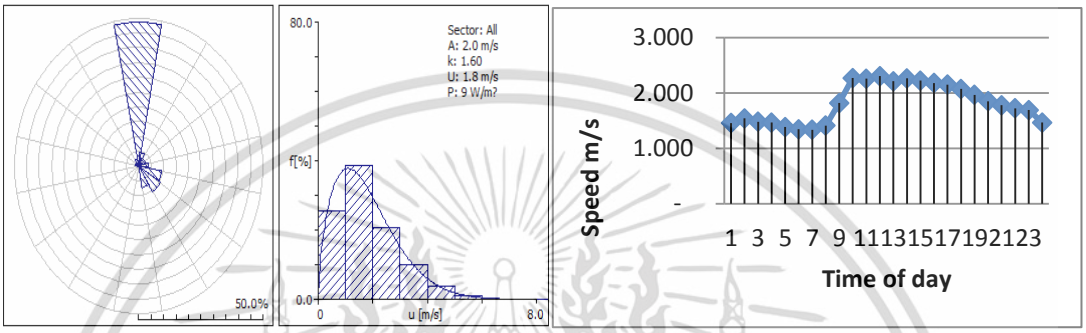


ธันวาคม 2558

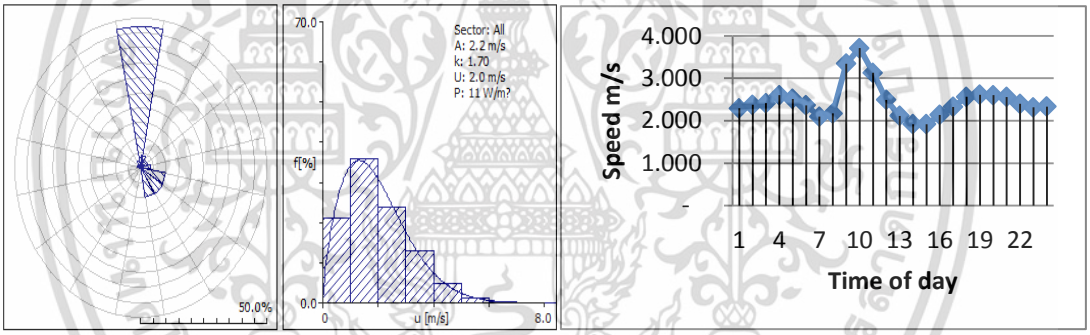
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



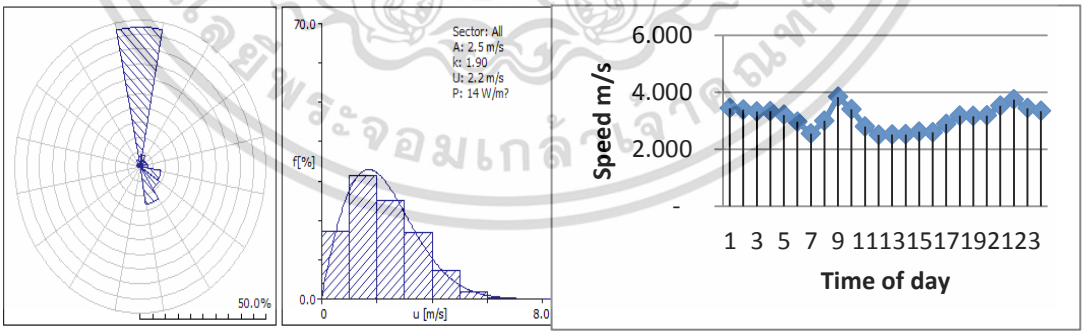
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

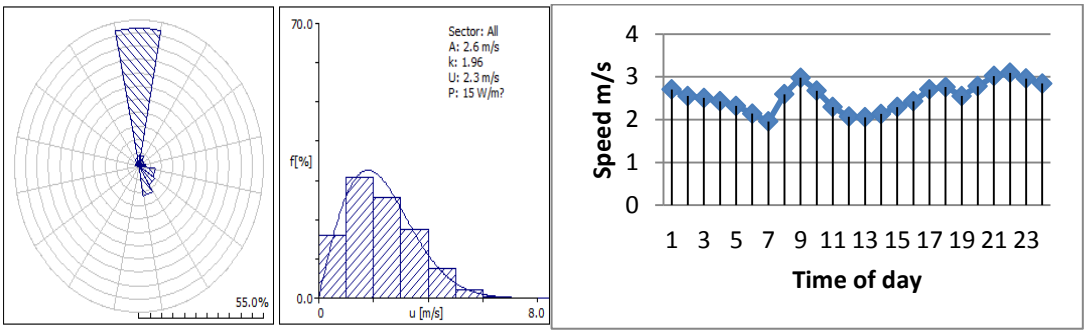


มีนาคม 2559

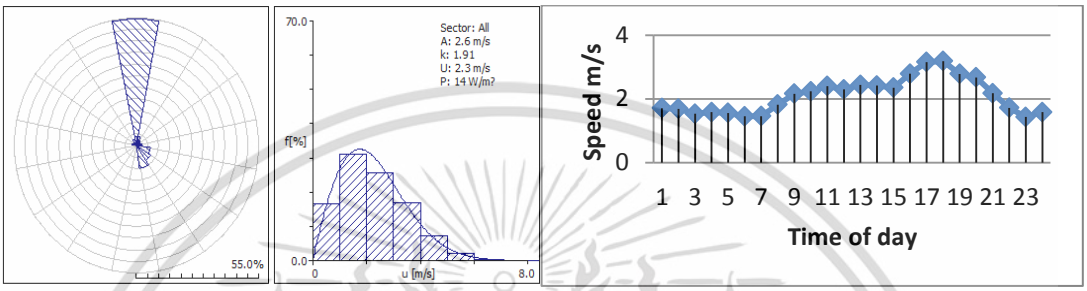


เมษายน 2559

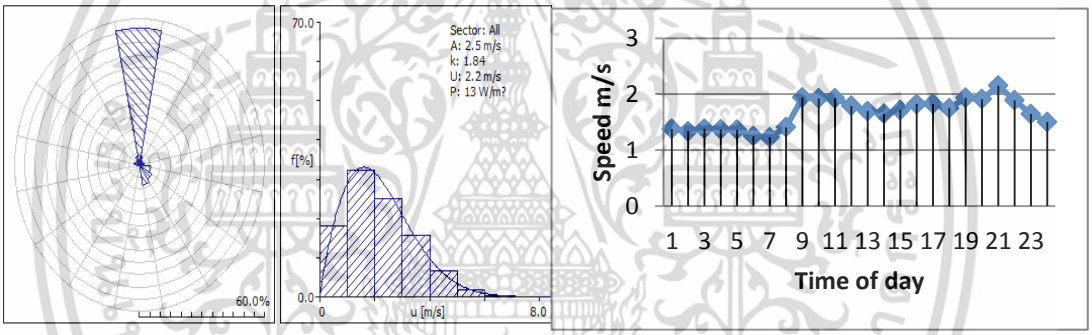
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



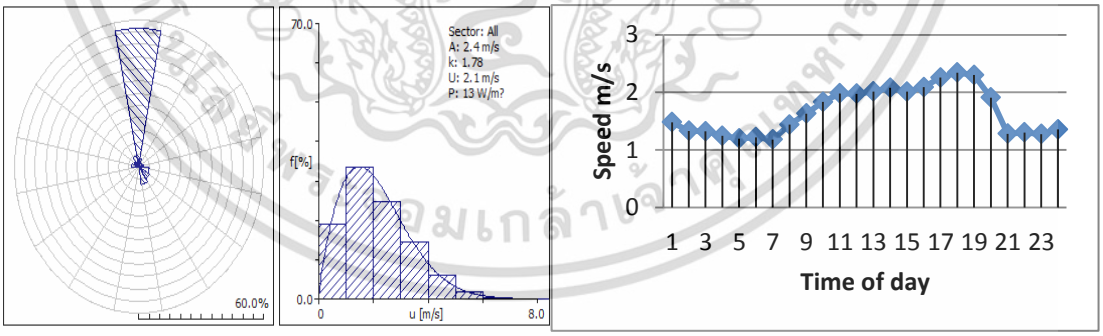
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



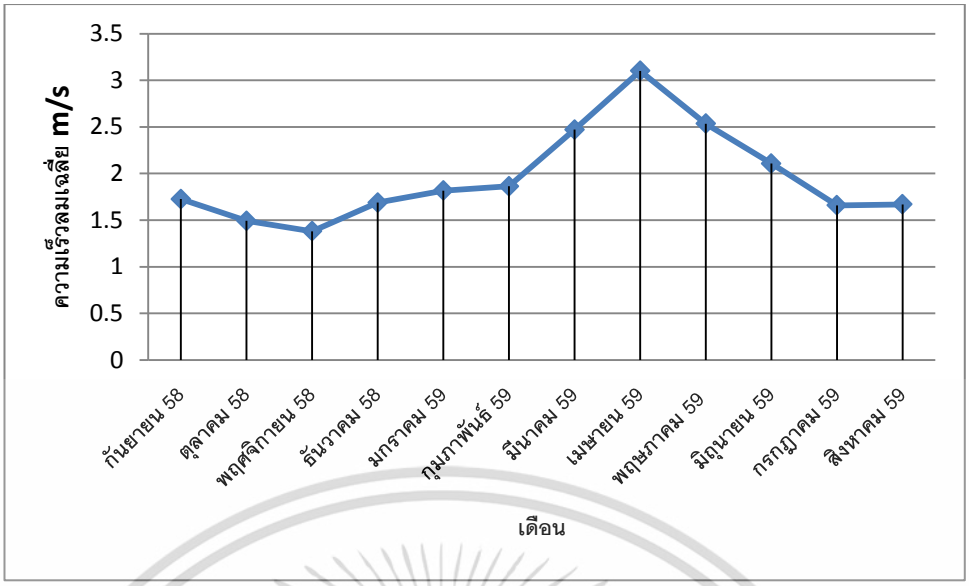
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.3 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานี วัดลม จังหวัดชัยนาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดชัยนาท

ตารางที่ 5.2 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดชัยนาท

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ทิศทางลมเฉลี่ย	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	องศา(o)	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.72	1.11	220	1.9	1.58	8
ต.ค.-15	1.49	0.98	232	1.7	1.64	5
พ.ย.-15	1.38	0.84	226	1.6	1.86	4
ธ.ค.-15	1.68	1.19	230	1.9	1.48	8
ม.ค.-16	1.81	1.21	244	2.1	1.49	9
ก.พ.-16	1.86	1.04	174	2.1	1.61	9
มี.ค.-16	2.47	1.16	199	2.2	1.72	11
เม.ย.-16	3.11	1.14	209	2.5	1.91	14
พ.ค.-16	2.53	1.27	237	2.6	1.96	15
มิ.ย.-16	2.11	1.31	289	2.6	1.91	14
ก.ค.-16	1.65	1.07	326	2.5	1.84	13
ส.ค.-16	1.66	1.07	322	2.4	1.78	13

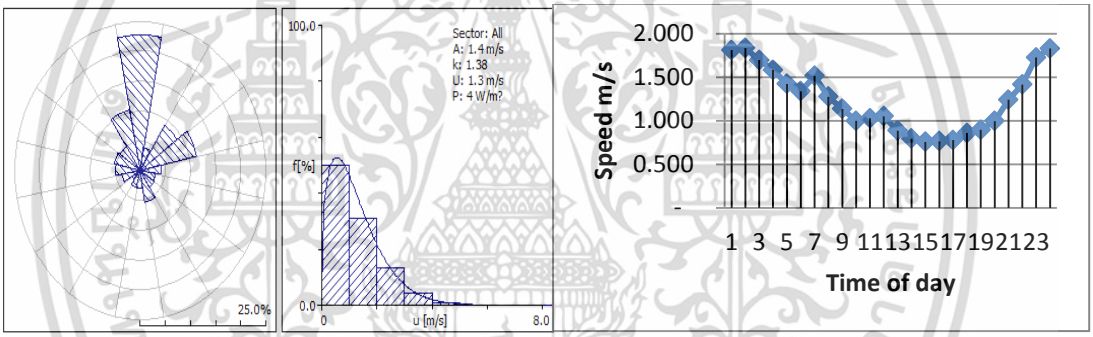
จากรูปที่ 5.3-5.4 และตารางที่ 5.2 กล่าวโดยสรุปจะเห็นว่าลมบริเวณสถานีวัดลมสถานีวัดลมจังหวัดชัยนาทในช่วงระยะเวลา 1 ปีดังกล่าวมาแล้วนั้นจะพัดมาในแนวเหนือเป็นซะส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาในแต่ละเดือน จะพบว่าที่ความเร็วลมเฉลี่ยโดยรวมระดับความสูง 12 เมตร จะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมไปถึงเดือนเมษายนเนื่องมาจากลมฤดูร้อน โดยช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

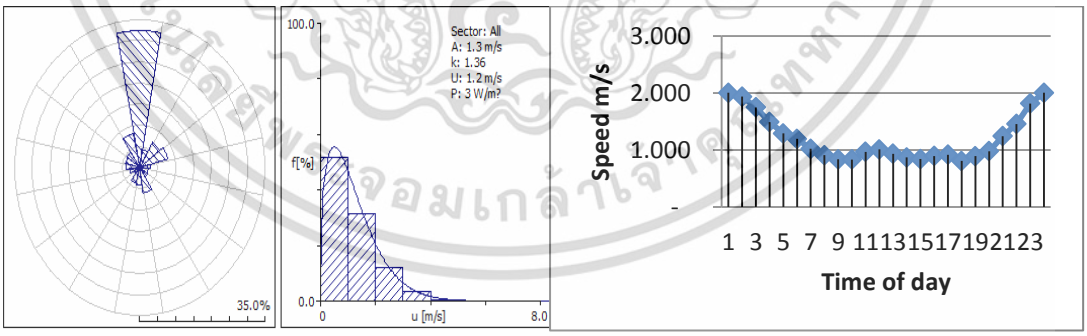
1.6 -2.6 เมตรต่อวินาที โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอยู่ที่ระดับ 1.49-1.98 เมตรต่อวินาทีซึ่งแสดงให้เห็นว่าลมนั้นมีความเร็วลมค่อนข้างสม่ำเสมอในระดับกลาง และเมื่อดูจากกราฟ รายชั่วโมงจะพบว่าความเร็วลมแต่ละเดือนจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 7.00น จนถึง 10.00 น จากนั้นก็จะลดขนาดของความเร็วลมตามลำดับ ส่วน ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ และ ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ จะถูกแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งหลักในการวิเคราะห์จะคล้ายคลึงกับ สถานีจังหวัดฉะเชิงเทราที่กล่าวมาข้างต้น

5.1.3 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม หมู่ 9 ตำบลพรหมณี อำเภอเมืองนครนายก จังหวัด นครนายก

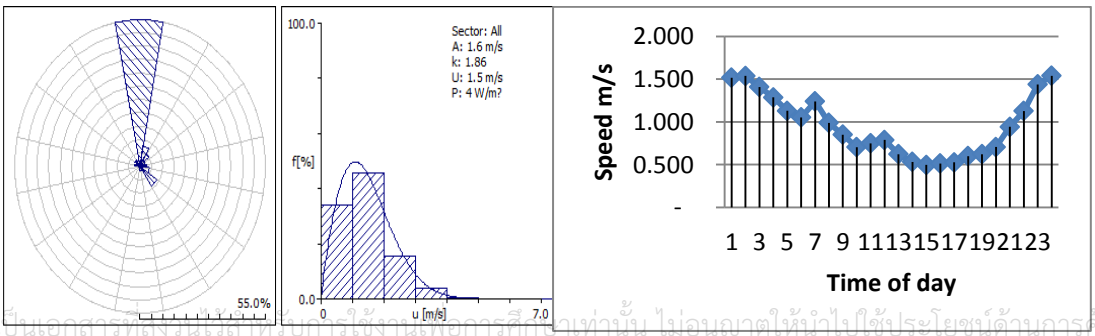
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดลม หมู่ 9 ตำบลพรหมณี อำเภอเมืองนครนายก จังหวัด นครนายก ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



กันยายน 2558

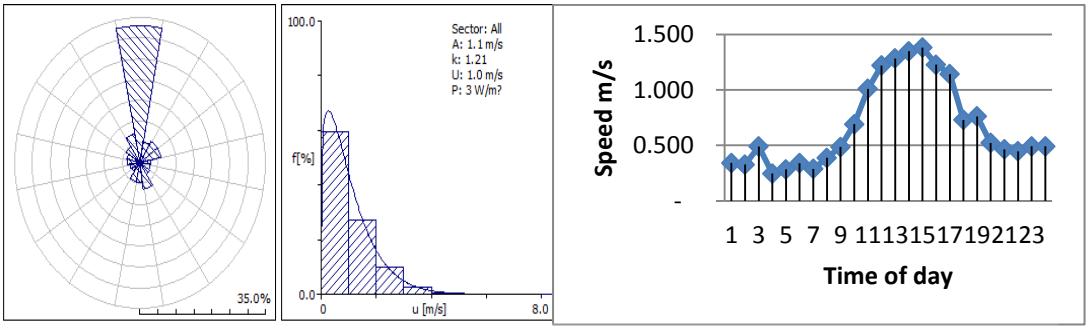


ตุลาคม 2558

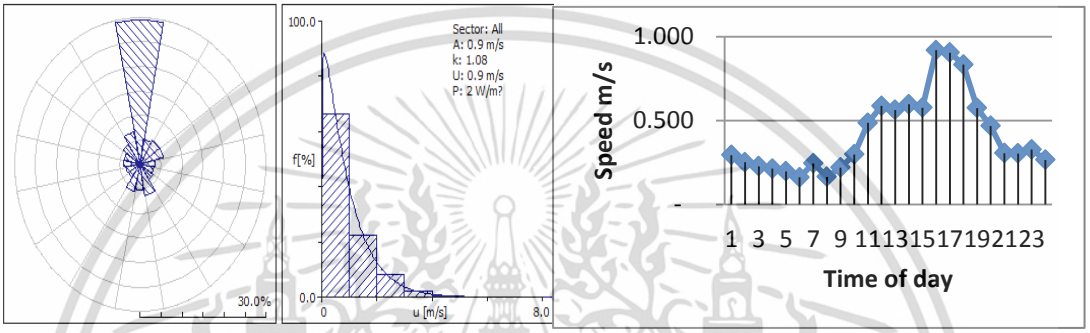


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

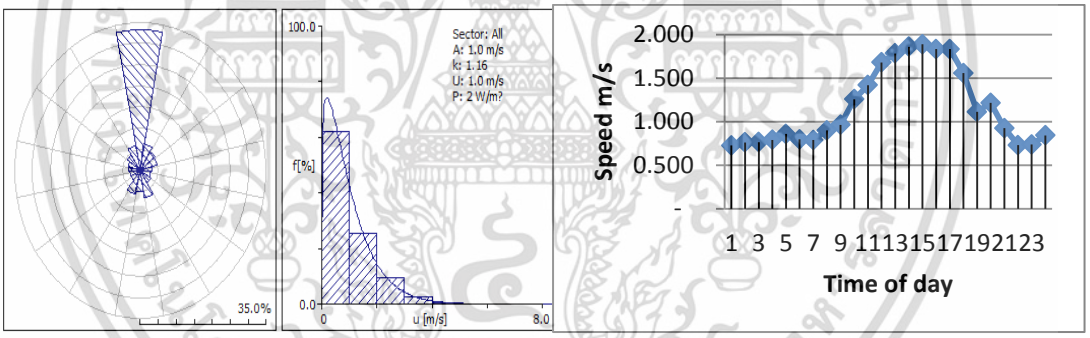
พฤศจิกายน 2558



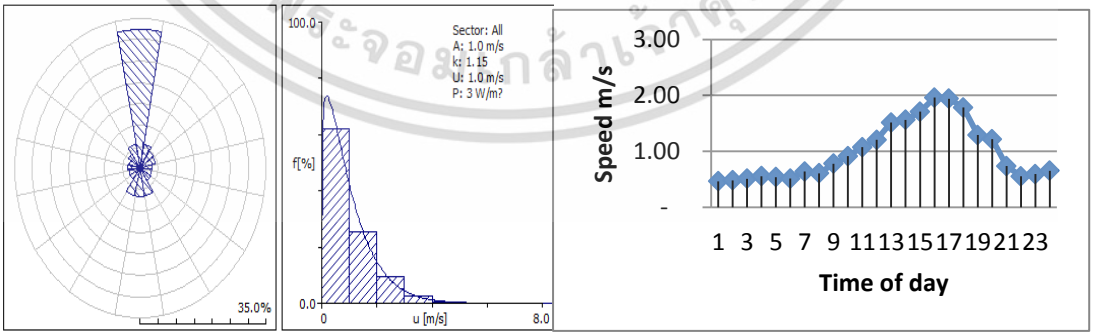
ธันวาคม 2558



มกราคม 2559

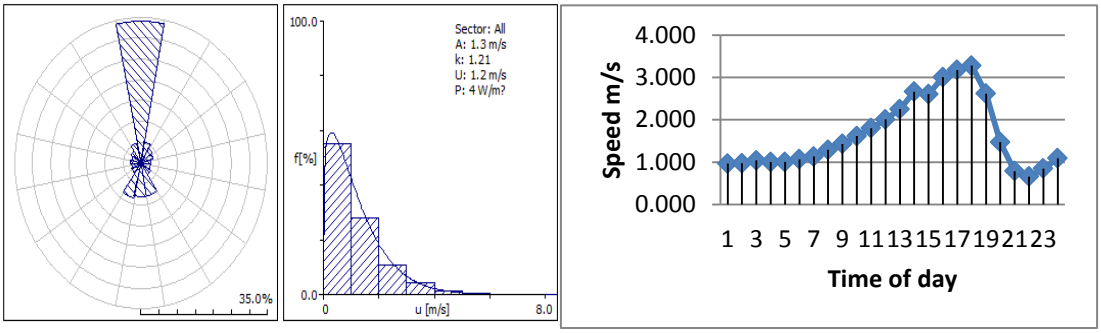


กุมภาพันธ์ 2559

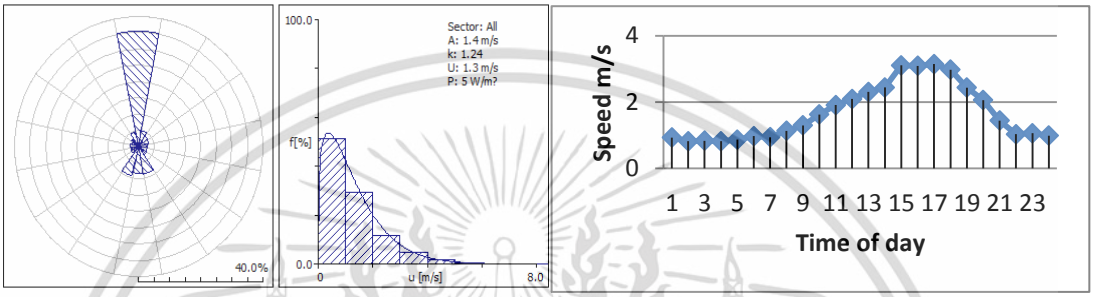


มีนาคม 2559

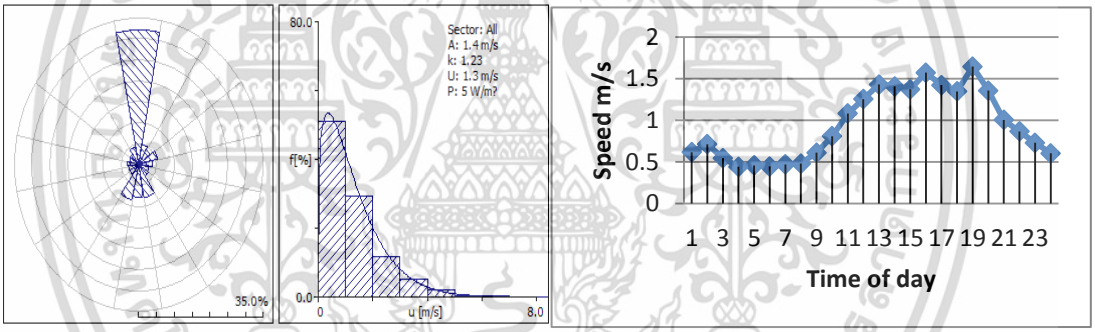
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



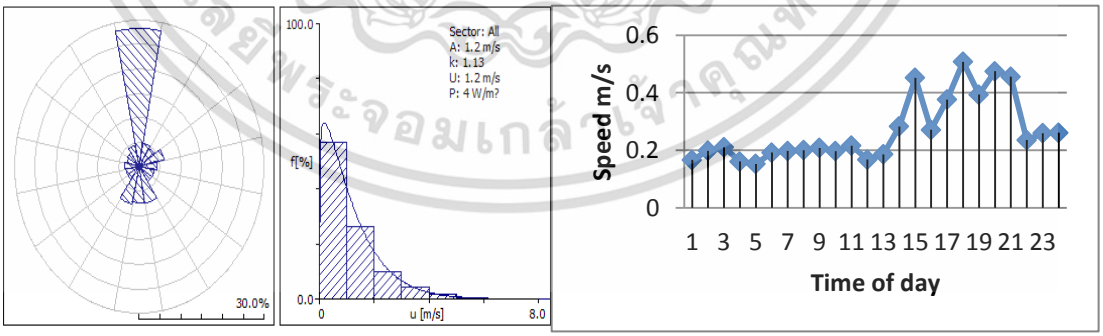
เมษายน 2559



พฤษภาคม 2559

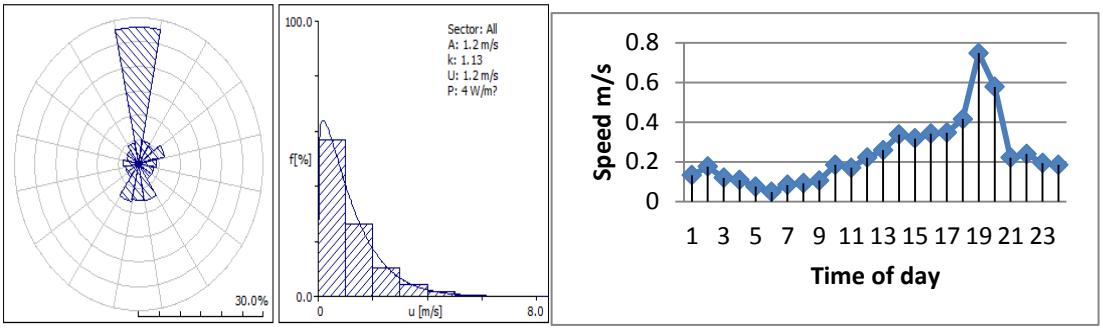


มิถุนายน 2559



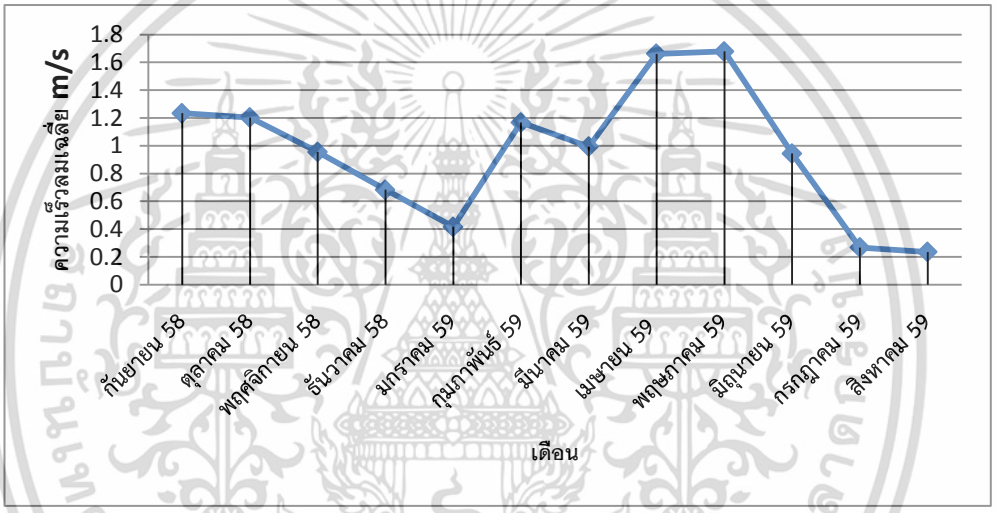
กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.5 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดนครนายก



รูปที่ 5.6 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดนครนายก

ตารางที่ 5.3 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดนครนายก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

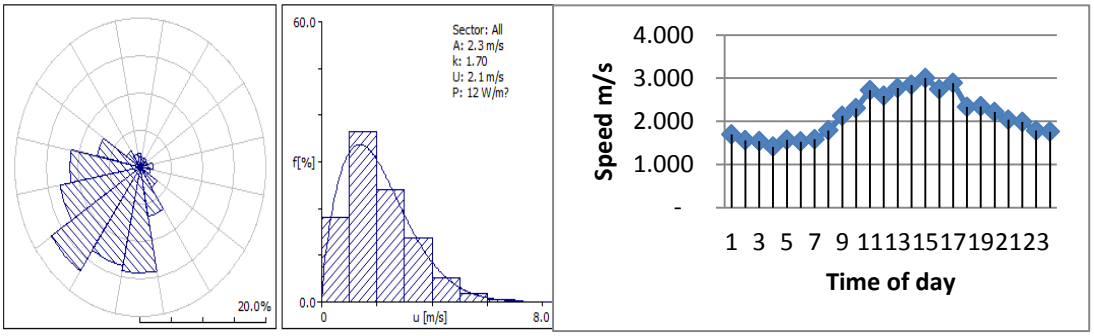
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ทิศทางลมเฉลี่ย	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_v	องศา(o)	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.23	0.94	24	1.4	1.38	4
ต.ค.-15	1.21	0.87	360	1.3	1.36	3
พ.ย.-15	0.95	0.91	345	1.6	1.86	4
ธ.ค.-15	0.68	0.96	300	1.1	1.21	3
ม.ค.-16	0.41	0.93	315	0.9	1.08	2
ก.พ.-16	1.16	0.89	360	1.1	1.16	2
มี.ค.-16	0.99	0.99	345	1.1	1.15	3
เม.ย.-16	1.66	1.27	355	1.3	1.21	4
พ.ค.-16	1.67	1.22	33	1.4	1.24	5
มิ.ย.-16	0.94	1.05	360	1.4	1.31	5
ก.ค.-16	0.26	0.65	326	1.2	1.13	4
ส.ค.-16	0.23	0.68	322	1.2	1.13	4

ในรูปที่ 5.5 ถึง รูปที่ 5.6 แสดงการกระจายความถี่ของความเร็วลมในระยะเวลาการเก็บข้อมูล 1 ปี สังเกตได้ว่า ลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือใต้เป็นส่วนใหญ่ ช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 1.13 – 1.86 m/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วที่ต่ำเนื่องมาจากตรงบริเวณที่ทำการติดตั้งเสาวัดลมมีสิ่งกีดขวางทางลมอยู่เป็นจำนวนมาก ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมอยู่ที่ระดับ 1.0-1.6 เมตรต่อวินาที ดังที่ได้แสดงค่าในตารางที่ 5.3 และเมื่อดูจากรูปที่ 5.6 จะพบว่าความเร็วลมจะเพิ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2559 ไปจนถึงเดือนพฤษภาคม 2559 และจึงลดระดับความเร็วลง ส่วนช่วงเวลาที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 11.00น จนถึง 15.00 น เนื่องจะมาจากอุณหภูมิที่สูงที่ให้เกิดลมจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

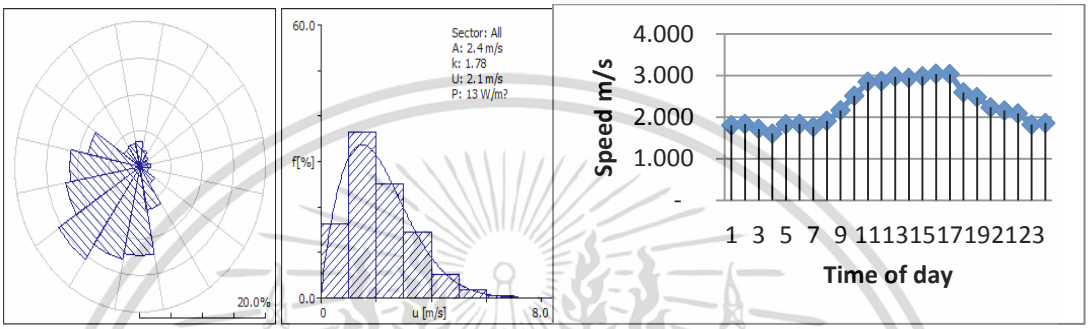
5.1.4 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีมหาวิทยาลัยชาวนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบล กำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดลม มหาวิทยาลัยชาวนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบล กำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

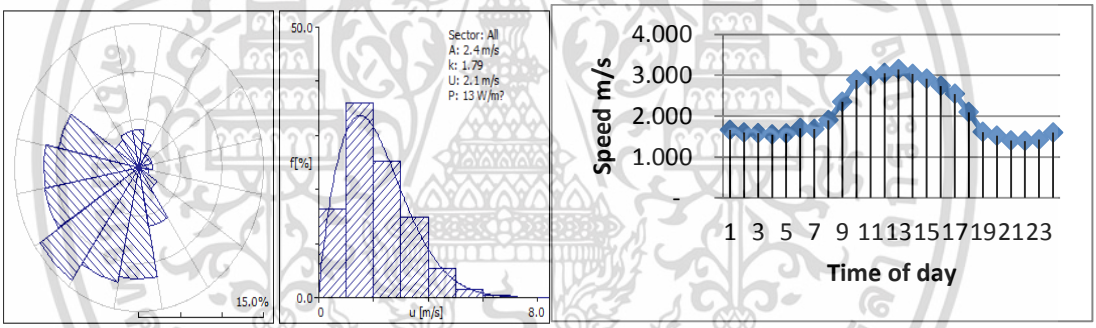
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



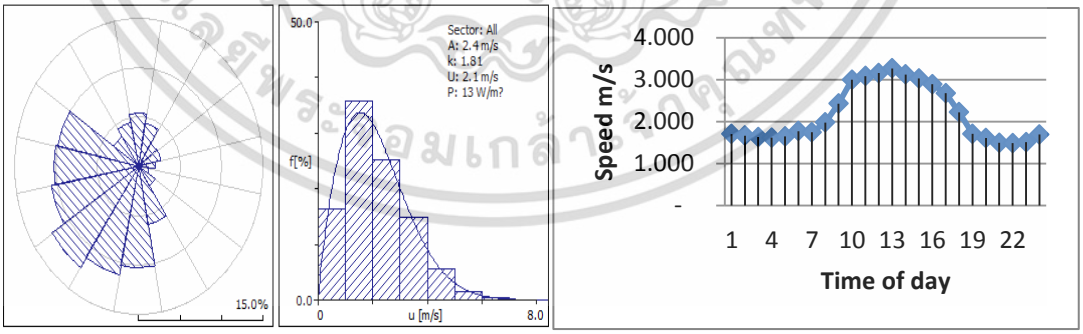
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

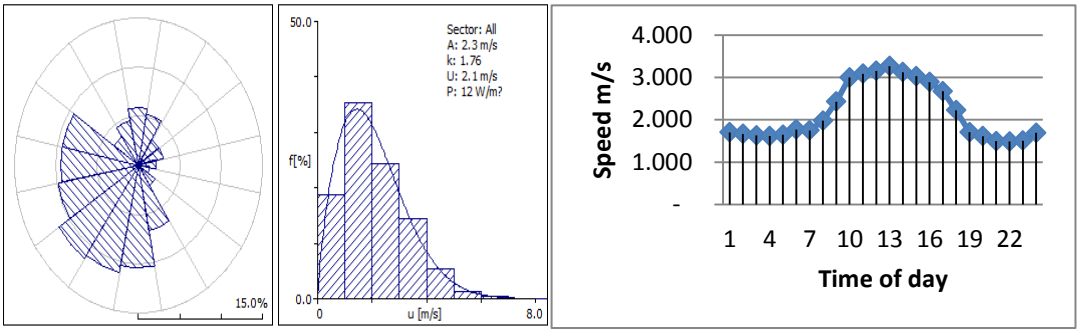


พฤศจิกายน 2558

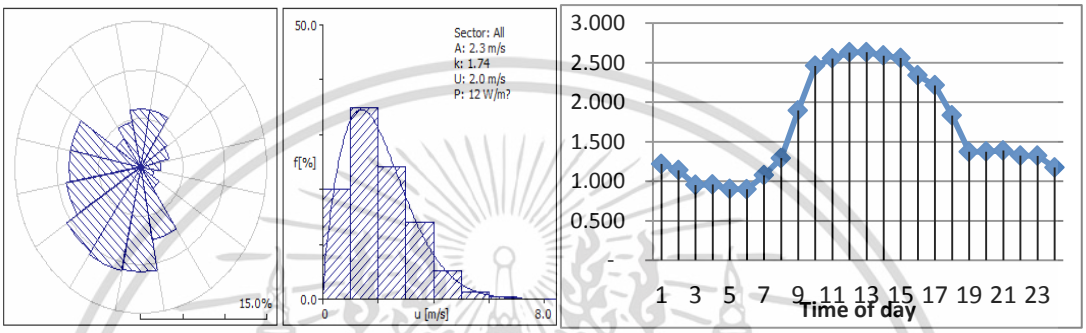


ธันวาคม 2558

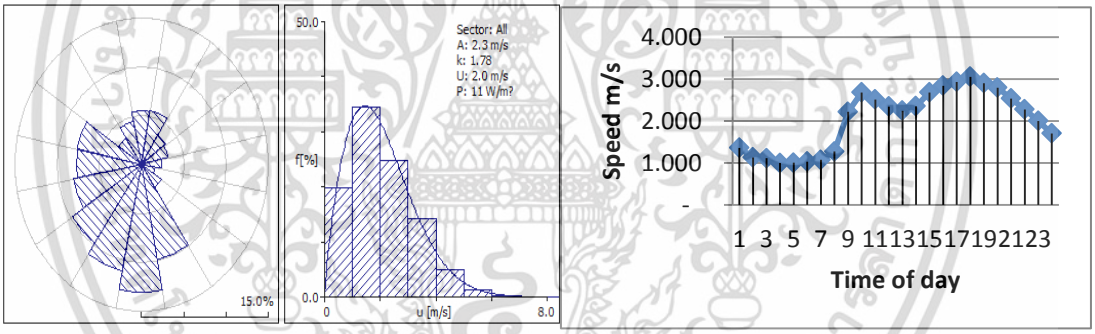
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



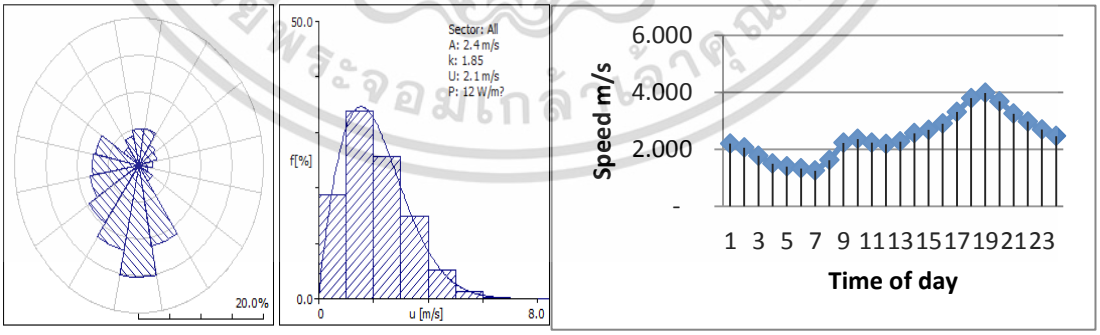
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

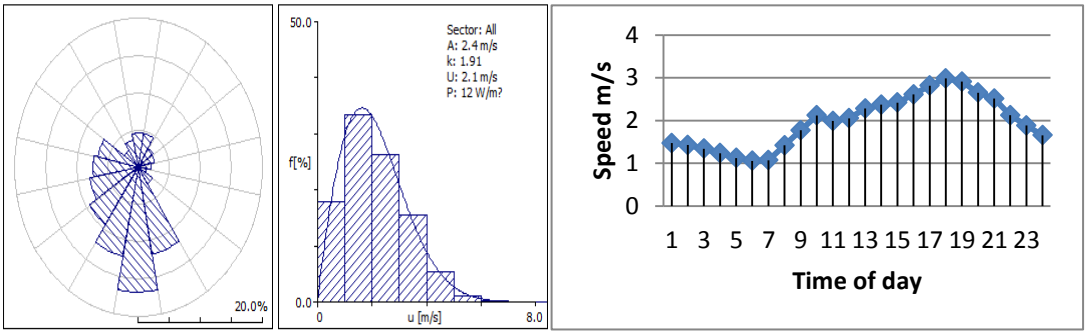


มีนาคม 2559

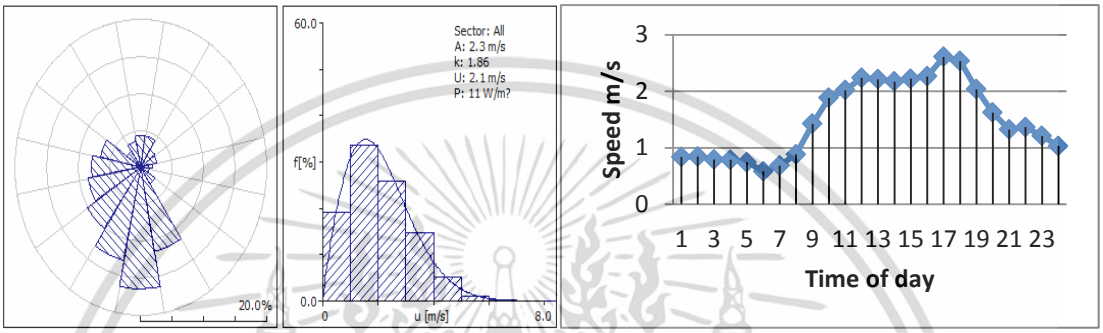


เมษายน 2559

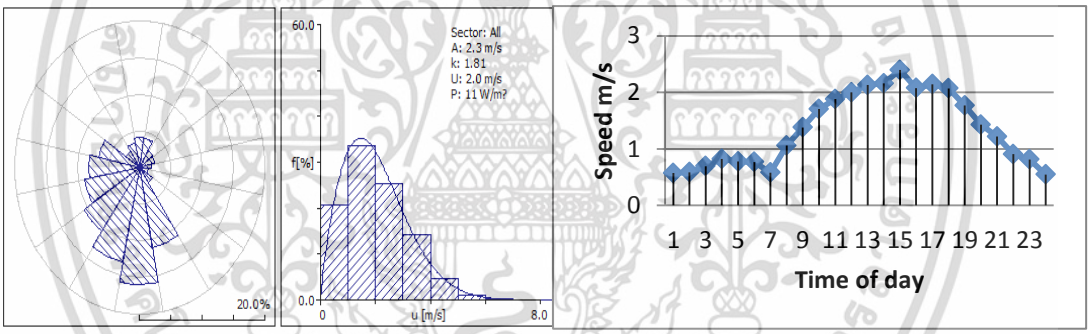
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



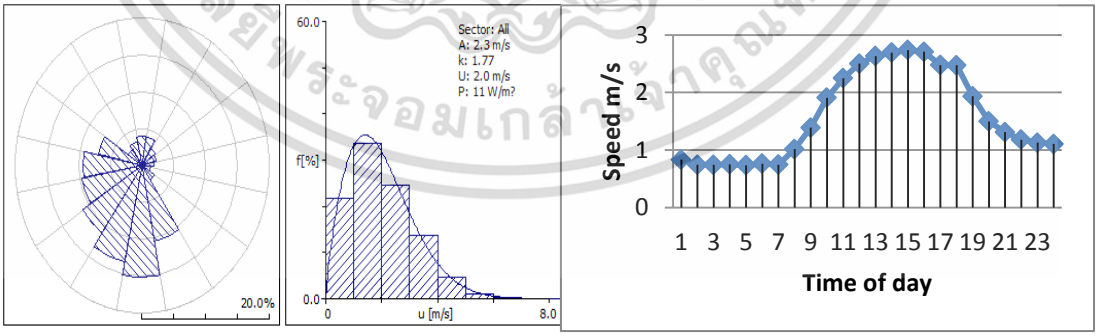
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



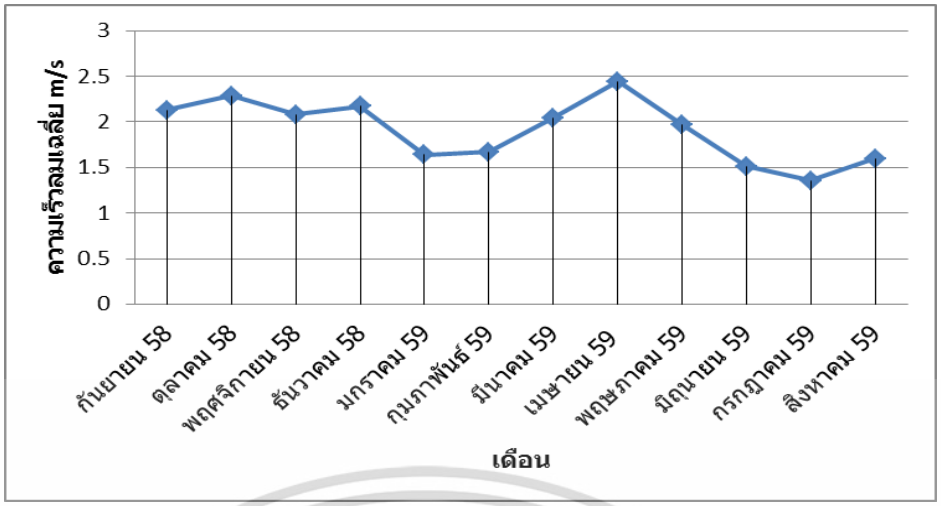
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.7 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดนครปฐม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดนครปฐม

ตารางที่ 5.4 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดนครปฐม

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ทิศทางลมเฉลี่ย	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	องศา(o)	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	2.13	1.14	239	2.3	1.71	12
ต.ค.-15	2.28	1.07	225	2.4	1.78	13
พ.ย.-15	2.08	1.14	212	2.4	1.79	13
ธ.ค.-15	2.17	1.14	176	2.4	1.81	13
ม.ค.-16	1.63	1.19	173	2.3	1.76	12
ก.พ.-16	1.67	1.15	153	2.3	1.74	12
มี.ค.-16	2.04	1.12	175	2.3	1.78	11
เม.ย.-16	2.44	1.08	191	2.4	1.85	12
พ.ค.-16	1.97	1.11	206	2.4	1.91	12
มิ.ย.-16	1.51	1.03	222	2.3	1.86	11
ก.ค.-16	1.35	1.02	224	2.3	1.81	11
ส.ค.-16	1.59	1.18	239	2.3	1.77	11

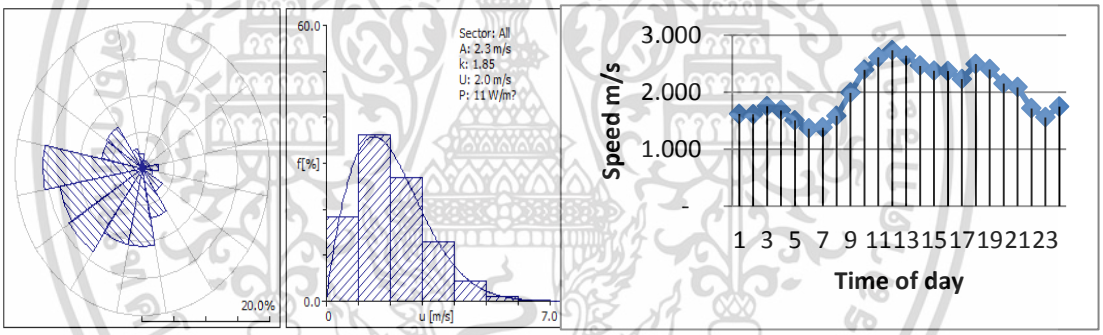
จากรูปที่ 5.7 ถึง รูปที่ 5.8 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ แสดงให้เห็นการได้รับลมมรสุม โดยความเร็วลมในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม มีการกระจายตัวความถี่ในช่วงความเร็วต่ำอยู่สูงพอสมควร แสดงว่าในช่วงเวลา ดังกล่าวลมจะพัดด้วยการสลับระหว่างความเร็วลมต่ำและความเร็วลมปานกลาง ไม่ค่อนสม่ำเสมอซึ่ง สอดคล้องกับตารางที่ 5.4 ช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 1.5 – 2.0 m/s และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.0 – 1.1 m/s จากนั้นขนาดของความเร็วลมได้ลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับจนถึงเดือน มิถุนายน หลังจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

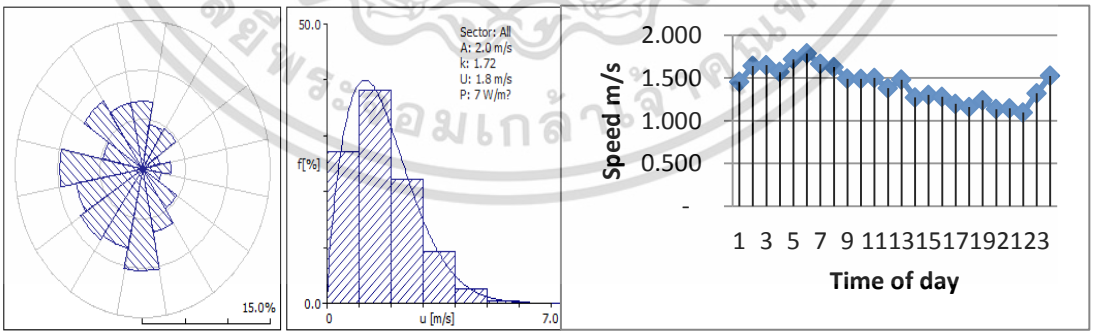
กลับมาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงเดือนเมษายนอีกครั้ง ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่ คำนวณได้อยู่ระหว่าง 11-13 W/m2 เมื่อเปรียบเทียบกับสถานีวัดลม จังหวัดชัยนาท ค่ากำลังลมต่อพื้นที่จะน้อยกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม รายงานผลวิเคราะห์ลมนี้เป็นผลที่ตำแหน่งของสถานีวัดลมเท่านั้นไม่หมายความว่าพื้นที่โดยรอบบริเวณสถานีวัดสถานีวัดลมในตัวจังหวัดนครปฐม จะให้ผลวิเคราะห์ลมเช่นเดียวกัน ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.4

5.1.5 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีหมู่ 4 ตำบลขุนศรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดหมู่ 4 ตำบลขุนศรี อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.9 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

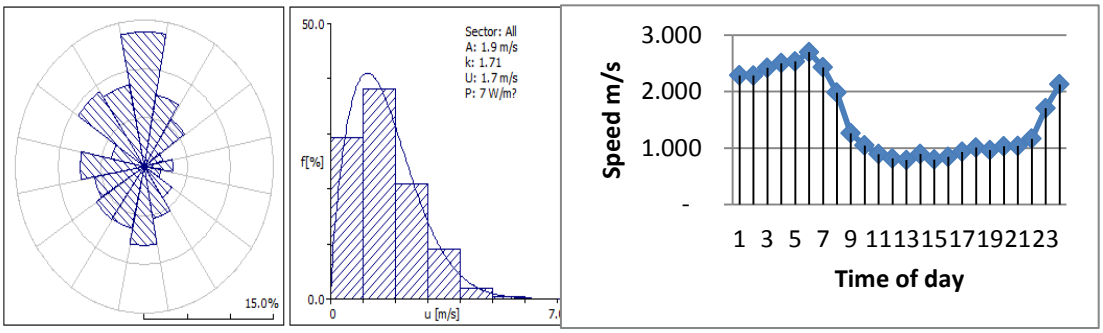


กันยายน 2558

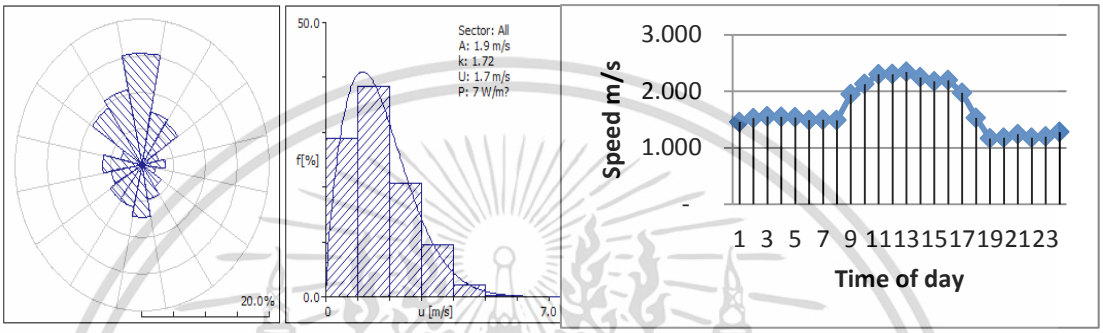


ตุลาคม 2558

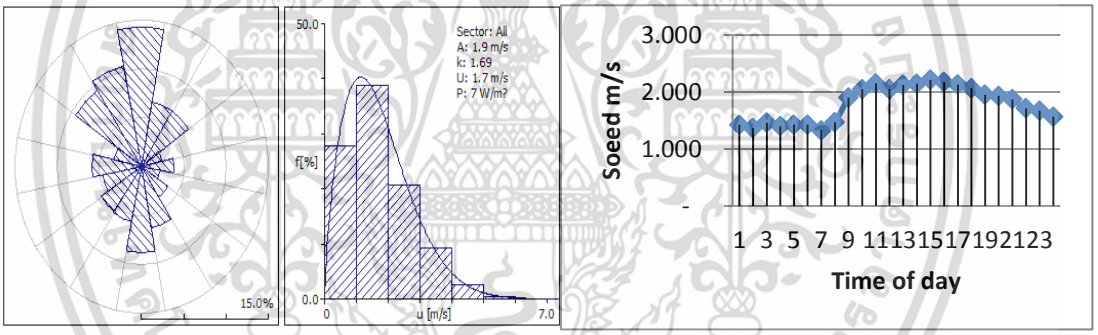
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



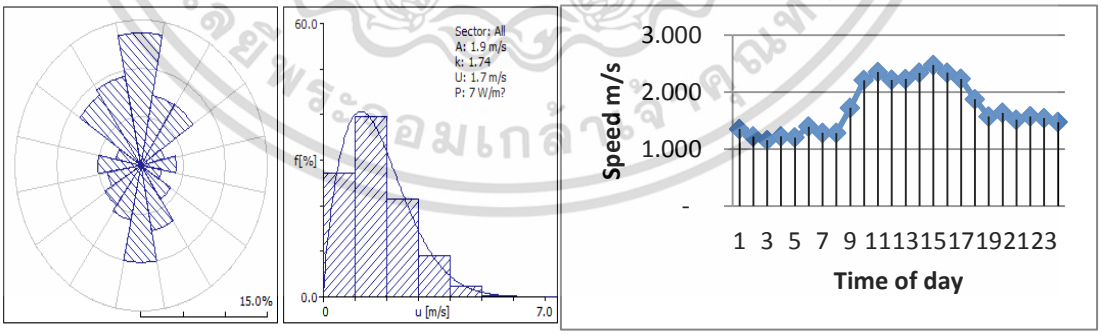
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

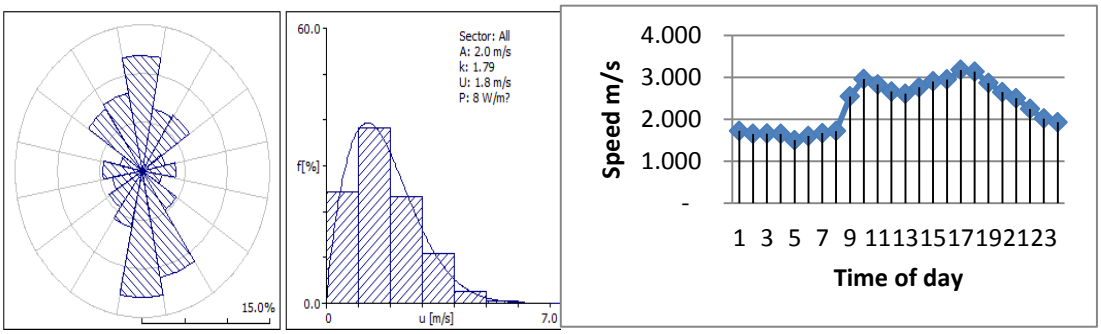


มกราคม 2559

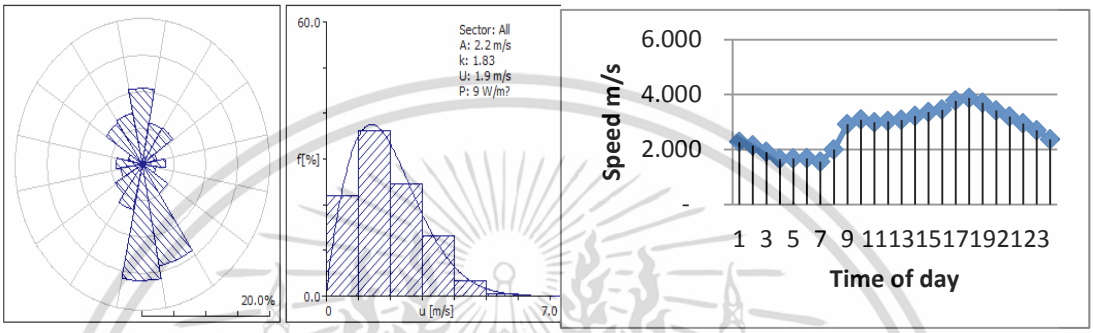


กุมภาพันธ์ 2559

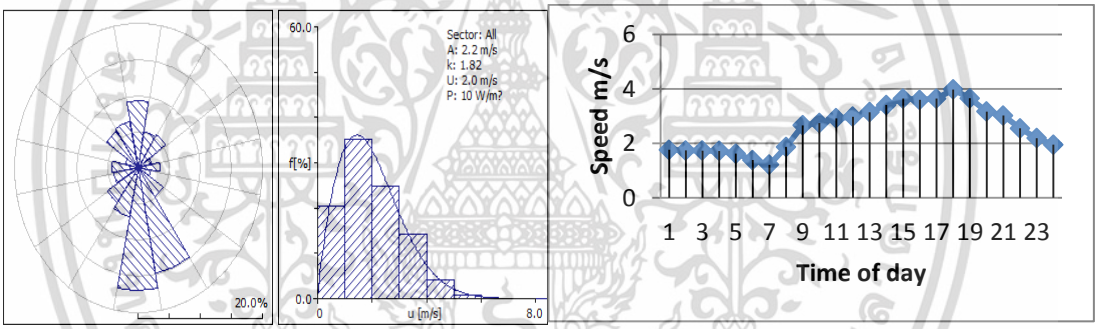
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



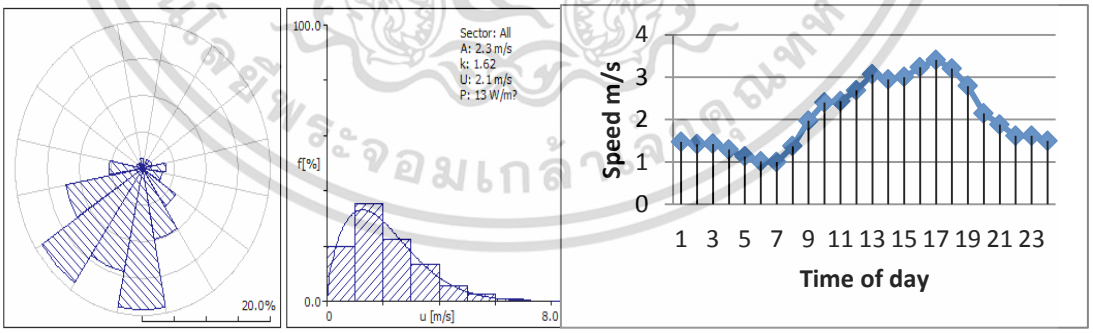
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

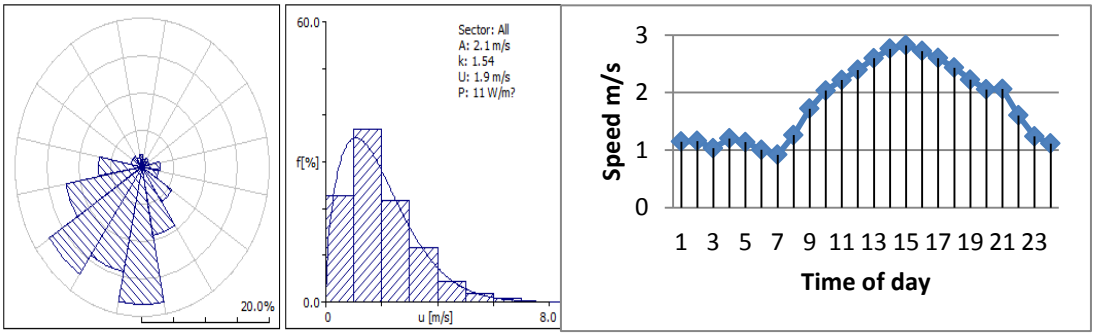


พฤษภาคม 2559

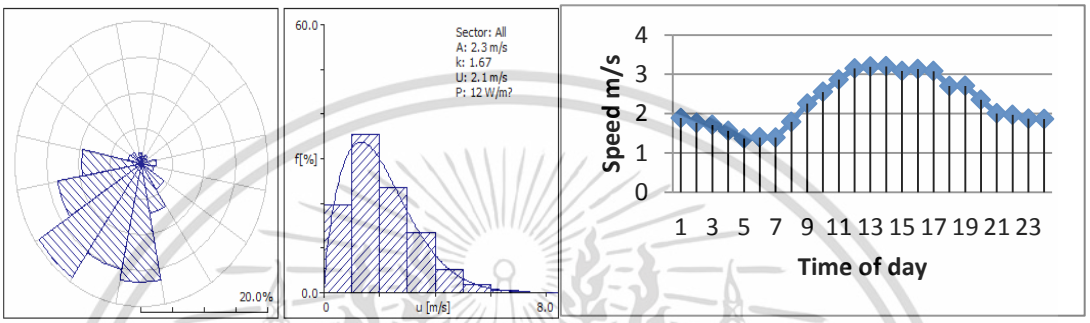


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

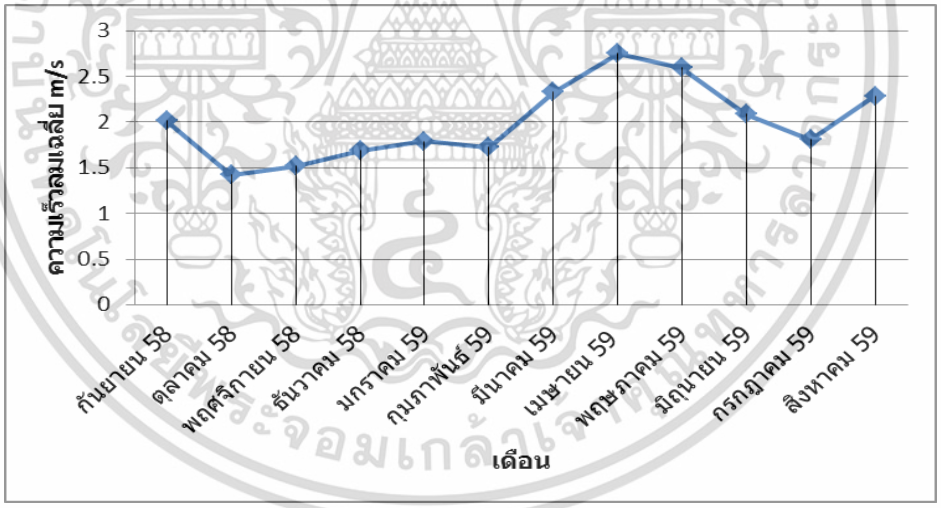


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.9 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดนนทบุรี



รูปที่ 5.10 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดนนทบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดนนทบุรี

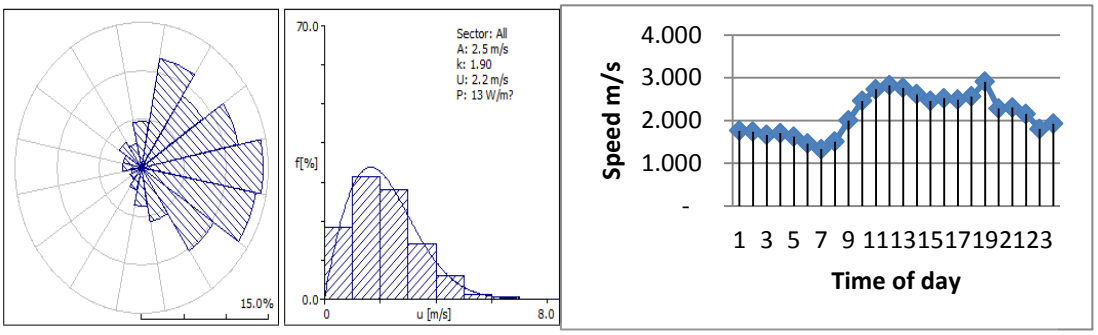
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ทิศทางลมเฉลี่ย	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_v	องศา(o)	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	2.01	1.15	223	2.3	1.85	11
ต.ค.-15	1.42	0.89	194	2	1.72	7
พ.ย.-15	1.52	1.01	197	1.9	1.71	7
ธ.ค.-15	1.68	1.04	206	1.9	1.72	7
ม.ค.-16	1.79	1.12	201	1.9	1.69	7
ก.พ.-16	1.72	0.91	149	1.9	1.74	7
มี.ค.-16	2.32	0.99	164	2	1.79	8
เม.ย.-16	2.74	1.01	176	2.2	1.85	9
พ.ค.-16	2.59	1.27	190	2.2	1.82	10
มิ.ย.-16	2.08	1.33	193	2.3	1.62	13
ก.ค.-16	1.81	1.21	205	2.1	1.54	11
ส.ค.-16	2.28	1.22	219	2.3	1.67	12

จากรูปที่ 5.9 ถึง รูปที่ 5.10 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศใต้เป็นส่วนใหญ่และทิศเหนือในช่วงปลายปี โดยความเร็วลมในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนมิถุนายนเป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและในช่วงเวลา9.00น ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นและคงที่จนถึงเวลา 23.00 น ยกเว้นเดือนพฤศจิกายน นั้น ความเร็วลมจะต่ำในชวงเวลา 9.00-22.00น เนื่องมาจากอากาศที่นิ่งและเริ่มเย็นตัวในฤดูหนาว และในตลอดทั้งช่วงเวลาดังกล่าวลมจะพัดด้วยการสลับระว่างความเร็วลมต่ำและความเร็วลมปานกลาง ค่อนสม่ำเสมอซึ่ง สอดคล้องกับตารางที่ 5.5 ช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 1.5 – 2.2 m/s และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.0 – 1.1 m/s ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่ คำนวณได้อยู่ระหว่าง 7-13 W/m2 ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.5

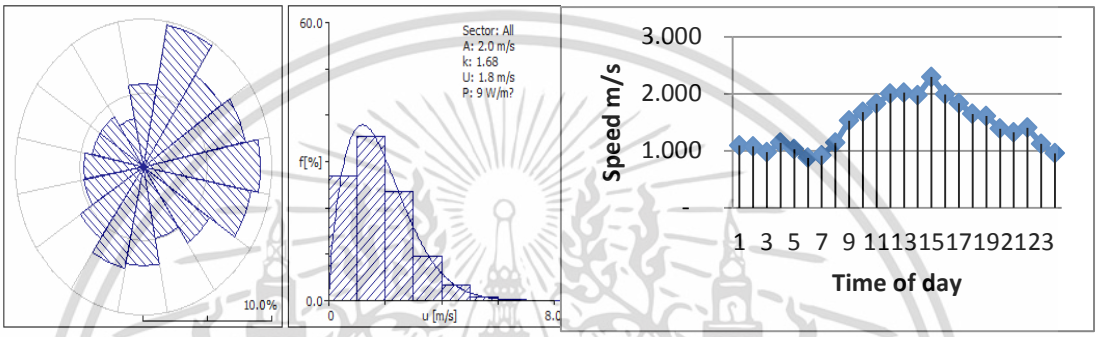
5.1.6 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 6 ต.คลองพระอุดม อ.ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี หมู่ 6 ต.คลองพระอุดม อ.ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

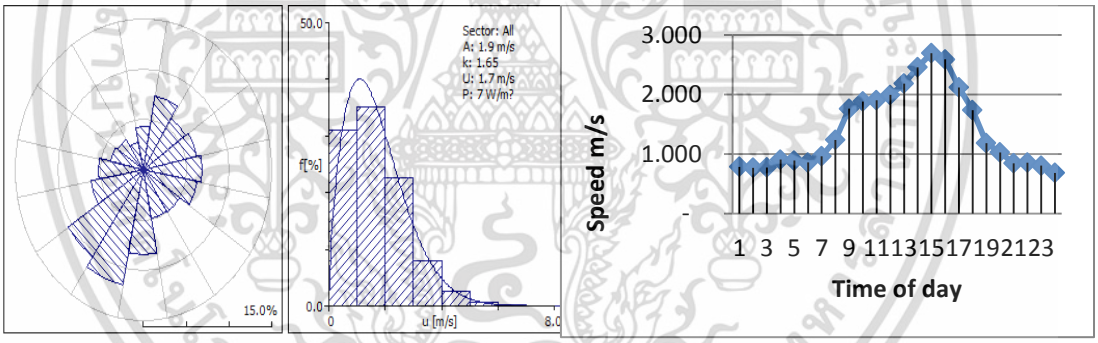
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



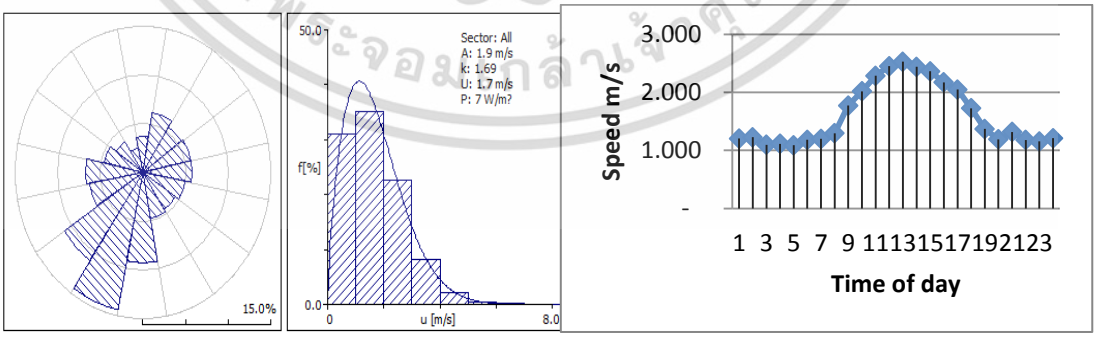
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

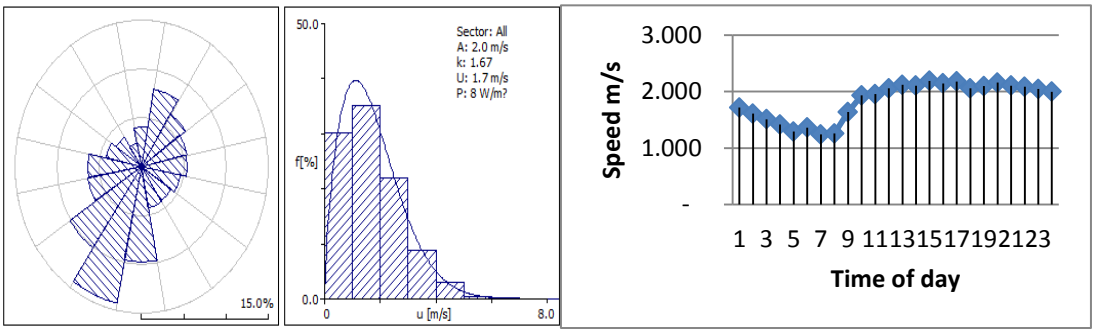


พฤศจิกายน 2558

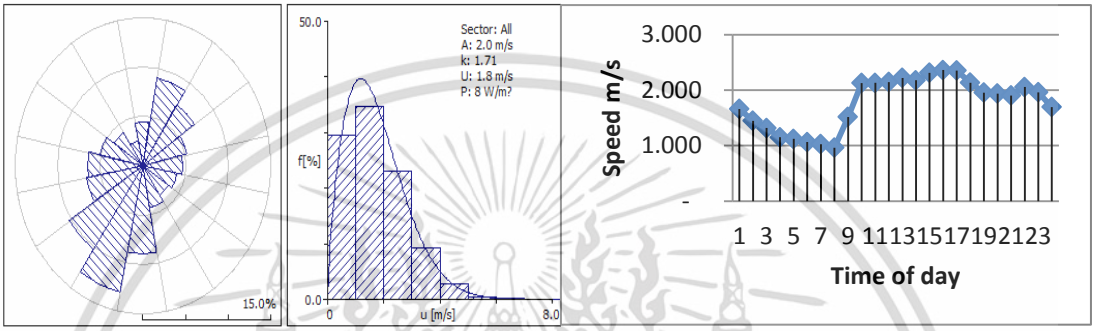


ธันวาคม 2558

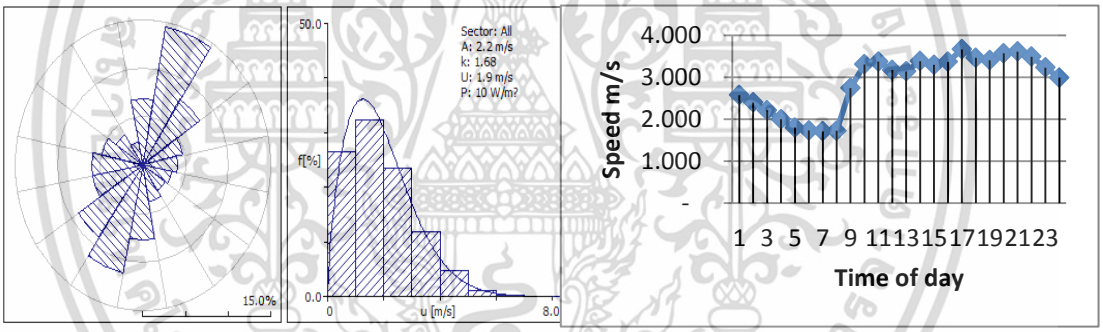
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



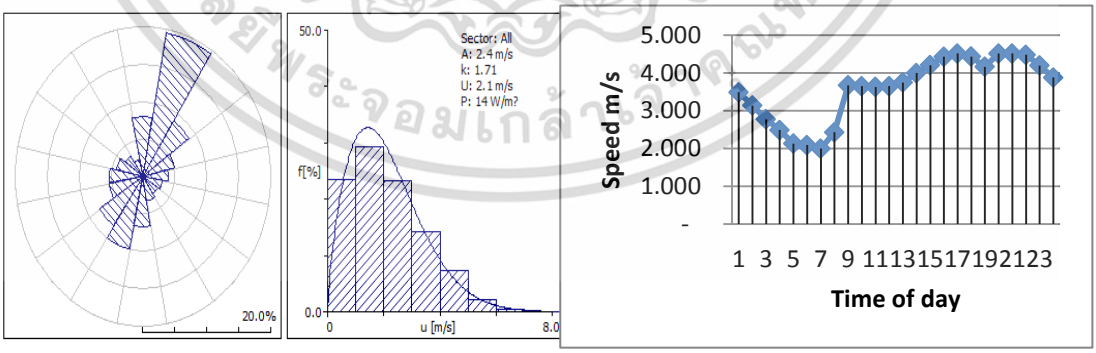
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

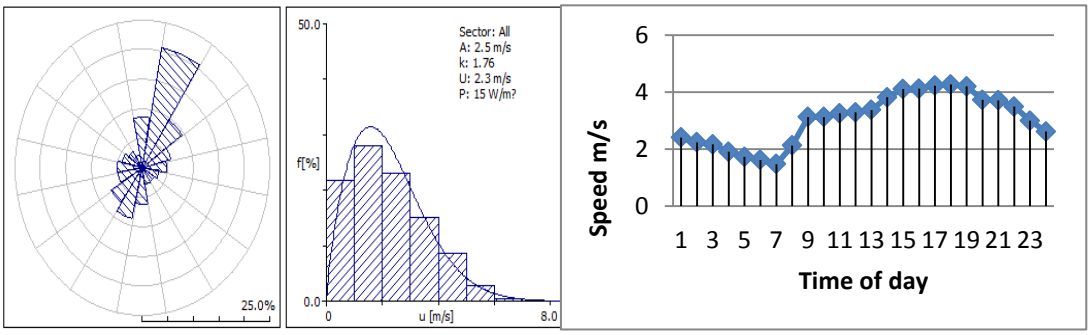


มีนาคม 2559

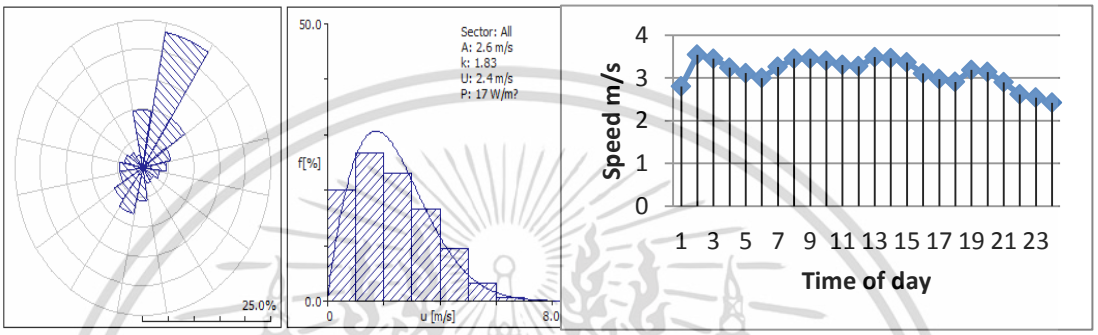


เมษายน 2559

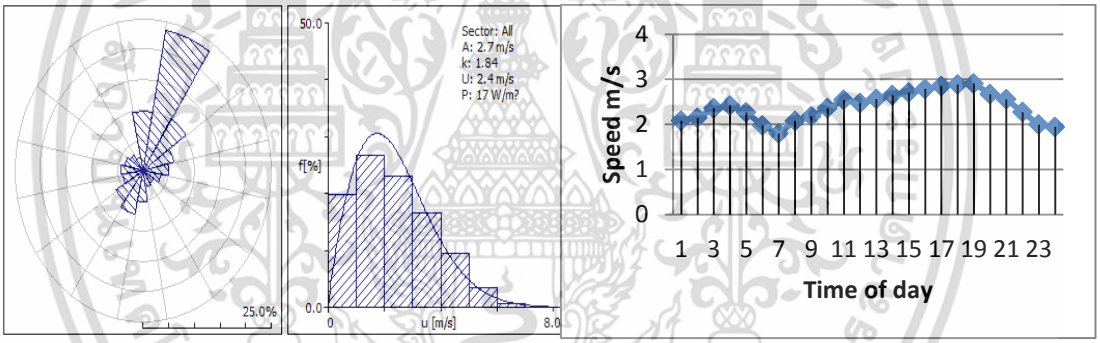
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



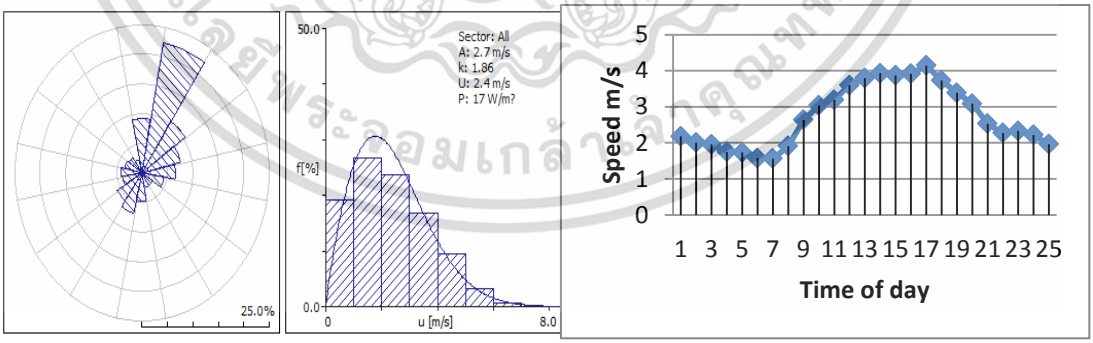
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



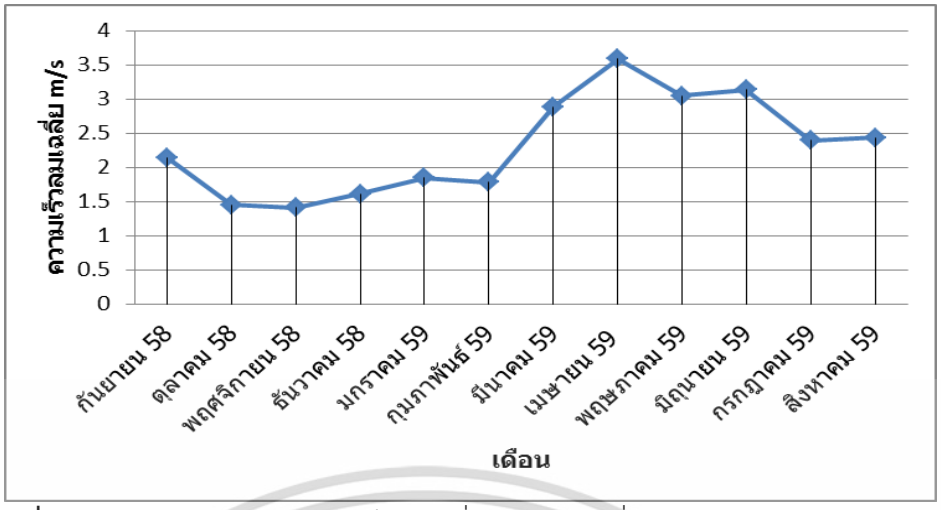
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.11 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ 5.6 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดปทุมธานี

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ทิศทางลมเฉลี่ย	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	องศา(o)	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	2.14	1.28	30	2.5	1.91	13
ต.ค.-15	1.45	0.95	65	2	1.68	9
พ.ย.-15	1.41	0.95	44	1.9	1.65	7
ธ.ค.-15	1.61	1.03	49	1.9	1.69	7
ม.ค.-16	1.84	1.2	95	2	1.67	8
ก.พ.-16	1.78	1.04	130	2	1.71	8
มี.ค.-16	2.88	1.33	89	2.2	1.68	10
เม.ย.-16	3.29	1.23	52	2.4	1.71	14
พ.ค.-16	3.04	1.44	77	2.5	1.76	15
มิ.ย.-16	3.13	1.35	26	2.6	1.83	15
ก.ค.-16	2.39	1.44	34	2.7	1.84	17
ส.ค.-16	2.43	1.29	66	2.7	1.86	17

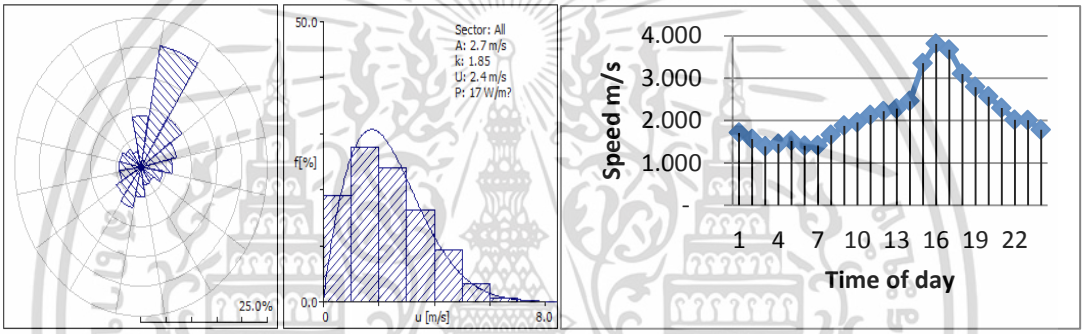
จากรูปที่ 5.11 ถึง รูปที่ 5.12 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนใหญ่และทิศตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงปลายปีถึงต้นปี โดยความเร็วลมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนกรกฎาคม เป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและจะสูงที่สุดในเดือนเมษายน เนื่องจากเป็นฤดูร้อนและจะต่ำสุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน และในช่วงเวลา 9.00น ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นและคงที่จนถึงเวลา 19.00 น และในตลอดทั้งช่วงเวลาดังกล่าวลมจะพัดด้วยการสลับระว่างความเร็วลมต่ำและความเร็วลมปานกลาง ค่อนสม่ำเสมอซึ่ง สอดคล้องกับตารางที่ 5.6 ช่วงความเร็วเฉลี่ยราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

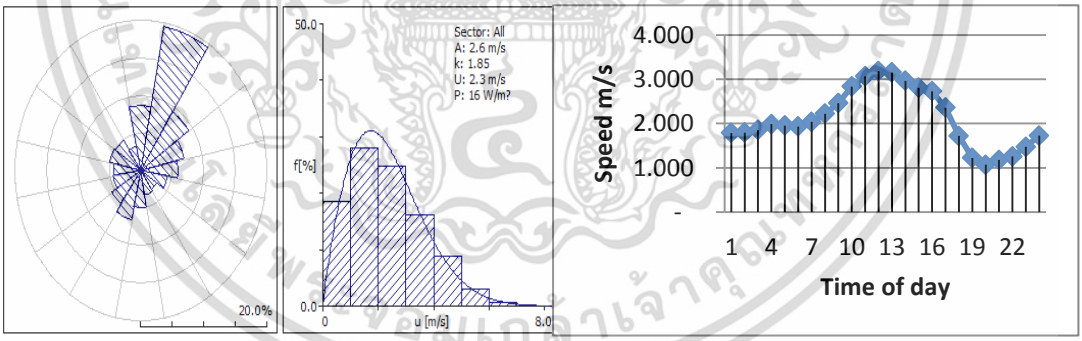
เดือนอยู่ที่ 1.5 – 3.5 m/s และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.0 – 1.4 m/s ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่ คำนวณได้อยู่ระหว่าง 7-15 W/m2 ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.6

5.1.7 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 1 ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

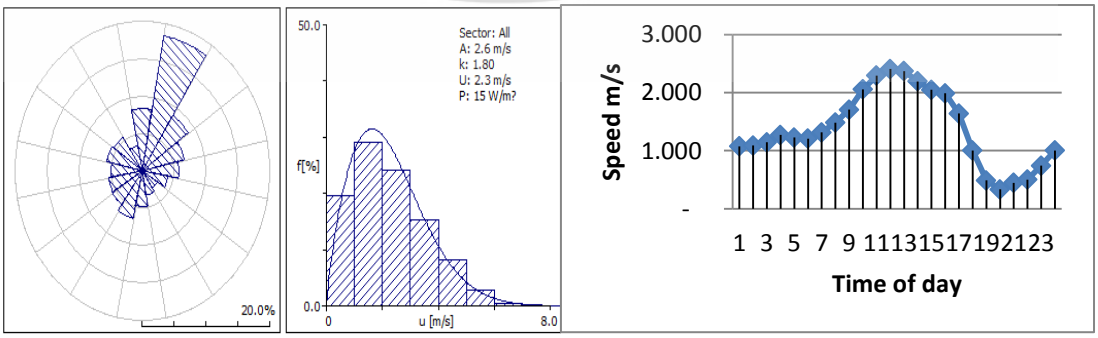
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี หมู่ 1 ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



กันยายน 2558

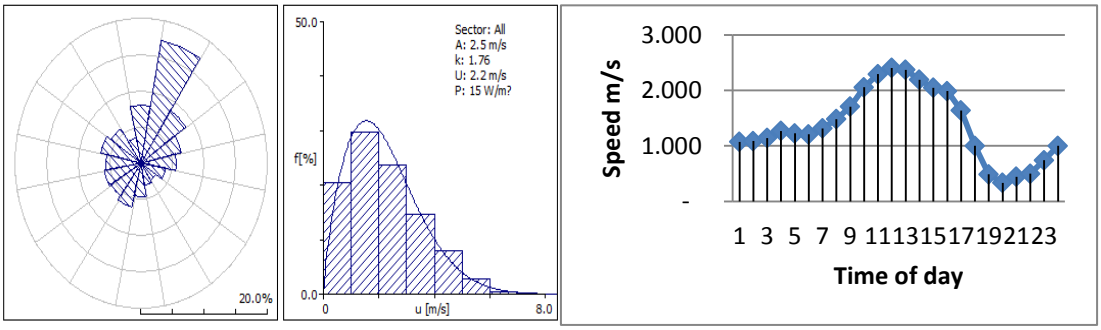


ตุลาคม 2558

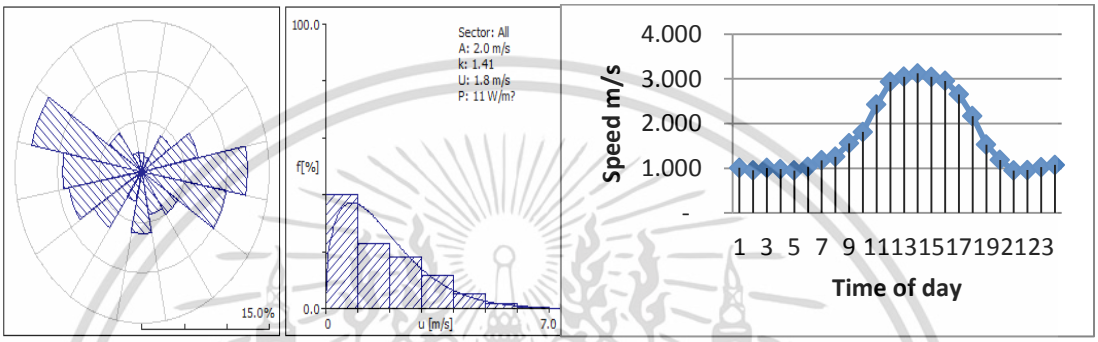


พฤศจิกายน 2558

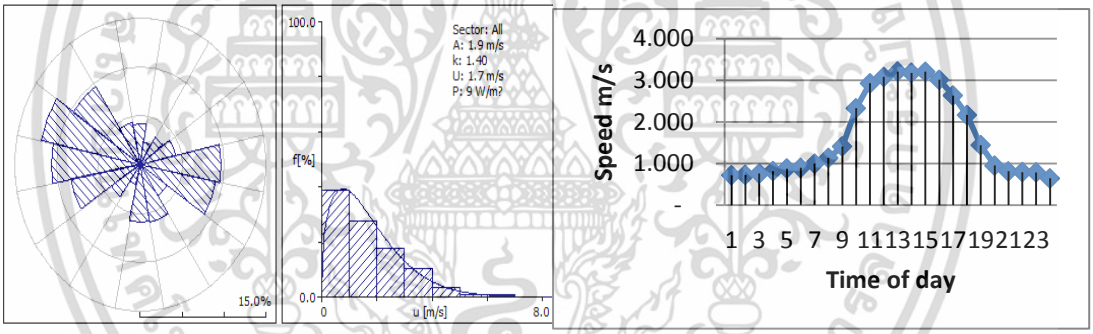
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



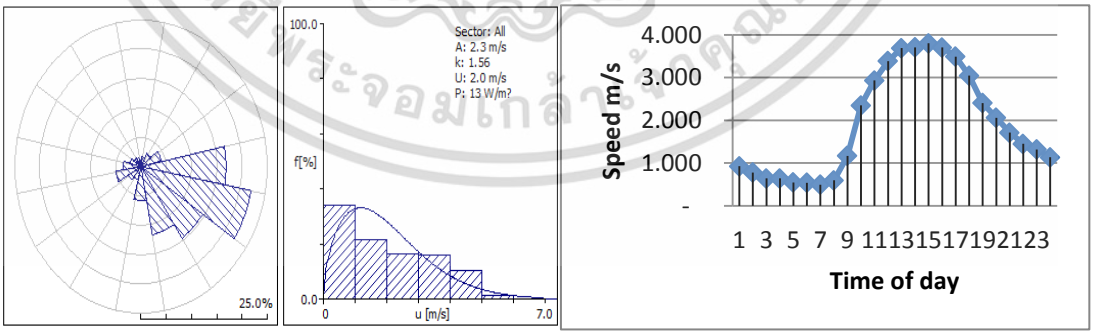
ธันวาคม 2558



มกราคม 2559

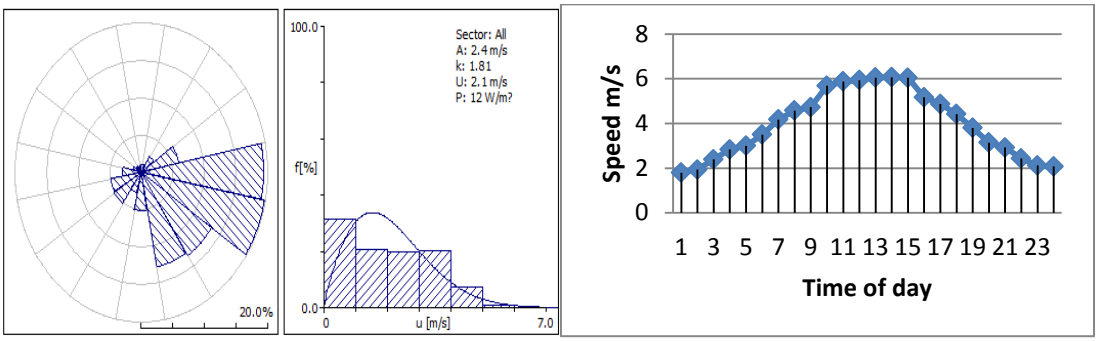


กุมภาพันธ์ 2559

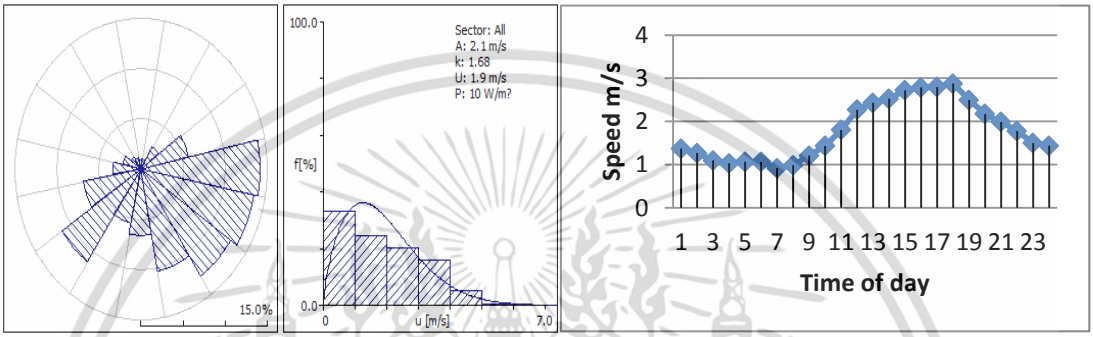


มีนาคม 2559

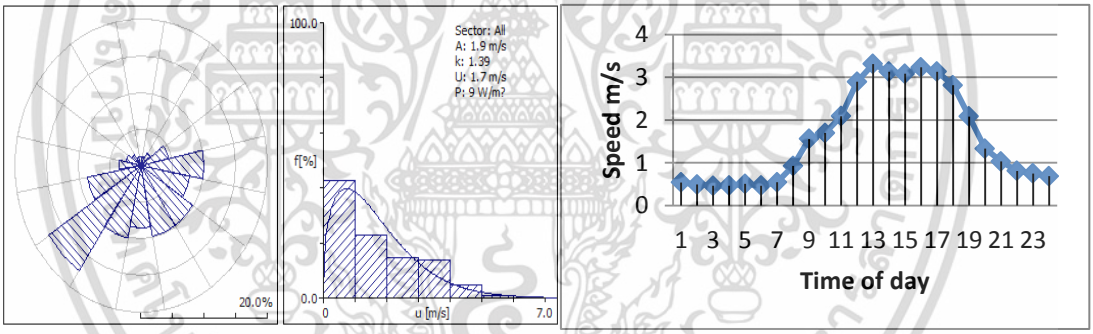
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



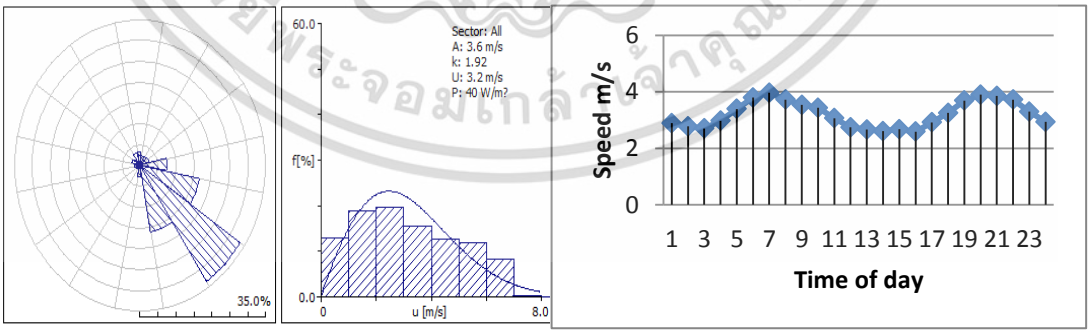
เมษายน 2559



พฤษภาคม 2559

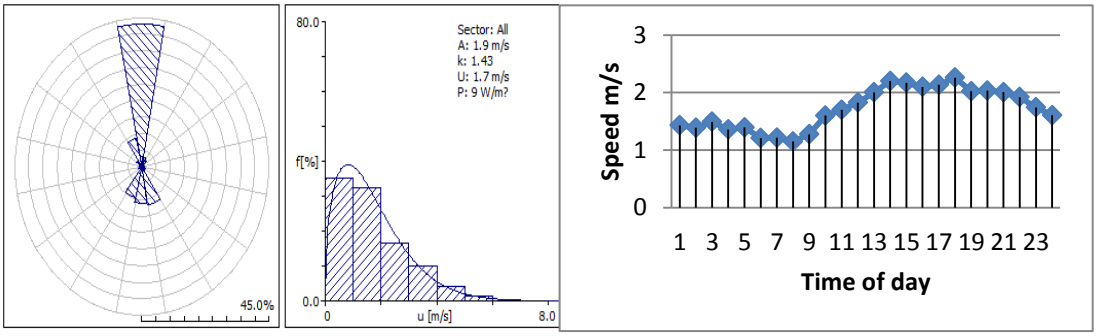


มิถุนายน 2559



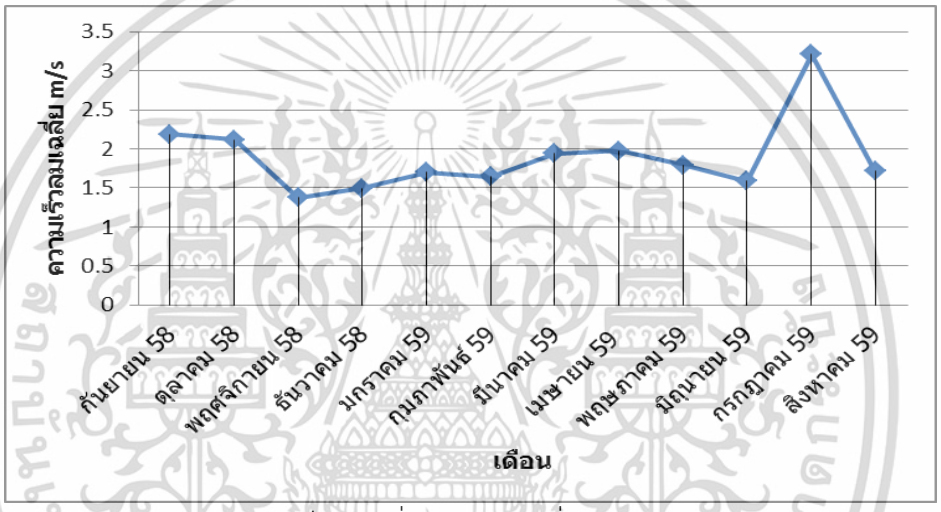
กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.13 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 5.14 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ 5.7 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

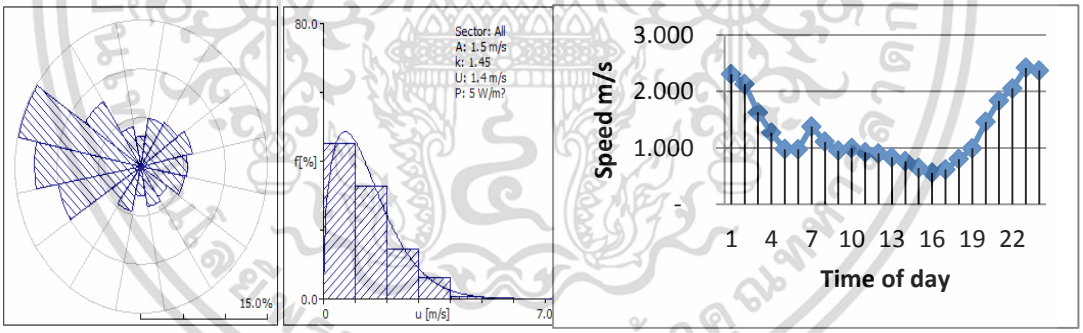
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_v	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	2.18	1.32	2.7	1.85	17
ต.ค.-15	2.11	0.92	2.6	1.85	16
พ.ย.-15	1.37	0.91	2.6	1.81	15
ธ.ค.-15	1.49	1.05	2.5	1.76	15
ม.ค.-16	1.69	1.39	2	1.42	11
ก.พ.-16	1.64	1.45	1.9	1.41	9
มี.ค.-16	1.93	1.48	2.3	1.56	13
เม.ย.-16	1.97	1.38	2.4	1.81	12
พ.ค.-16	1.79	1.31	2.1	1.68	10
มิ.ย.-16	1.58	1.35	1.9	1.39	9
ก.ค.-16	3.21	1.92	3.6	1.92	40
ส.ค.-16	1.71	1.28	1.9	1.43	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

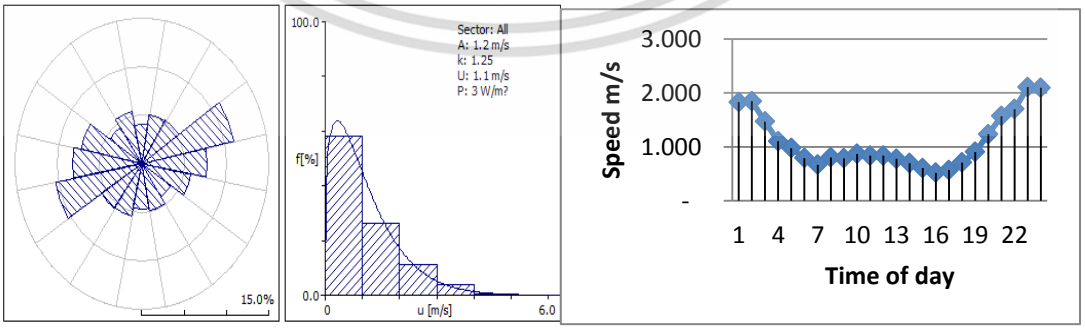
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดลมสถานีจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ที่ระดับความสูง 12 เมตร พบว่าความเร็วลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี จะอยู่ที่ 1.89 m/s และสูงสุดอยู่ที่เดือนกรกฎาคม ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 1 แสดงว่าความเร็วลมเฉลี่ยนั้นไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก ส่วนเมื่อดูช่วงเวลาก็จะพบว่าความเร็วลมส่วนใหญ่จะสูงเมื่อเทียบตลอดทั้งปีจะอยู่ตอนกลางวัน และค่าพารามิเตอร์ c k จะแสดงถึงความน่าจะเป็นทางสถิติของความเร็วลมเฉลี่ย เมื่อนำค่า c k ไปแทนในสมการความน่าจะเป็นเพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความเร็วลม ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 5.7

5.1.8 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 7 ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี หมู่ 7 ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.15 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

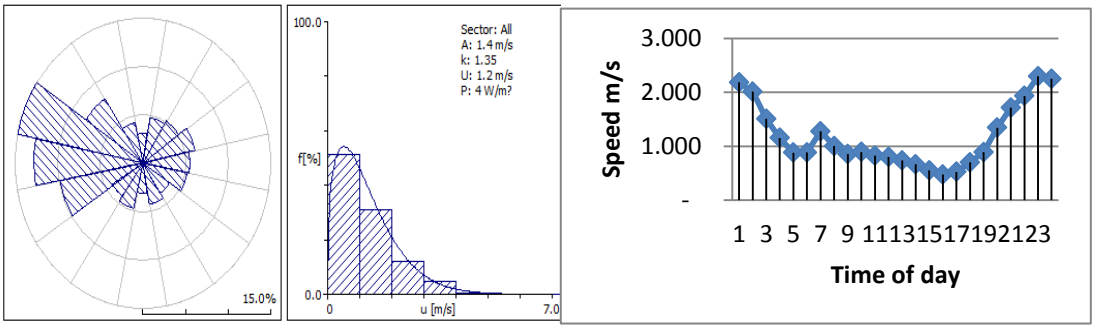


กันยายน 2558

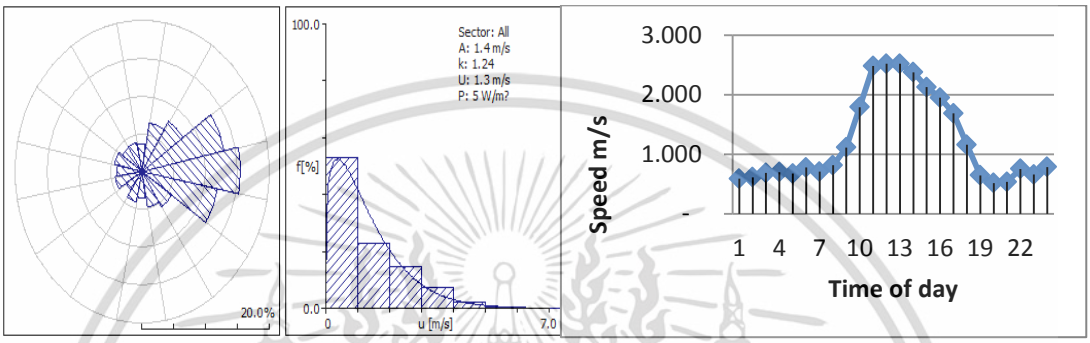


ตุลาคม 2558

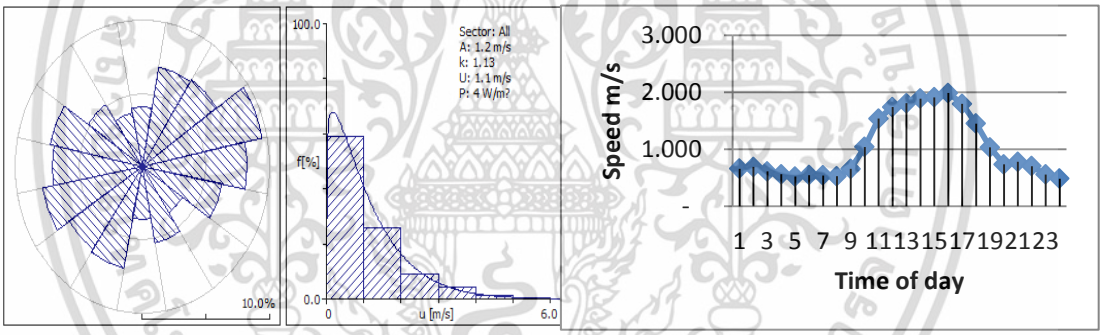
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



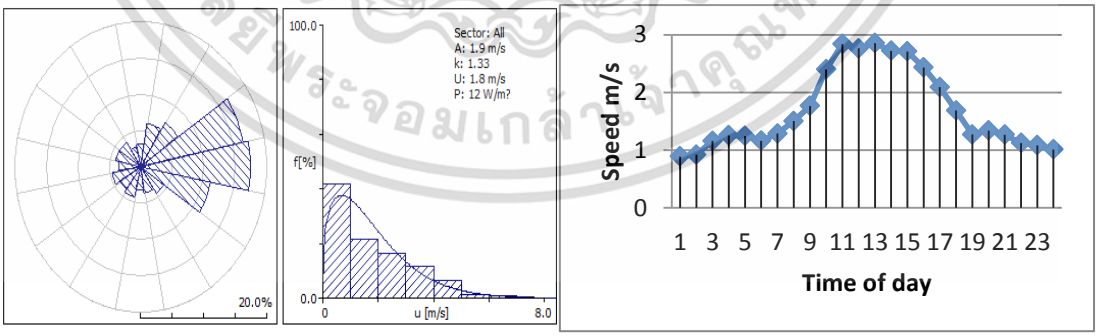
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

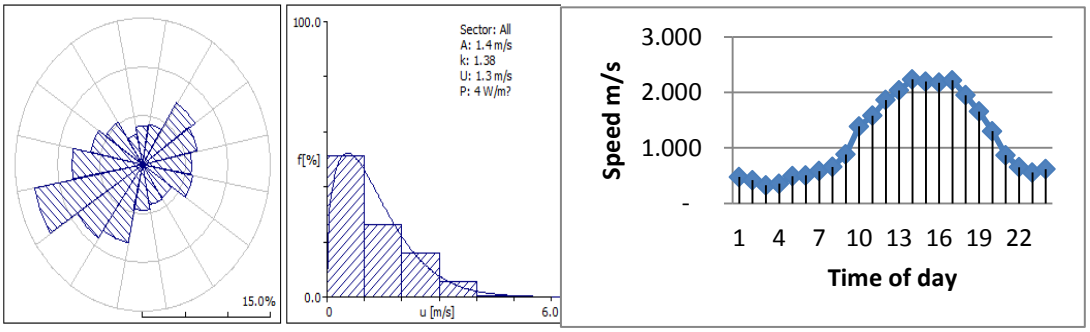


มกราคม 2559

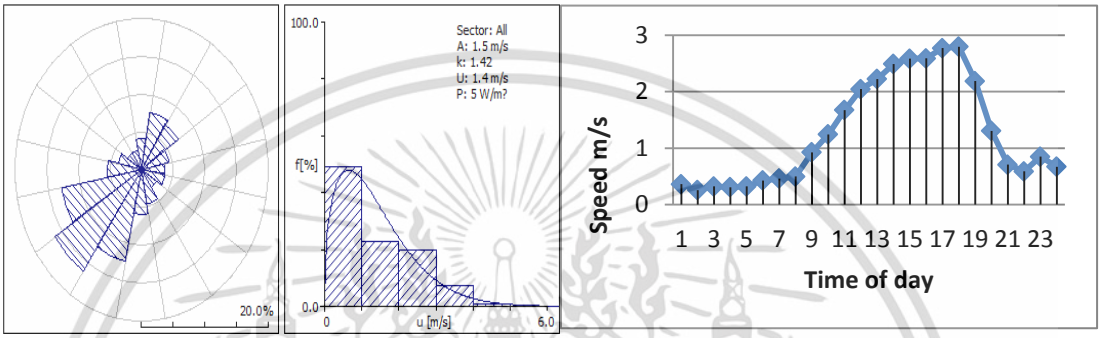


กุมภาพันธ์ 2559

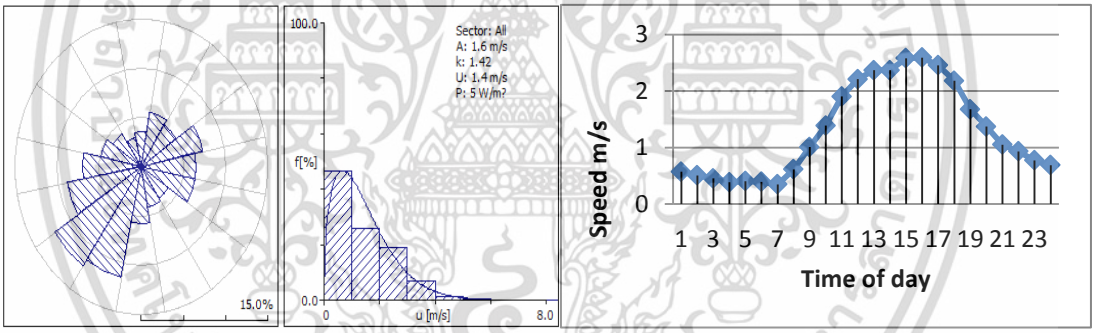
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



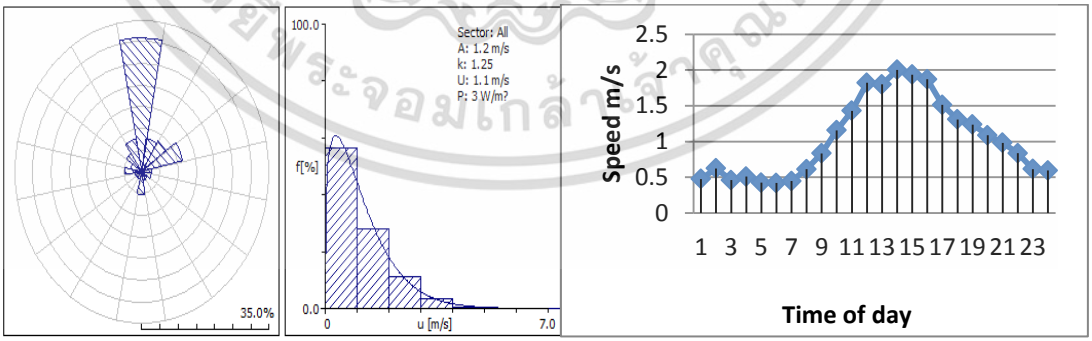
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

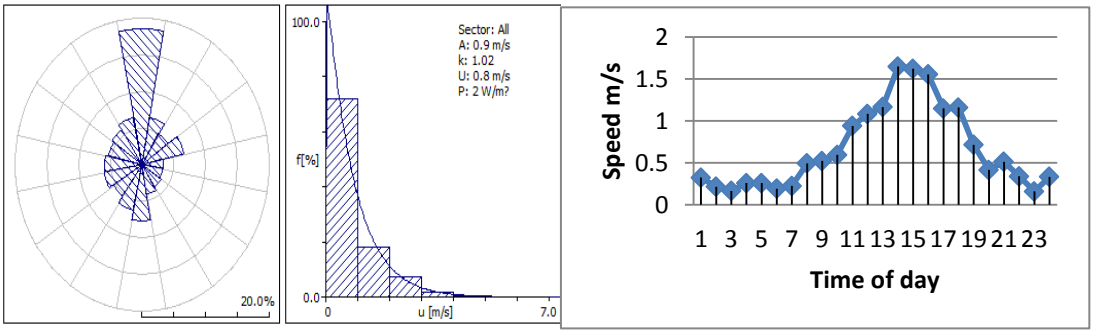


พฤษภาคม 2559

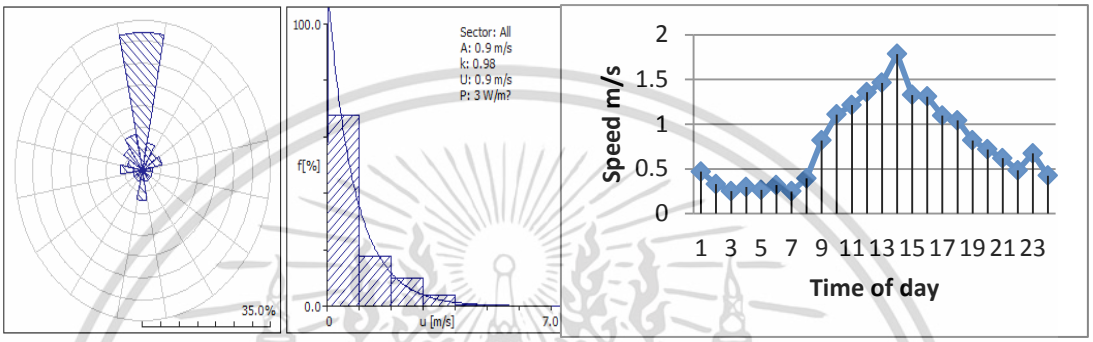


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

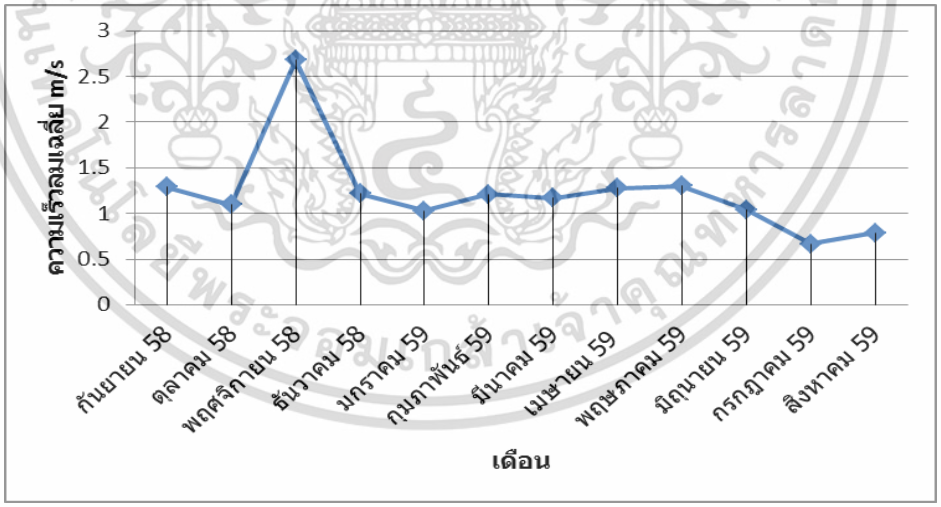


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.15 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดปราจีนบุรี



รูปที่ 5.16 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดปราจีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดปราจีนบุรี

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_v	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.28	1.01	1.5	1.45	5
ต.ค.-15	1.09	0.91	1.2	1.25	3
พ.ย.-15	2.67	2.03	1.4	1.35	4
ธ.ค.-15	1.21	1.17	1.4	1.24	5
ม.ค.-16	1.03	1.02	1.2	1.13	4
ก.พ.-16	1.21	0.99	1.9	1.33	12
มี.ค.-16	1.16	1.03	1.4	1.33	4
เม.ย.-16	1.27	1.12	1.5	1.38	5
พ.ค.-16	1.31	1.13	1.6	1.42	5
มิ.ย.-16	1.04	0.95	1.2	1.42	3
ก.ค.-16	0.66	0.91	0.9	1.25	2
ส.ค.-16	0.78	1.01	0.9	1.02	3

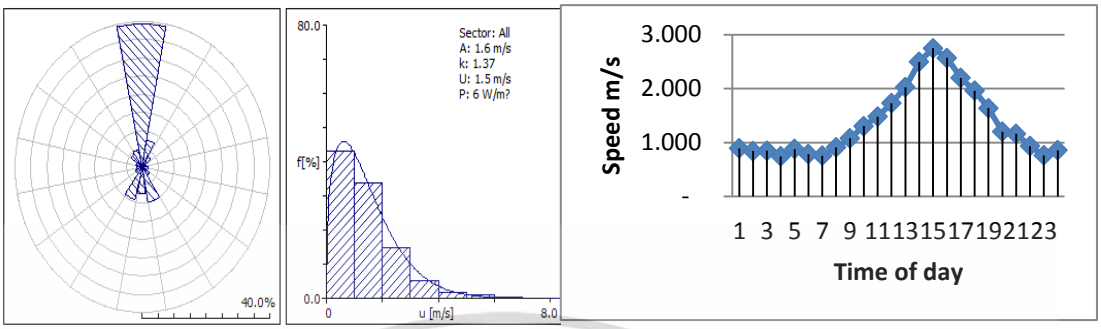
จากรูปที่ 5.15 ถึง รูปที่ 5.16 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือเป็นส่วนใหญ่ โดยความเร็วลมในช่วงเดือนตุลาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน มีการกระจายตัวความถี่ในช่วงความเร็วสูงอยู่สูงพอสมควรและจะลดความเร็วลมมาจนถึงธันวาคมแล้วจะคงที่ไปจนถึงตุลาคม ช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 0.66-1.3 m/s ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ต่ำพอสมควรและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.0 – 1.1 m/s ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่ คำนวณได้อยู่ระหว่าง 2-5 w/m^2แต่จะมีบางเดือนคือเดือนกุมภาพันธ์ค่ากำลังลมนั้นสูงถึง 12 w/m^2 นั้นหมายความว่าความหนาแน่นช่วงนั้นอาจจะสูงก็เป็นได้เมื่อดูจากความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเดือนอื่นๆ ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.8

5.1.9 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 4 ตำบลห้วยทรายเหนือ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

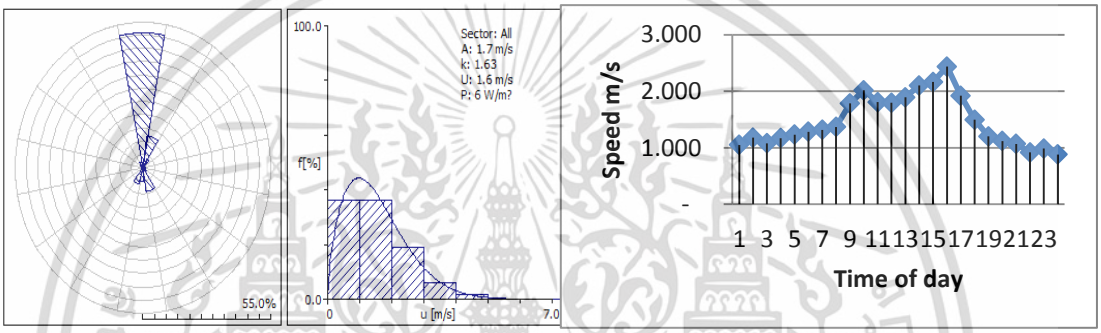
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี หมู่ 7 ตำบลดงขี้เหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.17 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

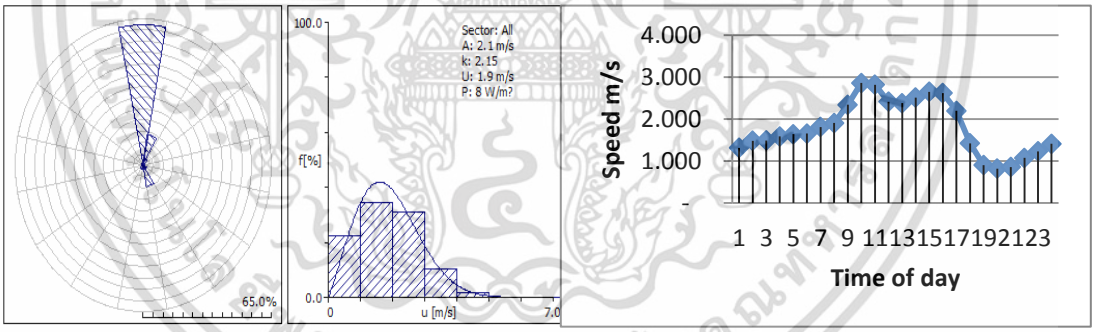
เชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



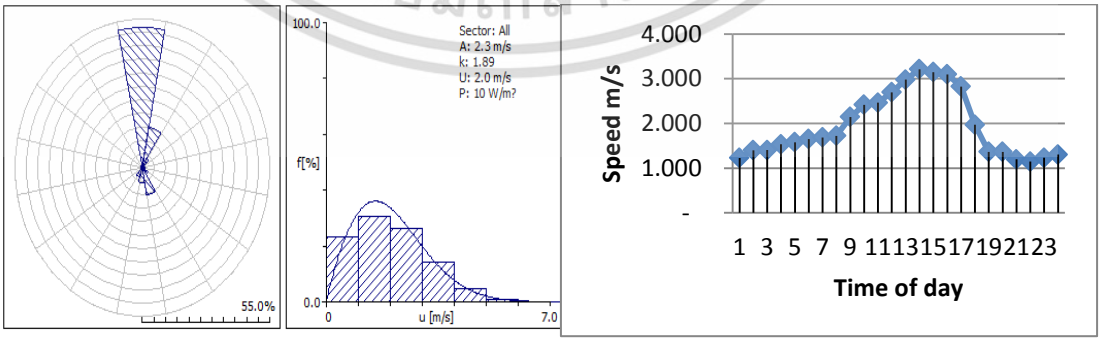
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

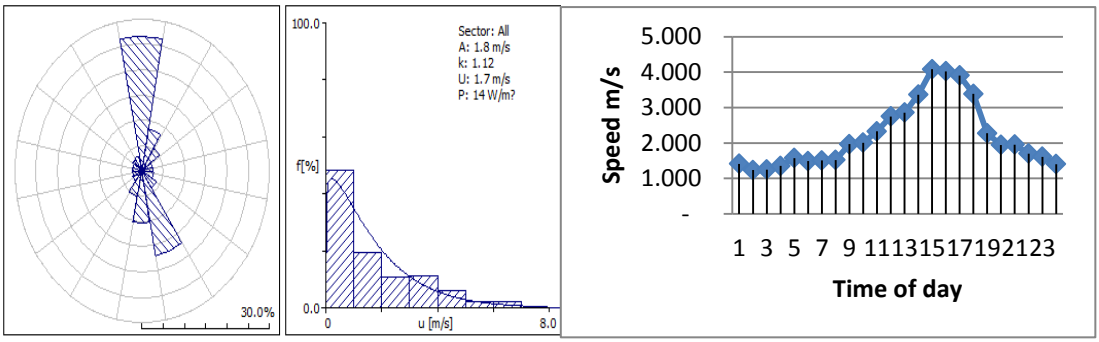


พฤศจิกายน 2558

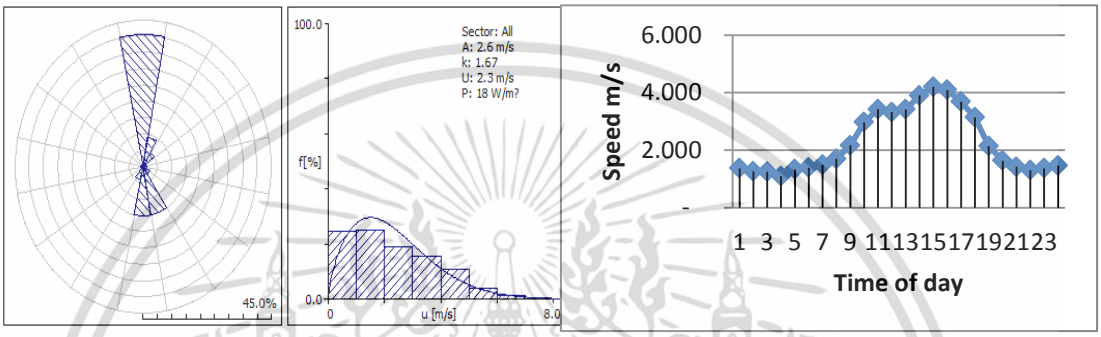


ธันวาคม 2558

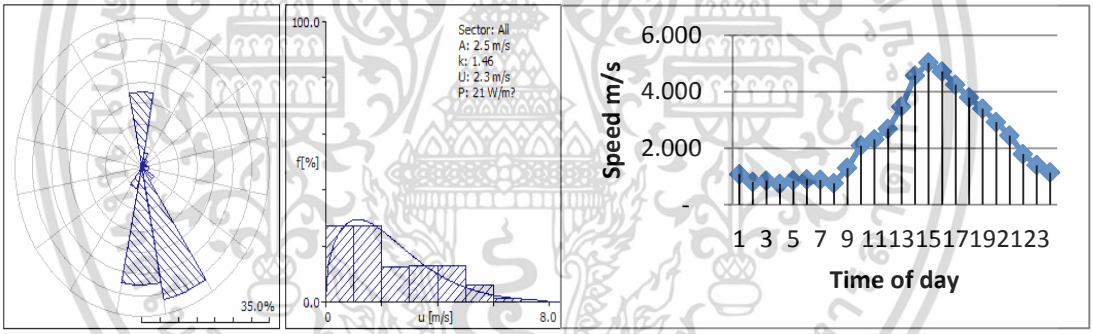
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



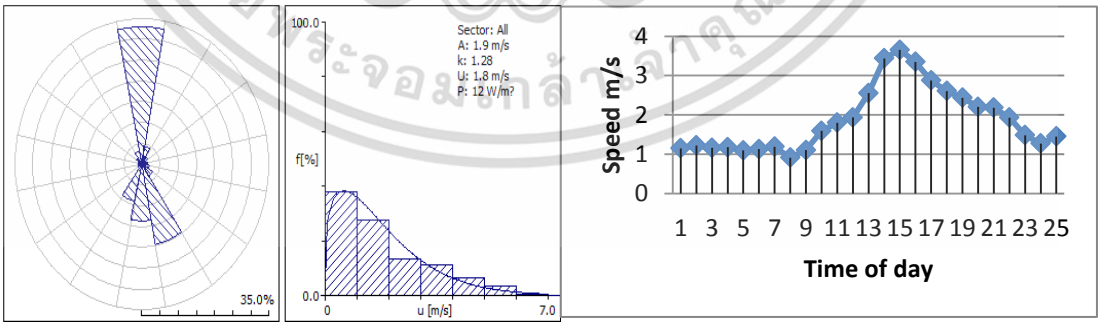
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

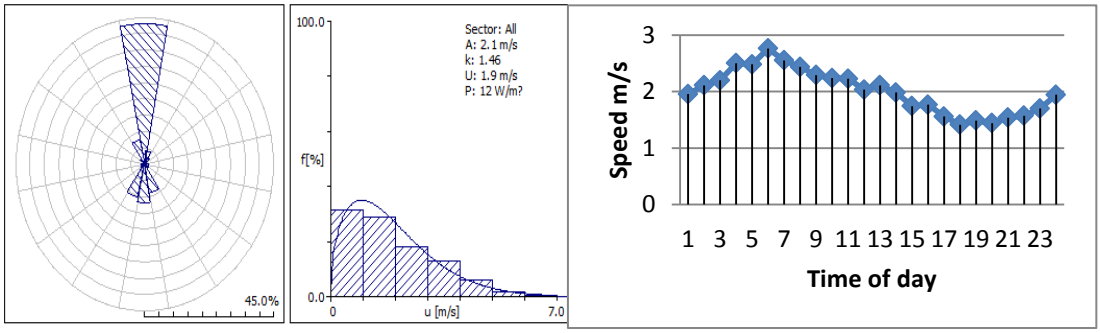


มีนาคม 2559

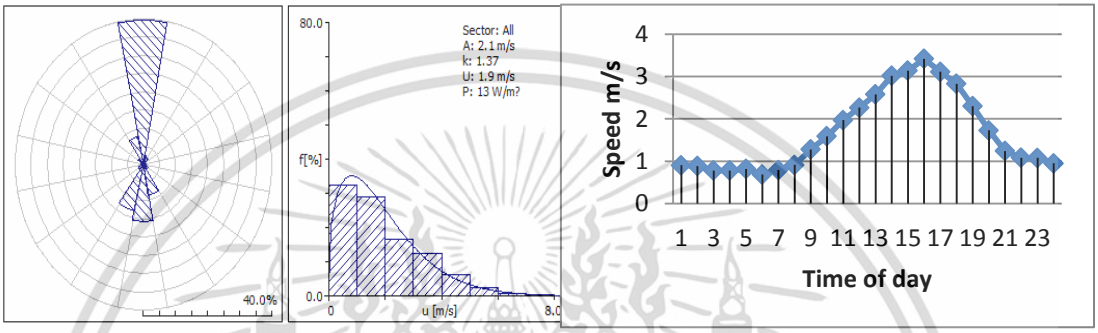


เมษายน 2559

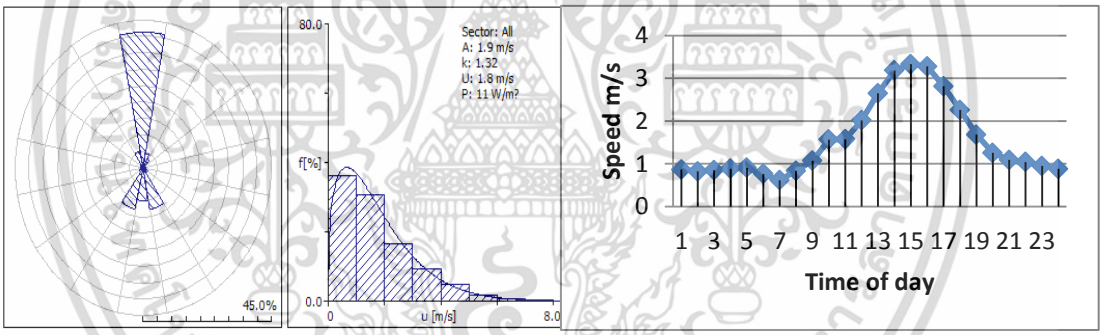
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



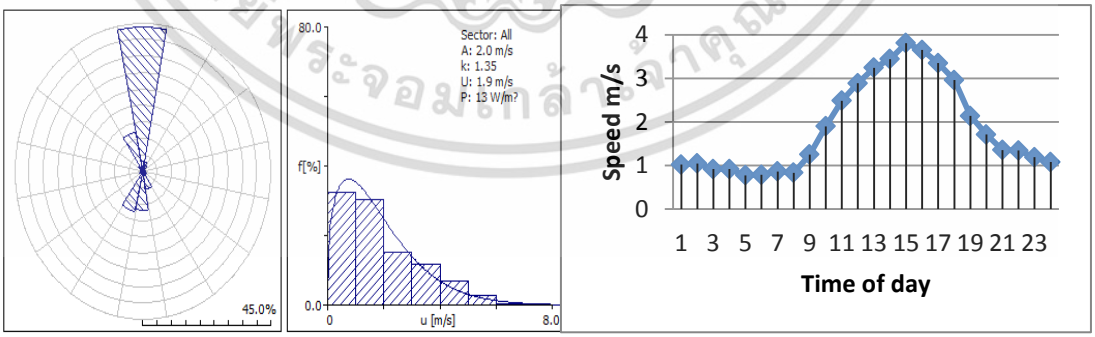
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



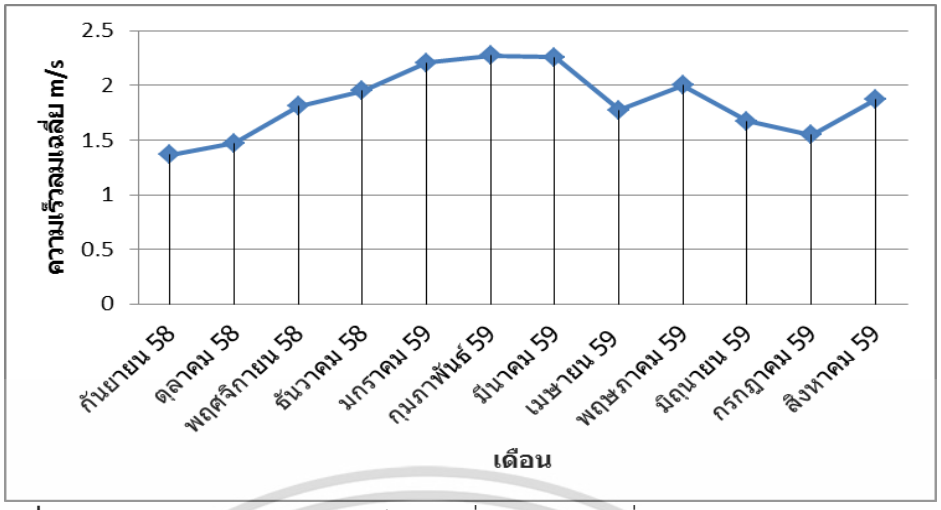
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.17 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดเพชรบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ 5.9 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดเพชรบุรี

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.36	1.11	1.6	1.37	6
ต.ค.-15	1.46	1.02	1.7	1.63	6
พ.ย.-15	1.81	1.01	2.1	2.15	8
ธ.ค.-15	1.94	1.21	2.3	1.89	10
ม.ค.-16	2.21	1.79	1.8	1.12	14
ก.พ.-16	2.27	1.61	2.6	1.67	18
มี.ค.-16	2.25	1.68	2.5	1.46	21
เม.ย.-16	1.77	1.46	1.9	1.28	12
พ.ค.-16	2.01	1.41	2.1	1.46	12
มิ.ย.-16	1.67	1.31	2.1	1.37	13
ก.ค.-16	1.54	1.21	1.9	1.32	11
ส.ค.-16	1.86	1.42	2	1.35	13

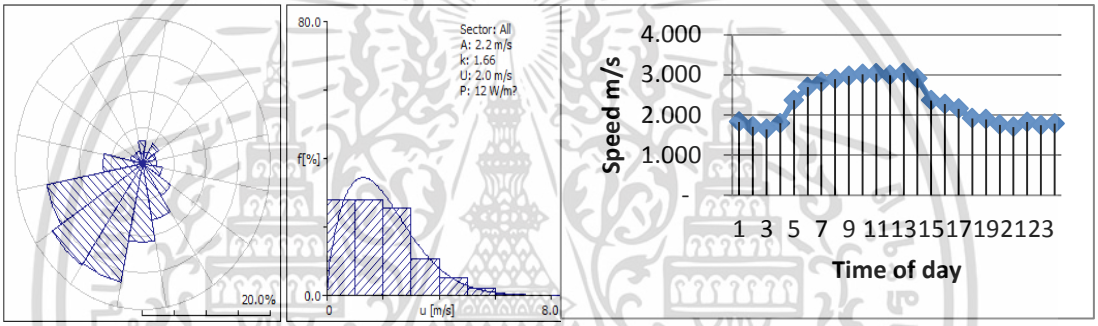
จากรูปที่ 5.17 ถึง รูปที่ 5.18 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่ โดยความเร็วลมในช่วงเดือนตุลาคม ถึงเดือนมีนาคม จะมีการเพิ่มของความเร็วลมเฉลี่ยมากสุดและจะลดความเร็วลมมาจนถึงกันยายน ในระหว่างนั้นความเร็วลมก็จะขึ้นๆลงๆแต่จะไม่สูงไปกว่าช่วงเดือนตุลาคม โดยช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 1.5-2.2 m/s ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ต่ำพอสมควรเมื่อเทียบกับการนำไปใช้สูบน้ำโดยกังหันลมชนิดที่วิจัยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

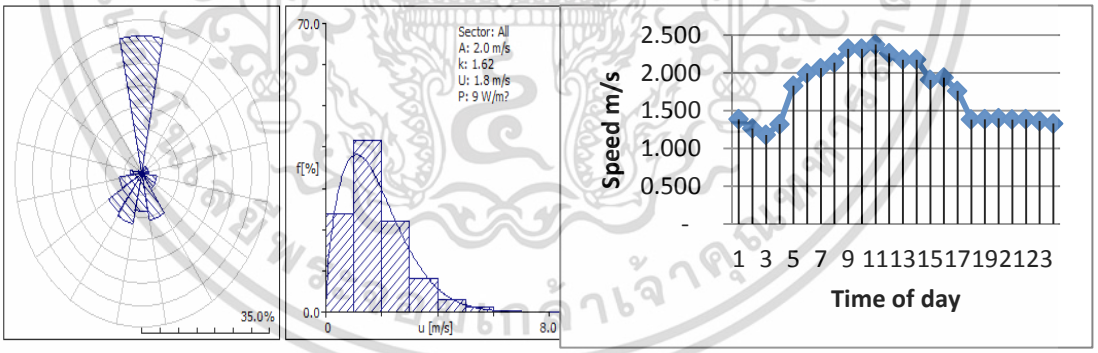
– 1.4 m/s ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่ คำนวณได้อยู่ระหว่าง 6-21 w/m^{2}ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.8

5.1.10 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี พื้นที่หมู่ 5 ตำบลกรับใหญ่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

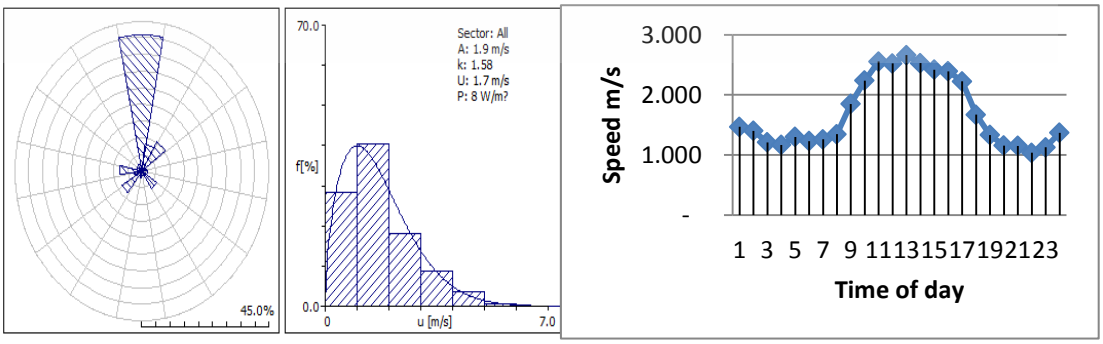
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่หมู่ 5 ตำบลกรับใหญ่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.21 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



กันยายน 2558

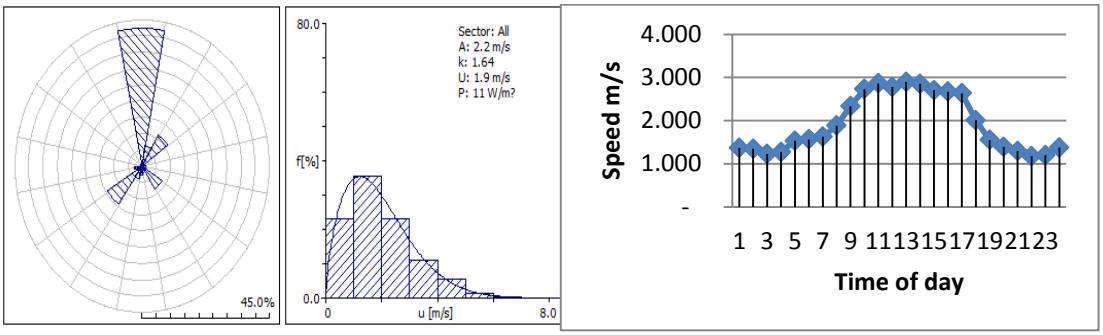


ตุลาคม 2558

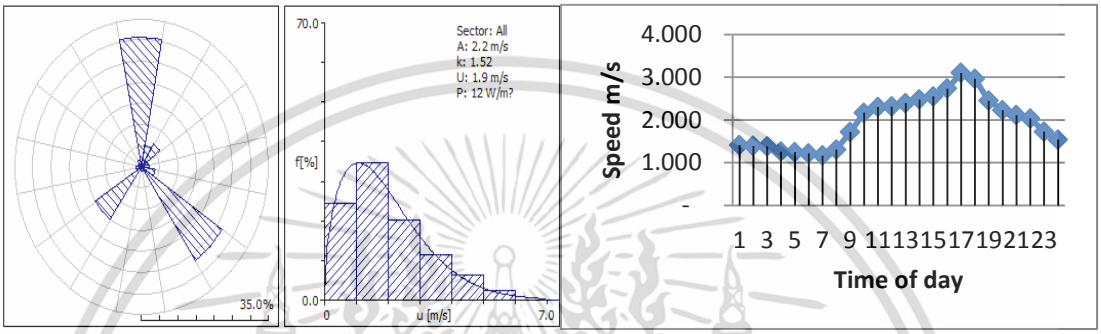


พฤศจิกายน 2558

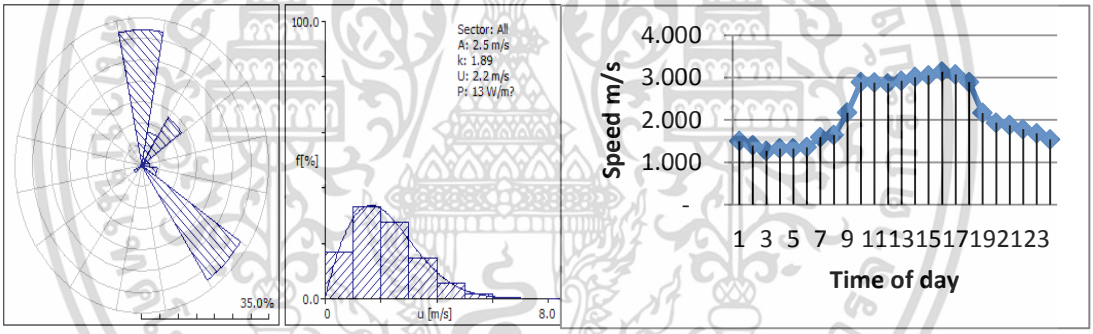
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



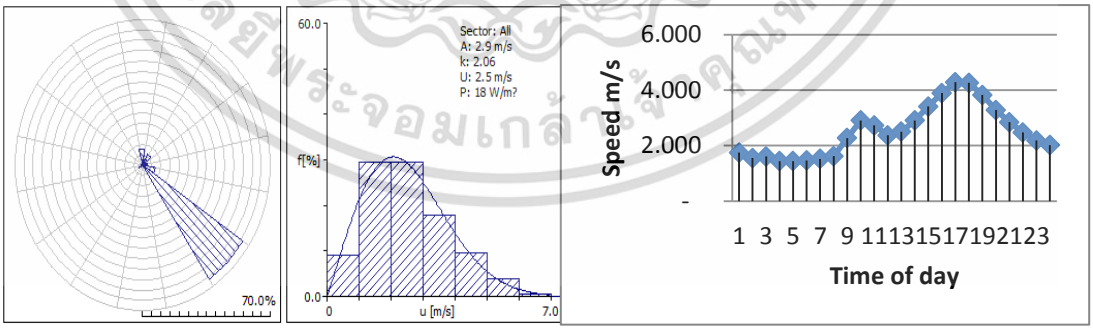
ธันวาคม 2558



มกราคม 2559

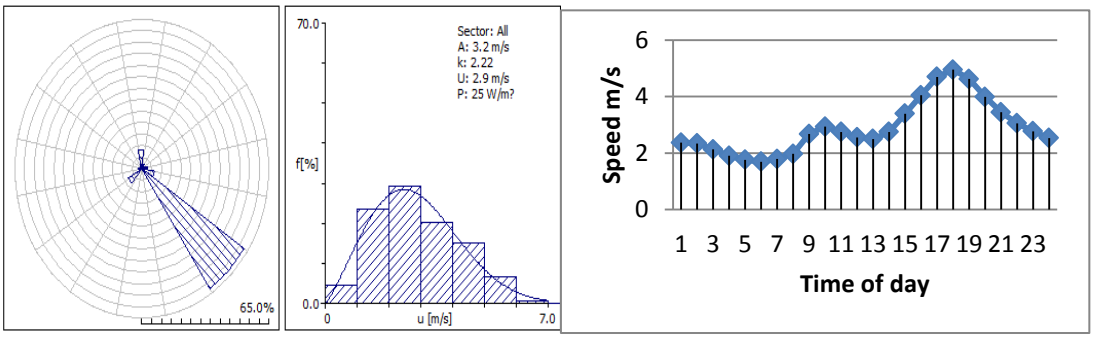


กุมภาพันธ์ 2559

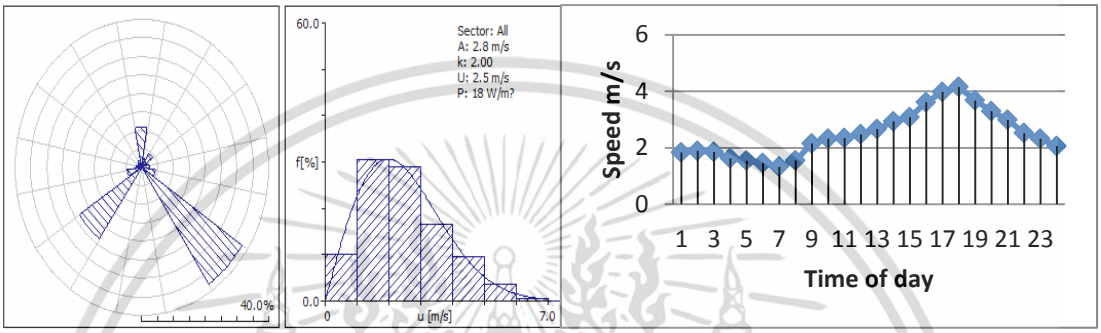


มีนาคม 2559

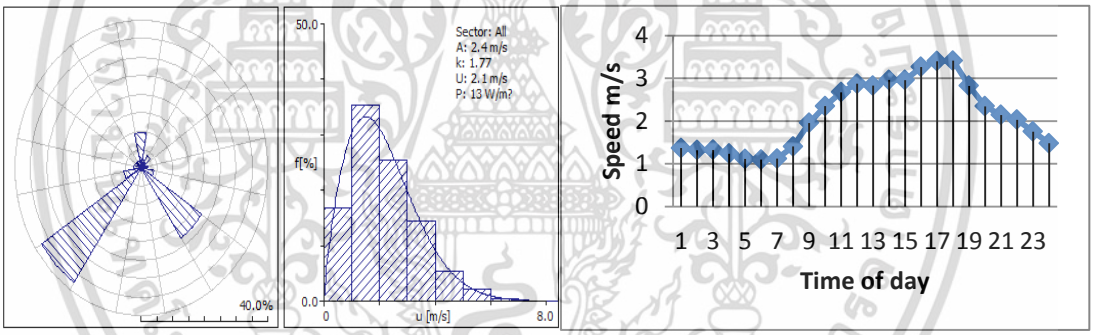
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



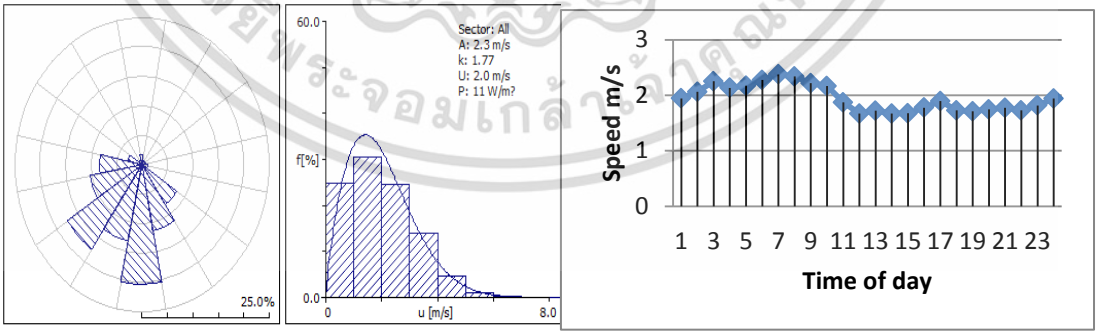
เมษายน 2559



พฤษภาคม 2559

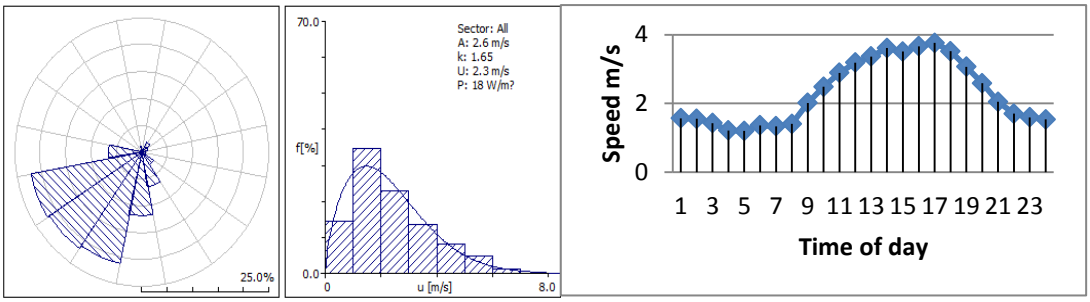


มิถุนายน 2559



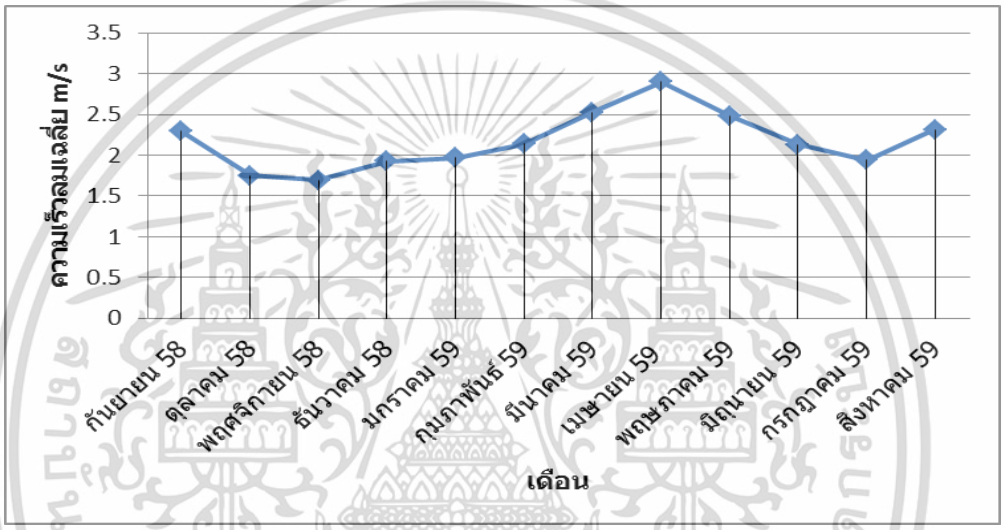
กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.19 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 5.20 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด ราชบุรี

ตารางที่ 5.10 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัด ราชบุรี

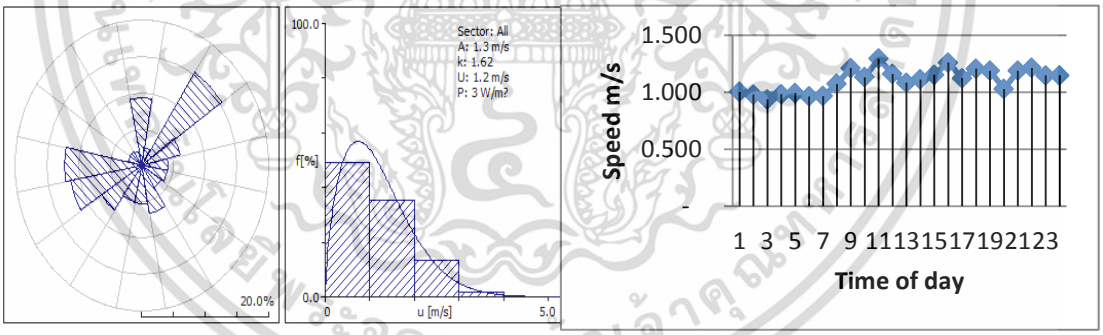
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย Vavg (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_V	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)
ก.ย.-15	2.29	1.21	2.2	1.66	12
ต.ค.-15	1.75	1.13	2.1	1.62	9
พ.ย.-15	1.69	1.08	1.9	1.58	8
ธ.ค.-15	1.92	1.19	2.2	1.64	11
ม.ค.-16	1.96	1.28	2.2	1.52	12
ก.พ.-16	2.13	1.22	2.5	1.89	13
มี.ค.-16	2.52	1.27	2.9	2.06	18
เม.ย.-16	2.89	1.32	3.2	2.22	25
พ.ค.-16	2.48	1.31	2.8	2.01	18
มิ.ย.-16	2.13	1.24	2.4	1.77	13
ก.ค.-16	1.94	1.24	2.3	1.77	11
ส.ค.-16	2.31	1.44	2.6	1.65	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

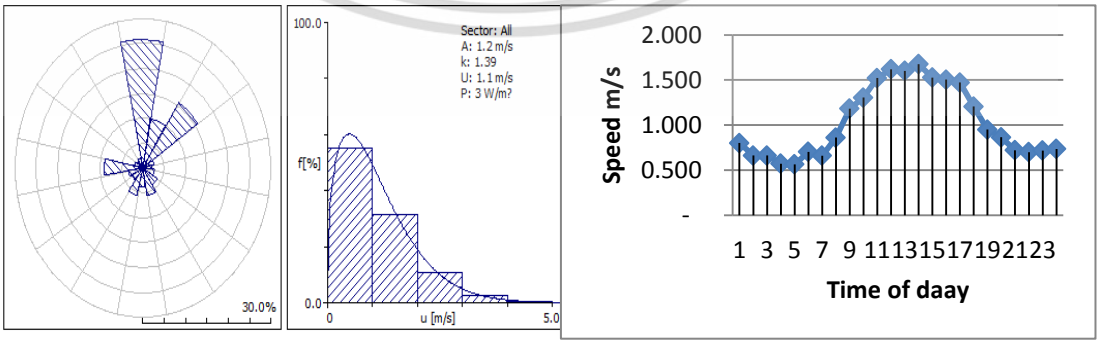
ในรูปที่ 5.19 ถึง รูปที่ 5.20 แสดงการกระจายความถี่ของความเร็วลมในระยะเวลาการเก็บข้อมูล 1 ปี สังเกตได้ว่า ลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือใต้เป็นส่วนใหญ่ ช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 1.9-2.3 m/s ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมอยู่ที่ระดับ 1.0-1.4 เมตรต่อวินาที ดังที่ได้แสดงค่าในตารางที่ 5.10 และเมื่อดูจากรูปที่ 5.20 จะพบว่าความเร็วลมสูงสุดเดือนเมษายน ที่ 3.2 m/s และจึงลดระดับความเร็วลง ส่วนช่วงเวลาที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 09.00น จนถึง 15.00 น และค่าพารามิเตอร์ c k จะแสดงในตารางที่ 5.10 ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้มีความสำคัญอย่างมากเพราะเมื่อนำค่าเหล่านี้ไปแทนในสมการความน่าจะเป็น ไวย์บูลล์จะทำให้ทราบถึงการกระจายตัวของข้อมูลตลอดช่วงที่ทำการศึกษาว่าความเร็วลมเป็นลักษณะอย่างไร ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 5.10

5.1.11 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 4 ตำบลมะนาวหวาน อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่หมู่ 5 ตำบลกรับใหญ่ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.21 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

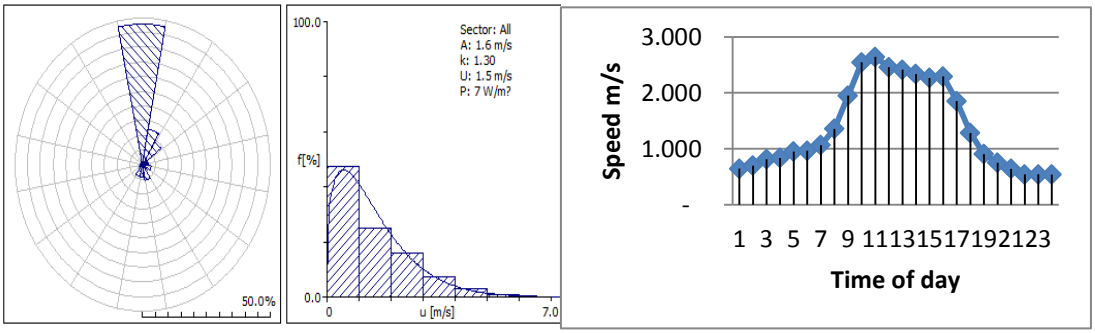


กันยายน 2558

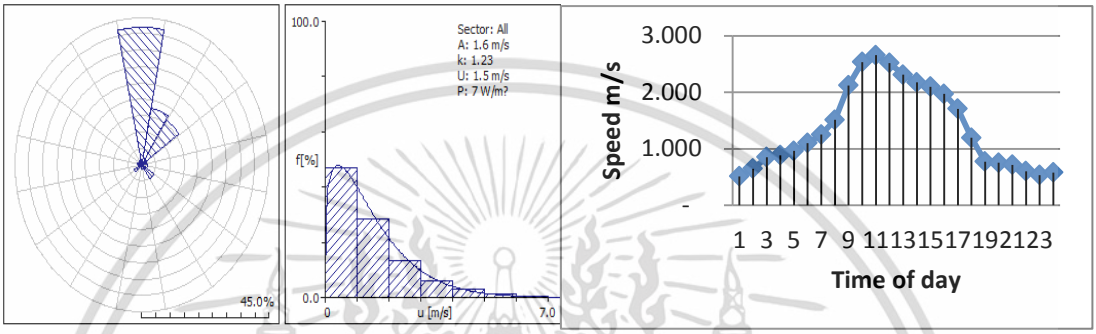


ตุลาคม 2558

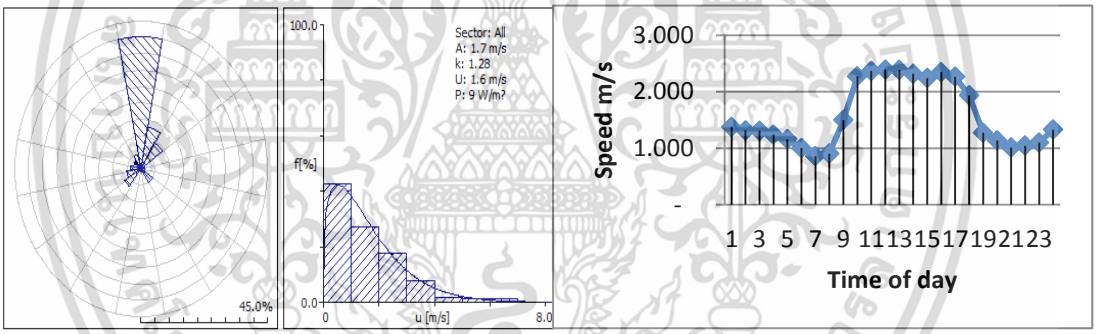
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



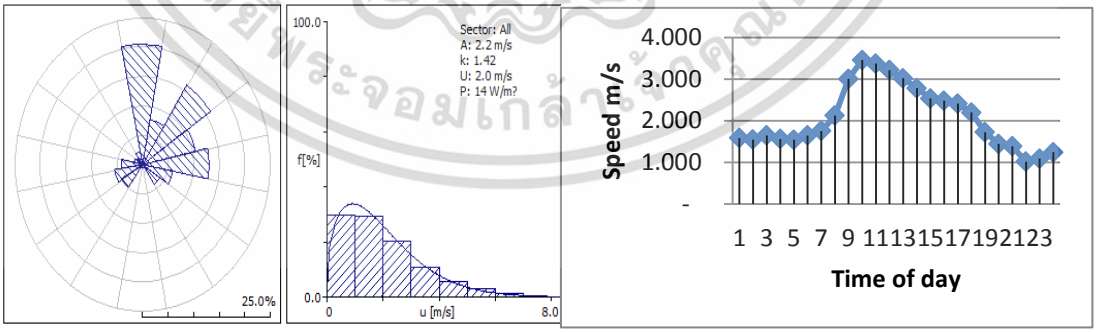
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

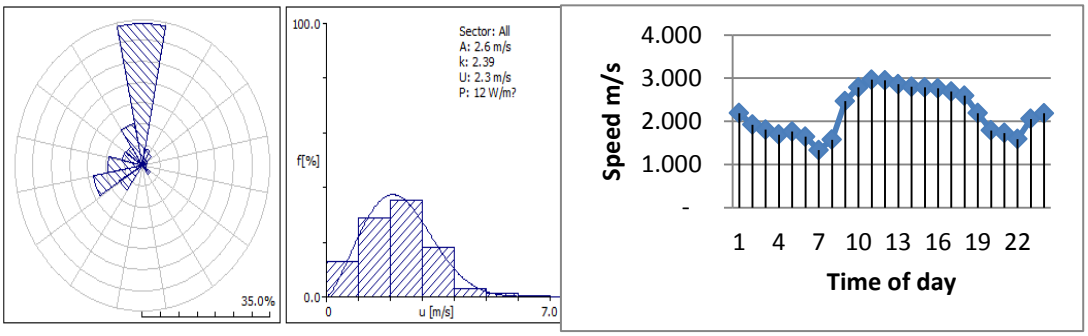


มกราคม 2559

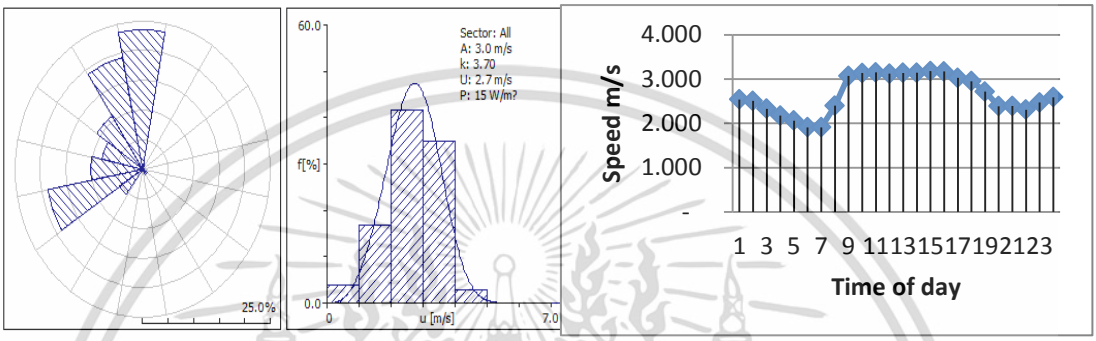


กุมภาพันธ์ 2559

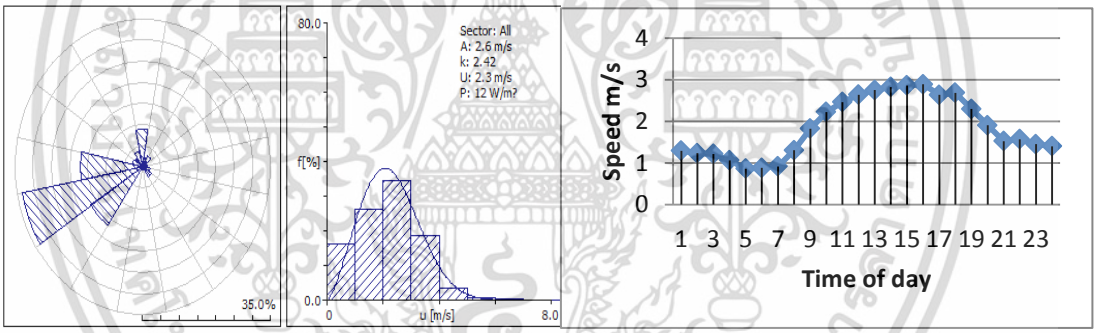
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



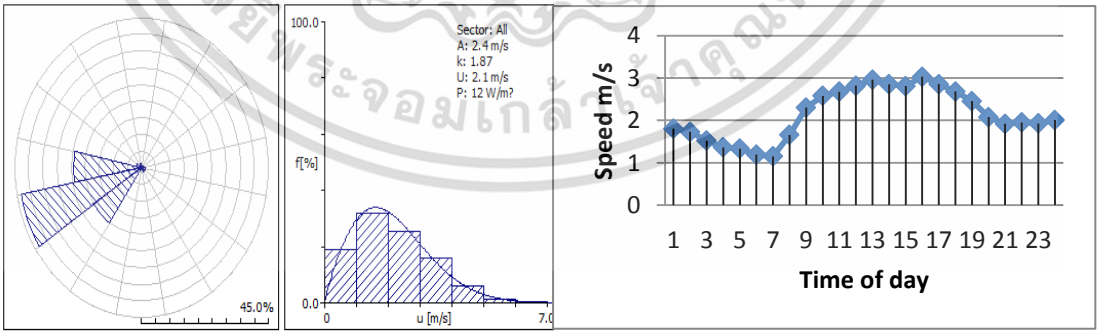
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

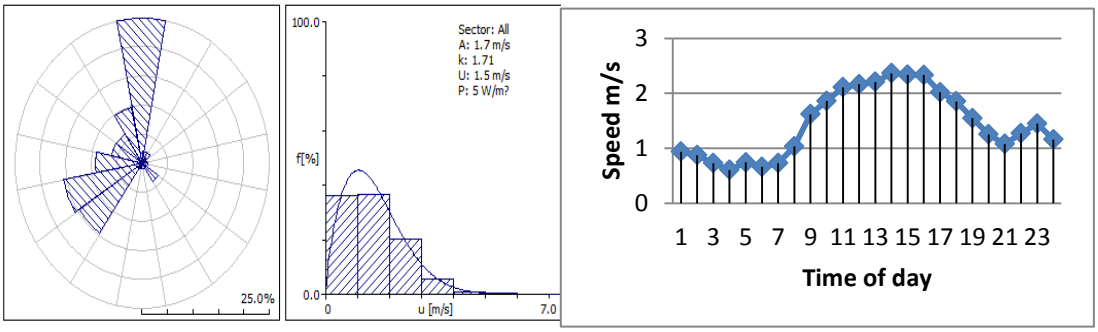


พฤษภาคม 2559

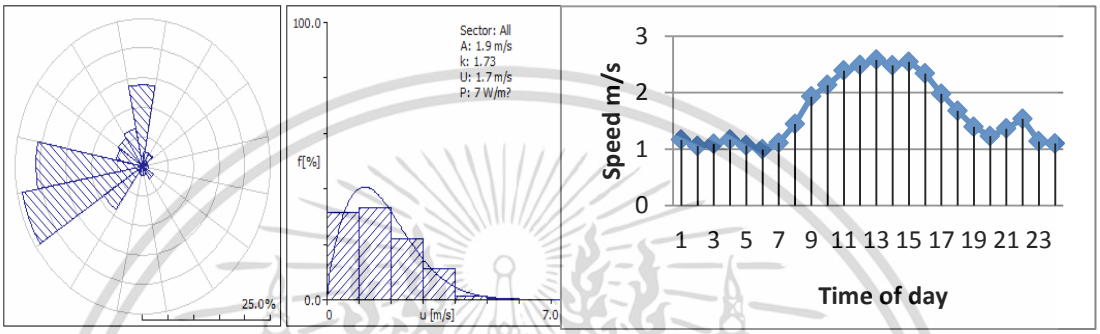


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

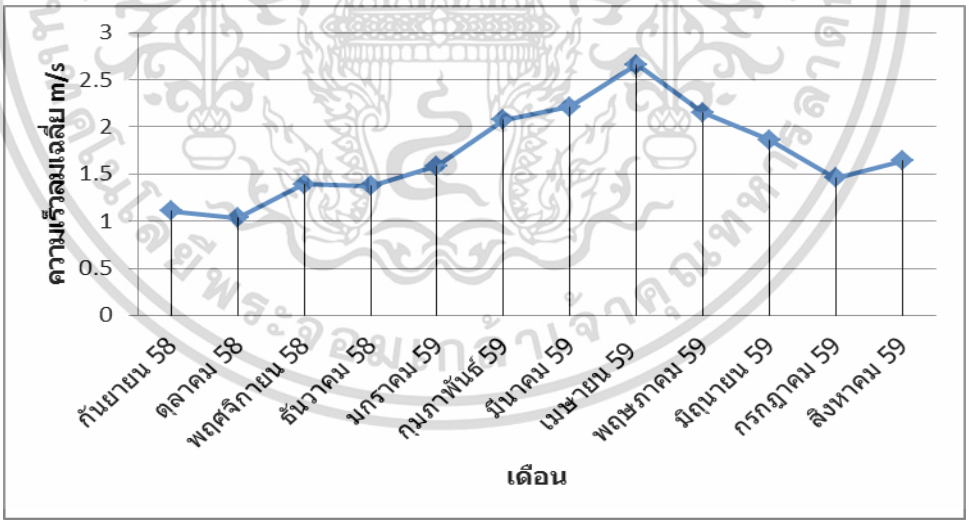


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.21 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดลพบุรี



รูปที่ 5.22 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด ลพบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดลพบุรี

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_v	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.11	0.82	1.3	1.62	3
ต.ค.-15	1.03	0.85	1.2	1.39	3
พ.ย.-15	1.38	1.21	1.6	1.31	7
ธ.ค.-15	1.37	1.24	1.6	1.23	7
ม.ค.-16	1.58	1.47	1.7	1.28	9
ก.พ.-16	2.07	1.67	2.2	1.42	14
มี.ค.-16	2.21	1.09	2.6	2.39	12
เม.ย.-16	2.65	0.83	3.1	3.71	15
พ.ค.-16	2.15	1.14	2.6	2.42	12
มิ.ย.-16	1.86	1.18	2.4	1.87	12
ก.ค.-16	1.45	1.01	1.7	1.71	5
ส.ค.-16	1.64	1.11	1.7	1.73	7

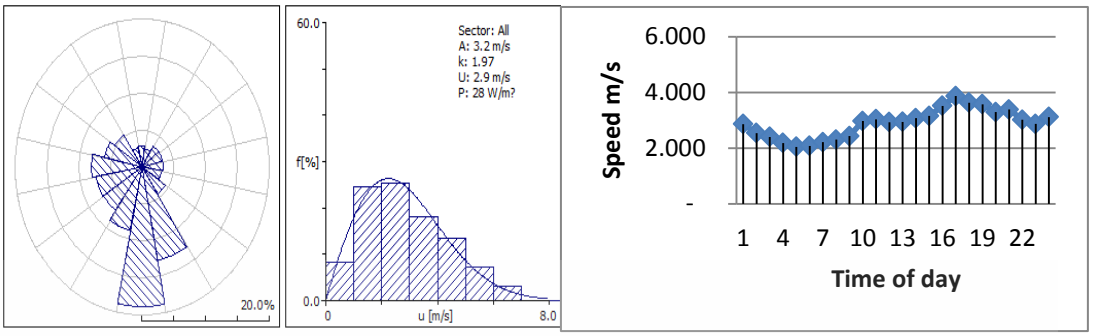
จากรูปที่ 5.21และ 5.22 พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ย ส่วนใหญ่มากจากทิศเหนือแต่ก็มีบางช่วงที่ลมพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนความเร็วลมตลอดทั้งปีค่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1.7 m/s ซึ่งถือว่าต่ำเนื่องมาจากความสูงเพียงแค่ 12 เมตร อีกทั้งบริเวณรอบๆอาจจะมีสิ่งกีดขวางทางลม แต่เมื่อดูในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เดือนมิถุนายน จะเป็นช่วงที่มีความเร็วลมสูง อยู่ที่ 2.2-3 m/s โดยเดือนเมษาจะสูงสุด และเมื่อดูจากพารามิเตอร์ k จะพบว่าเดือนเมษานั้นสูงสุดเมื่อเทียบกับ 11 เดือนทีเหลือซึ่งสามารถบอกได้ว่าในเดือนเมษานั้นจะพบความเร็วที่สูงมากกว่าความเร็วต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเดือนที่เหลือ ในกรณีเดียวกันก็จะพบว่าเดือนเมษายน กำลังลมเฉลี่ยก็สูงสุดเช่นกัน เป็นผลมากจากความเร็วที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะแสดงไว้ใน ตารางที่ 5.11

5.1.12 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 10 ตำบลเปร็ง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

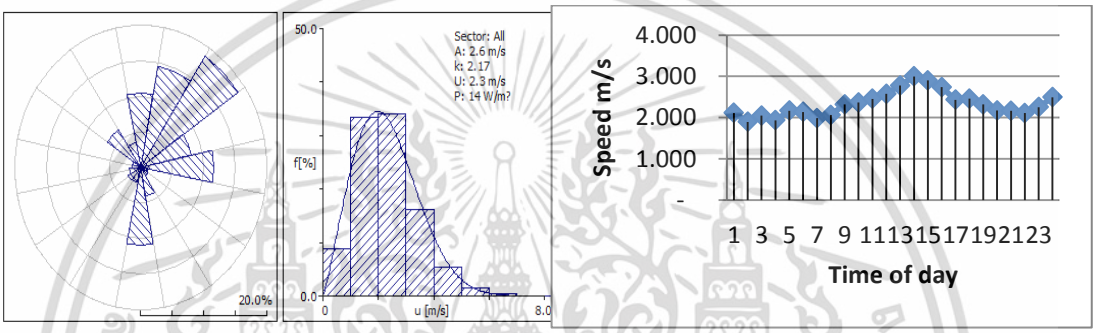
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่หมู่ 10 ตำบลเปร็ง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.23 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

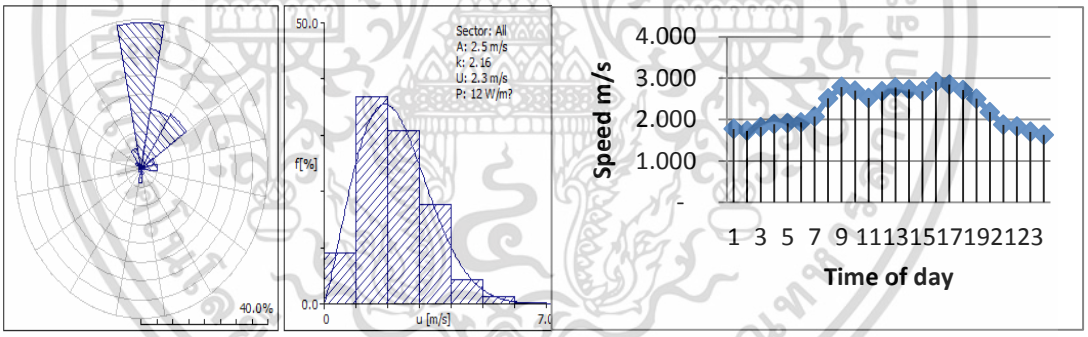
เชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



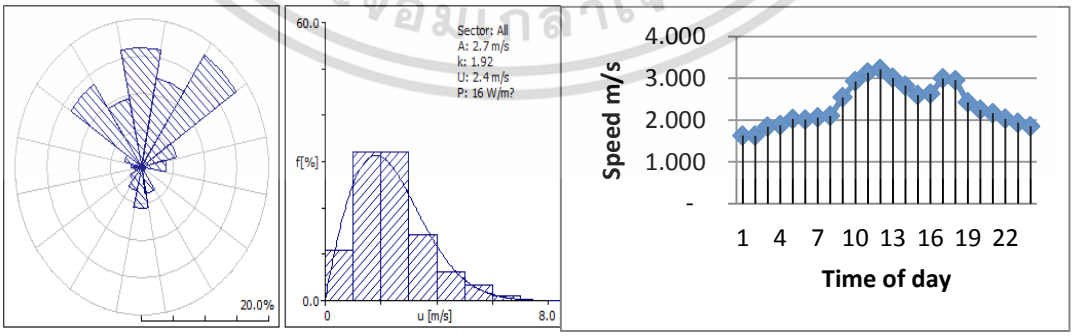
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

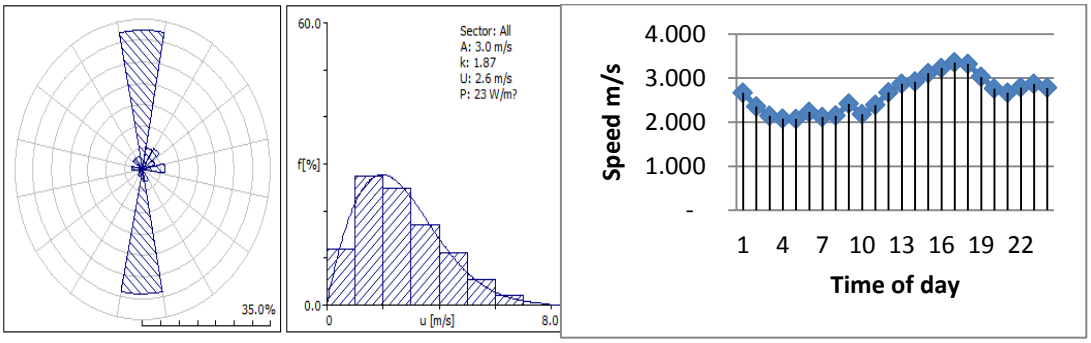


พฤศจิกายน 2558

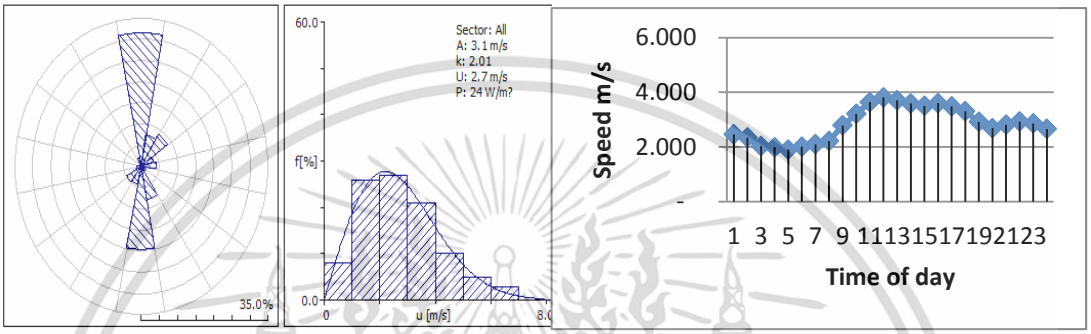


ธันวาคม 2558

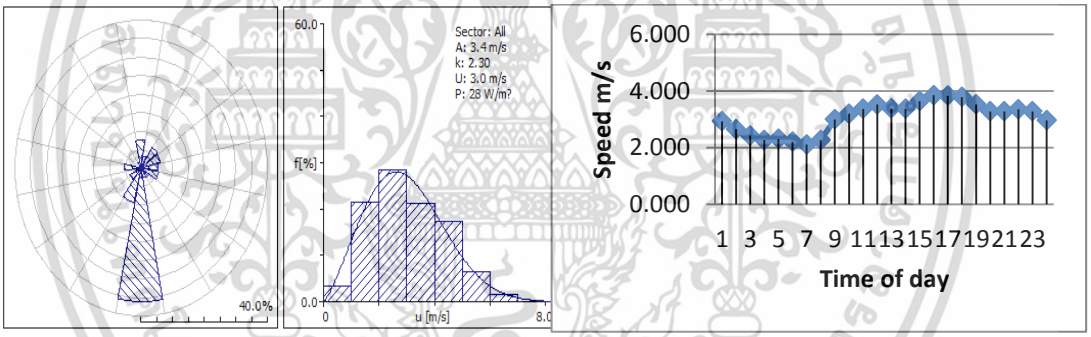
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



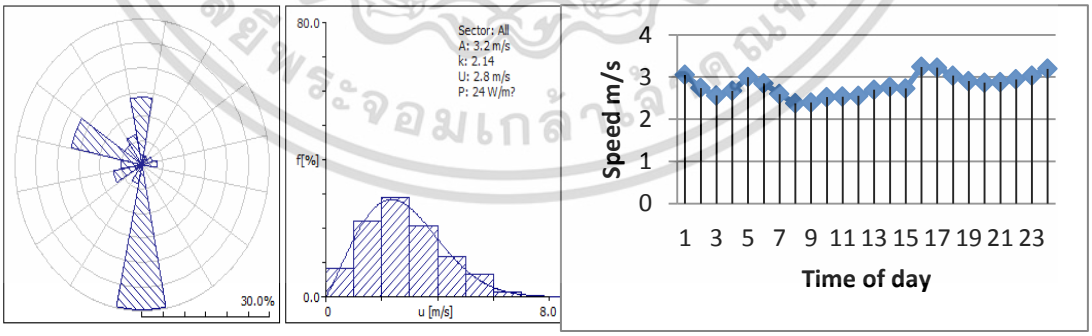
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

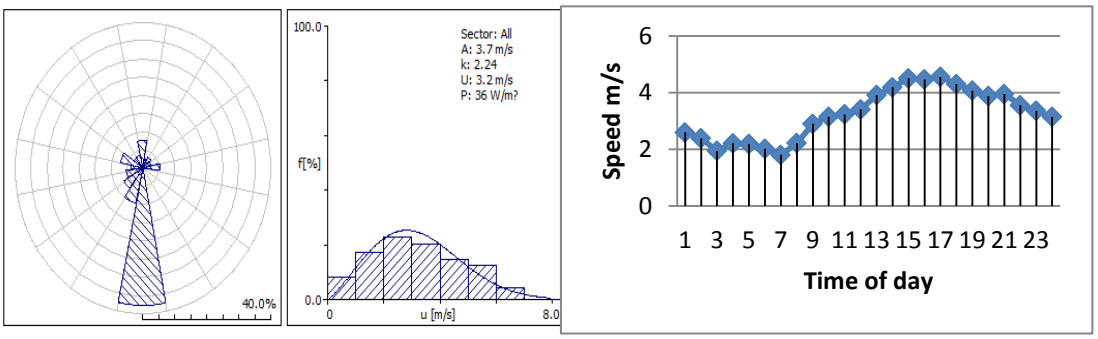


มีนาคม 2559

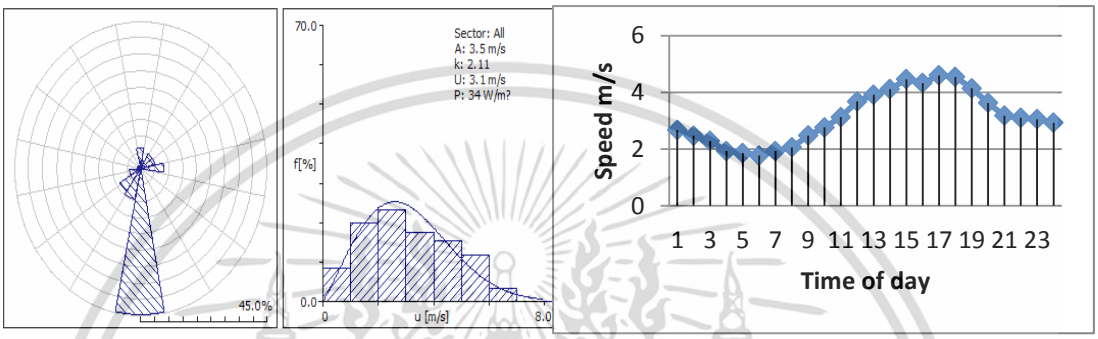


เมษายน 2559

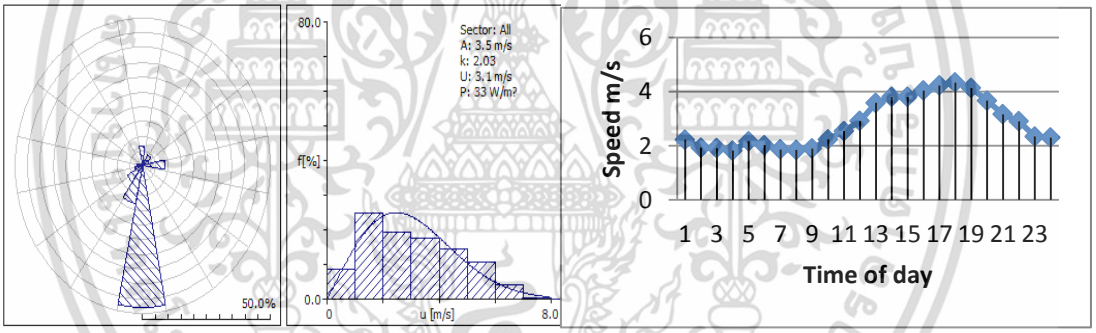
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



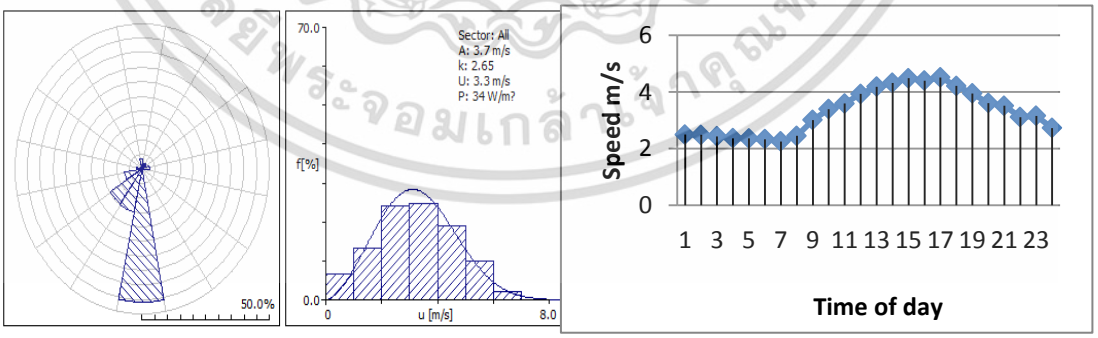
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



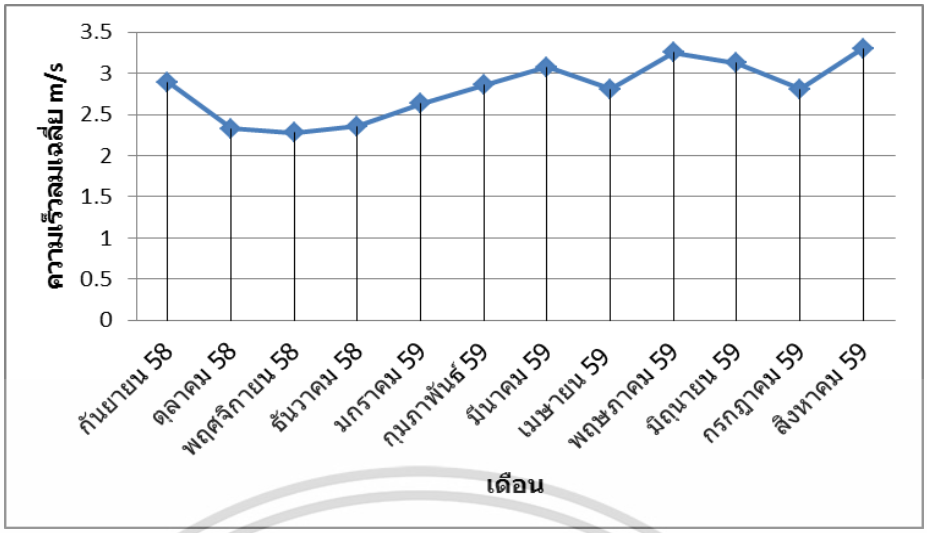
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.23 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด สมุทรปราการ

ตารางที่ 5.12 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัด สมุทรปราการ

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	2.89	1.54	3.2	1.97	28
ต.ค.-15	2.32	1.12	2.6	2.17	14
พ.ย.-15	2.27	1.09	2.5	2.16	12
ธ.ค.-15	2.35	1.26	2.7	1.92	16
ม.ค.-16	2.63	1.48	3.1	1.87	23
ก.พ.-16	2.85	1.56	3.1	2.01	24
มี.ค.-16	3.07	1.37	3.4	2.31	28
เม.ย.-16	2.81	1.41	3.2	2.4	24
พ.ค.-16	3.25	1.57	3.7	2.24	36
มิ.ย.-16	3.12	1.63	3.5	2.11	34
ก.ค.-16	2.81	1.62	3.5	2.69	33
ส.ค.-16	3.31	1.51	3.5	2.65	34

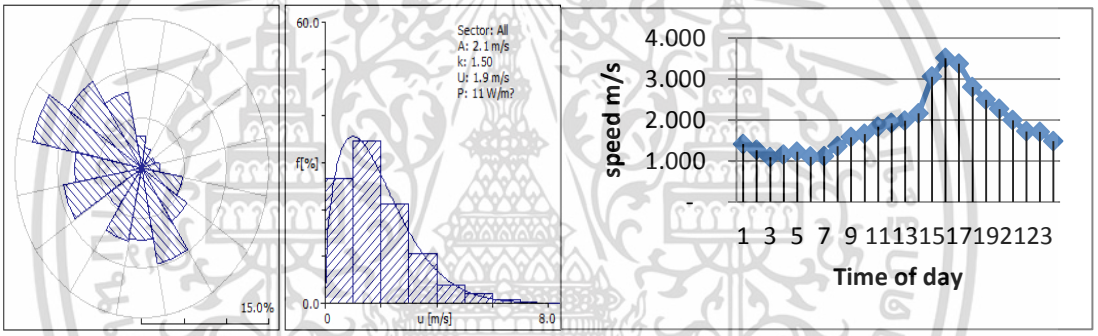
จากรูปที่ 5.23 ถึง รูปที่ 5.24 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ โดยความเร็วลมในช่วงเดือนธันวาคมเป็นต้นไปจะเป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงเดือนกันยายน และจะสูงที่สุดในเดือนสิงหาคม โดยสถานีจังหวัดสมุทรปราการนี้จะสังเกตว่าความเร็วลมเฉลี่ยนั้นค่อนข้างสูงโดยมีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 2.8 m/s เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ไม่ห่างจากตัวทะเลมากหนักจึงทำให้ได้รับผลจากลมทะเลด้วยและในช่วงเวลา 9.00น ถึง 18.00น ความเร็วลมจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

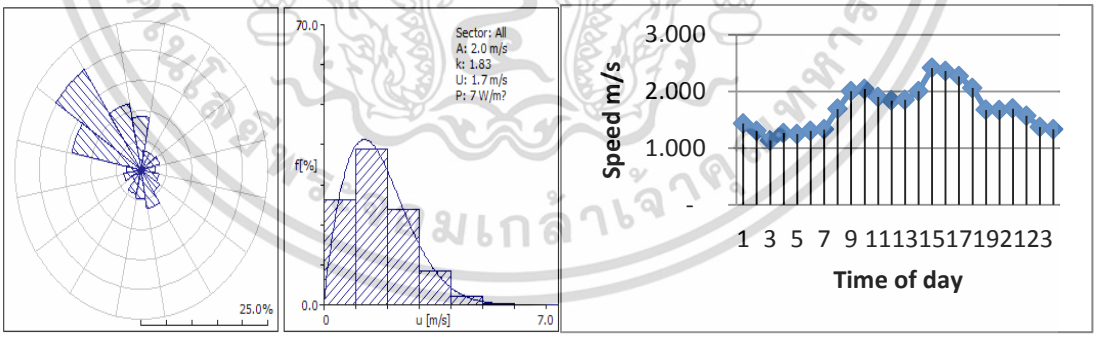
เพิ่มขึ้นและลดลงจนถึงเวลา 23.00 น เป็นผลมาจากลมทะเลที่พัดมาตอนกลางวัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.0 – 1.6 m/s ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่ คำนวณได้อยู่ระหว่าง 28-34 W/m2 จากกำลังลมที่แสดงนั้นจะพบว่าค่อนข้างสูง อีกทั้งยังเหมาะแก่กังหันลมสูบน้ำชนิดความเร็วลมต่ำได้ดี ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.12

5.1.13 ลักษณะข้อมูลความเร็วจาก สถานี หมู่ 3 ตำบลแพรกหนามแดง อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม

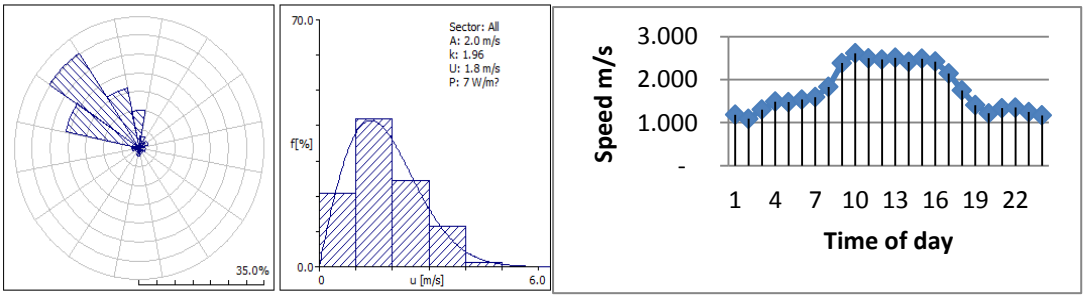
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่หมู่ 3 ตำบลแพรกหนามแดง อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.25 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



กันยายน 2558

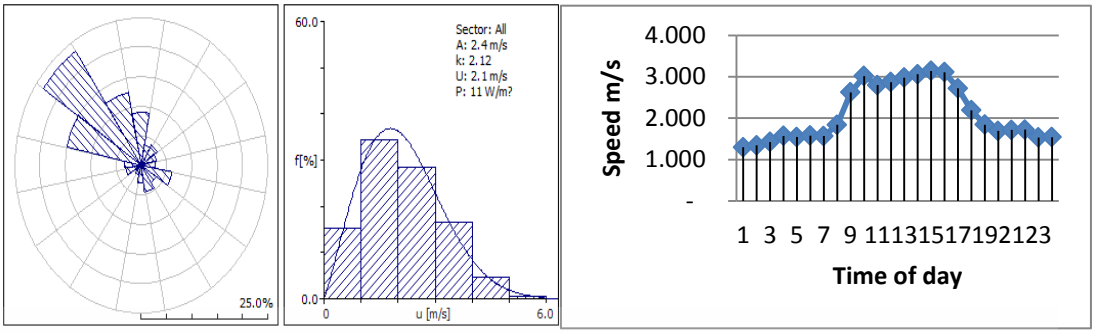


ตุลาคม 2558

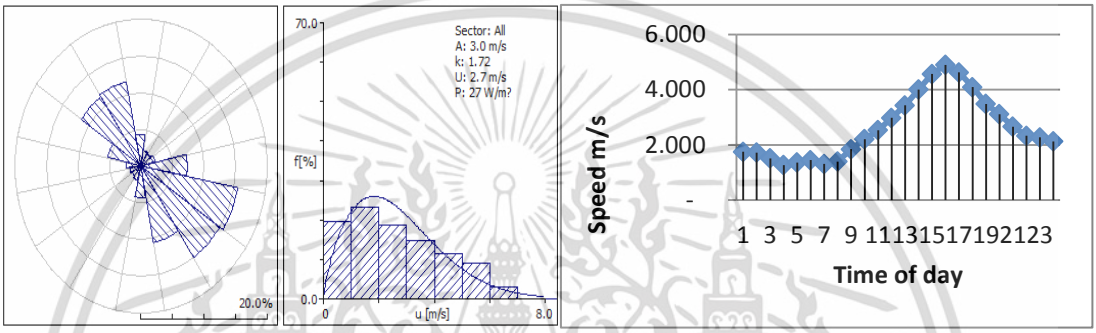


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

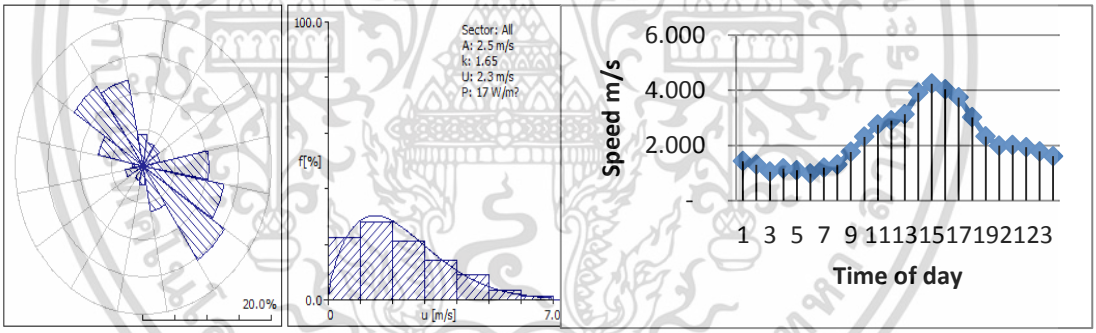
พฤศจิกายน 2558



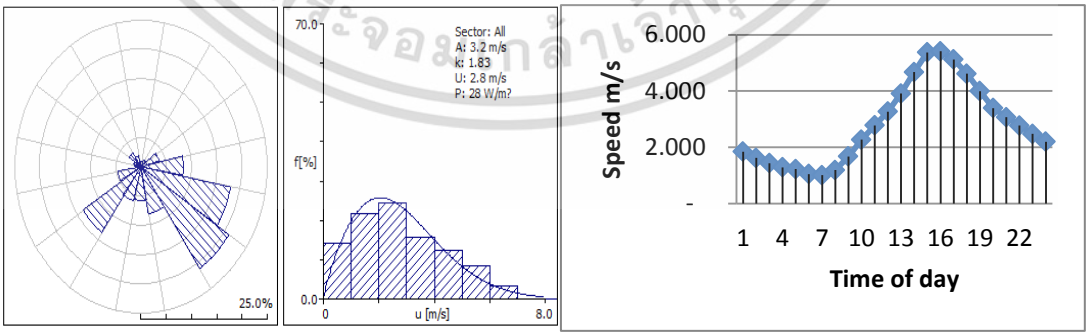
ธันวาคม 2558



มกราคม 2559

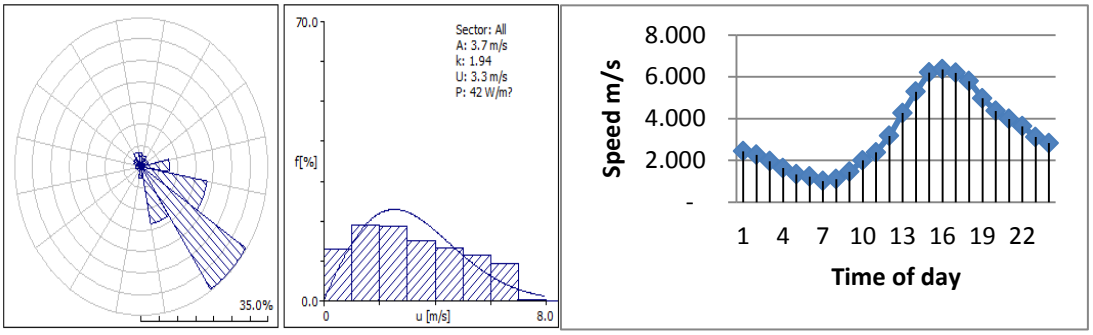


กุมภาพันธ์ 2559

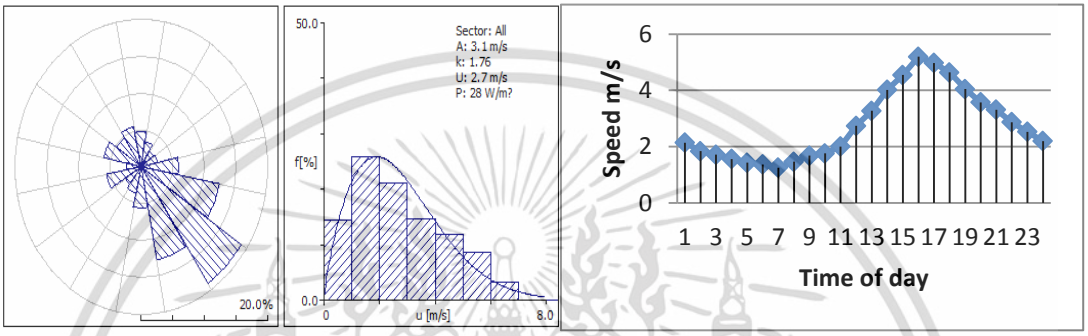


มีนาคม 2559

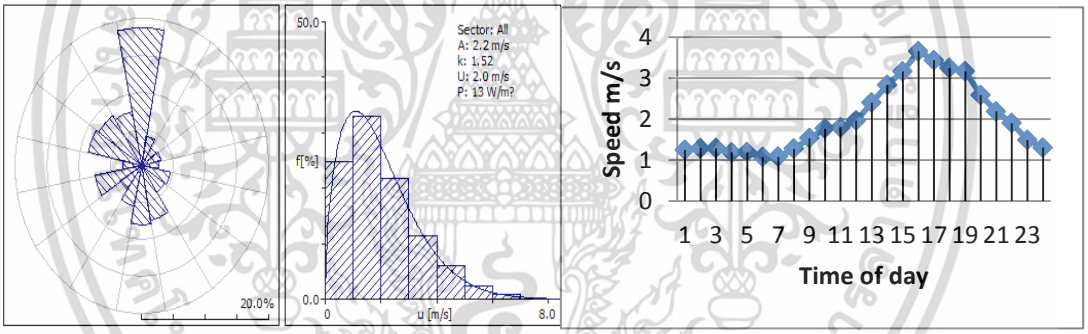
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



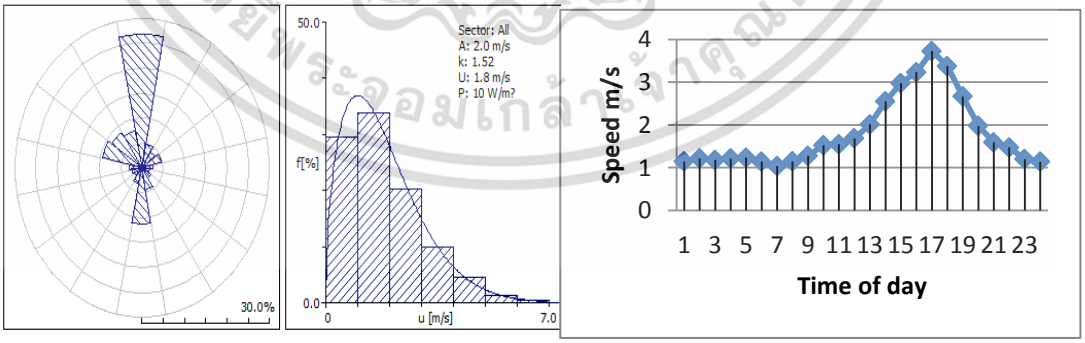
เมษายน 2559



พฤษภาคม 2559

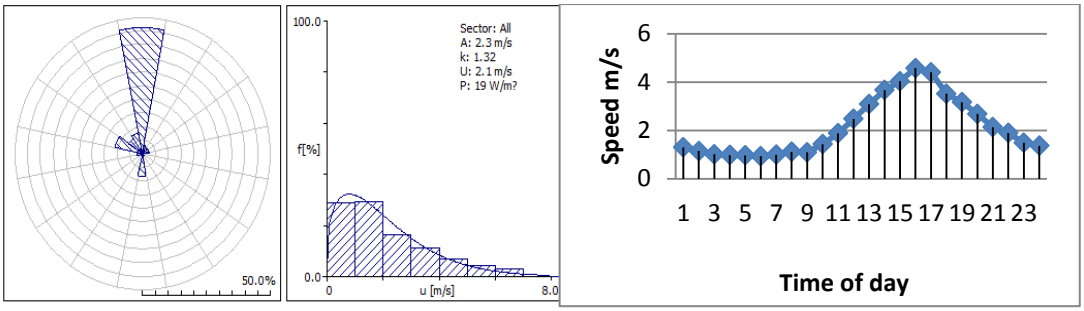


มิถุนายน 2559



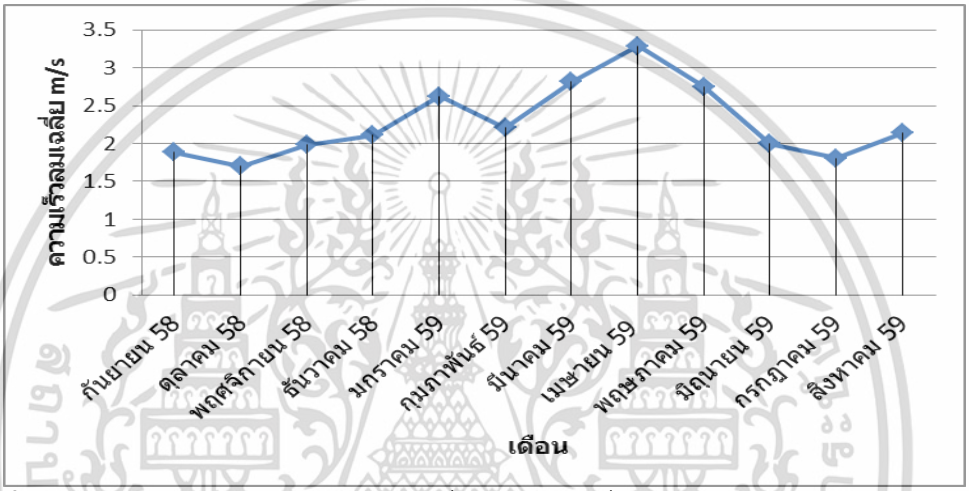
กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.25 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรสงคราม



รูปที่ 5.26 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด สมุทรสงคราม

ตารางที่ 5.13 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัด สมุทรสงคราม

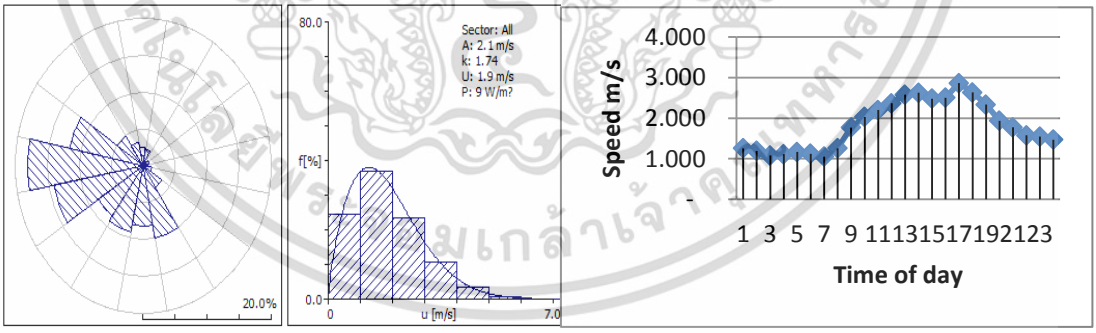
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย Vavg (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_v	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)
ก.ย.-15	1.88	1.32	2.1	1.51	11
ต.ค.-15	1.69	1.02	2.1	1.83	7
พ.ย.-15	1.98	1.44	2.1	1.96	7
ธ.ค.-15	2.11	1.08	2.4	2.12	11
ม.ค.-16	2.62	1.74	3.1	1.72	27
ก.พ.-16	2.21	1.49	2.5	1.65	17
มี.ค.-16	2.81	1.66	3.2	1.83	28
เม.ย.-16	3.28	1.98	3.7	1.94	42
พ.ค.-16	2.75	1.72	3.1	1.76	28
มิ.ย.-16	2.01	1.41	2.2	1.52	13
ก.ค.-16	1.81	1.33	2.1	1.52	10
ส.ค.-16	2.13	1.75	2.3	1.32	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

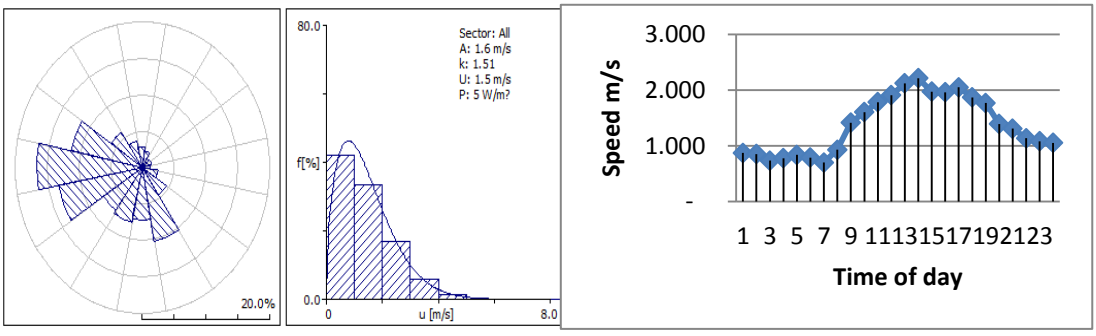
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานีวัดลมสถานี จังหวัดสมุทรสงครามที่ระดับความสูง 12 เมตร พบว่าความเร็วลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและเปลี่ยนทิศมาทิศเหนือในช่วงเดือนพฤษภาคม และความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี จะอยู่ที่ 2.21 m/s และสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 1.9 m/s ส่วนเมื่อดูช่วงเวลาก็จะพบว่าความเร็วลมส่วนใหญ่จะสูงเมื่อเทียบตลอดทั้งปีจะอยู่ตอนกลางวันและจะไปสูงมาสุดในช่วง 15.00-17.00น เป็นผลเนื่องมาจากลมทะเล อีกทั้งจังหวัดสมุทรสงครามนั้นติดกับทะเลทำให้ลมช่วงนี้ค่อนข้างสูง และค่าพารามิเตอร์ c k จะแสดงถึงความน่าจะเป็นทางสถิติของความเร็วลมเฉลี่ย เมื่อนำค่า c k ไปแทนในสมการความน่าจะเป็นเพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความเร็วลมว่ามีการกระจายตัวเป็นอย่างไร ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 5.13

5.1.14 ลักษณะข้อมูลความเร็วจาก สถานี หมู่ 3 ตำบลคลองตัน อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่หมู่ 3 ตำบลคลองตัน อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.27 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

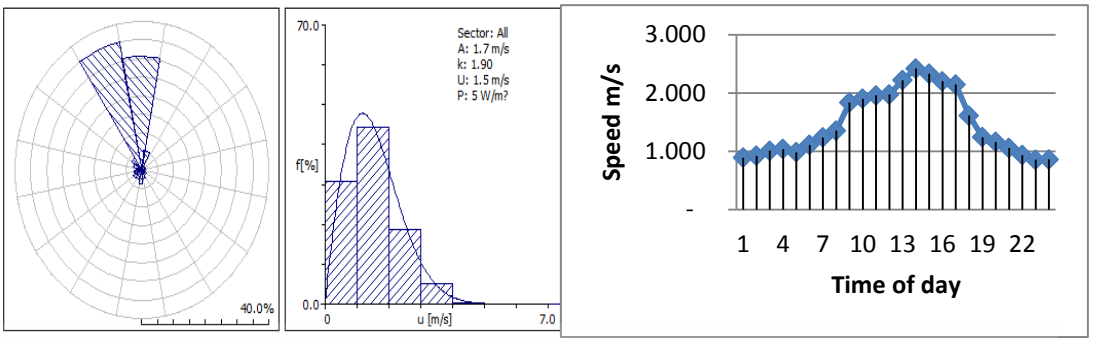


กันยายน 2558

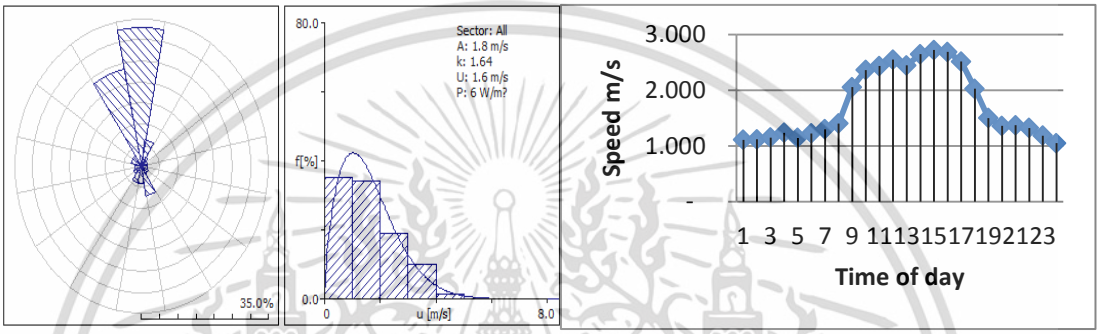


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

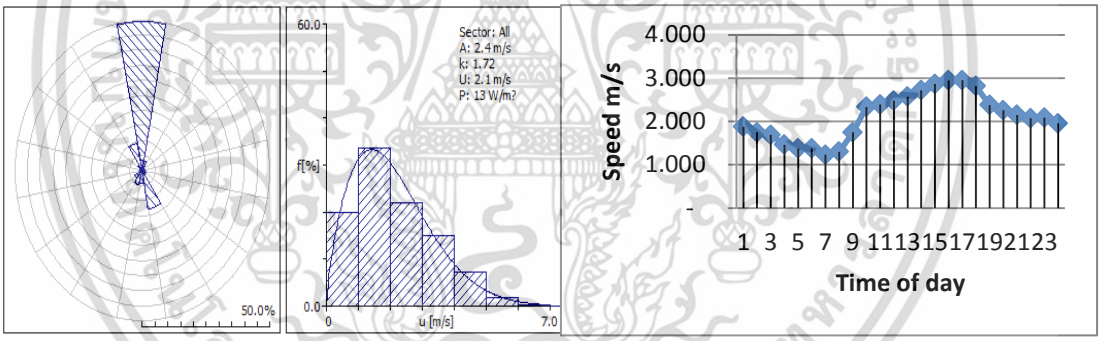
ตุลาคม 2558



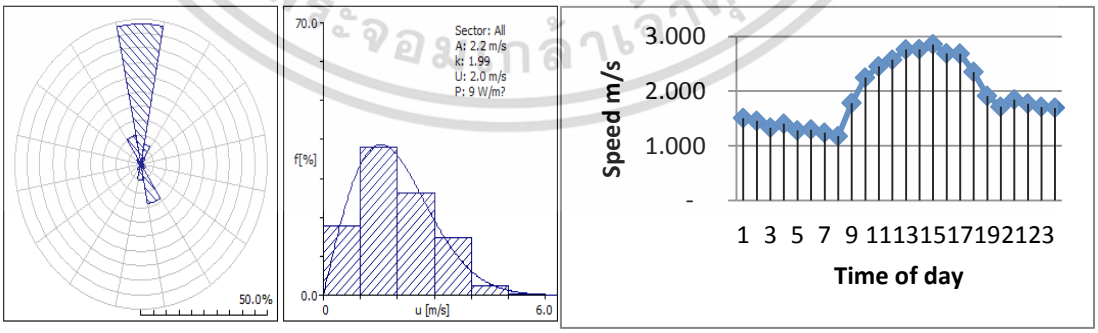
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

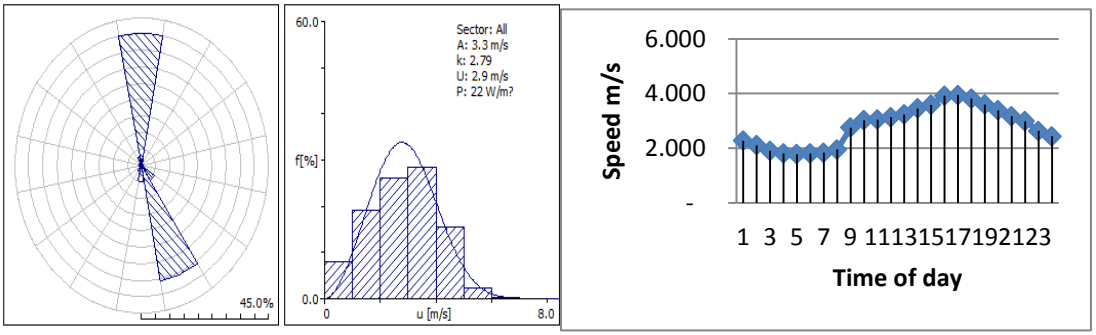


มกราคม 2559

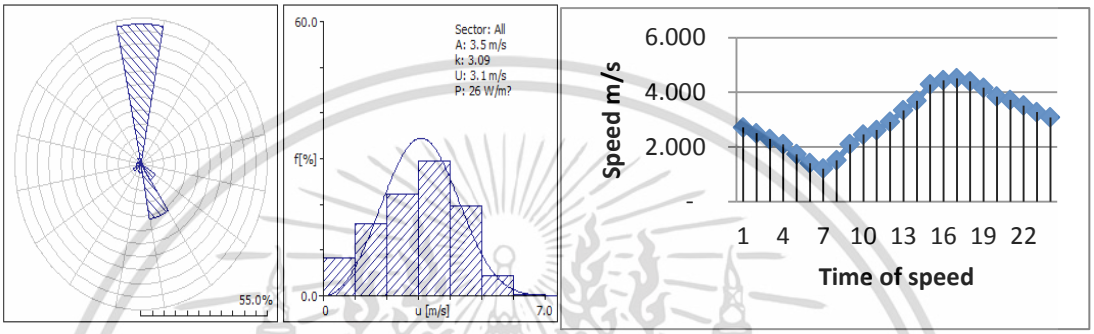


กุมภาพันธ์ 2559

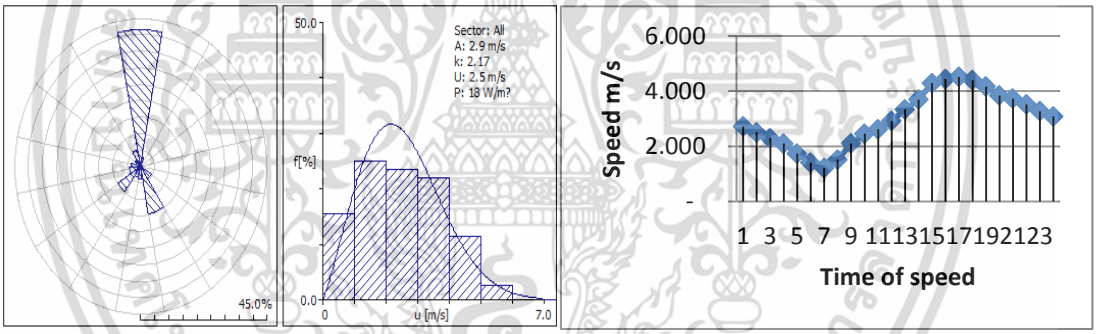
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



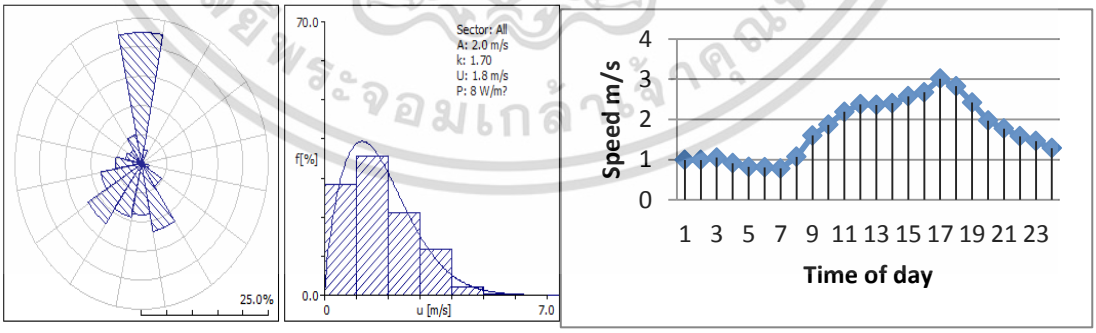
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

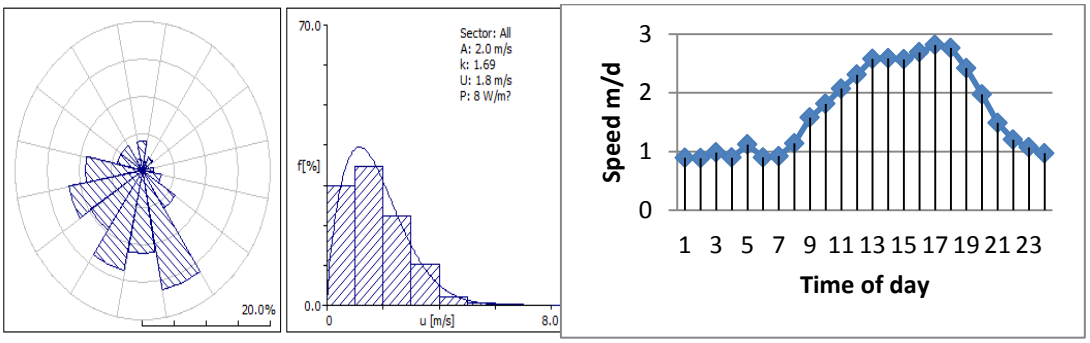


พฤษภาคม 2559

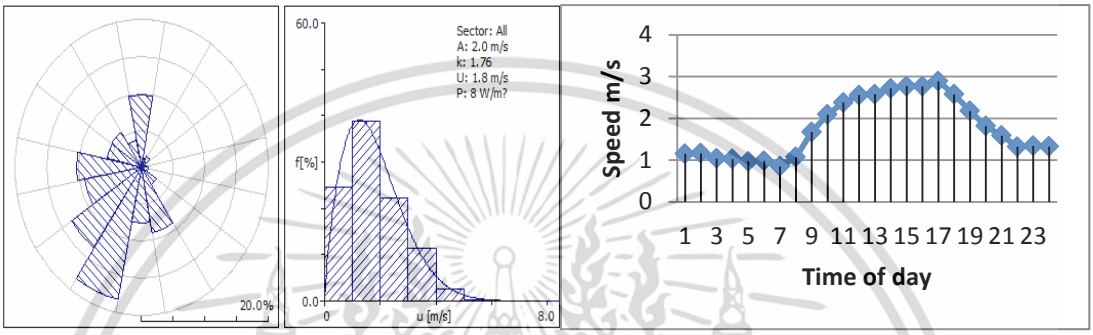


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

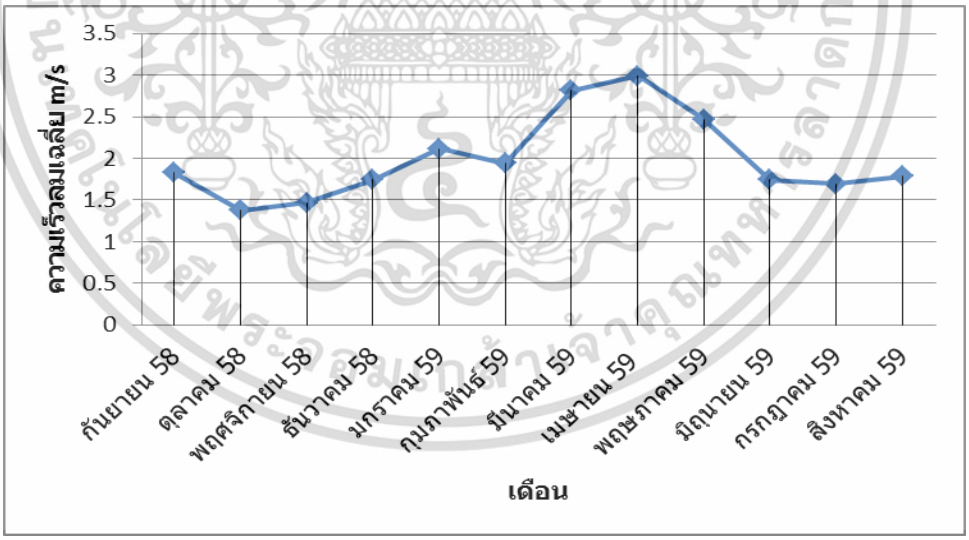


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.27 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสมุทรสาคร



รูปที่ 5.28 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด สมุทรสาคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดสมุทรสาคร

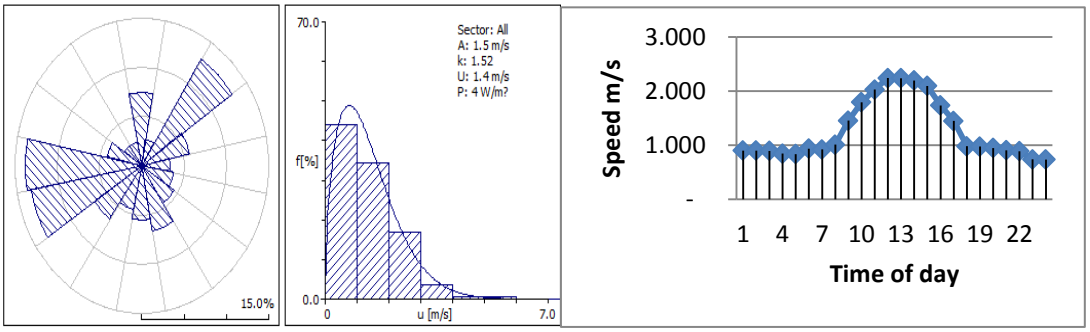
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_v	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.82	1.11	2.1	1.74	9
ต.ค.-15	1.37	1.04	1.6	1.51	5
พ.ย.-15	1.46	0.86	1.7	1.91	5
ธ.ค.-15	1.74	1.02	1.8	1.64	6
ม.ค.-16	2.11	1.23	2.4	1.72	13
ก.พ.-16	1.93	1.03	2.2	1.99	9
มี.ค.-16	2.81	1.24	3.3	2.79	22
เม.ย.-16	2.99	1.29	3.5	3.09	26
พ.ค.-16	2.47	1.33	2.9	2.17	18
มิ.ย.-16	1.74	1.11	2.1	1.71	8
ก.ค.-16	1.69	1.11	2.1	1.69	8
ส.ค.-16	1.78	1.06	2.3	1.76	8

จากรูปที่ 5.27 ถึง รูปที่ 5.28 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่ โดยความเร็วลมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นไปจะเป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงเดือนพฤษภาคม และจะสูงที่สุดในเดือนเมษายน โดยสถานีจังหวัดสมุทรสาครนี้จะสังเกตว่าความเร็วลมเฉลี่ยนั้นค่อนข้างสูงโดยมีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 1.99 m/s จะไม่ต่างกับสถานีของจังหวัดสมุทรสาครมากเนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ลักษณะภูมิภาคและภูมิอากาศค่อนข้างจะเหมือนกัน ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.14

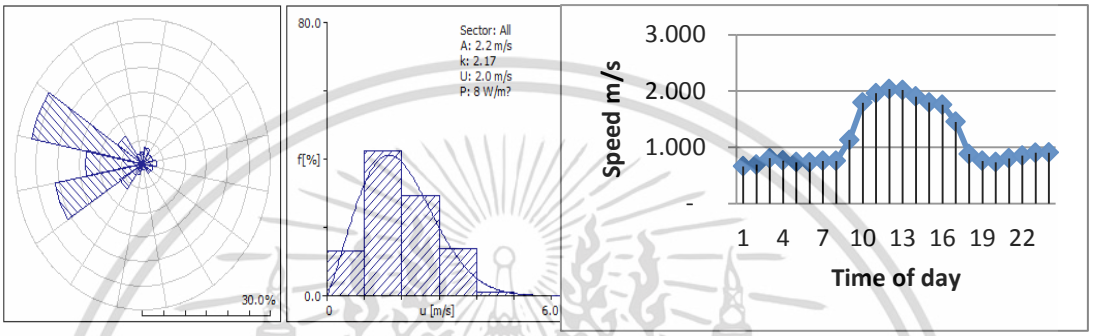
5.1.15 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 13 ตำบลท่าแยก อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่ หมู่ 13 ตำบลท่าแยก อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.29 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

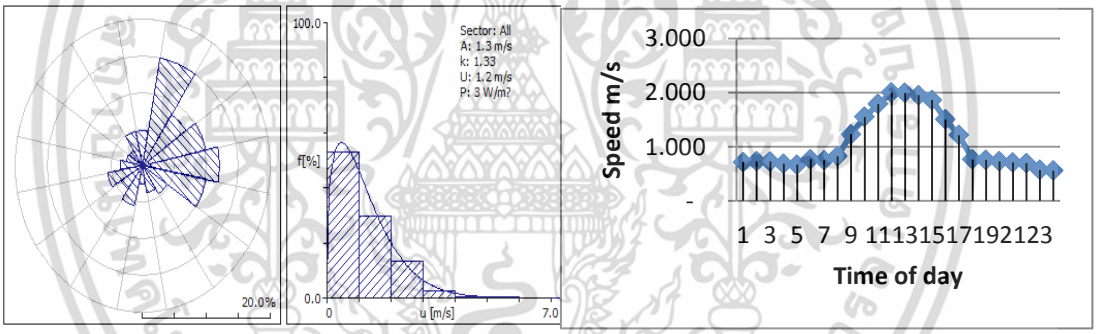
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



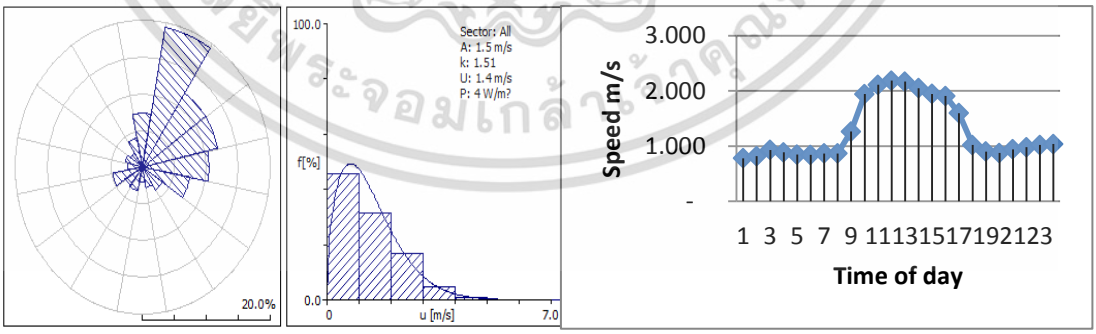
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

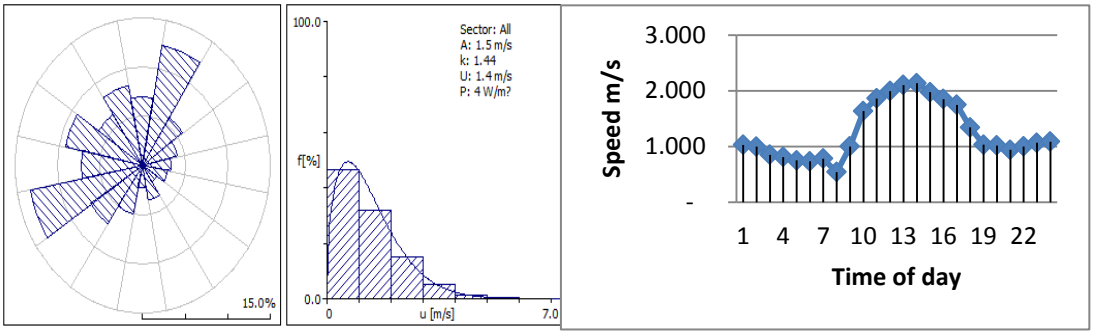


พฤศจิกายน 2558

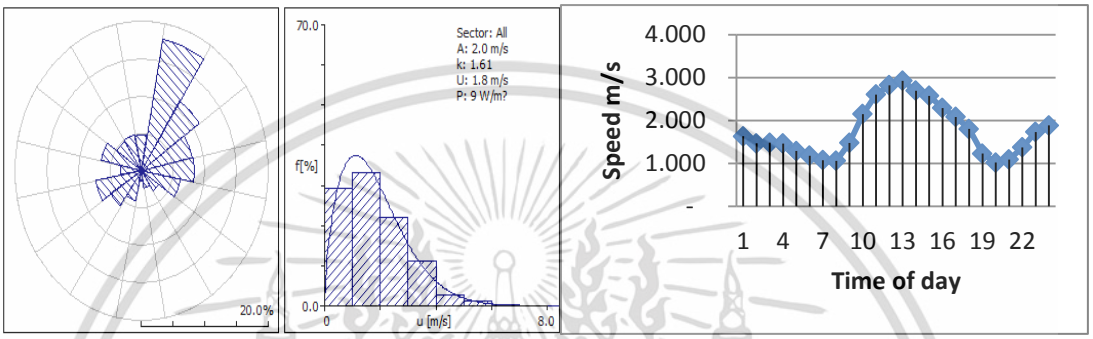


ธันวาคม 2558

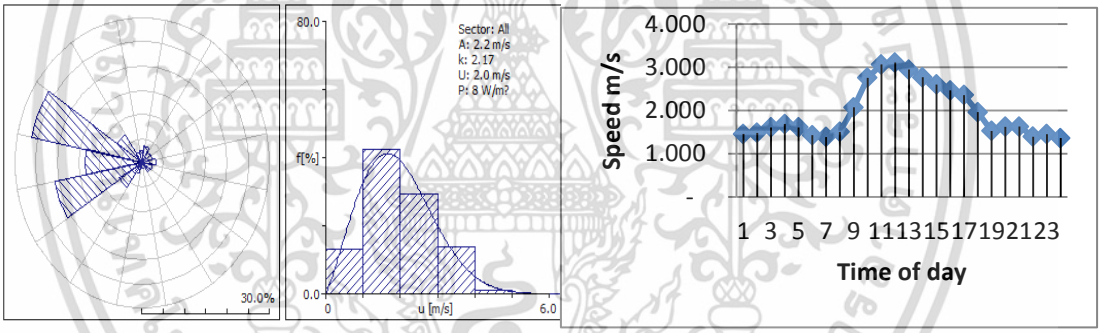
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



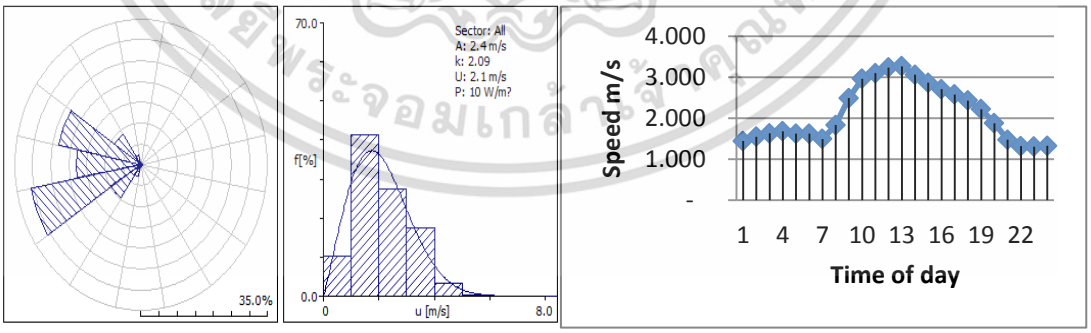
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

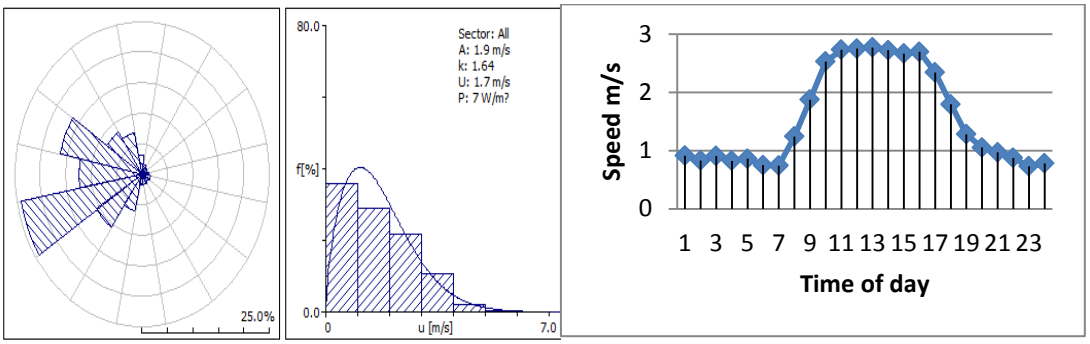


มีนาคม 2559

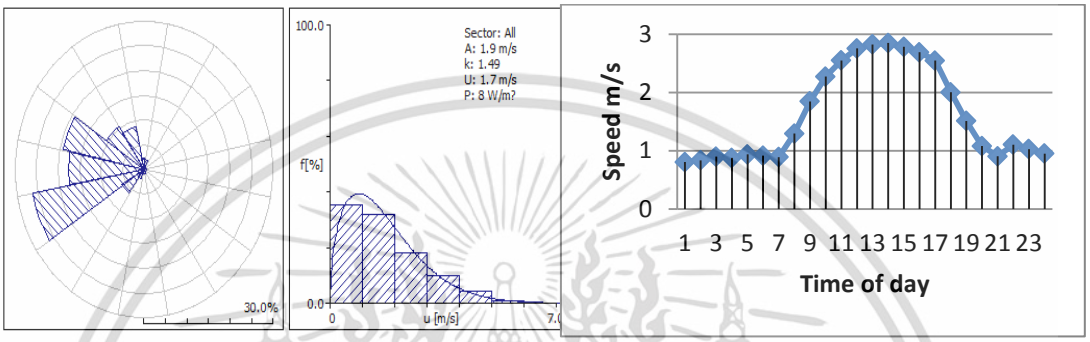


เมษายน 2559

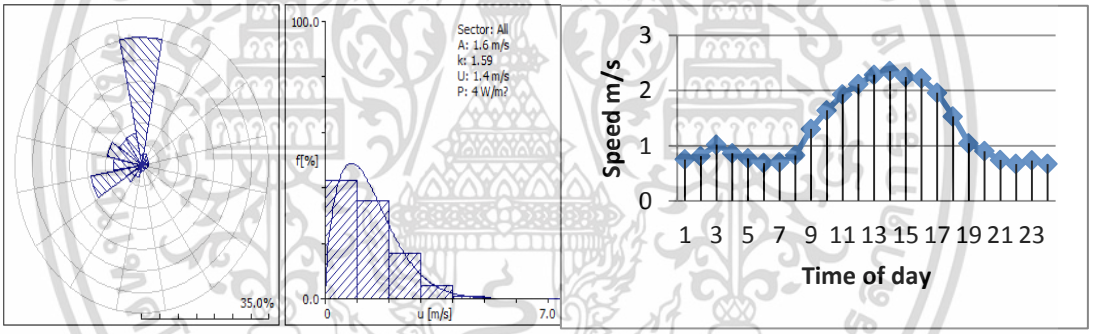
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



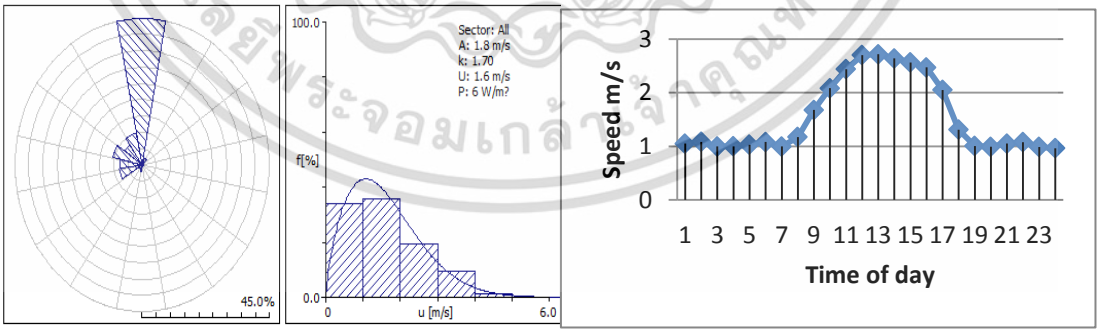
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



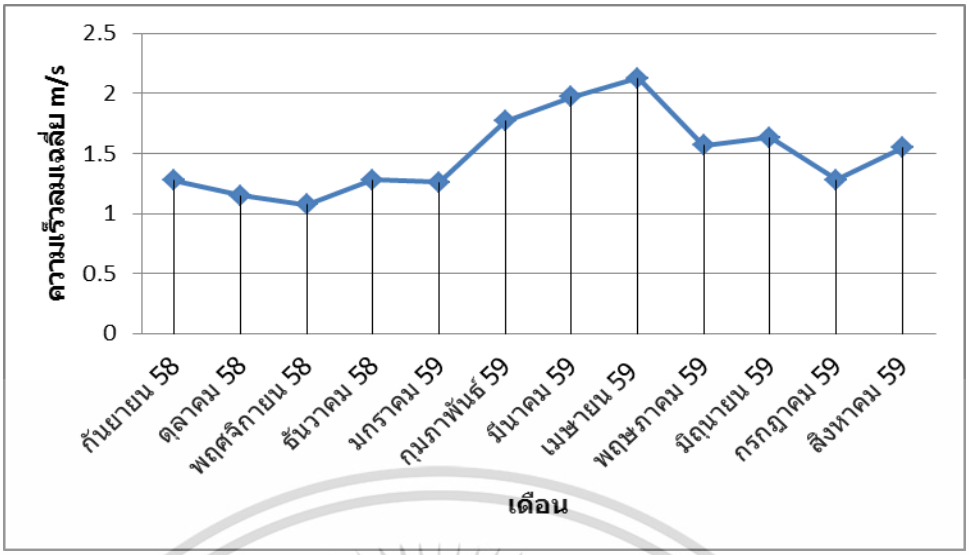
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.29 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสระแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด สระแก้ว

ตารางที่ 5.15 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัด สระแก้ว

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม
	Vavg (m/s)	σ_V	(m/s)		(w/m^2)
ก.ย.-15	1.27	1.01	1.5	1.52	4
ต.ค.-15	1.14	0.94	2.2	2.17	8
พ.ย.-15	1.07	0.96	1.3	1.33	3
ธ.ค.-15	1.28	0.96	1.5	1.51	4
ม.ค.-16	1.26	1.01	1.5	1.44	4
ก.พ.-16	1.76	1.18	2.1	1.61	9
มี.ค.-16	1.96	0.91	2.2	2.17	8
เม.ย.-16	2.12	0.99	2.4	2.09	10
พ.ค.-16	1.56	1.15	1.9	1.64	7
มิ.ย.-16	1.63	1.21	1.9	1.49	8
ก.ค.-16	1.28	0.98	1.6	1.99	4
ส.ค.-16	1.54	1.03	1.8	1.76	6

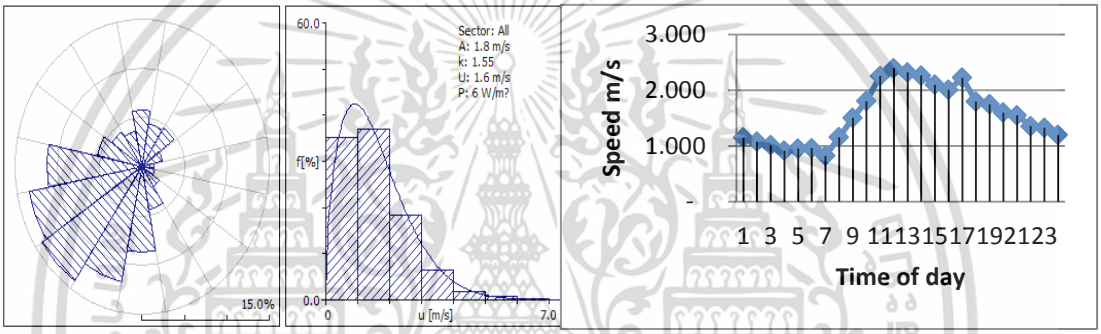
จากรูปที่ 5.29 ถึง รูปที่ 5.30 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ เป็นส่วนใหญ่ซึ่งสถานีนี้ทิศทางลมจะกระจายแทบจะมาจากทุกทิศ ซึ่งจะมีความเร็วลมในแต่ละทิศต่างๆกันแต่ในช่วงเดือนเมษายนจะเป็นช่วงเดือนที่มีความเร็วลมสูงสุดแต่เมื่อดูจากตารางที่ 5.15 แล้วความเร็วลมแทบจะไม่ต่างกันโดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.49 m/s และสังเกตจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วที่อยู่ในช่วง 0.9-1 m/s นั้นหมายความว่าความเร็วตลอดทั้งช่วงไม่เปลี่ยนแปลงมาก และในช่วงกลางวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

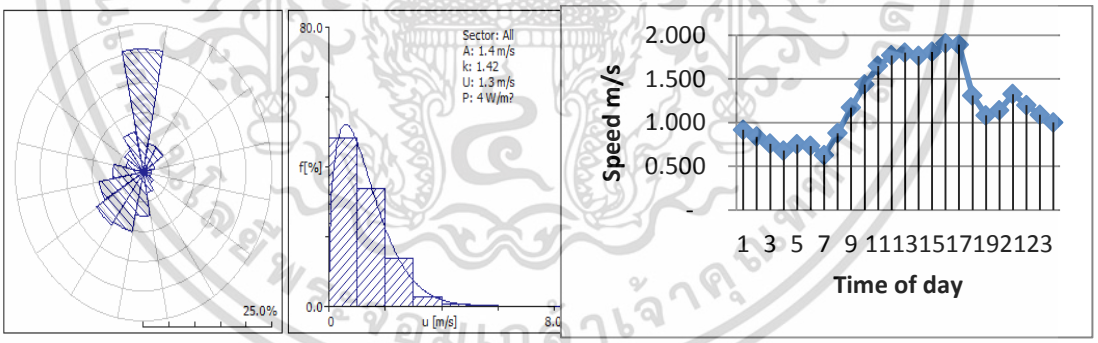
ก็เป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องไปแทนค่าพารามิเตอร์ c , k ในสมการความน่าจะเป็นไวย์บูลล์ เพื่อดูการกระจายของข้อมูลและลักษณะของข้อมูลความเร็วลมอีกด้วย ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.6

5.1.16 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี หมู่ 5 ตำบลกุดนกเปล้า อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี

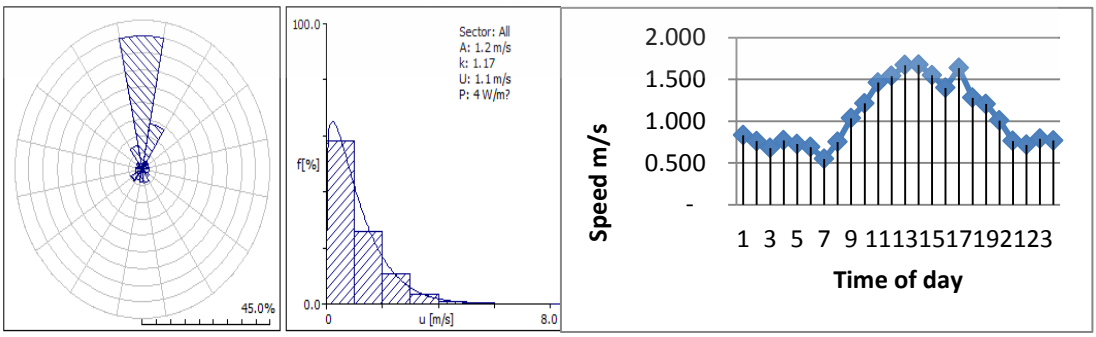
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี พื้นที่ หมู่ 5 ตำบลกุดนกเปล้า อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.31 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



กันยายน 2558

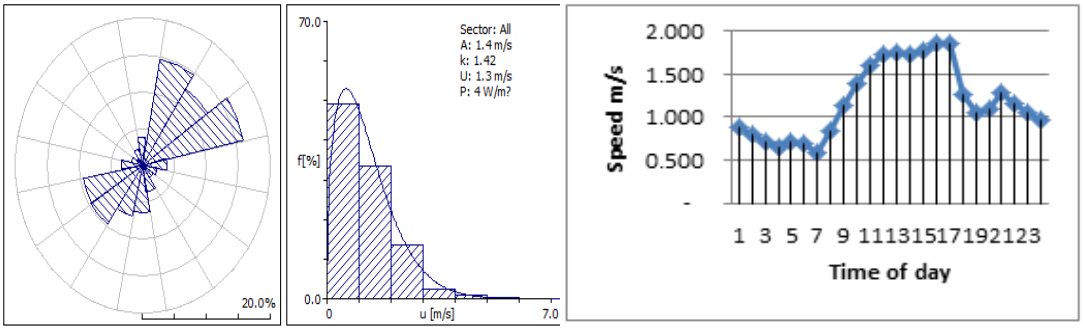


ตุลาคม 2558

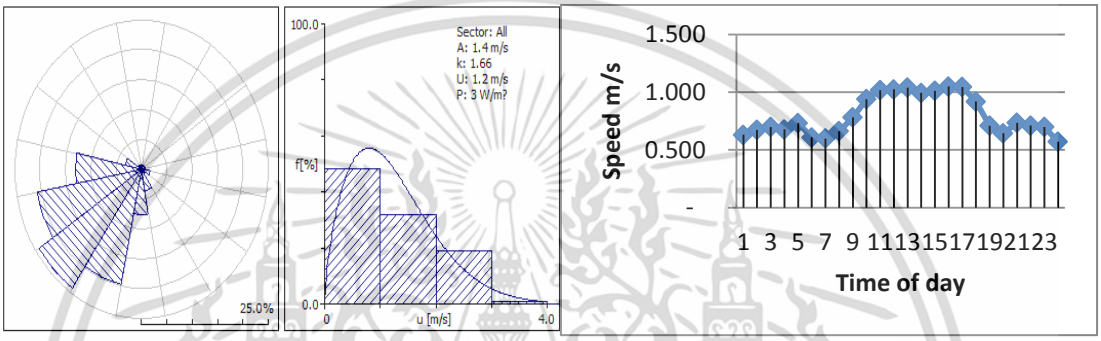


พฤศจิกายน 2558

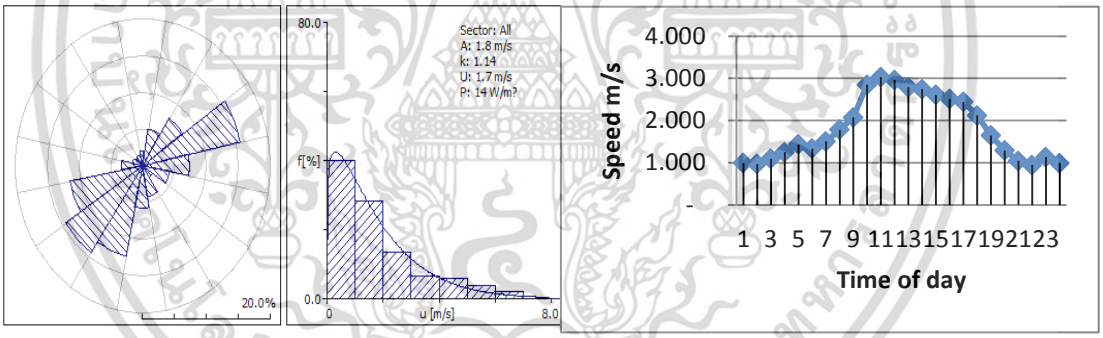
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



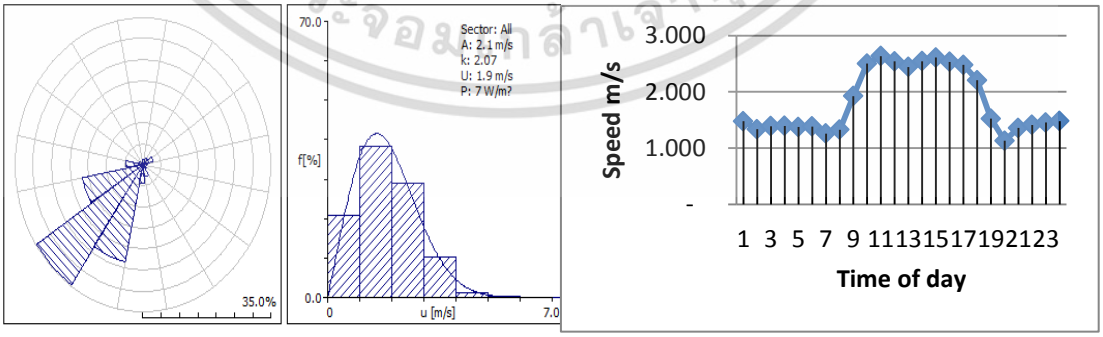
ธันวาคม 2558



มกราคม 2559

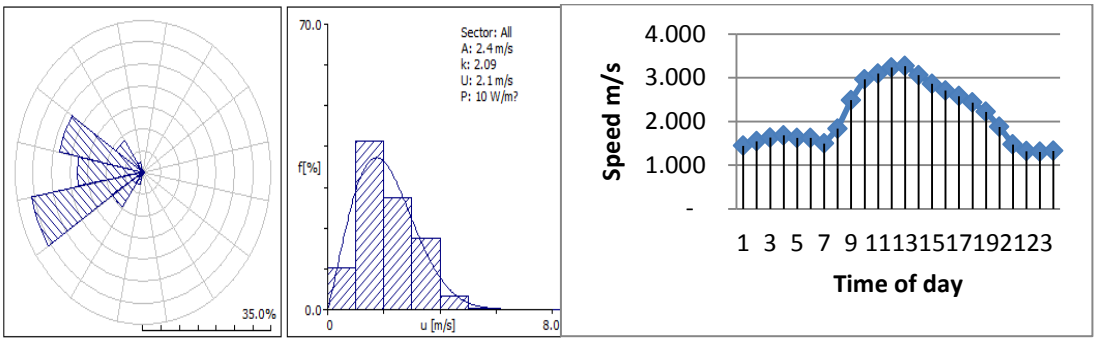


กุมภาพันธ์ 2559

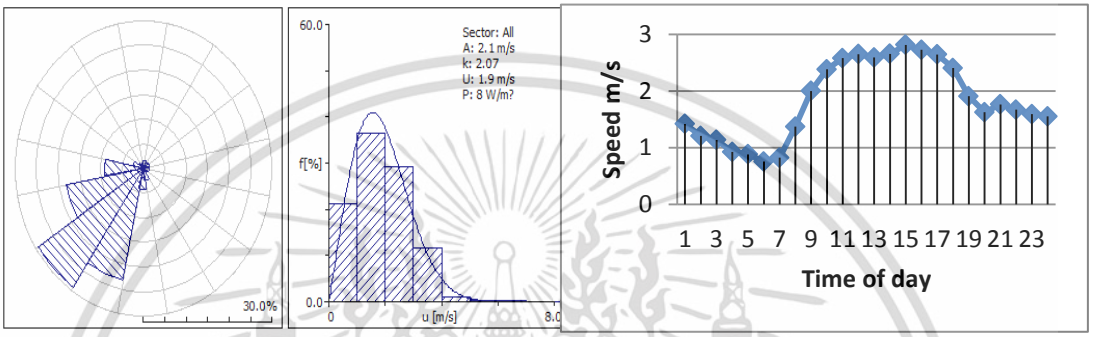


มีนาคม 2559

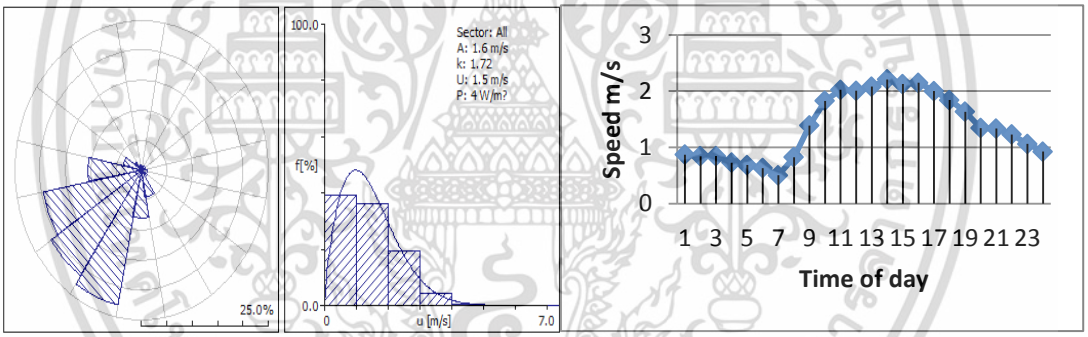
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



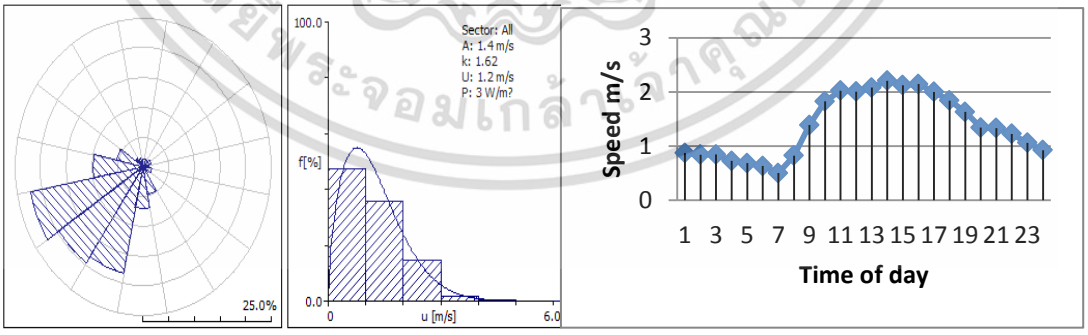
เมษายน 2559



พฤษภาคม 2559

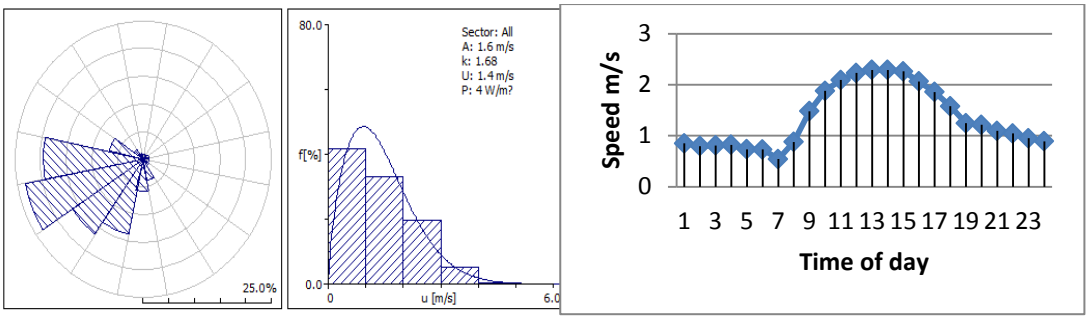


มิถุนายน 2559



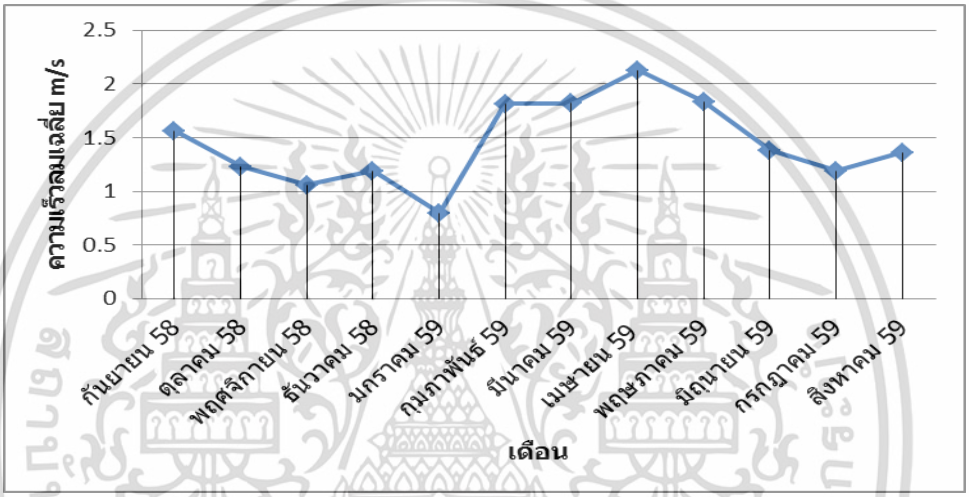
กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.31 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 5.32 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัด สระบุรี

ตารางที่ 5.16 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัด สระบุรี

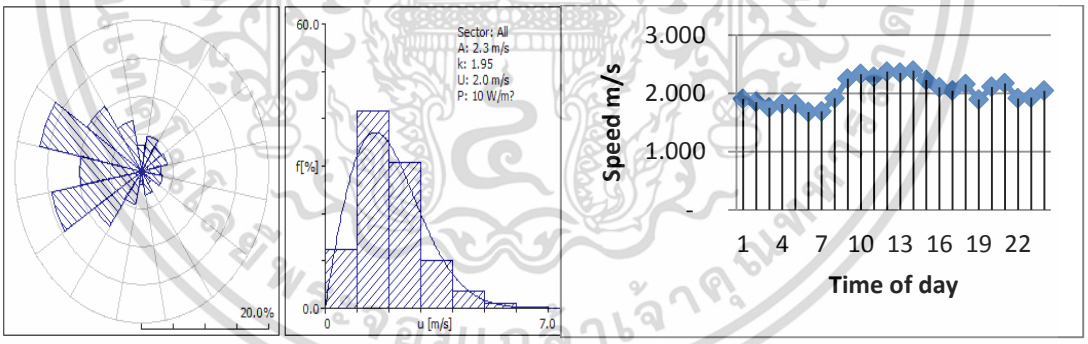
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย Vavg (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_V	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)	ฐานนิยม (m/s)
ก.ย.-15	1.55	1.09	1.8	1.55	6	1
ต.ค.-15	1.22	0.91	1.4	1.42	4	0.8
พ.ย.-15	1.06	0.99	1.2	1.17	4	0.7
ธ.ค.-15	1.19	0.91	1.4	1.42	4	0.7
ม.ค.-16	0.79	1.51	1.4	1.66	3	0.4
ก.พ.-16	1.81	1.69	1.8	1.34	14	1.1
มี.ค.-16	1.82	0.98	2.1	2.07	7	1.3
เม.ย.-16	2.12	0.99	2.4	2.09	10	1.7
พ.ค.-16	1.83	1.01	2.1	2.07	8	1.3
มิ.ย.-16	1.37	0.97	1.6	1.72	4	0.8
ก.ค.-16	1.18	0.81	1.4	1.62	3	0.8
ส.ค.-16	1.35	0.92	1.6	1.68	4	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

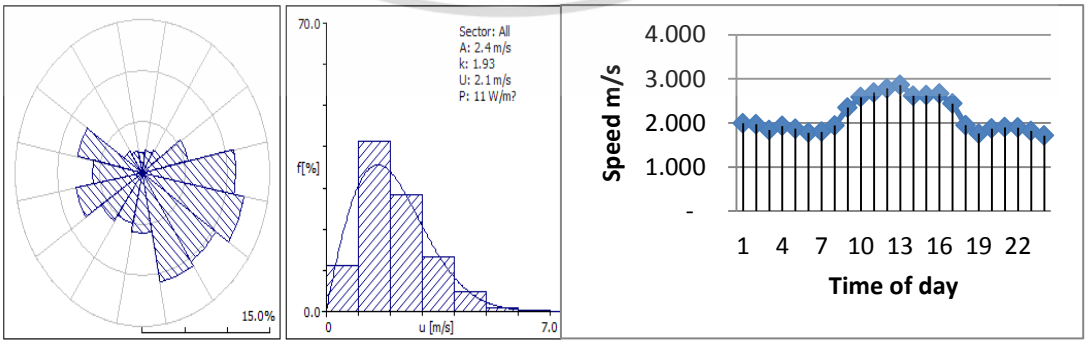
จากรูปที่ 5.31 ถึง รูปที่ 5.32 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นส่วนใหญ่ และจะมีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 1.44 m/s ซึ่งน้อยพอสมควรและส่วนใหญ่ความเร็วลมที่มีความถี่มากสุดจะแสดงเป็นรายเดือนโดยใช้ฐานนิยมบอกในตารางที่ 5.16 ส่วนในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนจะเป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้นค่อยๆเพิ่มๆขึ้น ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ที่ 1.06 m/s บ่งบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลความเร็วลมว่าไม่แตกต่างไปมากนักจากค่าเฉลี่ย ส่วนช่วงเวลาที่เกิดความเร็วลมสูงจะอยู่ในช่วงเวลากลางวัน และพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 5.16 ส่วนกำลังลมของเดือนกุมภาพันธ์นั้นจะสูงกว่าเดือนที่เหลือขณะที่ความเร็วลมนั้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเดือนเมษายน เป็นผลมาจากความหนาแน่นของอากาศในช่วงเดือนนี้

5.1.17 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี โครงการฟาร์มตัวอย่างพระราชดำริหนองลาด ตำบลท่าข้าม อำเภอค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี โครงการฟาร์มตัวอย่างพระราชดำริหนองลาด ตำบลท่าข้าม อำเภอค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วยความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.33 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

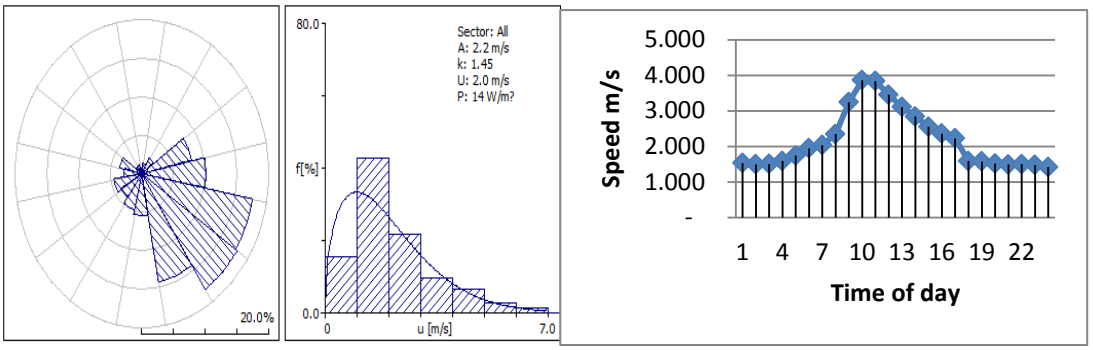


กันยายน 2558

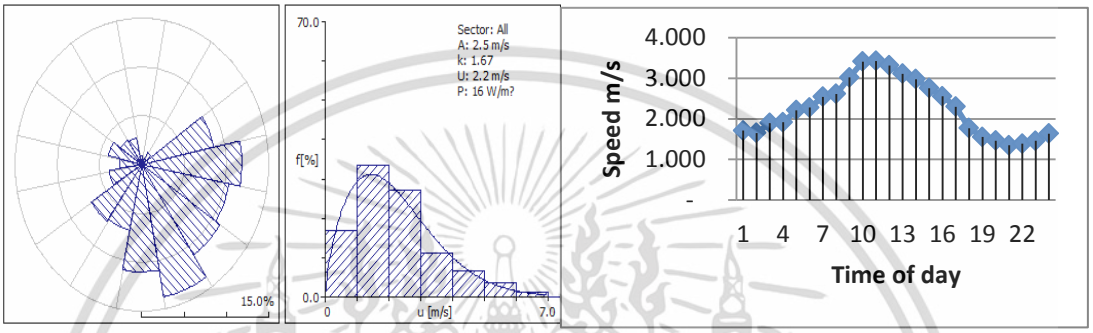


ตุลาคม 2558

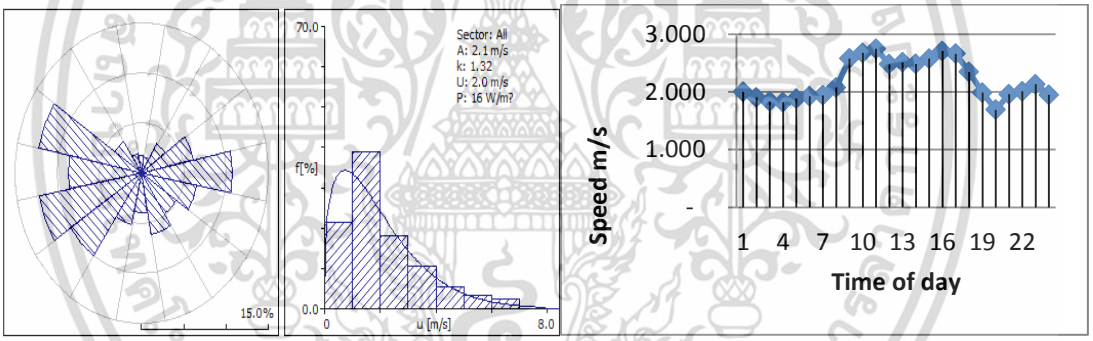
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



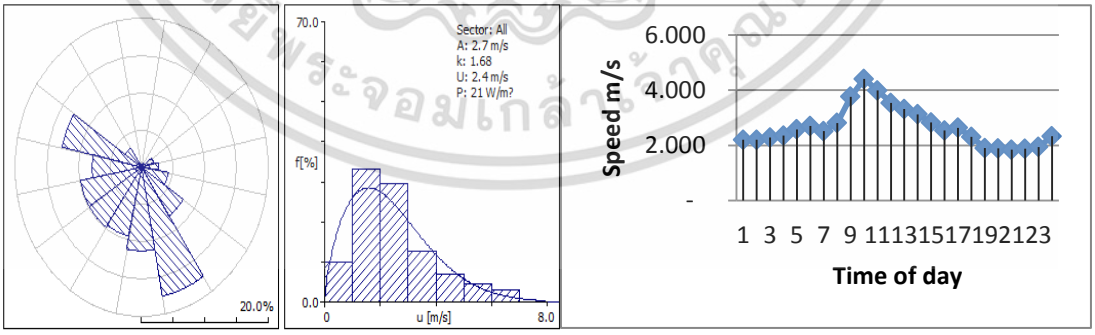
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

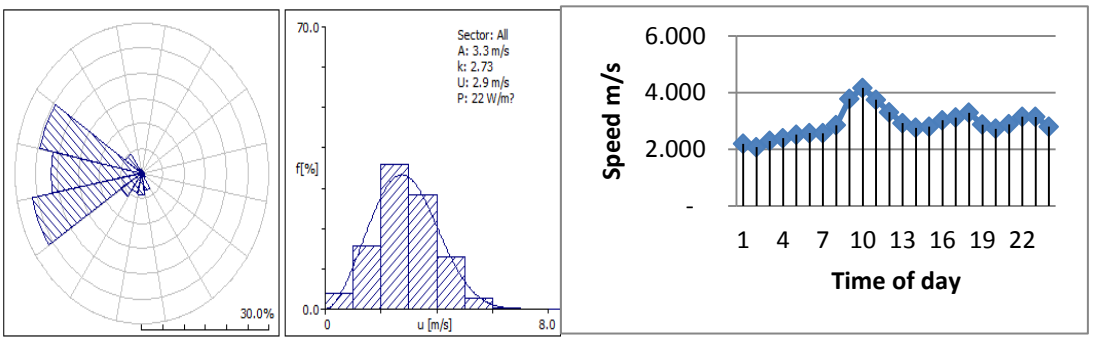


มกราคม 2559

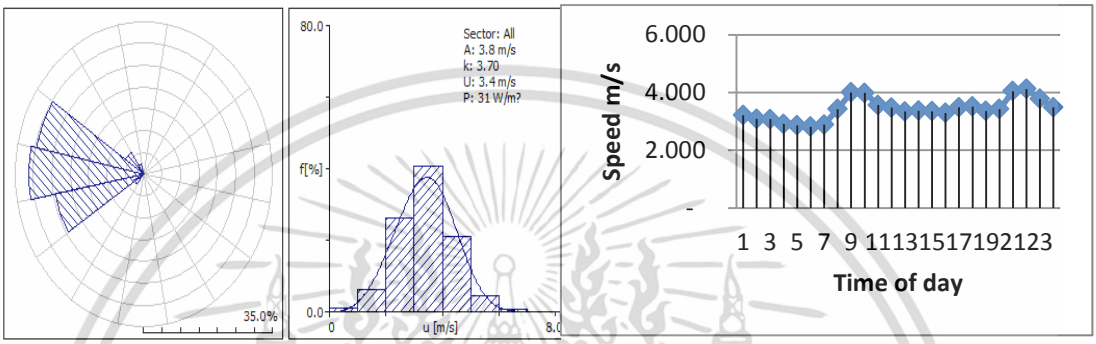


กุมภาพันธ์ 2559

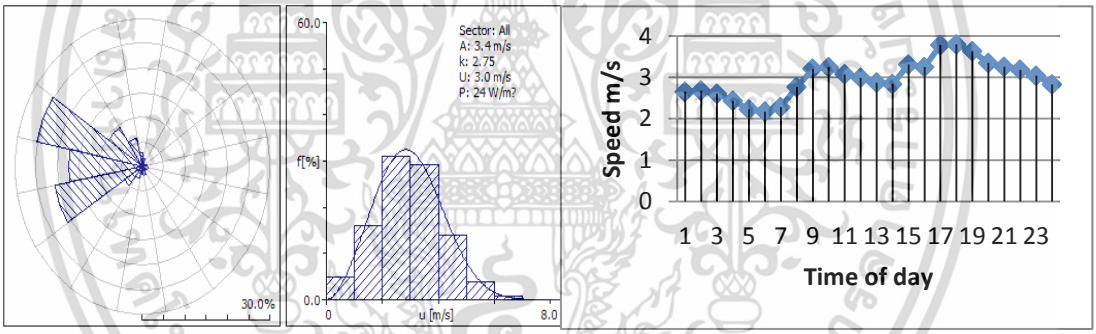
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



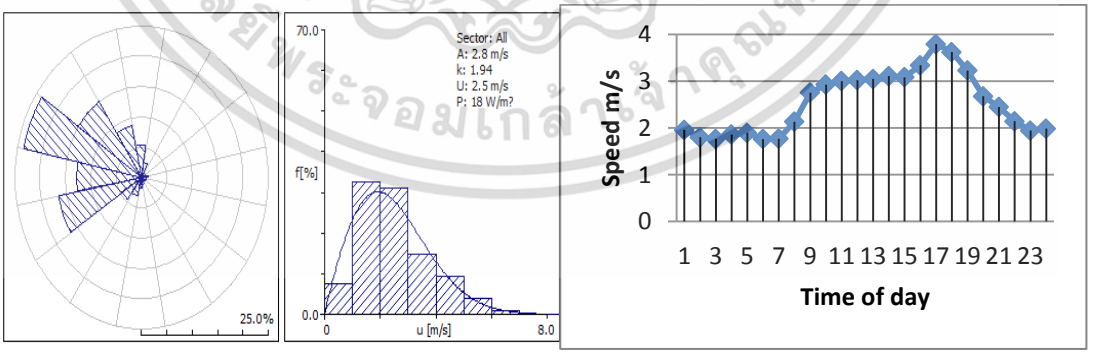
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

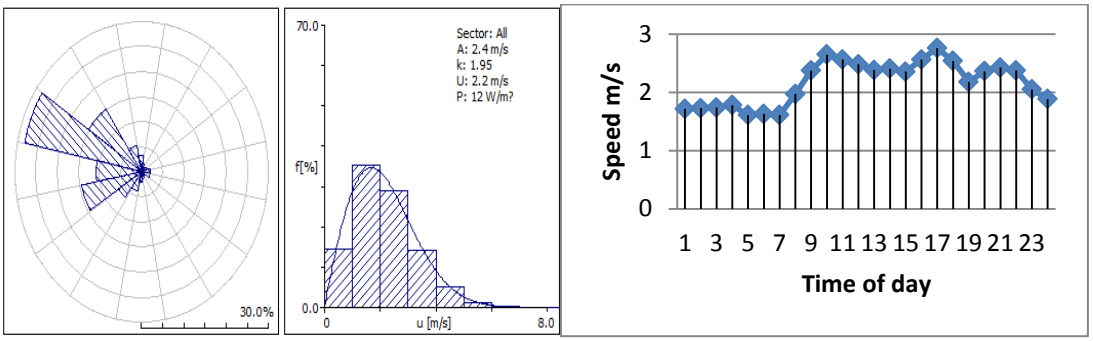


พฤษภาคม 2559

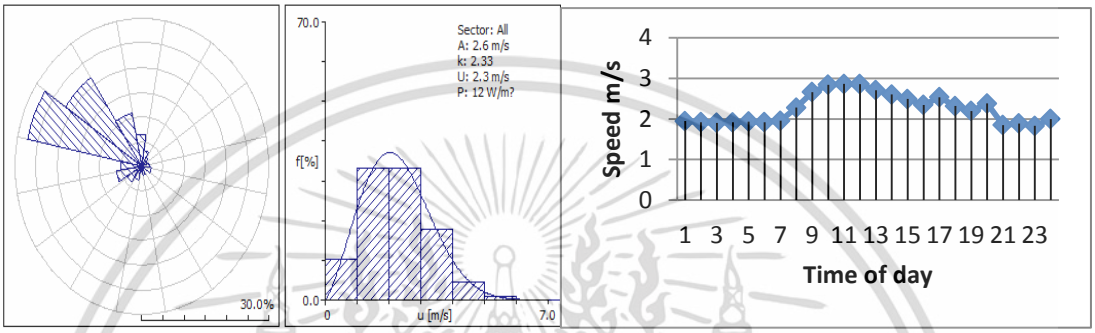


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

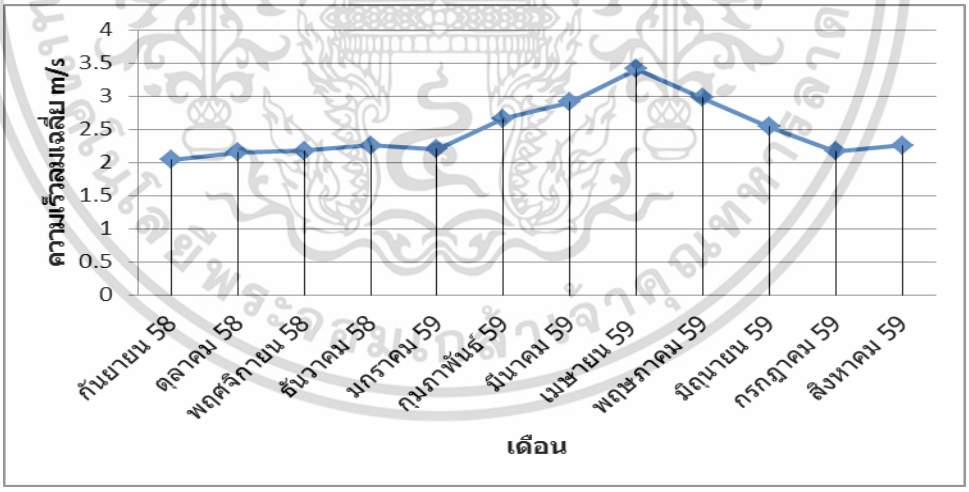


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.33 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสิงห์บุรี



รูปที่ 5.34 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสิงห์บุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดสิงห์บุรี

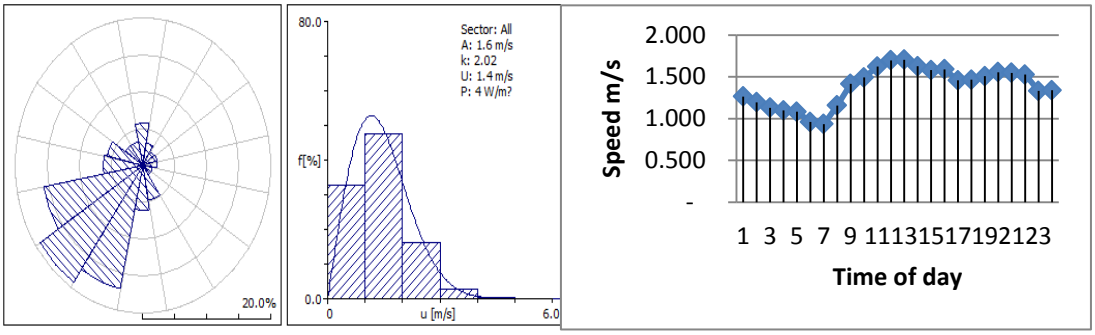
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	พารามิเตอร์ C	พารามิเตอร์ k	กำลังลม	ฐานนิยม
	Vavg (m/s)	σ_v	(m/s)		(w/m^2)	(m/s)
ก.ย.-15	2.04	1.01	2.3	1.95	10	1.43
ต.ค.-15	2.14	1.06	2.4	1.93	11	1.95
พ.ย.-15	2.18	1.36	2.2	1.49	14	1.46
ธ.ค.-15	2.26	1.8	2.5	1.67	16	0.36
ม.ค.-16	2.21	1.65	2.1	1.32	16	1.31
ก.พ.-16	2.65	1.72	2.7	1.68	21	1.71
มี.ค.-16	2.91	1.14	3.3	2.31	22	2.52
เม.ย.-16	3.41	1.01	3.8	3.71	31	3.41
พ.ค.-16	2..97	1.24	3.4	2.75	24	2.51
มิ.ย.-16	2.54	1.28	2.8	1.94	18	2.13
ก.ค.-16	2.17	1.17	2.4	1.95	12	1.71
ส.ค.-16	2.25	1.04	2.6	2.33	12	2.12

จากรูปที่ 5.33 ถึง รูปที่ 5.34 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ โดยความเร็วลมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมิถุนายน จะมีการเพิ่มของความเร็วลมเฉลี่ยมากสุดและจะลดความเร็วลมมาจนถึงกรกฎาคม โดยช่วงความเร็วเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 2.5-2.9 m/s ซึ่งเป็นความเร็วลมที่สูงพอสมควรเมื่อเทียบกับการนำไปใช้สูบน้ำโดยกังหันลมชนิดที่วิจัยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความเร็วอยู่ที่ 1.1 – 1.7 m/s ขณะที่ค่ากำลังลมต่อพื้นที่ที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 16-31 W/m เดือนที่มีความถี่ของความเร็วลมสูงสุดจะอยู่ที่เดือนเมษายน 3.7 m/s เนื่องมาจากเดือนเมษายนอากาศร้อน ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงค่าในตารางที่ 5.17

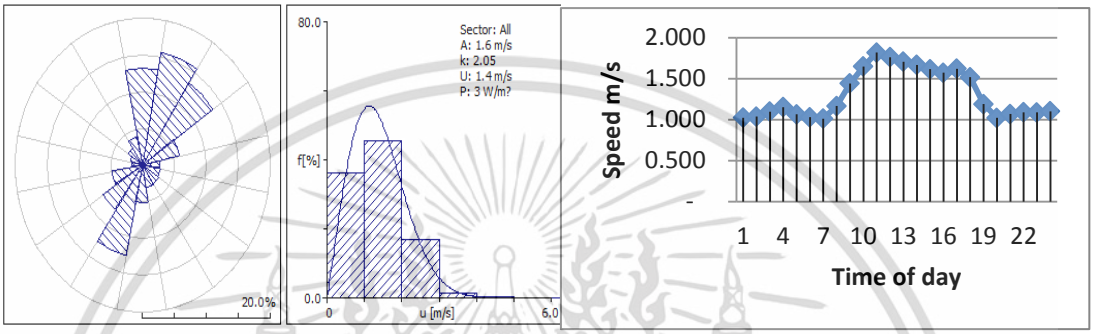
5.1.18 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานี ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง หมู่ 3 ตำบลบางปลาม้า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง หมู่ 3 ตำบลบางปลาม้า อำเภอบางปลาม้า จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วยความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.35 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

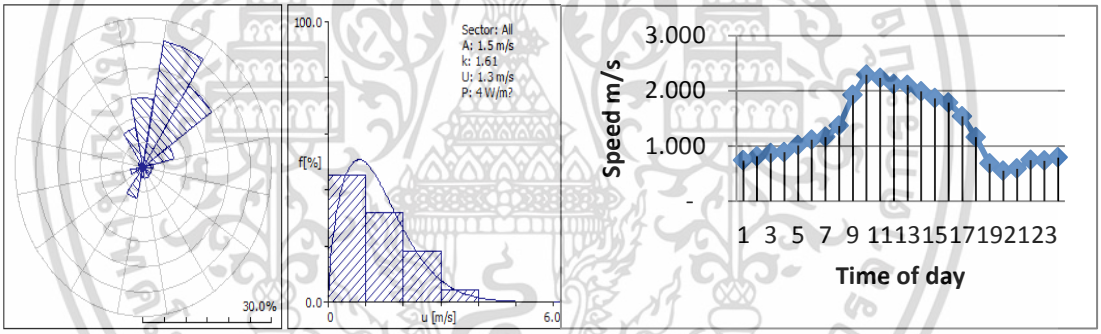
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



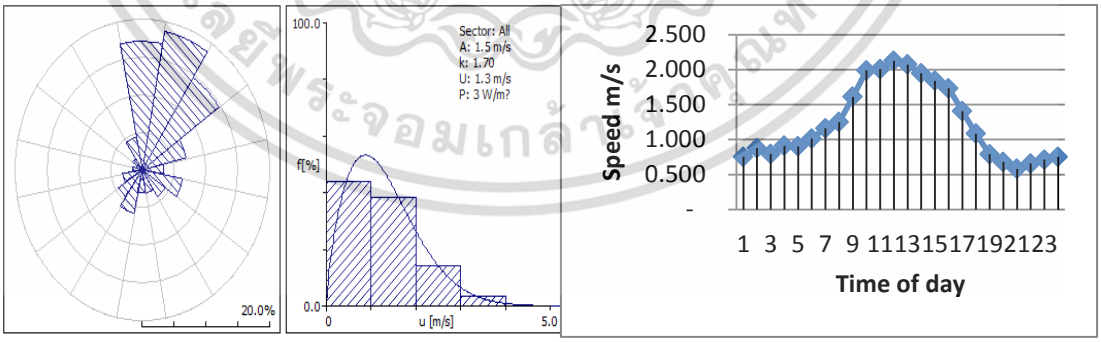
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

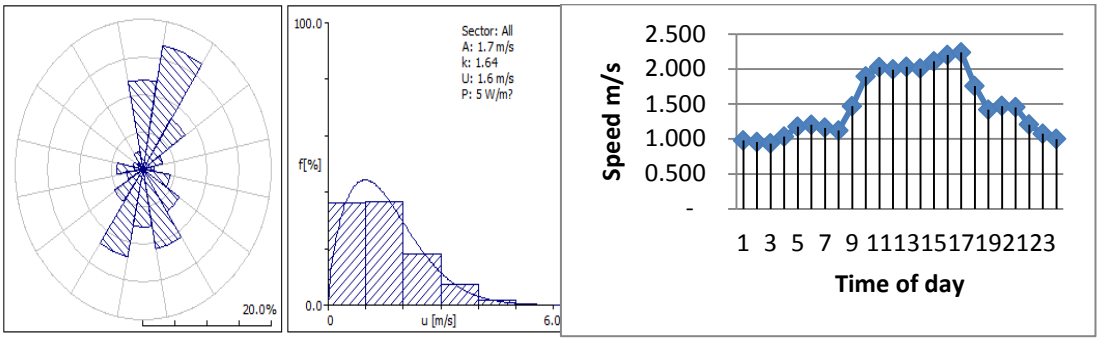


พฤศจิกายน 2558

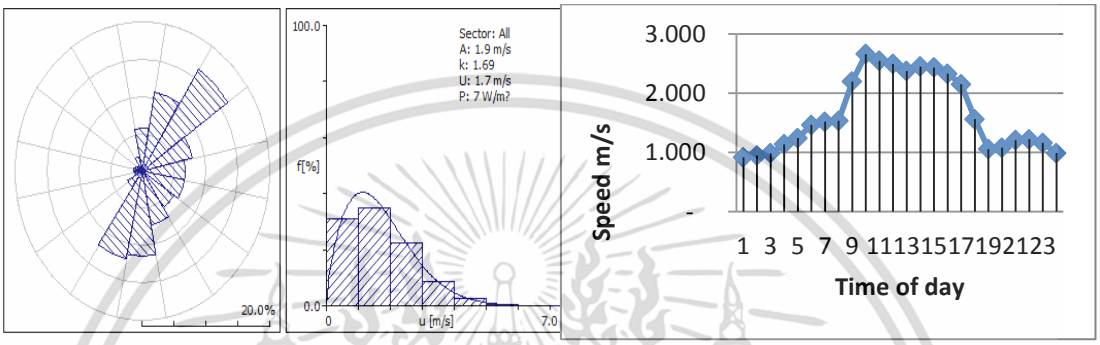


ธันวาคม 2558

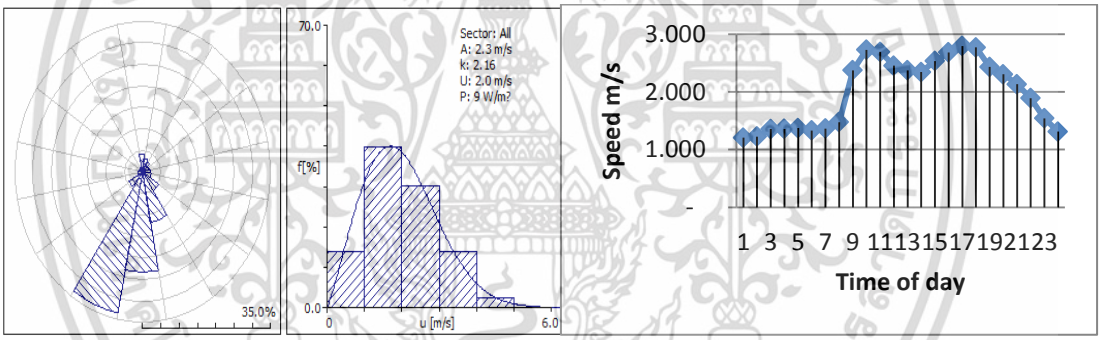
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



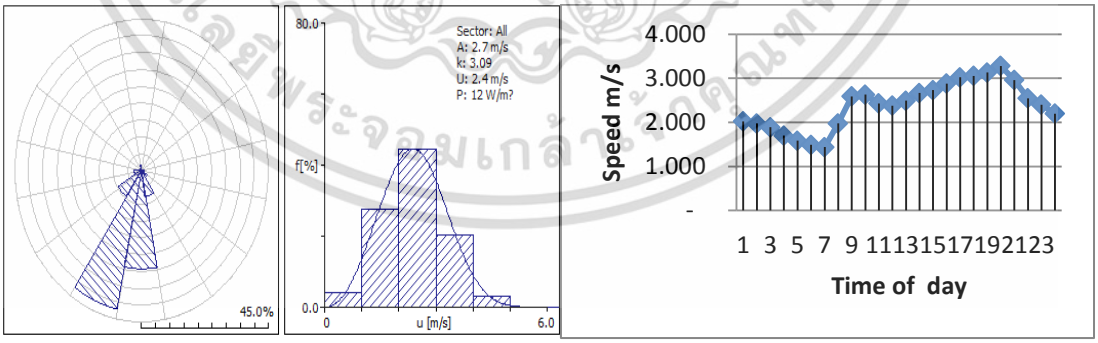
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

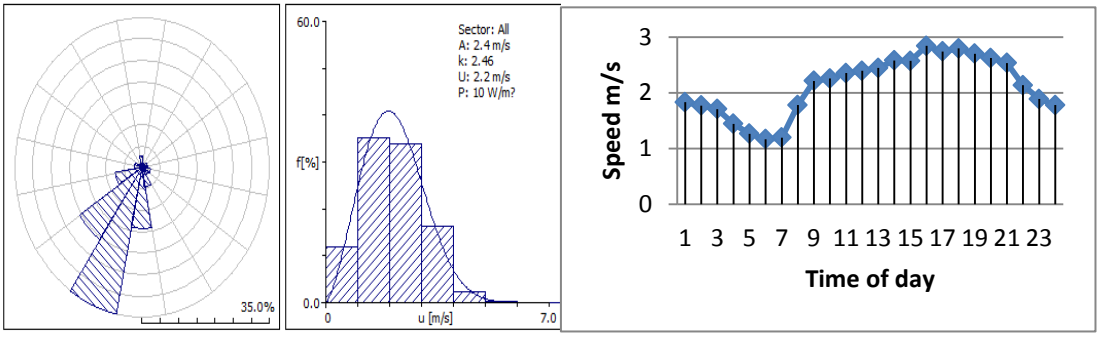


มีนาคม 2559

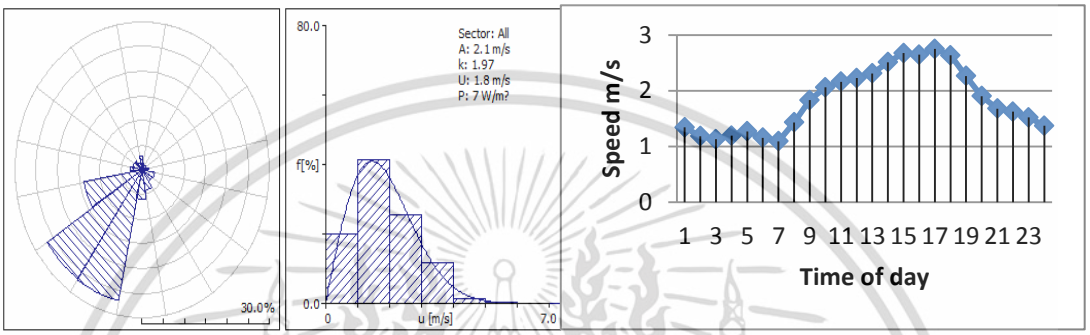


เมษายน 2559

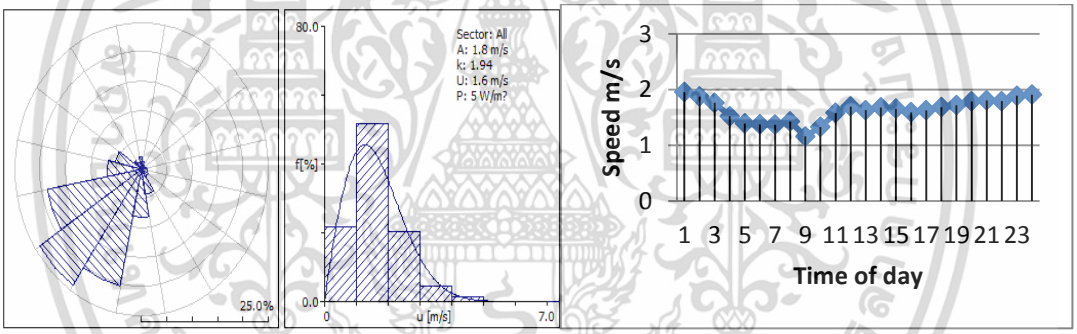
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



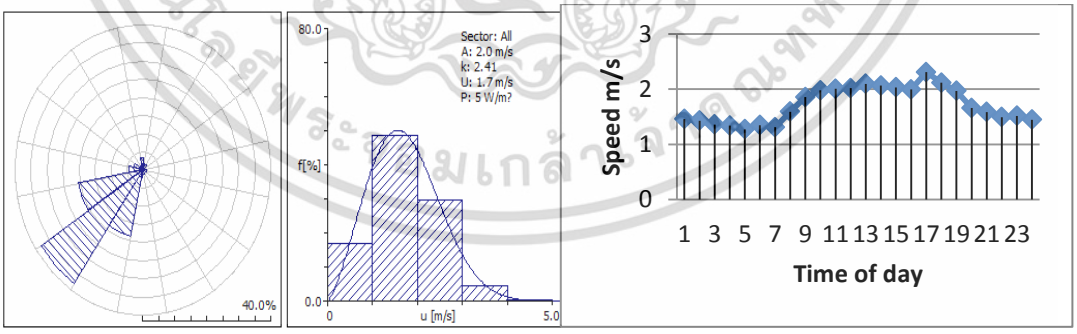
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



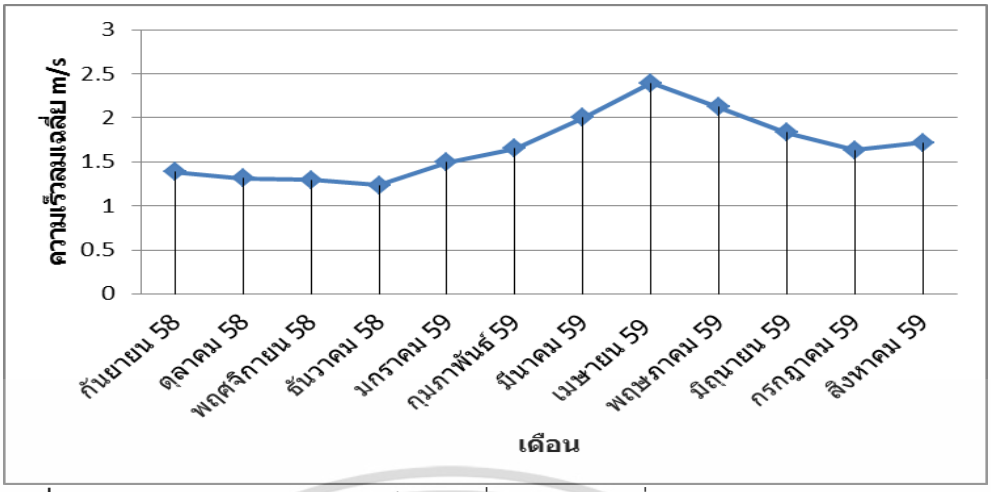
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.35 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดสุพรรณบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.36 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดสุพรรณบุรี

ตารางที่ 5.18 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดสุพรรณบุรี

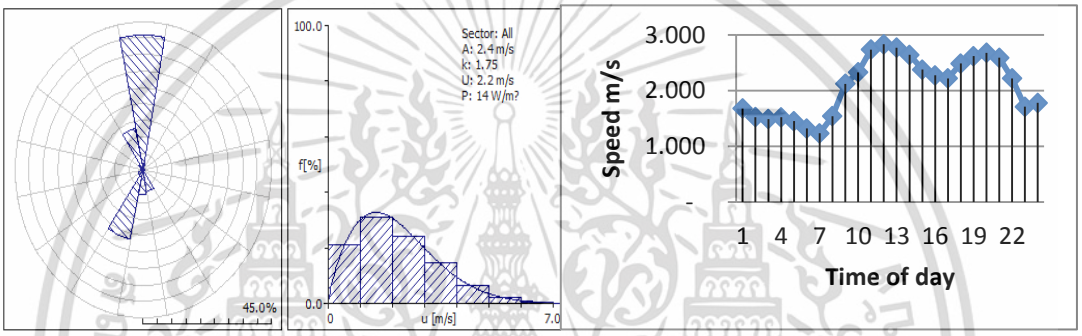
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย Vavg (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_V	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)	ฐานนิยม (m/s)
ก.ย.-15	1.38	0.76	1.6	2.02	4	1.3
ต.ค.-15	1.31	1.73	1.6	2.06	3	1.3
พ.ย.-15	1.29	0.88	1.5	1.61	4	0.8
ธ.ค.-15	1.23	0.81	1.5	1.71	3	0.5
ม.ค.-16	1.49	1.01	1.7	1.64	5	0.2
ก.พ.-16	1.65	1.07	1.9	1.69	7	0.8
มี.ค.-16	2.01	0.93	2.3	2.36	9	1.3
เม.ย.-16	2.39	0.85	2.7	3.09	12	2.1
พ.ค.-16	2.12	0.96	2.4	2.46	10	1.7
มิ.ย.-16	1.83	0.94	2.1	1.97	7	1.3
ก.ค.-16	1.63	0.85	1.8	1.94	5	1.3
ส.ค.-16	1.71	0.74	2.1	2.41	5	1.3

จากรูปที่ 5.35 ถึง รูปที่ 5.36 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ เป็นส่วนใหญ่ และจะมีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 1.67 m/s ซึ่งน้อยพอสมควรและส่วนใหญ่ความเร็วลมที่มีความถี่มากสุดจะแสดงเป็นรายเดือนโดยใช้ฐานนิยมบอกในตารางที่ 5.18 ส่วนในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมจะเป็นช่วงที่ความเร็วลมนั้นค่อยๆเพิ่มๆขึ้นเนื่องจากลมฤดูร้อน ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.9 m/s บ่งบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลความเร็วลมว่าไม่แตกต่างไปมากนักจากค่าเฉลี่ย ส่วนช่วงเวลาที่เกิดความเร็วลมสูงจะอยู่ในช่วงเวลากลางวันแต่เดือนมิถุนายนความเร็วลมรายวันค่อนข้างจะคงที่ และพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 5.18

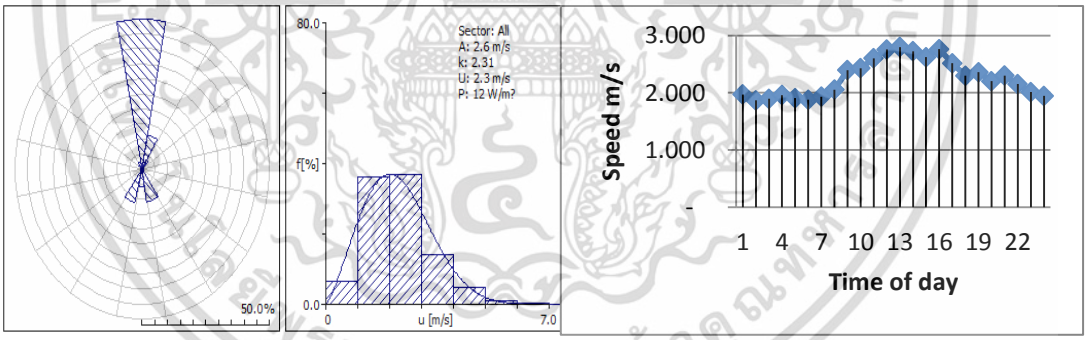
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.19 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีกลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ บ้านหลุมทองหลาง หมู่ 5 ตำบลสิงหนาท อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

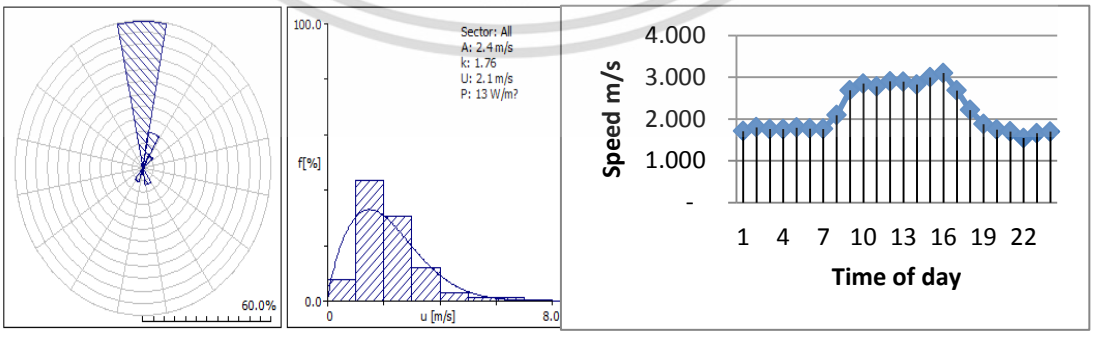
จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี กลุ่มปลูกผักปลอดสารพิษ บ้านหลุมทองหลาง หมู่ 5 ตำบลสิงหนาท อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.37 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ



กันยายน 2558

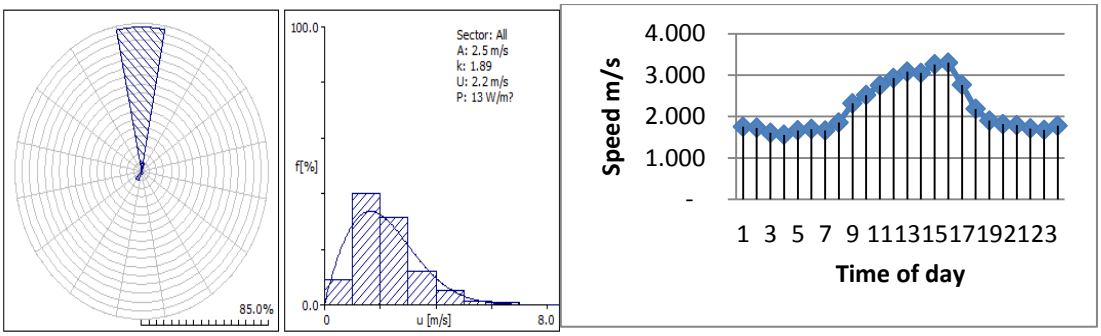


ตุลาคม 2558

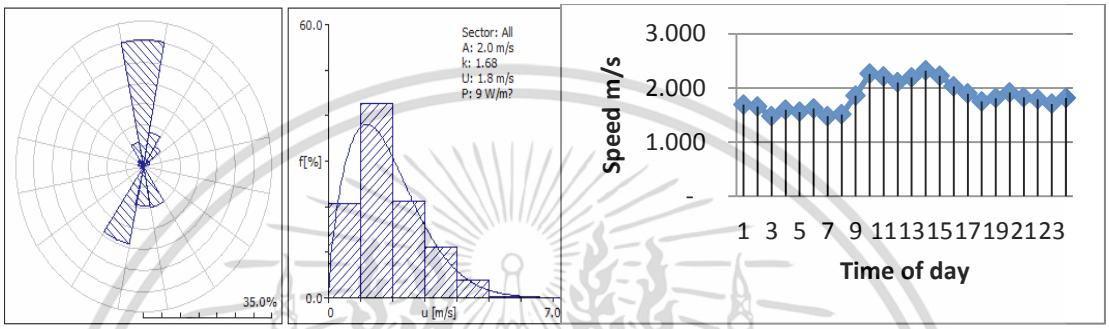


พฤศจิกายน 2558

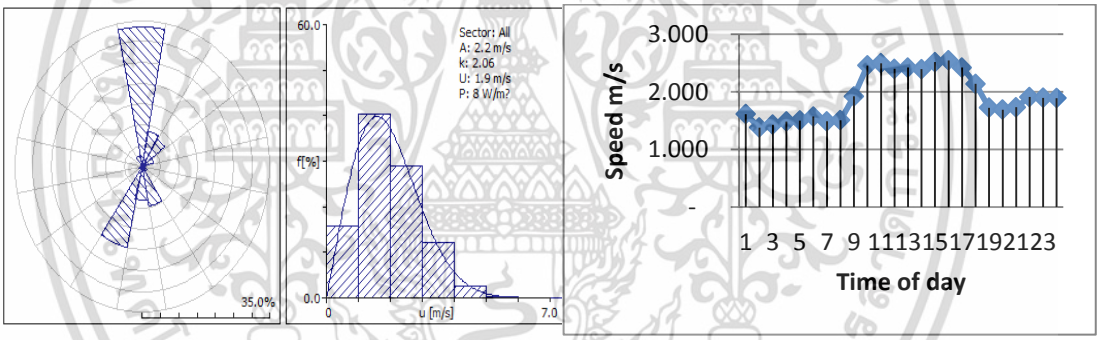
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



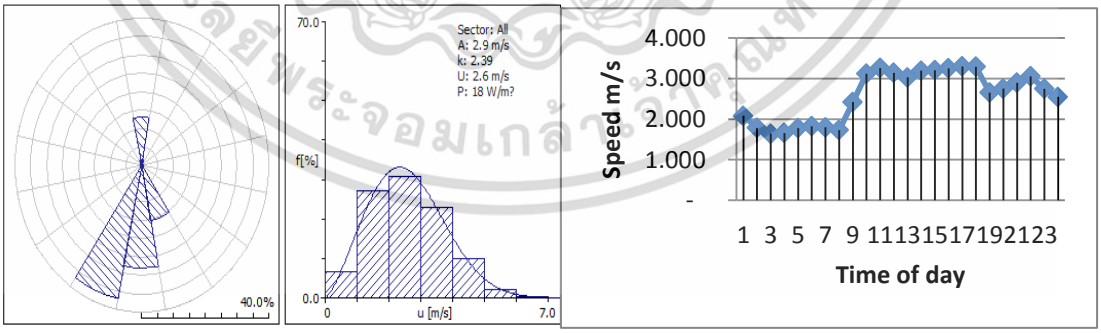
ธันวาคม 2558



มกราคม 2559

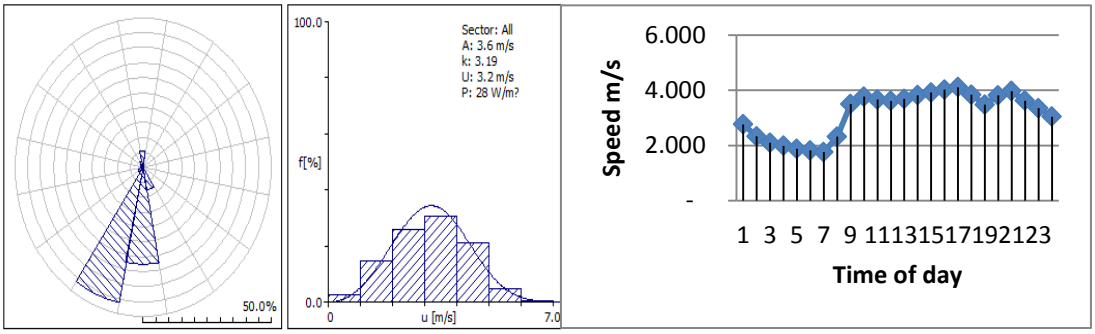


กุมภาพันธ์ 2559

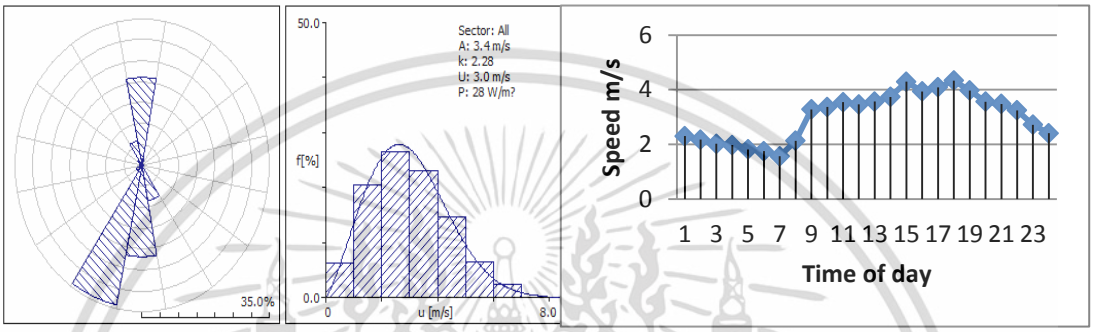


มีนาคม 2559

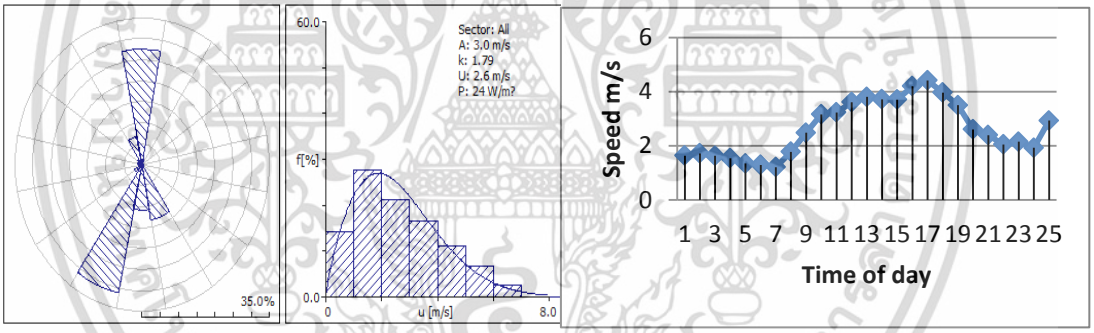
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



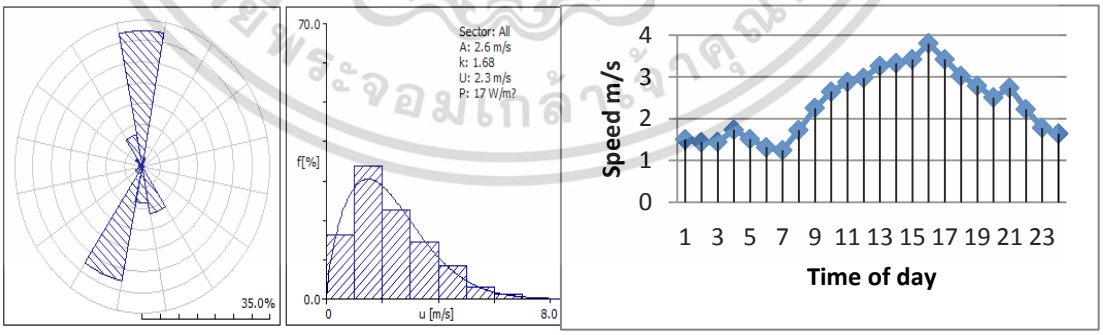
เมษายน 2559



พฤษภาคม 2559

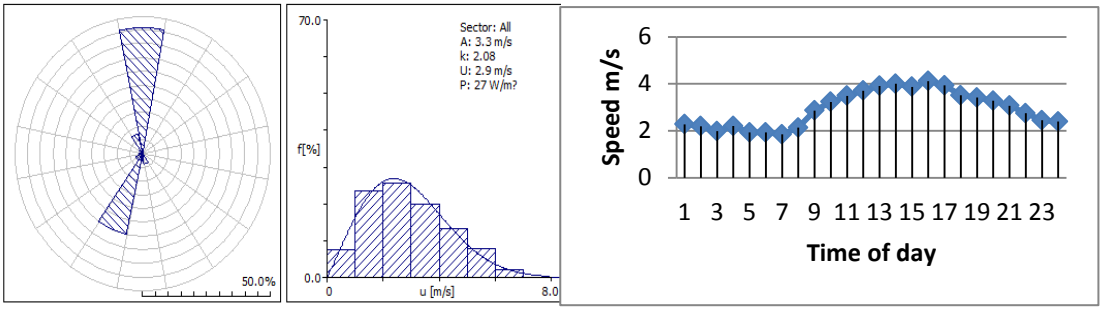


มิถุนายน 2559



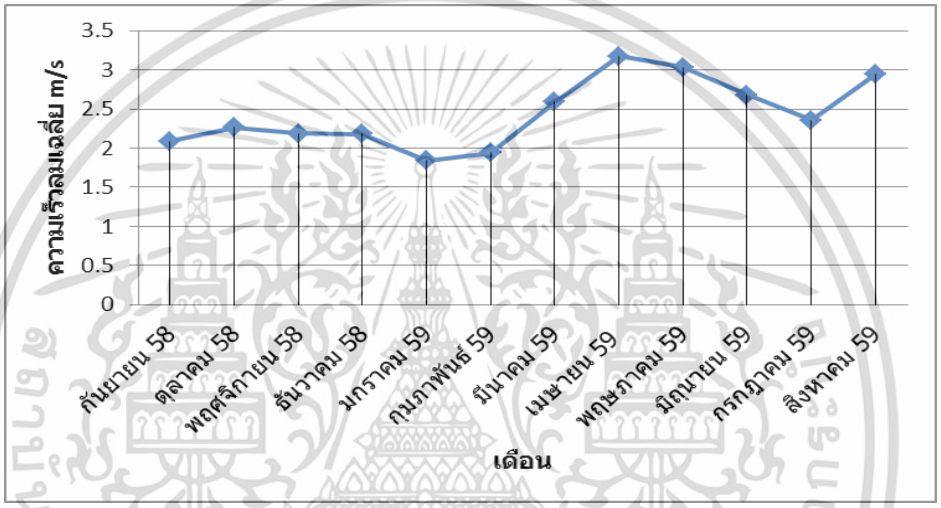
กรกฎาคม 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.37 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดอยุธยา



รูปที่ 5.38 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดอยุธยา

ตารางที่ 5.19 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดอยุธยา

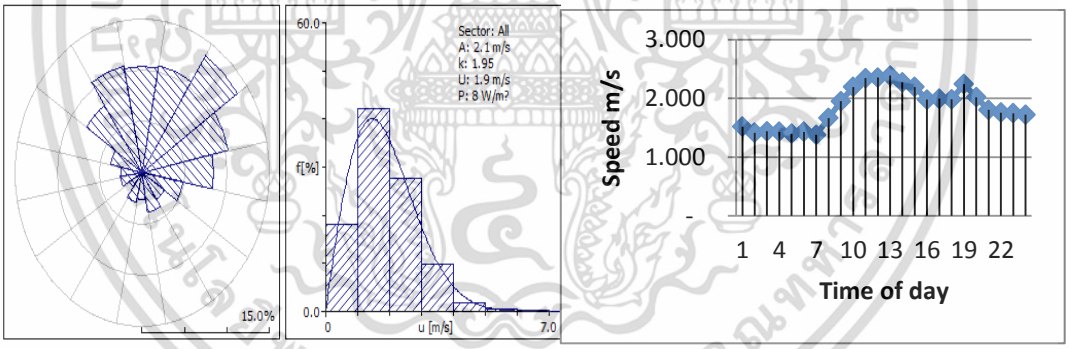
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_v	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)	ฐานนิยม (m/s)
ก.ย.-15	2.08	1.35	2.4	1.75	14	1.1
ต.ค.-15	2.26	0.99	2.6	2.31	12	1.9
พ.ย.-15	2.19	0.89	2.4	1.76	13	1.9
ธ.ค.-15	2.17	1.01	2.5	1.89	13	0.5
ม.ค.-16	1.84	1.08	2.1	1.68	9	1.3
ก.พ.-16	1.93	0.97	2.2	2.06	8	1.7
มี.ค.-16	2.58	1.15	2.9	2.39	18	2.1
เม.ย.-16	3.17	1.17	3.6	3.39	28	3.4
พ.ค.-16	3.03	1.49	3.4	2.28	28	2.1
มิ.ย.-16	2.68	1.67	3.1	1.79	24	1.3
ก.ค.-16	2.35	1.53	2.6	1.65	17	1.3
ส.ค.-16	2.94	1.52	3.3	2.08	27	1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

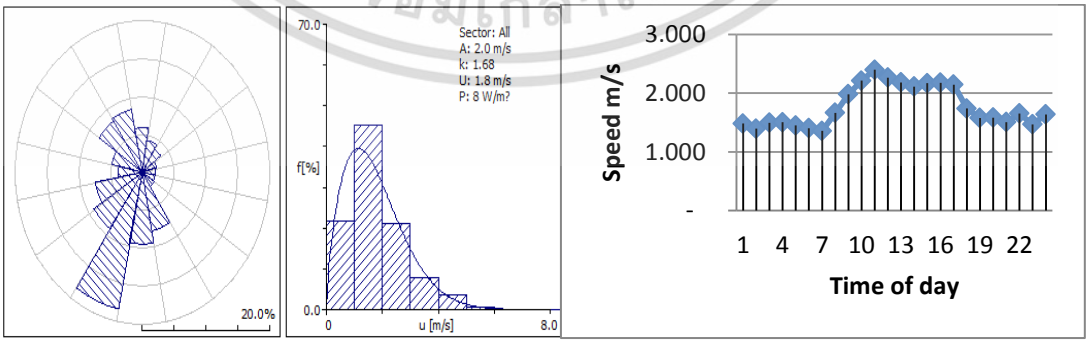
จากรูปที่ 5.37 ถึง 5.38 นั้นทำให้เราทราบถึงความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 2.43 m/s โดยเดือนเมษายนนั้นจะเป็นเดือนที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดคืออยู่ที่ 3.171 m/s ส่วนความถี่ที่เกิดความเร็วลมนั้นจะแสดงในรูปของกราฟการแจกแจงความถี่แบบไวย์บูลล์ โดยการนำค่า c k ไปแทนในสมการความน่าจะเป็นไวย์บูลล์หรือดูได้จากฐานนิยมในตารางที่ 5.19 ซึ่งในฐานนิยมบ่งบอกว่า เดือนเมษายนนั้นโอกาสที่จะเกิดความเร็วลมมากที่สุดคือที่ 3.4 m/s ส่วนค่าเบี่ยงเบนเดือนเมษาอยู่ที่ 1.172 m/s หมายความว่าความเร็วลมเฉลี่ยจะอยู่ที่ 3.171 m/s บวกลบ 1.172 m/s ส่วนกำลังลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีถือว่าค่อนข้างเหมาะสมกับกังหันลมสูบน้ำชนิดที่ทำการวิจัยครั้งนี้ และช่วงเวลาที่เกิดความเร็วลมสูงนั้นอยู่ในช่วงกลางวันซะส่วนใหญ่และพารามิเตอร์อื่นๆสามารถดูได้จากตารางที่ 5.19

5.1.20 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีหมู่ 3 ตำบลบางเสร็จ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี หมู่ 3 ตำบลบางเสร็จ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.39 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวย์บูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

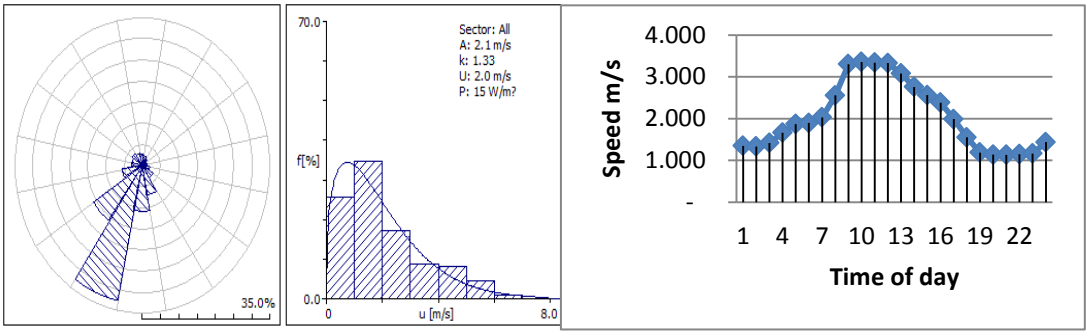


กันยายน 2558

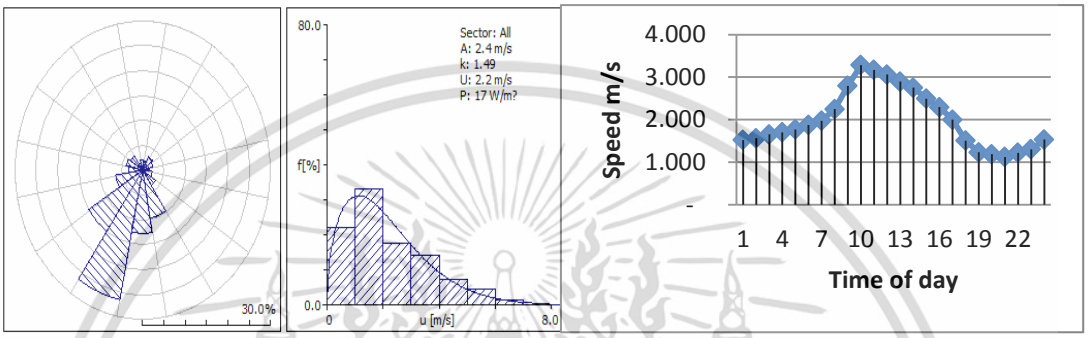


ตุลาคม 2558

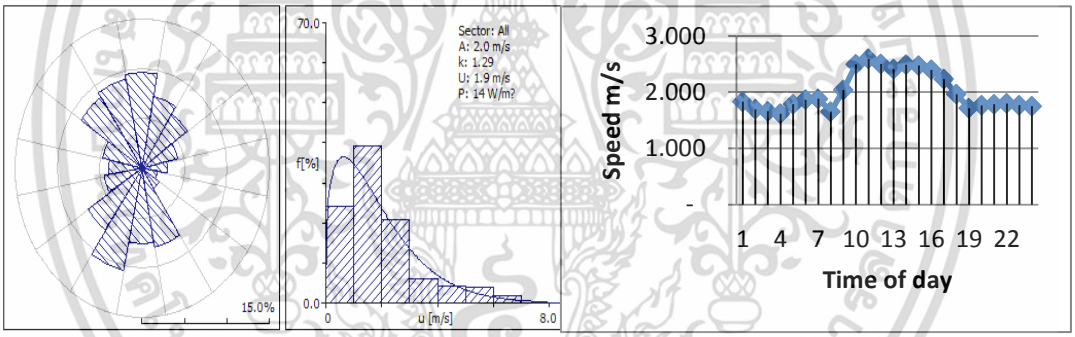
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



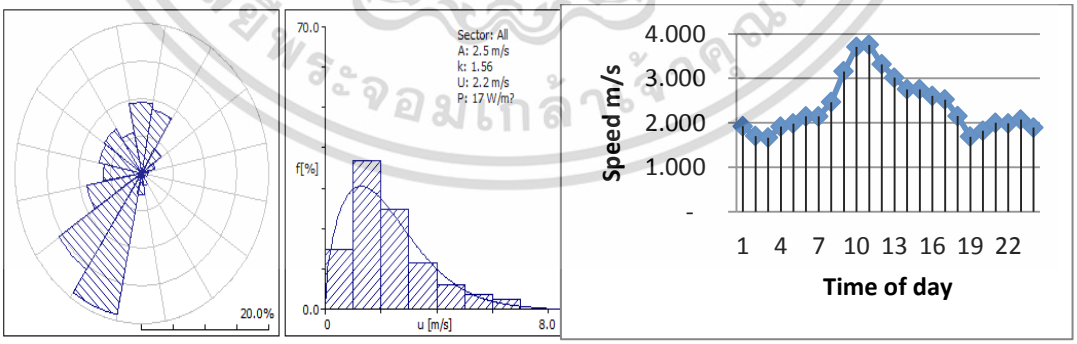
พฤศจิกายน 2558



ธันวาคม 2558

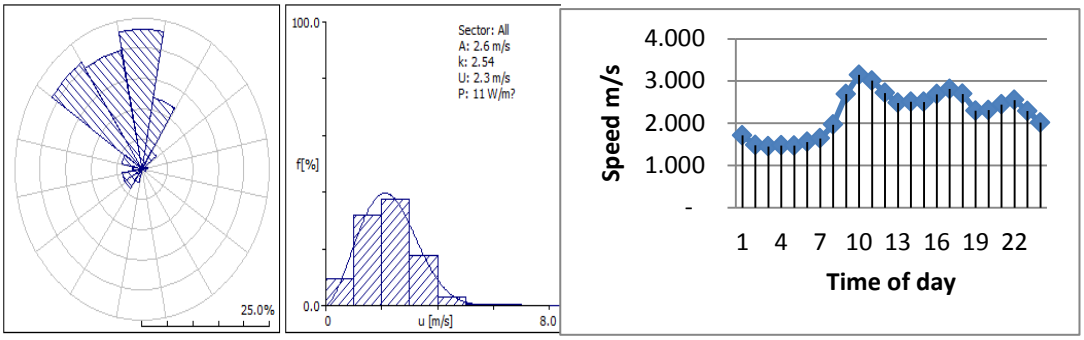


มกราคม 2559

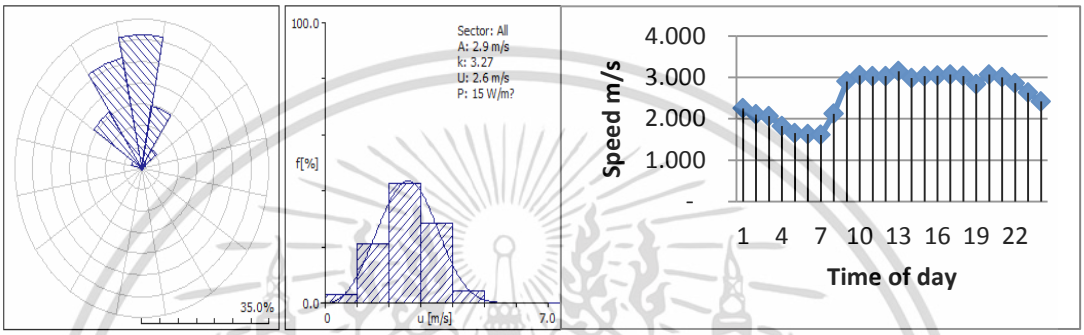


กุมภาพันธ์ 2559

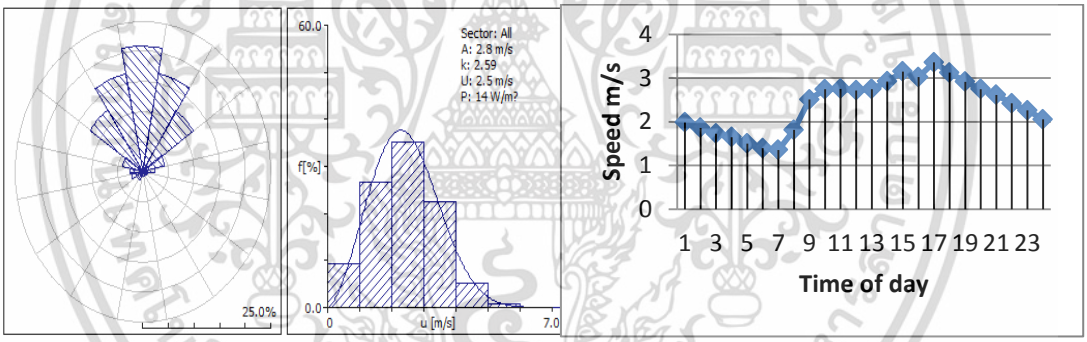
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



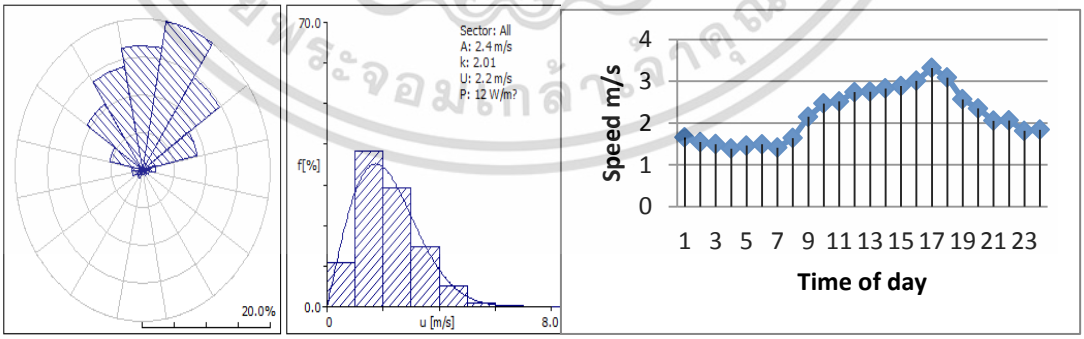
มีนาคม 2559



เมษายน 2559

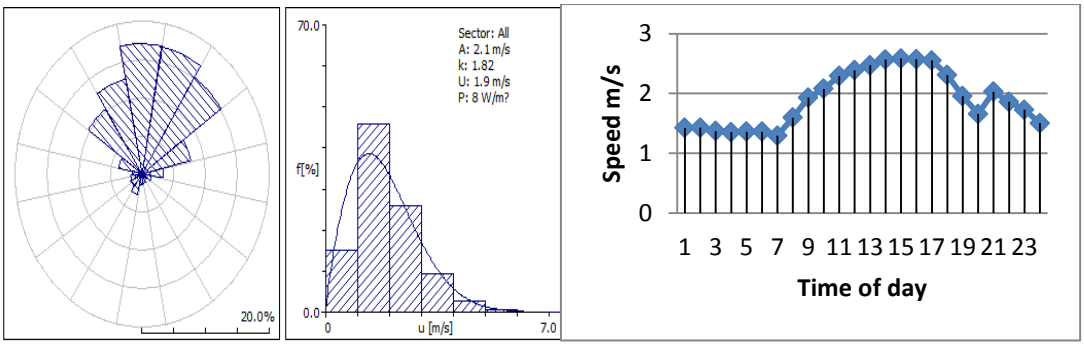


พฤษภาคม 2559

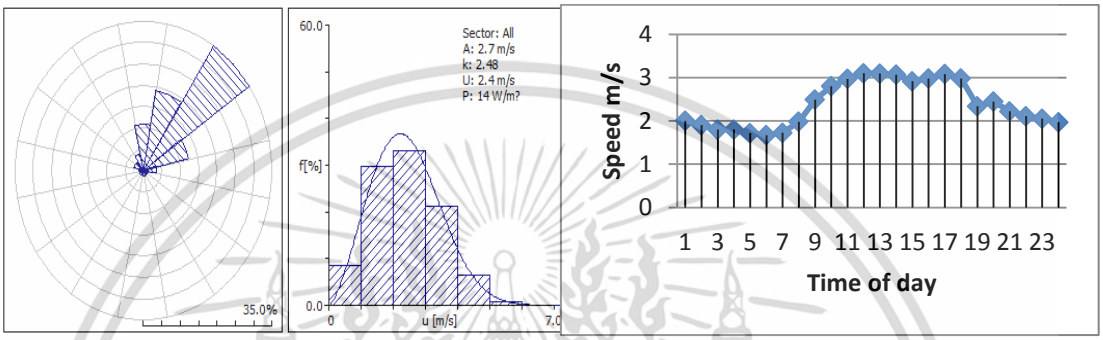


มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

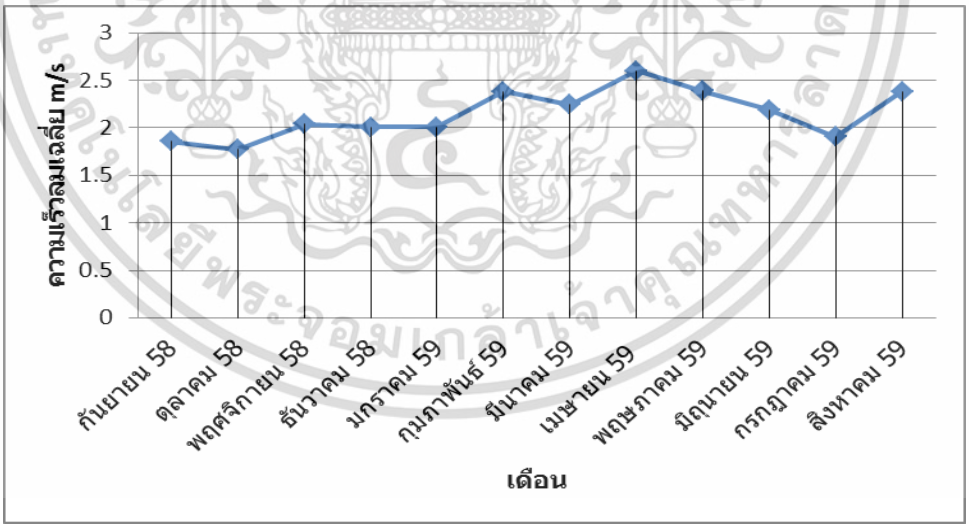


กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.39 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดอ่างทอง



รูปที่ 5.40 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดอ่างทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.20 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดอ่างทอง

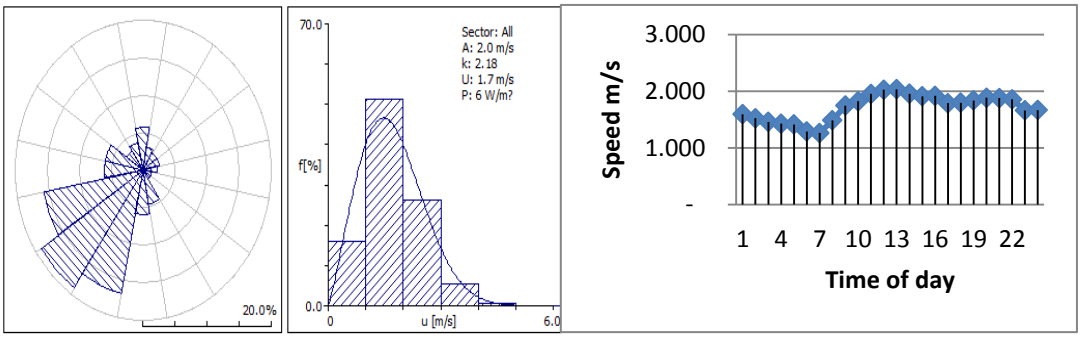
เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_v	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)	ฐานนิยม (m/s)
ก.ย.-15	1.85	0.95	2.1	1.95	8	1.7
ต.ค.-15	1.77	1.02	2.1	1.68	8	1.3
พ.ย.-15	2.04	1.45	2.1	1.33	15	1.3
ธ.ค.-15	2.01	1.39	2.4	1.49	17	1.3
ม.ค.-16	2.05	1.51	2.1	1.29	14	1.3
ก.พ.-16	2.38	1.61	2.5	1.56	17	1.3
มี.ค.-16	2.24	0.97	2.6	2.54	11	2.1
เม.ย.-16	2.59	0.88	2.9	3.27	15	2.5
พ.ค.-16	2.38	1.05	2.8	2.59	14	2.5
มิ.ย.-16	2.18	1.08	2.1	1.82	8	1.7
ก.ค.-16	1.91	0.98	2.7	2.48	14	1.7
ส.ค.-16	2.38	1.05	2.5	2.08	15	2.1

จากรูปที่ 5.39 ถึง รูปที่ 5.40 จะเห็นว่าลมจะพัดมาจากแนวทิศเหนือ เป็นส่วนใหญ่ และจะมีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 2.14 m/s ซึ่งเร็วพอสมควรและส่วนใหญ่ความเร็วลมที่มีความถี่มากสุดจะแสดงเป็นรายเดือนโดยใช้ฐานนิยมบอกในตารางที่ 5.20 ส่วนความเร็วในช่วงรายเดือนแทบจะเท่ากันเกือบทุกเดือนและเดือนที่มีความเร็วมากที่สุดคือเดือนเมษายน 2.59 m/s เนื่องจากอากาศร้อนมีผลต่อกระแสลมที่พัด ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ที่ 0.9 m/s บ่งบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลความเร็วลมว่าไม่แตกต่างไปมากนักจากค่าเฉลี่ย ส่วนช่วงเวลาที่เกิดความเร็วลมสูงจะอยู่ในช่วงเวลากลางวัน และพารามิเตอร์อื่นๆจะแสดงไว้ในตารางที่ 5.20

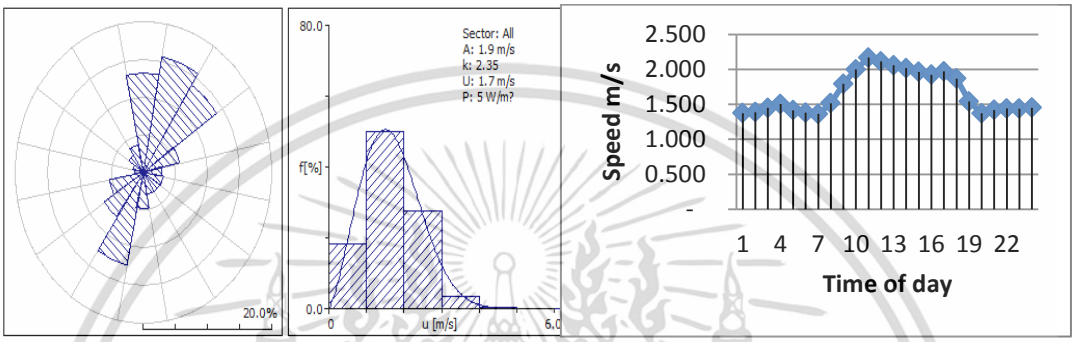
5.1.21 ลักษณะข้อมูลความเร็วจากสถานีวัดลม หมู่ 6 ตำบลหนองขนาด อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี

จากข้อมูลปฐมภูมิของลมที่ได้เก็บมาจากสถานี หมู่ 6 ตำบลหนองขนาด อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี ที่ระดับความสูง 12 เมตรที่ประกอบไปด้วย ความเร็วลมและทิศทางลม จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของกราฟและการแจกแจงข้อมูลเชิงสถิติ รูปที่ 5.41 แสดงตัวอย่างกระจายตัวข้อมูลเชิงสถิติตามแบบจำลองไวบูลล์ของข้อมูลลมในแต่ละเดือนที่ระดับความสูง 12 เมตร โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2559 ตามลำดับ

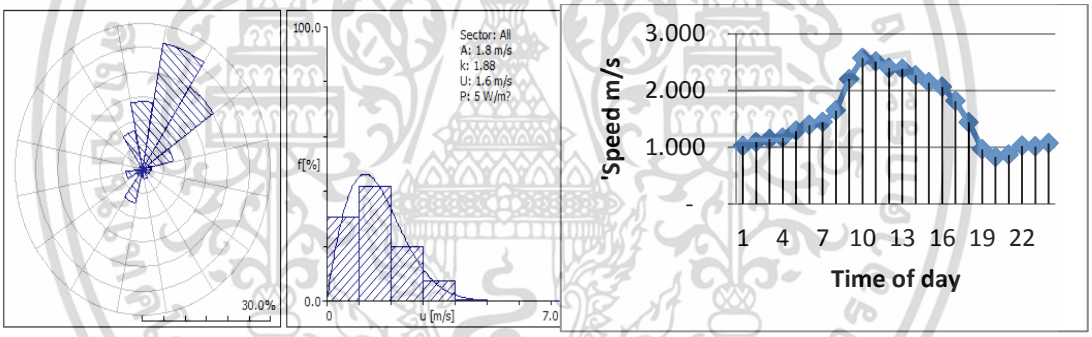
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



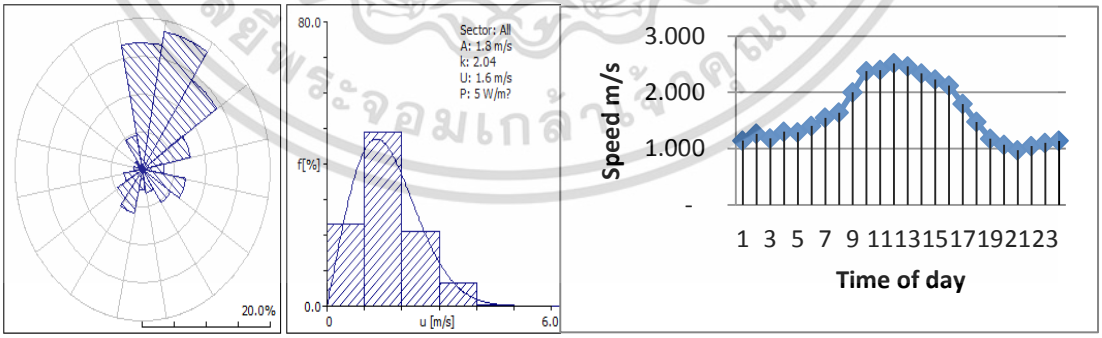
กันยายน 2558



ตุลาคม 2558

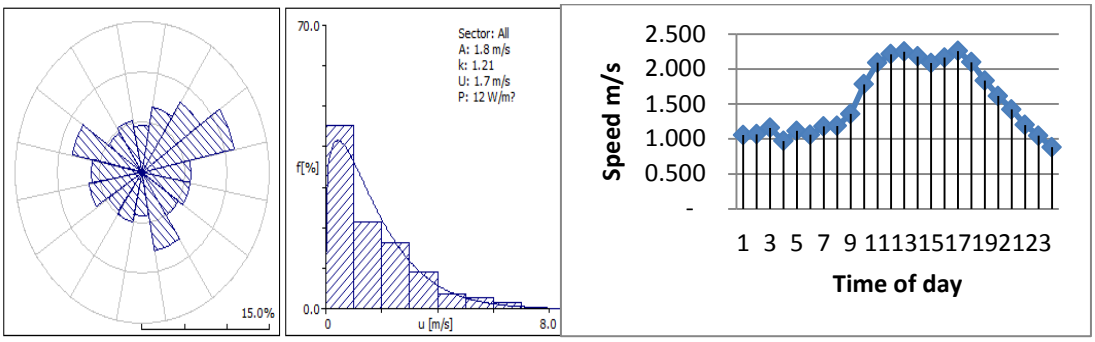


พฤศจิกายน 2558

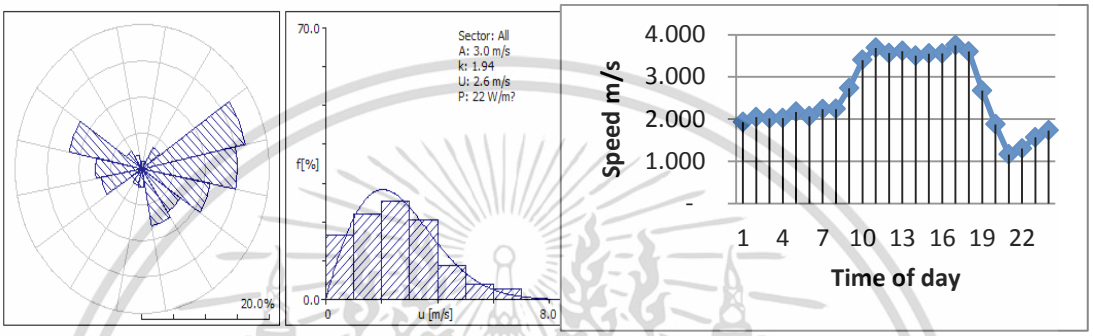


ธันวาคม 2558

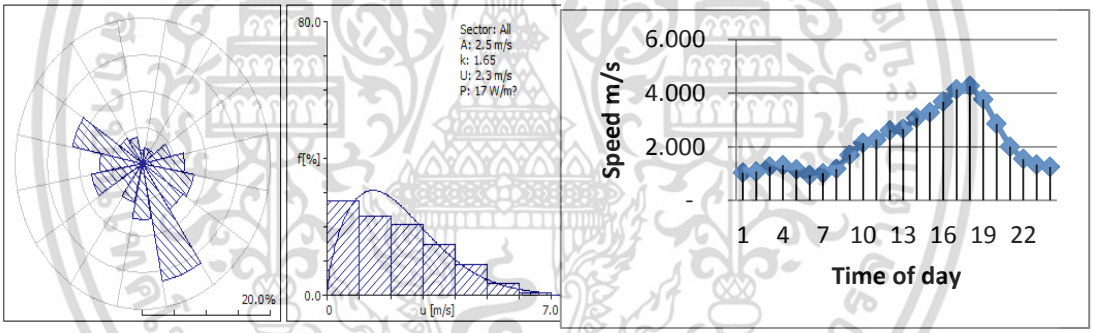
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



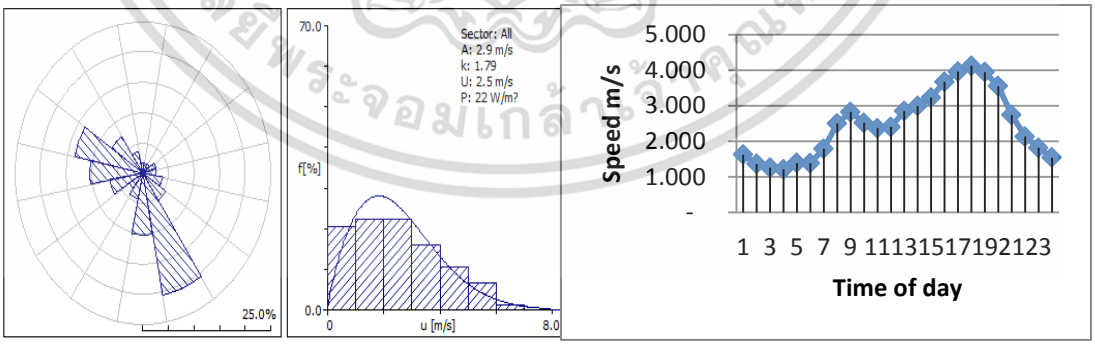
มกราคม 2559



กุมภาพันธ์ 2559

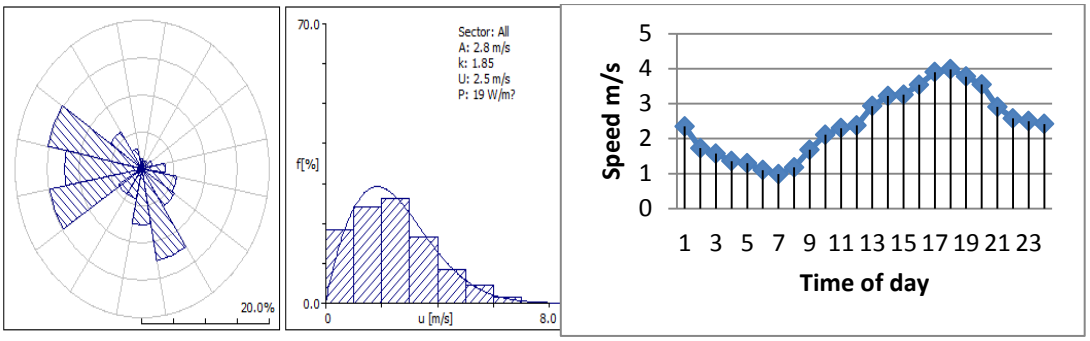


มีนาคม 2559

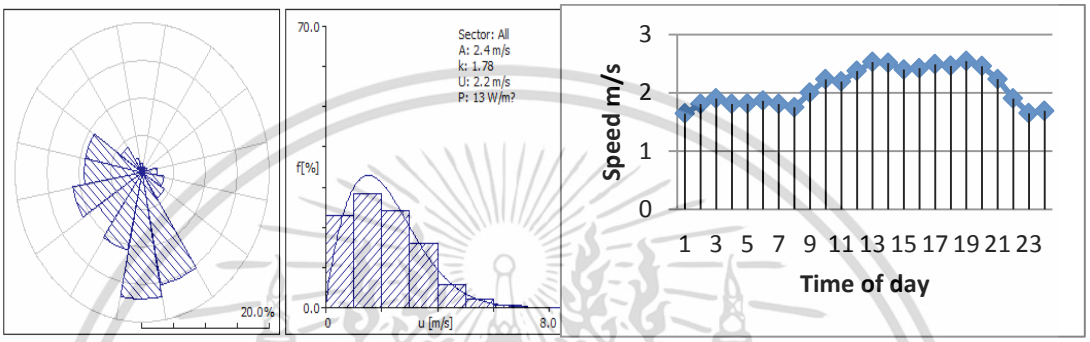


เมษายน 2559

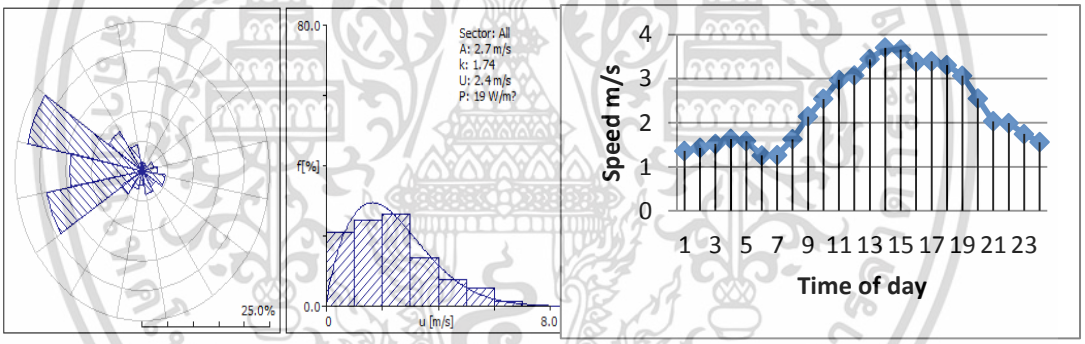
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



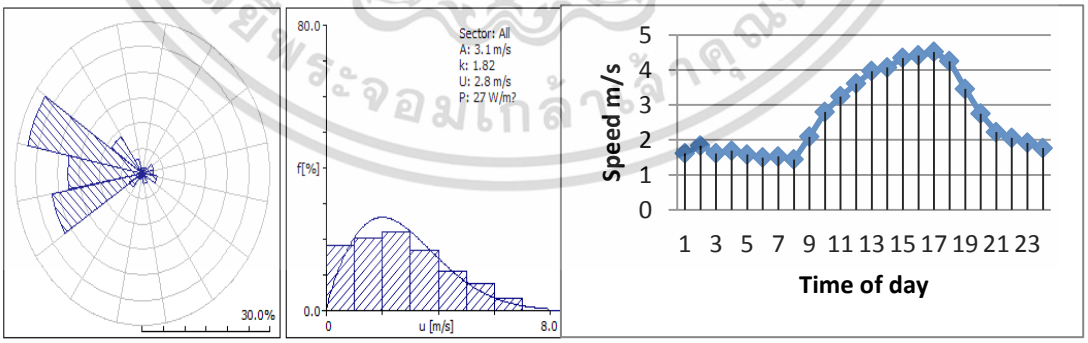
พฤษภาคม 2559



มิถุนายน 2559



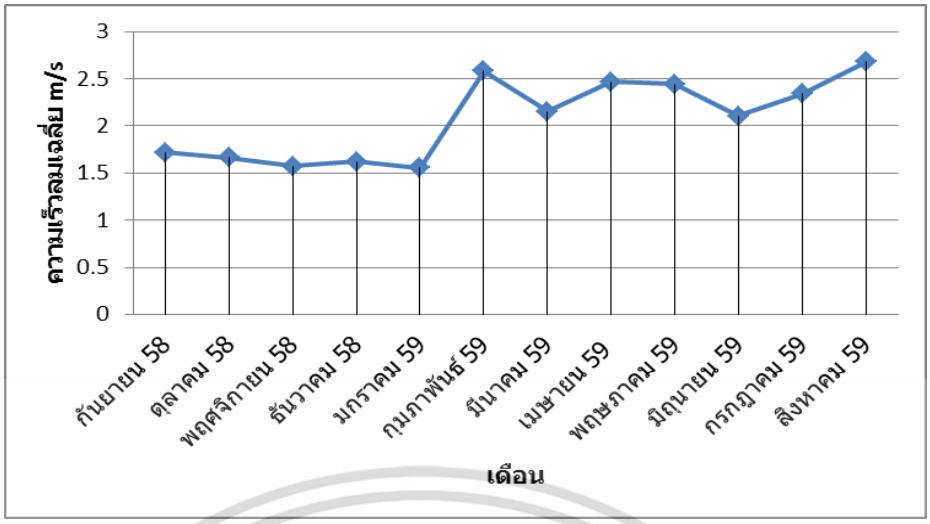
กรกฎาคม 2559



สิงหาคม 2559

รูปที่ 5.41 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือน ที่ระดับความสูง 12 เมตร สถานีวัดลม จังหวัดกาญจนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 การกระจายของความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ สถานีวัดลม จังหวัดกาญจนบุรี

ตารางที่ 5.21 ค่าเชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆของข้อมูลความเร็วลมสถานีวัดลม สถานี จังหวัดกาญจนบุรี

เดือน	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_v	พารามิเตอร์ C (m/s)	พารามิเตอร์ k	กำลังลม (w/m^2)	ฐานนิยม (m/s)
ก.ย.-15	1.71	0.73	2	2.18	6	1.6
ต.ค.-15	1.66	0.73	1.9	2.35	5	1.6
พ.ย.-15	1.57	0.88	1.8	1.88	5	1.1
ธ.ค.-15	1.62	0.81	1.8	2.04	5	0.4
ม.ค.-16	1.55	1.57	1.8	1.21	12	0.9
ก.พ.-16	2.58	1.61	3.1	1.94	22	1.2
มี.ค.-16	2.15	1.53	2.5	1.65	17	0.9
เม.ย.-16	2.46	1.65	2.9	1.79	22	1.4
พ.ค.-16	2.43	1.59	2.8	1.85	19	1.3
มิ.ย.-16	2.11	1.38	2.4	1.78	13	1.5
ก.ค.-16	2.34	1.59	2.7	1.74	19	1.4
ส.ค.-16	2.67	1.76	3.1	1.82	27	1.3

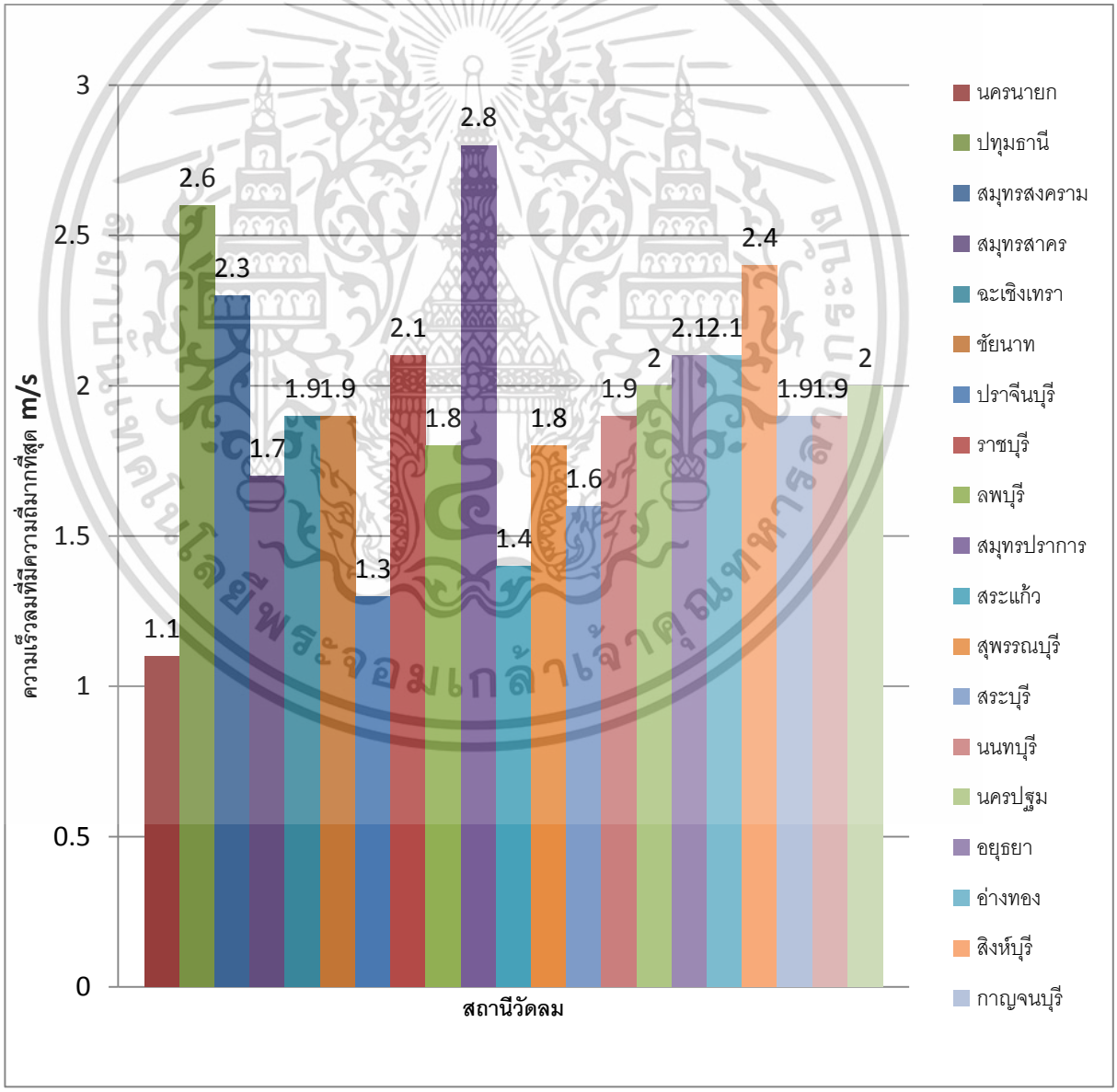
จากรูปที่ 5.41 ถึง 5.42 นั้นทำให้เราทราบถึงความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 2.07 m/s โดยเดือนกุมภาพันธ์นั้นจะเป็นเดือนที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดคืออยู่ที่ 2.58 m/s ส่วนความถี่ที่เกิดความเร็วลมนั้นจะแสดงในรูปของกราฟการแจกแจงความถี่แบบไวย์บูลล์ โดยการนำค่า c k ไปแทนในสมการความน่าจะเป็นไวย์บูลล์หรือดูได้จากฐานนิยมในตารางที่ 5.21 ซึ่งในฐานนิยมบ่งบอกว่า เดือนตุลาคมนั้นโอกาสที่จะเกิดความเร็วลมมากที่สุดถี่ที่สุดคือที่ 1.65 m/s ส่วนค่าเบี่ยงเบนตลอดทั้งช่วงอยู่ที่ 0.7-1.172 m/s หมายความว่าความเร็วลมเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงในกรอบ บวกลบ 0.7-1.172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m/s ส่วนกำลังลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีถือว่าค่อนข้างเหมาะสมกับกังหันลมสูบน้ำชนิดอยู่ที่เกิน 20วัตต์ต่อตารางเมตร และช่วงเวลาที่เกิดความเร็วลมสูงนั้นอยู่ในช่วงกลางวันซะส่วนใหญ่และพารามิเตอร์อื่นๆ สามารถดูได้จากตารางที่ 5.21

5.1.22 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ย ใน 1 ปี

ต่อมาจะเป็นการเปรียบเทียบปริมาณความเร็วลมเฉลี่ยรายปี ทั้ง 21 สถานีในรูปของแผนภูมิแท่ง แกนตั้งจะบอกความเร็วลมเฉลี่ย แกนนอนจะบอกสถานีวัดลมทั้ง 21 สถานี ซึ่งปริมาณความเร็วสูงที่สุดก็บ่งบอกถึงว่าบริเวณนั้นมีกำลังลมเฉลี่ยต่อพื้นที่สูงเช่นกัน (ความเร็วลมจะแปรผันตรงกับกำลังลมเฉลี่ย) ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 5.43

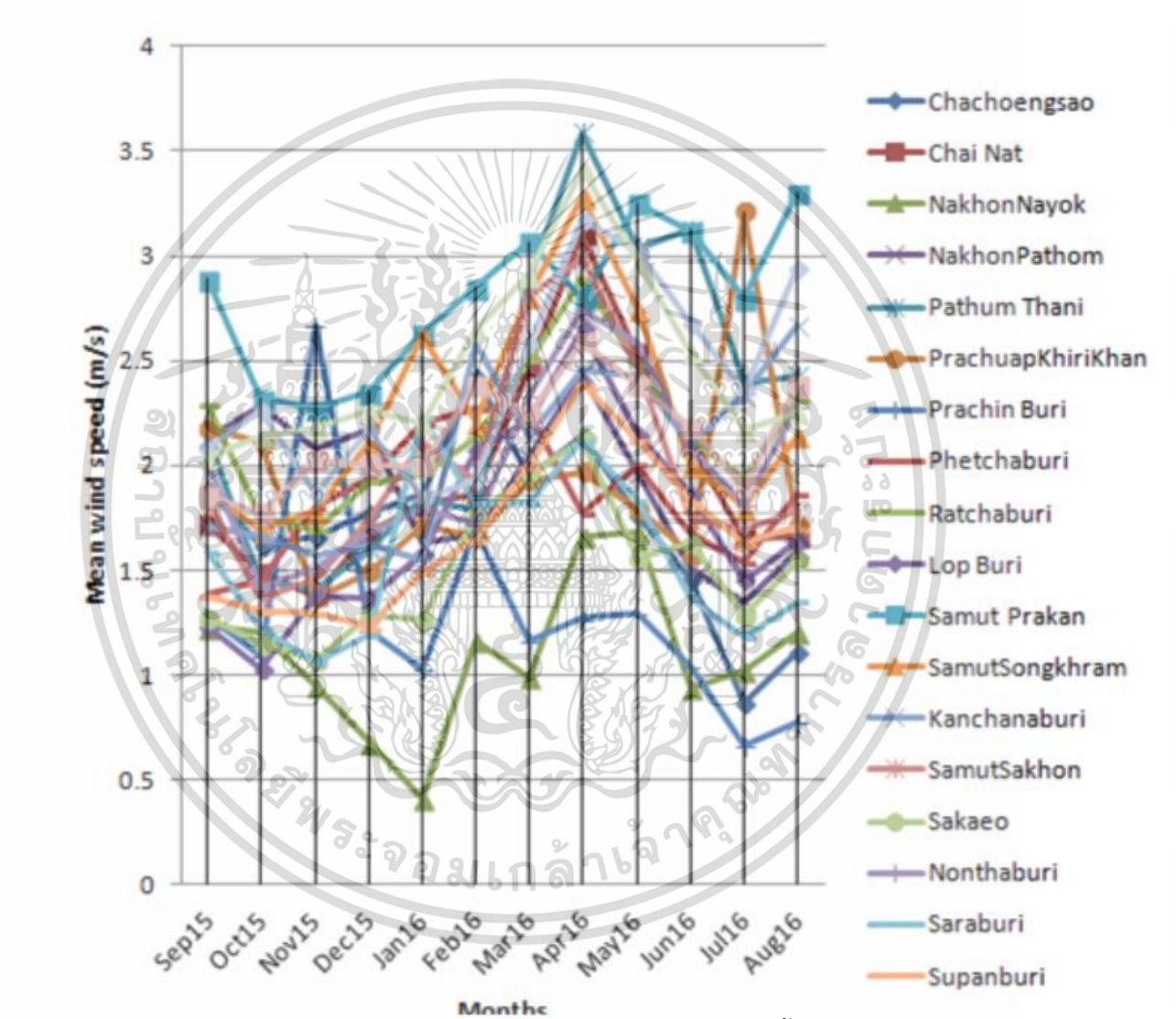


รูปที่ 5.43 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยที่มีความถี่สูงสุด ทั้ง 21 สถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.23 การเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน

จากรูปที่ 5.44 จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนความเร็วลมแต่ละเดือน โดยที่แกนตั้งเป็นอัตราความเร็วลมเฉลี่ยที่มีความถี่มากที่สุด และ แกนนอนคือรายเดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน กันยายน 2558 ถึงเดือนสิงหาคม 2559 ทั้งหมด 21 สถานี เพื่อดูแนวโน้มว่าช่วงเดือนไหนมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด และเมื่อสังเกตที่รูป 5.6 จะพบว่าในเดือน มีนาคม 2559 – มิถุนายน 2559 จะมีความเร็วลมสูงพบบ่อยทั้ง 21 สถานี

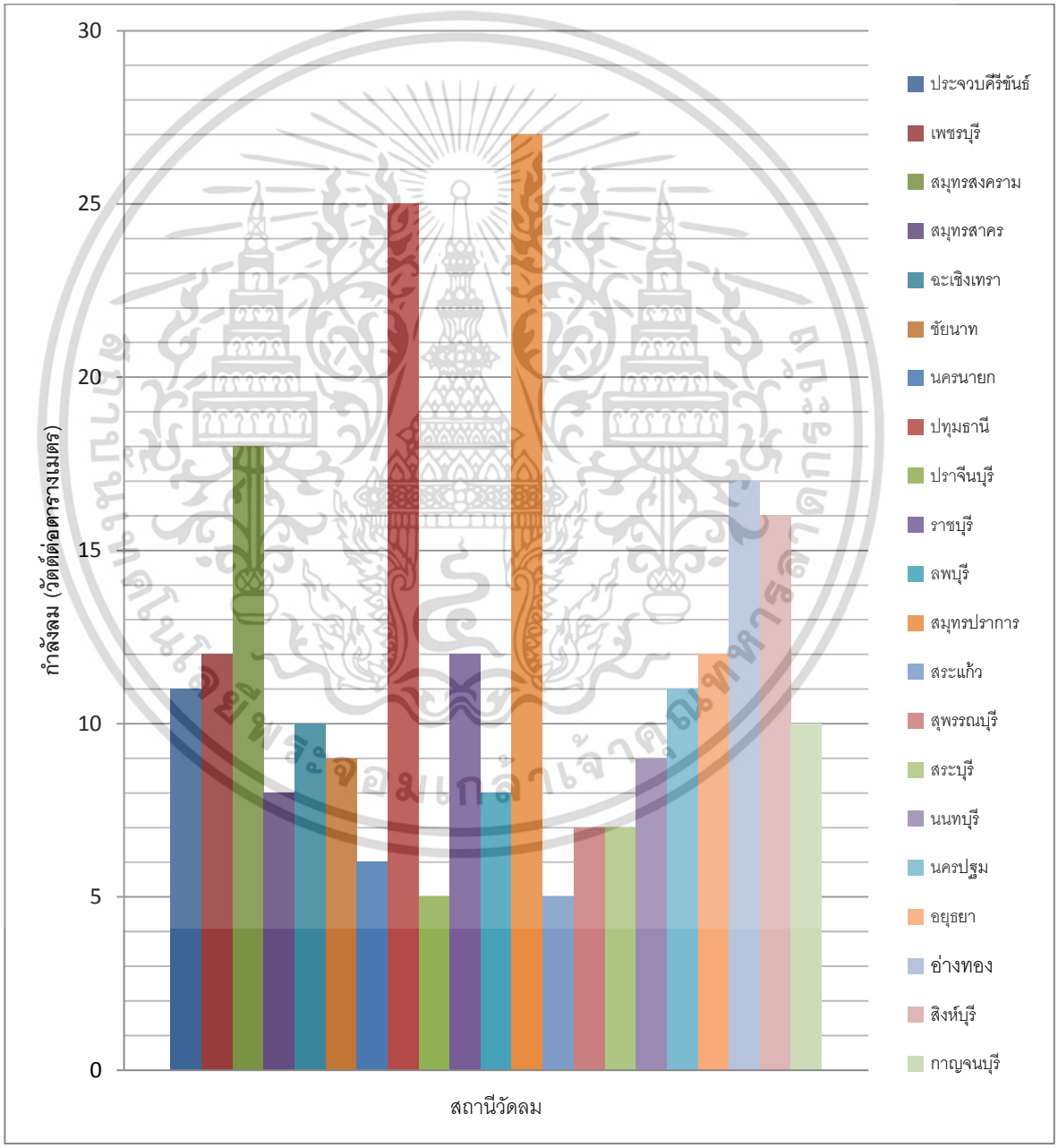


รูปที่ 5.44 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลม รายเดือนเฉลี่ย ทั้ง 21 สถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.24 ความหนาแน่นกำลังลม

การพิจารณากำลังลมที่ได้จะพิจารณาที่ระดับความสูง 12 เมตรจากพื้นดิน เนื่องจากเป็นความสูงของเสาวัดลม เมื่อพิจารณากำลังลมจากการแจกแจงแบบไวย์บูลล์ ทั้ง 21 สถานี ตลอดทั้งปีจะพบว่าสถานีที่จังหวัดสมุทรปราการนั้นสูงสุด อยู่ที่ 27 วัตต์ต่อตารางเมตรและมีค่ากำลังลมสูงสุดอยู่ในช่วงเดือน มีนาคม ถึงเดือน พฤษภาคมและต่ำสุดอยู่ที่สถานีจังหวัดปราจีนบุรีและสระแก้ว อยู่ที่ 5 วัตต์ต่อตารางเมตร เนื่องจากกำลังลมจะแปรผันตรงกับความเร็วลมเฉลี่ย ถ้ามีความเร็วลมสูงกำลังลมก็จะสูงเช่นกัน รูปที่ 5.45 แสดงแผนภูมิกำลังลมเฉลี่ยรายปีแต่ละสถานี



รูปที่ 5.45 กำลังลมเฉลี่ยรายปีแต่ละสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

กังหันลมและการทดสอบสมรรถนะกังหันลมสูบน้ำ

6.1 คุณลักษณะของกังหันลมสูบน้ำและปั๊มน้ำ

กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบนั้น เป็นกังหันลมแบบสูบชักของบริษัท อุสาพัฒนาเศรษฐกิจ จำกัด ชนิดหลายใบ แสดงดังรูปที่ 6.1 กังหันลมชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้ในการอุปโภค ใช้ในในพื้นที่ภาคการเกษตร และใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้ในระยะที่สูงกว่าแบบระหัดวิดน้ำ เพื่อความเข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้เป็นโลหะทั้งหมดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 5 เมตร จำนวนใบพัด 30 ใบ ติดตั้งแกนใบพัดสูงจากระดับพื้นดิน 12 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบเฟืองขับเพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวดิ่งเพื่อดึงก้านชักลูกสูบขึ้นลงสำหรับปั๊มน้ำหรือตัวกระบอกสูบนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว มีระยะชัก 7 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 2.5เมตร/วินาที ขึ้นไปและสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 1.5-2เมตร/วินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมได้รอบตัวโดยมีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุมทิศทางการหมุนของใบกังหันลมตามทิศทางความเร็วลม มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนในกรณีที่ลมแรงเกินกำหนด

รายละเอียดของกังหันลมสูบน้ำที่จะนำไปติดตั้งครั้งนี้จะมีโครงสร้างกังหันลม(ขา) มี 3 เสา ทำด้วยเหล็กฉาก ถอดแยกส่วนได้ หัวกังหันมีทั้งแบบเฟืองและแบบข้อเหวี่ยง ใบพัดเป็น Galvanize กระบอกสูบน้ำ ทำจากทองเหลือง(ขนาด 4 นิ้ว และขนาด 6 นิ้ว) ส่วนระยะการดูดและส่งน้ำ ระยะห่างระหว่างกระบอกสูบกับแหล่งน้ำไม่ควรห่างกันเกิน 6 เมตร หมายถึงกังหันควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำ ระยะส่งน้ำแนวราบ 1200 เมตร ระยะส่งน้ำแนวสูง ไม่เกิน 25 เมตร เนื่องจากกังหันลมจะทำงานตลอด 24 ชม. ควรมีระบบน้ำล้น อายุการใช้งาน10ปีขึ้นไป ตามสภาพการดูแลรักษา(ปีละครั้ง)มีอะไหล่ทุกชิ้น ผลิตในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.1 กังหันลมแบบสูบชักชนิดหลายใบ

ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ประกอบด้วย

1. ใบพัด ทำจากแผ่นสังกะสีชนิดหนาอย่างดี ไม่เป็นสนิมทนทานต่อกำลังลม ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมไปเป็นพลังงานกลผ่านระบบเฟืองทดและส่งต่อไปยังเพลาก้านสูบสำหรับสูบชักน้ำ

2. ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลาประธานหรือเพลาหลักทำด้วยเหล็กสแตนเลสที่มีความแข็งเหนียวทนต่อแรงบิดสูง ชุดตัวเรือนเพลาประธานเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่อง ภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบ เฟืองขับ เพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวดิ่งเพื่อดึงก้านชักขึ้นลง ใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นในห้องเครื่อง

3. ชุดแพนหางเสือ ประกอบไปด้วยใบแพนหางเสือทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง และโซ่ล็อคแพนหางเสือซึ่งทำหน้าที่ล็อคแพนหางเสือให้พับขนานกับใบพัดเมื่อได้รับแรงลมที่ความเร็วลมเกิน 8 เมตร/วินาที และส่ายหนีแรงปะทะของแรงลม

4. โครงเสา ทำด้วยเหล็กฉากประกอบเป็นโครงถัก (Truss Structure) ความสูงของกังหันลมสูบน้ำมีความสำคัญอย่างมาก ในการทดลองใช้ความสูงเสา12เมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับกังหันลมสูบน้ำชนิดนี้

5. ก้านชัก ทำด้วยเหล็กเพลากลมตัน รับแรงชักขึ้นลงในแนวดิ่งจากเฟืองขับในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปั้มอัดกระบอกสูบน้ำ และถูกบังคับให้ชักขึ้นลงได้ในแนวดิ่งด้วยตัวประคองก้านชัก (Slip Control) ที่อยู่กึ่งกลางโครงเสาในแต่ละช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กระบอกสูบน้ำ ลูกสูบของกระบอกสูบน้ำวัสดุส่วนใหญ่เป็นทองเหลืองหรือสแตนเลสเพื่อให้มีความคงทนต่อกรดและด่าง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว มีระยะชัก 7 นิ้ว ใช้สูบน้ำได้ทั้งจากบ่อบาดาลและแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ

7.ท่อน้ำ ซึ่งประกอบด้วยท่อด้านดูด 2 นิ้ว ต่อระหว่างปั๊มน้ำกับแหล่งน้ำที่จะสูบและติดฟุตวาล์วกันน้ำไหลกลับ ท่อด้านส่งขนาด 1.5 นิ้ว ต่อระหว่างปั๊มน้ำกับถังกักเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำที่ดูดได้ไปไว้ที่ถังเก็บน้ำ

8. ถังเก็บน้ำ ส่วนใหญ่เป็นถังสแตนเลสและถังพลาสติกเพราะทนทานต่อสภาพแวดล้อม ใช้เก็บน้ำที่สูบได้จากกังหันลม เพื่อให้มีปริมาณน้ำใช้อย่างเพียงพอ ขนาดถังนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ที่บริเวณปากถังนั้นจะมีท่อบายพาส (By part) เพื่อระบายน้ำกลับไปยังแหล่งสูบน้ำเมื่อน้ำเต็มถังหรือเกินความต้องการ

6.2 การติดตั้งกังหันลมสูบน้ำ

กระบวนการในการติดตั้งกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก มีกระบวนการติดตั้งดังนี้

การเลือกและเตรียมสถานที่ สำหรับการติดตั้งกังหันลม ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากติดตั้งไปแล้วจะทำการย้ายหรือเคลื่อนที่นั้นค่อนข้างที่จะลำบากเนื่องจากต้องใช้เครนในการถอดประกอบ หลักสำคัญในการเลือกพื้นที่ที่ติดตั้งกังหันลมนั้น จะต้องเป็นพื้นที่โปร่ง นั่นหมายความว่าพื้นที่รอบๆจะต้องไม่มีสิ่งขีดขวางความเร็วลม ซึ่งจะทำให้กังหันลมสามารถรับแรงลมได้ทุกทิศทาง และถ้าอยู่ใกล้แหล่งสูบน้ำด้วยยิ่งดี เพราะจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานจากการสูบน้ำด้วย ซึ่งหลังจากได้พื้นที่สำหรับติดตั้งกังหันลมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การวางเสาเข็มสำหรับยึดเสากังหันแสดงดังรูปที่ 6.2 มีจำนวน 3 ต้น แต่ละต้นมีความลึก 1 m ฝังเกลียวสกรูไว้สำหรับยึดเสากังหันตรงกลางเป็นฐานสำหรับยึดกระบอกสูบน้ำมีความลึก 0.7 m และฐานสำหรับยึดเสาของถังเก็บน้ำดังรูปที่ 6.3 มีความลึก 0.7 m เมื่อเตรียมฐานทั้งสองเสร็จแล้ว รอให้ปูนซีเมนต์แห้งประมาณ 2 วัน จากนั้นเริ่มทำการประกอบโครงสร้างส่วนต่างๆ โดยจะทำการประกอบจากด้านล่างทั้งหมดจากนั้นยกขึ้นประกอบเข้าด้วยกันโดยใช้เครนยกรูปที่ 6.4 แสดงชิ้นส่วนประกอบของเสาโครงสร้างกังหันลมตัวกังหันลมและเสาโครงสร้างถังเก็บน้ำที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 ตำแหน่งการวางฐานเสาเข็มสำหรับยึดเสากังหัน

รูปที่ 6.3 ฐานสำหรับยึดเสาของถังเก็บน้ำ

รูปที่ 6.4 แสดงส่วนประกอบของเสาโครงสร้างกังหันลมและถังเก็บน้ำที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

6.3 การทดสอบและผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำ

ก่อนทำการติดตั้งและทดสอบกังหันลมนั้น ได้ทำการสำรวจพื้นในภาคกลางทั้งหมด 21 จังหวัด เพื่อวัดความเร็วลม ซึ่งเน้นไปทางพื้นที่ภาคการเกษตร จากนั้นได้ทำการวัดความเร็วลมในพื้นที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัดนี้เป็นเวลา 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2559 เพื่อเป็นฐานข้อมูล จากนั้นนำความเร็วลมที่วัดได้นี้มาวิเคราะห์ร่วมกับสมรรถนะการสูบน้ำของกังหันลมตัวนี้ เพื่อที่จะสามารถประมาณ ปริมาณน้ำรายเดือนและรายปีที่สูบได้จากกังหันลมตัวนี้ในแต่ละจังหวัดได้ เมื่อมีข้อมูลความเร็วลมแล้ว จากนั้น ทำการติดตั้งกังหันลมโดยเลือกพื้นที่มาหนึ่งพื้นที่ สำหรับการทดลองนี้ได้เลือกพื้นที่ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะกังหันลม ซึ่งระหว่างการทดสอบศักยภาพของกังหันลมนั้นก็ได้มีการวัดความเร็วลมควบคู่ไปด้วยส่วนตัวกังหันลมนั้นได้มีการติดตั้ง Flow meter ไว้ที่ท่อส่งน้ำระหว่างกังหันลมและถังเก็บน้ำดังรูปที่ 6.5 เพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้จากกังหันลม ซึ่งข้อมูลที่เก็บทั้งหมดประกอบด้วย ความเร็วลม ความเร็วรอบของลูกสูบ ความเร็วรอบของกังหันลม และอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ซึ่งเมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันจะได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของกังหันลมสูบน้ำที่ช่วงความเร็วลมต่างๆ ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติที่ช่วงความเร็วลมต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมและปริมาณน้ำที่กังหันชนิดนี้สามารถสูบได้และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมกับตัวแปรอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 – 6.8 เพื่อที่จะสามารถนำความสัมพันธ์เหล่านี้ มาวิเคราะห์ที่จังหวัดอื่นๆ ได้โดยใช้ข้อมูลความเร็วของแต่ละพื้นที่ที่เก็บข้อมูลได้ก่อนหน้านี้

ตารางที่ 6.1ผลการทดสอบสมรรถนะของกังหันลมสูบน้ำที่ช่วงความเร็วลมต่างๆที่จังหวัดพระนครศรี-อยุธยา

No.	Interval Wind speed (m/s)	Number of Data set	Wind Speed (m/s)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)	Flow Rate (l/min)	Overall efficiency (%)
1	1.5-2.0	68	1.69	3.14	7.84	5.96	5.28
2	2.0-2.5	80	2.20	4.04	10.09	7.67	3.08
3	2.5-3.0	49	2.64	5.47	13.67	10.39	2.41
4	3.0-3.5	18	3.24	8.81	22.02	16.74	2.11
5	3.5-4.0	27	3.71	10.38	25.95	19.72	1.65
6	4.0-4.5	22	4.19	12.26	30.65	23.29	1.35
7	4.5-5.0	14	4.65	16.74	41.85	31.81	1.34
8	5.0-5.5	6	5.25	20.39	50.96	38.73	1.14
9	5.5-6.0	4	5.63	23.53	58.82	44.70	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.5 Flow meter ที่ติดตั้งไว้ที่ท่อส่งน้ำระหว่างกังหันลมและถังเก็บน้ำ

6.3.1 ผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำ

จากผลและข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะสมารถสรุปผลออกเป็นตัวแปร 4 ตัว

Pumping Discharge จากรูปที่ 6.6 จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลด้านจ่าย (Pumping Discharge) กับความเร็วลม โดยการนำผลการทดลองจากตารางที่ 6.1 มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลขาออก กับ ความเร็วลม เมื่อพล็อตเสร็จก็จะหาสมการจากกราฟโดยใช้วิธีหาแบบสมการเส้นตรงจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลขาออกกับความเร็วลมในสมการที่ 6.1

$$Q=10.005V-14.842 \quad (6.1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลด้านจ่ายของกังหันลมสูบน้ำชนิดนี้

V คือ ความเร็วลมในช่วงที่พิจารณา

Pump Speed (ความเร็วรอบของปั๊มสูบน้ำ) ในรูปที่ 6.7 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของปั๊มสูบน้ำกับความเร็วลมซึ่งจะนำผลที่ได้จากการทดลองจากตารางที่ 6.1 มาทำการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์และสมการ ระหว่าง ความเร็วรอบของปั๊มน้ำ กับ ความเร็วลม ซึ่งมาทำการพล็อตได้ในรูปที่ 6.7 ก็จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้โดยใช้สมการเส้นตรงในการหา จะได้เป็นสมการที่ 6.2

$$PS = 5.2657V-7.814 \quad (6.2)$$

โดยที่ PS คือ ความเร็วรอบของปั๊มสูบน้ำชนิดนี้

V คือ ความเร็วลมในช่วงที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Windmill Speed (ความเร็วรอบของกังหัน) ในรูปที่ 6.8 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของกังหันกับความเร็วลม โดยการนำข้อมูลจากตารางที่ 6.1 มาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์และสมการระหว่างความเร็วรอบของกังหัน กับ ความเร็วลม ซึ่งจากกราฟจะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของกังหันลมสูบน้ำชนิดนี้ได้โดยใช้สมการเส้นตรงในการหา ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ในสมการที่ 6.3

$$WMS = 13.102V\text{-}19.248 \tag{6.3}$$

โดยที่ WMS คือ Windmill Speed (ความเร็วรอบของกังหัน) รุ่นที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

V คือ ความเร็วลมในช่วงที่พิจารณา

Overall Efficiency ในการหาประสิทธิภาพโดยรวมนั้นจะสามารถหาได้โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง Water Power กับ Wind Power ซึ่ง Water Power สามารถหาได้จากสมการ 6.4

Water Power = กำลังที่ปมจายใหของเหลว (KW)

$$P = \frac{\rho_w g\ TDH\ Q}{1000} \tag{6.4}$$

เมื่อ ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ =1000 kg/m^3

g คือ ความเร่งจากโลก = 9.81 m/s^2

TDH คือ เฮดของปั๊ม = 3 m

Q คือ อัตราการไหล

$$\text{Wind Power (P)} = \frac{1}{2}\rho AV^3 \tag{6.5}$$

เมื่อ P คือ กำลังลมทั้งหมด (W)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg / m^3)

V คือ ความเร็วลม (m/s)

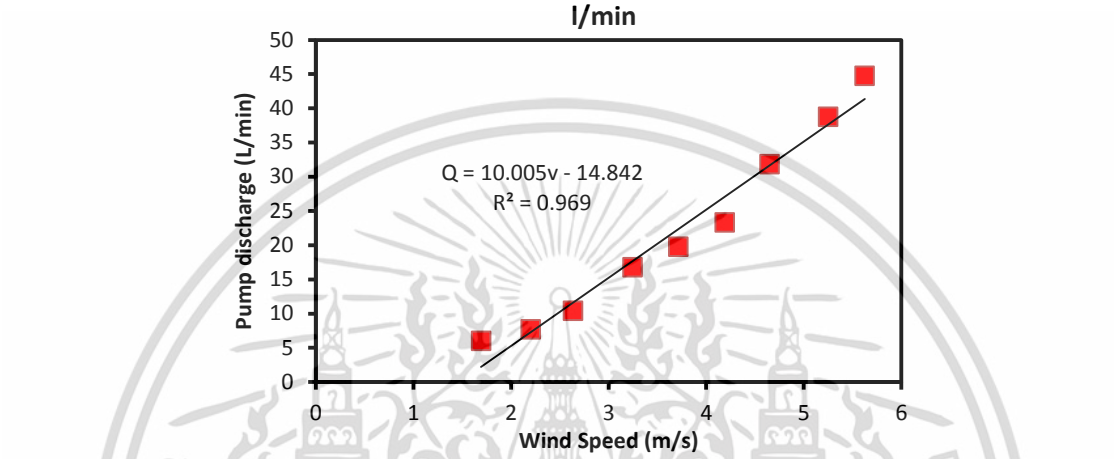
A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางลม (m^2)

ดังนั้นประสิทธิภาพโดยรวมจะสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่าง สมการ 6.4 และ 6.5 ก็จะได้เป็น

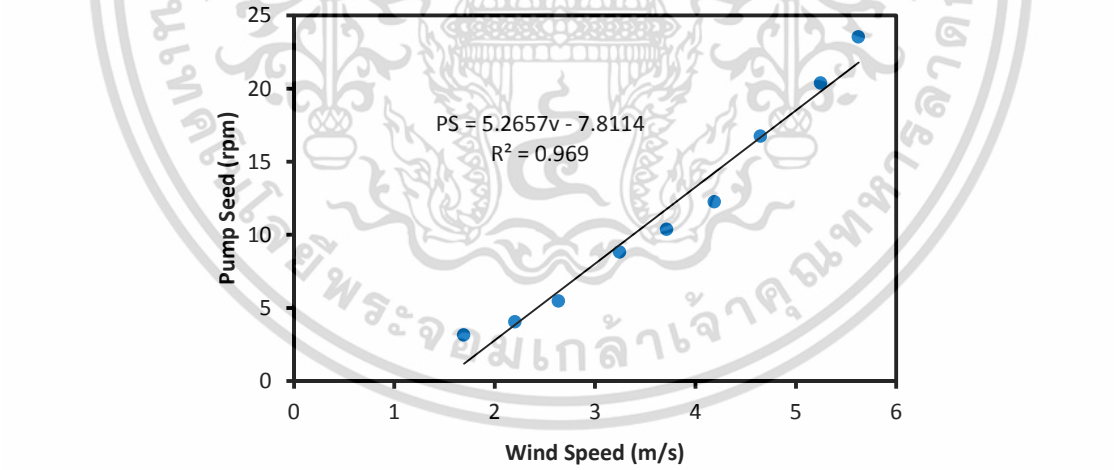
$$\text{Overall effieciency} = \frac{\rho_w g TDHQ*10^{-3}}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \tag{6.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.9 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพโดยรวมกับค่าความเร็วลม ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของกังหันลมสูบน้ำนั้นจะสูงที่สุดถึง 5.28 % ที่ความเร็วลม 1.69 *m/s* และเมื่อดูจากกราฟรูปที่ 6.9 จะพบว่าค่าประสิทธิภาพโดยรวมจะลดลงเมื่อความเร็วของลมเพิ่มขึ้นซึ่งกังหันลมจะหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ เมื่อมีความเร็วลมสูงหรือเกิดพายุ

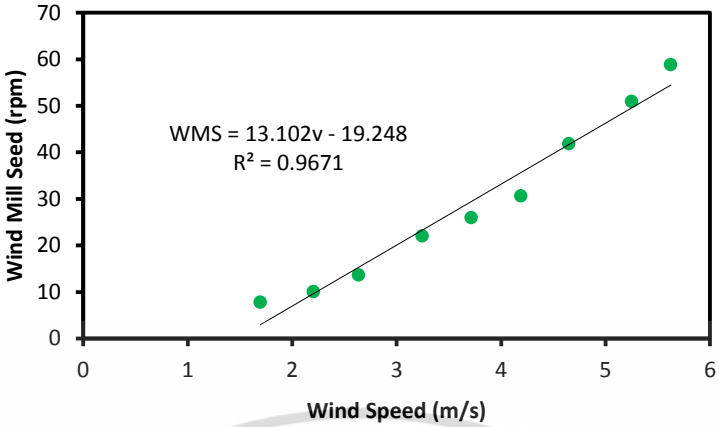


รูปที่ 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและอัตราการไหลของน้ำที่กังหันลมสูบได้

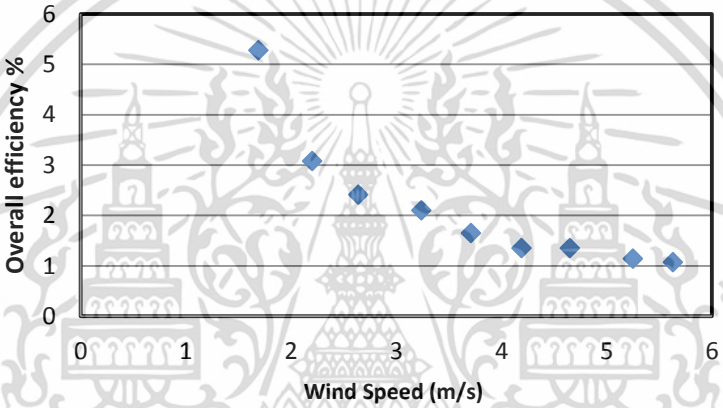


รูปที่ 6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบของปั๊มสูบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบของกังหันลม



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและประสิทธิภาพโดยรวม

ผลการทดสอบและการประมาณปริมาณน้ำที่สามารถสูบได้ของกังหันลมสูบน้ำชนิดนี้โดยหาความสัมพันธ์และแทนตัวแปรความเร็วลมที่ได้จากการวัดศักยภาพแต่ละสถานีลงไปในสมการเส้นตรงในรูปที่ 6.6-6.8 ทั้งหมด 21 จังหวัดแต่ในที่นี้จะใช้เพียงแค่ความเร็วที่ไม่รวมช่วงลมสงบ คือความเร็วลมต้องไม่น้อยกว่า 0.5 m/s ตามที่กรมอุตุนิยมวิทยากล่าวไว้ ครั้งนี้จะแสดงเพียงตัวอย่างเดียวคือสถานีวัดลม โครงการปลูกพืชผักทฤษฎีใหม่ หมู่ 4 ตำบลหัวไทร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทราในรูปที่ 6.2 ที่เหลืออีก 20 สถานีจะนำไปแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ โดยวิเคราะห์ร่วมกับความเร็วลมที่เก็บข้อมูลได้แต่ละจังหวัดโดยจะนำความเร็วที่อยู่ในช่วงความเร็วที่อยู่ในช่วง 1.5 - 6 m/s มาทำการวิเคราะห์ จากตารางที่ 6.2 นั้นพบว่าในช่วงความเร็วลมยิ่งสูงอัตราการไหลก็ยิ่งมากขึ้นและอัตราการไหลในตารางที่ 6.2 หน่วยจะแสดงเป็น ลูกบาศก์เมตร ต่อ เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำ ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดฉะเชิงเทรา

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.84	607.65	7.16	18.02
Feb	3.16	675.47	8.82	22.13
Mar	2.57	484.38	5.71	14.40
Apr	2.72	533.59	6.50	16.37
May	3.04	692.95	8.17	20.52
Jun	2.33	365.02	4.45	11.26
Jul	2.27	351.29	4.14	10.50
Aug	2.41	414.71	4.89	12.36
Sep	2.57	468.32	5.71	14.39
Oct	2.44	425.43	5.02	12.67
Nov	2.42	402.63	4.91	12.40
Dec	2.57	484.78	5.72	14.41

6.3.2 การเปรียบเทียบกังหันลมสูบน้ำชนิดอื่นๆ

ในการศึกษาครั้งนี้นอกจากจะทำการวิจัยกับกังหันลมสูบน้ำชนิด 30 ใบพัดของบริษัทอุตสาพัฒนาที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แล้ว ยังต้องมีการเปรียบเทียบกับกังหันลมสูบน้ำชนิดอื่นด้วย ในที่นี้จะแสดงชนิดกังหันลมสูบน้ำ อีก 2 ชนิดที่ได้ถูกวิจัยมาแล้ว ในที่นี้จะแสดงในส่วนของความเร็วรอบของกังหัน อัตราการไหล ประสิทธิภาพโดยรวม

ชนิดแรก เป็นชนิดหลายใบพัด (The multi-blade windmill) ซึ่งมีลักษณะตัวใบพัดทำจากเหล็ก galvanized เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3.05 เมตร โดยจะมีความสูงของตัวกังหัน 12 เมตร ส่วนตัวปั๊มเป็นแบบปั๊มลูกสูบซึ่งมีขนาดกระบอกสูบ 7. 5 เซนติเมตร ระยะชักอยู่ที่ 7.5 เซนติเมตร ระยะตัวปั๊มห่างจากแหล่งน้ำ 4.5 เมตร กังหันชนิดนี้จะเริ่มทำงานที่ความเร็วลม 2.0 m/s เป็นต้นไป ส่วนอัตราการไหลจะหาจากความสัมพันธ์โดยการทำสมการเส้นตรงจากความเร็วลมและอัตราการไหล ผลการทดลองซึงจะได้สมการเป็น Q = 3.84 + 2.26V ส่วนสมการความเร็วรอบกังหัน และประสิทธิภาพโดยรวมก็จะได้จากการทดลองเดียวกัน ที่ได้ติดตั้งไว้ที่สถานี บ้านสะเมาะ จ.ยะลา ซึ่งค่าจะแสดงไว้ในตาราง ที่ 6.3 และกังหันลมสูบน้ำอีกชนิดนี้ เป็นชนิด เรียกว่า v-20B ประเภทใบพัด vita ซึ่งมีคุณสมบัติ มี25 ใบพัด ตัวใบทำจากไม้ไผ่ สูงจากพื้นดิน 7.5 เมตร ตัวปั๊มเป็นปั๊ม pvc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่าศูนย์กลางปั๊ม 6 นิ้ว ซึ่งกังหันชนิดนี้จะเริ่มทำงานที่ความเร็วลม 2 - 4 m/s เป็นต้นไป ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้นำกังหันลมชนิดนี้ไปติดตั้ง ที่ บ้านสะเมาะ จ. ยะลา แล้วหาค่าความสัมพันธ์สมการเส้นตรงของอัตราการไหล กับ ความเร็วลม และ ความเร็วรอบกังหัน กับ ความเร็วลม จะได้สมการความสัมพันธ์ของอัตราการไหล Q = 4.54 + 0.36v ส่วนค่าตัวแปรๆอื่นจะแสดงไว้ในตารางที่ 6.4

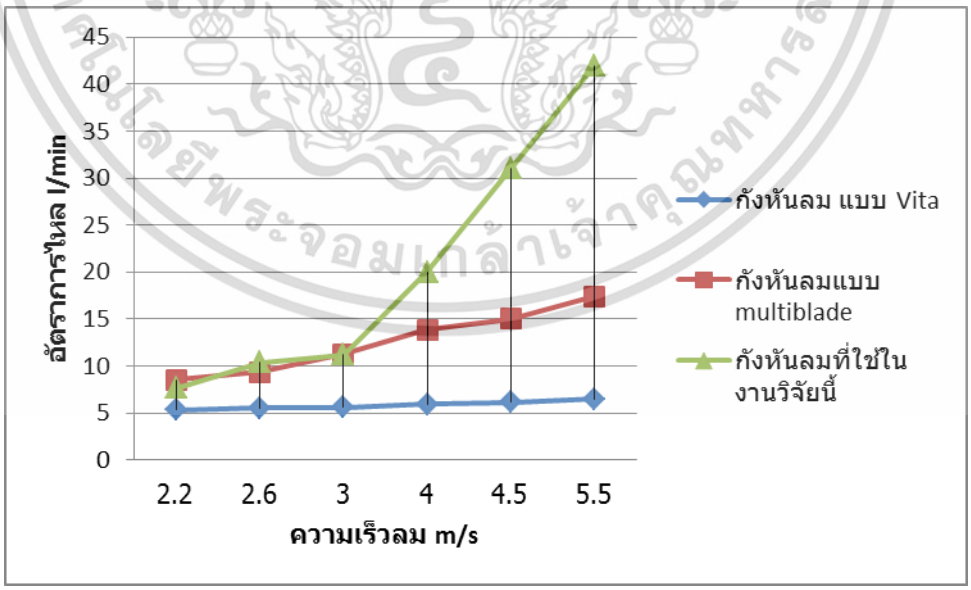
ตารางที่ 6.3 แสดงผลของข้อมูลและการคาดการณ์สำหรับกังหันชนิด multi-blade

Wind speed m/s	Flow Rate L/min	Windmill Speed rpm	Overall Efficiency %
2.18	8.45	24.88	14.04
2.61	9.37	27.67	9.18
3.08	11.34	33.49	6.68
3.55	12.49	36.74	4.81
4.06	13.98	38.22	3.29
4.53	15.06	41.62	2.59
5.06	16.27	44.48	2.01
5.51	17.41	48.27	1.68
6.02	18.53	51.65	1.39
6.51	19.66	55.03	1.16
7.01	20.79	58.41	0.99
4.51	21.92	61.79	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

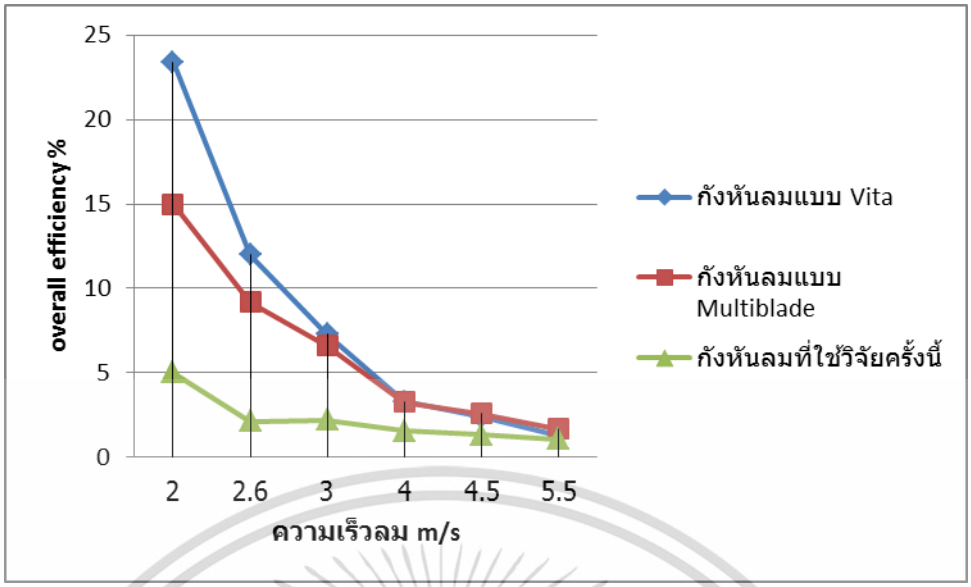
ตารางที่ 6.4 แสดงผลของข้อมูลและการคาดการณ์สำหรับกังหันชนิด Vita windmill

Wind speed m/s	Flow Rate L/min	Windmill Speed rpm	Overall Efficiency %
2	5.25	16.58	23.4
2.5	5.45	17.51	12.4
3	5.61	18.42	7.3
3.5	5.81	19.34	4.8
4	5.98	20.26	3.3
4.5	6.15	21.18	2.4
5	6.35	22.11	1.8
5.5	6.51	23.02	1.3
6	6.71	23.94	1.1
6.5	6.91	24.86	0.9
7	7.05	25.78	0.8
7.5	7.25	26.71	0.6



รูปที่ 6.10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ความเร็วลมต่างๆกันในแต่ละชนิดกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมที่ความเร็วลมต่างๆกันในแต่ละชนิดกังหัน

จากรูปที่ 6.10 พบว่าที่ความเร็วต่ำ 2.2 m/s อัตราการไหลของน้ำนั้นไม่ค่อยแตกต่างกันมาก แต่เมื่อถึงระดับความเร็วลมมากกว่า 3.0 m/s เป็นต้นไป กังหันชนิดที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการออกแบบที่ต่างกันของตัวกังหัน และ การเลือกใช้ปั๊มลูกสูบที่มีคุณสมบัติการสูบต่างกันอีกทั้งตำแหน่งในการวางตัวกังหันลมกับแหล่งน้ำว่าระยะเท่าใด และจากรูปที่ 6.11 จะพบว่า ประสิทธิของกังหันลมสูบน้ำไม่ค่อยต่างกันมากและจะลดลงถ้าความเร็วนั้นเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการที่ความเร็วลมยิ่งเร็วการใช้พลังงานจากลมนั้นไม่หมดจึงทำให้ประสิทธิภาพนั้นตกลง

6.4 ขั้นตอนการใช้งานและการบำรุงรักษากังหันลมและปั๊มน้ำ

ขั้นตอนการใช้งานหลังจากได้ทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว เพียงแค่เอาน้ำมาใส่ในท่อด้านดูดให้เต็มแล้วปิดวาล์วให้สนิทดังแสดงในรูปที่ 6.12 เพื่อไล่อากาศออกและให้ลูกสูบสามารถสูบน้ำได้ ทำเช่นนี้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น หากท่อหรือข้อต่อด้านดูดนี้เกิดการรั่ว กังหันลมจะไม่สามารถสูบน้ำได้ เพราะฉะนั้นจะต้องมีการตรวจสองอย่างสม่ำเสมอ ส่วนการบำรุงรักษากังหันลมนั้นสามารถทำได้ง่ายและสะดวก กล่าวคือต้องตรวจเช็คน๊อตต่างๆ ว่าอยู่ในสภาพที่ดีหรือไม่ หลวมหรือเปล่า ถ้าอยู่ในสภาพที่ไม่ดีให้ทำการแก้ไขโดยขันให้แน่น ทำการตรวจอัดจาระบีตามจุดต่างๆ ที่ต้องการหล่อลื่น ตรวจแหล่งน้ำว่าลูกสูบหรือหัวกระโหลก (ฟุตวาวล์) มีเศษวัสดุหรือสิ่งของต่างๆ กีดขวางอยู่หรือไม่ ถ้ามีให้รีบเอาออก ทำการตรวจรอยรั่วของท่อด้านดูดว่ามีรอยรั่วหรือไม่ ถ้าตรวจพบให้รีบดำเนินการแก้ไข หรือเปลี่ยนใหม่ ทางบริษัทอุสาพัฒนาเศรษฐกิจ จำกัดมีอะไหล่ของกังหันลมสูบน้ำไว้บริการหลังการขายได้โดยทันที เพราะเป็นวัสดุที่ทำภายในประเทศ ผู้ใช้ยังสามารถจัดหาซื้ออะไหล่ได้เอง ทางบริษัทฯ ได้จัด หน่วยซ่อมบำรุงไว้คอยให้บริการตรวจซ่อม และดูแลรักษากังหันลมสูบน้ำให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กังหันลมบริษัท อุสาพัฒนาเศรษฐกิจ จำกัดสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานได้มากกว่า 20 ปีขึ้นไป ดูแลรักษาง่าย ไม่มีค่าใช้จ่ายต่อเนื่องเหมือนเครื่องสูบน้ำ หรือต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ และส่วนประกอบราคาแพงบ่อยๆเหมือนโซล่าเซลล์ อีกทั้งไม่ต้องกังวลเรื่องการสูญหาย

รูปที่ 6.12 ช่องสำหรับใส่น้ำ หลังจากประกอบส่วนต่างๆเสร็จแล้ว เพื่อให้กังหันลมทำงาน

6.5 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ของกังหันลมสูบน้ำ

จากศักยภาพด้านพลังงานลมที่ระดับความสูง 12 เมตรเหนือระดับพื้นดินของพื้นที่ทั้งหมด 21 จังหวัดข้างต้น มีความเร็วลมโดยเฉลี่ยรายเดือน 2- 4 m/s และจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วลมดังกล่าว กังหันลมสูบน้ำแบบสูบชักชนิดนี้ มีความสามารถในการสูบน้ำได้ประมาณ7-20 L/min หรือประมาณ 300,000 - 950,000 L/month (300 - 950 m^3/month)ขึ้นอยู่กับความเร็วลมของแต่ละเดือน ซึ่งสามารถสูบน้ำได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี โดยที่เกษตรกรสามารถเป็นผู้กำหนดปริมาณความต้องการน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการได้ โดยการลดหรือเพิ่มขนาดถังเก็บน้ำ เพราะกังหันลมจะสูบน้ำขึ้นไปเก็บบนถังสูง เมื่อน้ำเต็มถังหรือเพียงพอต่อความต้องการแล้ว น้ำที่เหลือก็จะไหลกลับสู่แหล่งน้ำโดยผ่านท่อบายพาส (by part) ซึ่งเมื่อต้องการใช้น้ำเพียงแค่เปิดวาล์วปล่อยน้ำเท่านั้น

ดังนั้น หากเกษตรกรผู้ใช้น้ำปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตน โดยการบริหารจัดการการนำพลังงานลมมาใช้ในการสูบน้ำแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้ประชาชนหรือเกษตรกรลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้จากตารางที่ 6.3 แสดงให้เห็นถึงการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานกว่า 100,000 บาท ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี โดยการใช้กังหันลมสูบน้ำ เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการสูบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 การเปรียบเทียบต้นทุนของชนิดของต้นกำลังที่ใช้ในการสูบน้ำตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี

ชนิดของต้นกำลัง	ราคา (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	จำนวนชั่วโมงใช้งาน/วัน	ค่าเชื้อเพลิงค่าไฟฟ้า (บาท/ชม.)	ค่าซ่อมบำรุง (บาท/ปี)	รวมเป็นเงิน (บาท)
กังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก	200,000	20	24	-	500	210,000
ปั๊มน้ำฮอนด้า WB30XT ขนาด 5 แรงม้า	17,900	20	2	20	400	323,900
เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ขนาด 10 แรงม้า	33,000	20	2	20	500	331,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการประเมินศักยภาพพลังงานลมสำหรับการติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กเพื่อใช้ในการสูบน้ำในพื้นที่การเกษตร 21 จังหวัดในเขตภาคกลางของประเทศไทยโดยจะทำการติดตั้งเสาวัดความเร็วลมและทิศทางที่มีความสูง 12 m เนื่องจากเป็นระดับเดียวกับกังหันลมสูบน้ำ จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลและประเมินเป็นระยะเวลาทั้งหมด 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือน กันยายน 2558 - สิงหาคม 2559 ข้อมูลลมปฐมภูมิที่ได้จากการวัดนั้นได้ถูกนำไปวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลลมนั้นพบว่าภาพรวมของความเร็วลมเฉลี่ยนั้นทั้ง 21 สถานี จะอยู่ที่ 2- 4 m/s และในส่วนของความเร็วลมเฉลี่ยที่มีมากกว่า 2.5 m/s อยู่ที่ สถานีจังหวัดปทุมธานี และ สมุทรปราการ และความหนาแน่นกำลังลมที่มีค่ามากสุดอยู่ที่สถานีสมุทรปราการ 29 w/m^2 และยังพบว่าตลอดทั้งปีในช่วงเดือนมีนาคม – เมษายน นั้นจะมีความเร็วลมเฉลี่ยค่อนข้างสูงอยู่ที่ 3 – 4 m/s และทิศทางของความเร็วลมส่วนใหญ่จะมาจากทิศเหนือ 47.6 % และรองลงมามาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 14.28 % และจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลสมรรถนะของกังหันลมสูบน้ำชนิดความเร็วลมต่ำเพื่อที่หาสมการความสัมพันธ์ความเร็วลมกับอัตราการไหลหรือปริมาณน้ำที่สูบได้และความเร็วรอบของกังหันไปประเมินศักยภาพในการสูบน้ำด้วยกังหันลมในพื้นที่การเกษตร 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า โดยทั่วไปแล้วปริมาณน้ำที่สูบได้ในช่วงฤดูร้อนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสูงกว่าในช่วงฤดูอื่นๆ เนื่องมาจากความเร็วลมที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูจึงทำให้อัตราการสูบน้ำจากกังหันลมเพิ่มขึ้นด้วย ปริมาณน้ำที่สูบได้จะมีปริมาณแตกต่างกันประมาณ 300,000 - 950,000 ลิตร/เดือน ขึ้นอยู่กับความเร็วลมของแต่ละเดือนและแต่ละพื้นที่ กังหันลมชนิดนี้สามารถที่จะสูบน้ำได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี สำหรับพื้นที่ที่มีอัตราการสูบน้ำสูงสุดเฉลี่ยรายปีที่กังหันลมชนิดนี้สามารถสูบได้คือที่จังหวัดสมุทรปราการ (9,060.01 ลูกบาศก์เมตร/ปี) และพื้นที่ที่มีอัตราการสูบน้ำต่ำที่สุดเฉลี่ยรายปีที่กังหันลมสามารถสูบได้คือที่ จังหวัดสุพรรณบุรี (4,411.65 ลูกบาศก์เมตร/ปี และเมื่อทำการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการสูบน้ำจากกังหันลมชนิดนี้กับปั๊มแบบเครื่องยนต์ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า นั้น การเลือกใช้กังหันลมสูบน้ำช่วงแรกราคาของกังหันค่อนข้างแพงแต่เมื่อเทียบอายุการใช้งาน 20 ปี กังหันลมสูบน้ำชนิดนี้จะคุ้มทุนมากกว่าการใช้ปั๊มแบบเครื่องยนต์ สุดท้ายนี้ผลการประเมินศักยภาพพลังงานลมในเขต 21 สถานีนี้สามารถที่จะนำไปทำการวิเคราะห์ประเมินในกรณีที่จะต้องการติดตั้งกังหันลมชนิดอื่นๆได้โดยไม่ต้องเสียเวลาในการประเมินศักยภาพลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **Global wind energy Council (GWEC)**.(2011) [accessed 27.03.11]

[2] Smulders PT.(1986),**Wind energy for water pumping in developing countries**. In: Proceedings of the 6th EWEC conference, Rome, pp. 99-105

[3] Smulders PT, de Jongh J.(1994), **Wind water pumping: status, prospects and barriers**. Renewable Energy,Vol.5,No.1,pp.587-594

[4] Mohsen MS, Akash BA. (1998),**Potentials of wind energy development for water pumping in Jordan**. Renewable Energy,Vol.14,No.1-4,pp.441-446

[5] Al-Suleimani Z, Rao NR.(2000),**Wind-powered electric water-pumping system installed in a remote location**. Applied Energy,Vol.65,pp.339-347

[6] Bouzidi B. (2011),**Viability of solar or wind for water pumping systems in the \ Algerian Sahara regions-case study Adrar**. Renewable and Sustainable Energy Reviews

[7] Harries M. (2002),**Disseminating wind pumps in rural Kenya-meeting rural water needs using locally manufactured wind pumps**. Energy Policy,Vol.30,pp.1087-1094

[8] ธเนศ ไชยชนะ , ณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2009),**การวิเคราะห์ลักษณะและศักยภาพพลังงานลมของสถานีวัดลม กิ่วลม จังหวัดแม่ฮ่องสอน**.การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5 มหาลัยนเรศวร ,พิษณุโลก, pp.18-24

[9] ชนะ จันทร์ฉ่ำ , นฤทธิ์ กล่อมพงษ์ , วรพงศ์ พวงแก้ว และ จอมภพ แวงศักดิ์.(2009),**การวิเคราะห์ ศักยภาพลม บริเวณอำเภอหัวไทรในจังหวัดนครศรีธรรมราช.** วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 12 ฉบับ ที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2552, pp.10-19

[10] สมพล ชีวมงคลกานต์ , จอมภพ แวงศักดิ์ และ ธเนศ ไชยชนะ.(2014),**Wind Resource Potential at Pak panang and Chian yai Districts of Nakhon Si Thammarat Province**.Thaksin,Vol.17,pp 13-17

[11] Manop Poonnoi and Kiatfa Tangchaichit.(2013),**Assessing the wind energy potential in Northeastern Thailand**.KKu Res.J,Vol.18(5),pp 803-810

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] ทวีศักดิ์ ธารทะเลชล,**"การศึกษาศักยภาพพลังงานลมของเมืองกัมปอต ประเทศกัมพูชา**" การประชุม ทางวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยศิลปกร,pp.294-306

[13] Rehman S, El-Amin IM, Ahmad F, Shaahid SM, Al-Shehri AM, Bakhashwain JM. (2007), **Wind power utilization for water pumping using small wind turbines in Saudi Arabia: A techno-economical review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews,Vol.11(5),pp.937-950

[14] H.M.Abu EL-Eizz , M.K. Al-Motawakel , Z.A.Abu El-Eizz.(1991),**Wind characteristic and energy potentialities of some selected site in the Yemen Arab Republic and the Republic of Egypt**.Renewable Energy,Vol 1,Issue 5-6,pp 675-681

[15] A.Allouhi , O.Zamzoum , M.R. Islam , R.Saidur ,T.Kousksou , A.jamil , A. Derouich.(2017), **Evaluation of wind energy potential in Morocco's coastal regions**. Renewable and Sustainable Energy Reviews,Vol.72,pp.311-324

[16] Amir Dabbaghiyan , Farivar Fazelpour.(2016),**Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr**. Renewable and Sustainable Energy Reviews,Iran, Vol.55,Vol.55,pp.455-466

[17] Ali Mostafaeipour. (2016),**Evaluating the wind energy potential for hydrogen production:A case study**. International Journal of Hydrogen Energy,Vol.41,Issue.15, 27 April 2016,pp 6200-6210

[18] สำนักงานกองทุนสนับสนุนทุนวิจัย.(2010),**การหมุนเวียนของบรรยากาศและอิทธิพลขอฤดูกาล.** (online),แหล่งที่มา http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/lesa212/6/wind/wind/wind.html, 24 กรกฎาคม 2010

[19] กรมอุตุนิยมวิทยา .**" หนังสืออุตุนิยมวิทยา"** (online).แหล่งที่มา https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52.

[20] **บริษัท เอนเนอร์ยี่ ควอลิตี้ เซอร์วิส จำกัด**. พลังงานลม: ลักษณะเฉพาะของลม และเครื่องมือวิเคราะห์(online).แหล่งที่มา : https://ienergyguru.com/2015/07/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21] **บริษัท เอนเนอร์ยี่ ควอลิตี้ เซอร์วิส จำกัด**. พลังงานลม: ลักษณะเฉพาะของลม และ **เครื่องมือวิเคราะห์**(online).แหล่งที่มา **:** https://ienergyguru.com/2015/07/**.**

[22] สมาน เสนงาม , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **การศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง**.รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง ,2006,pp 2-4.

[23] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. **ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมของ กฟผ**.(ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.egat.co.th/rdo/energy/egat_wind/egat_wind.htm. 7 กรกฎาคม, 2549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

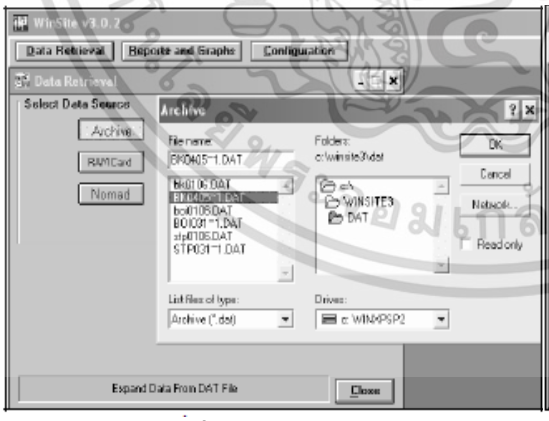
ภาคผนวก ก

การแปลงและนำเข้าข้อมูลตรวจวัดลม

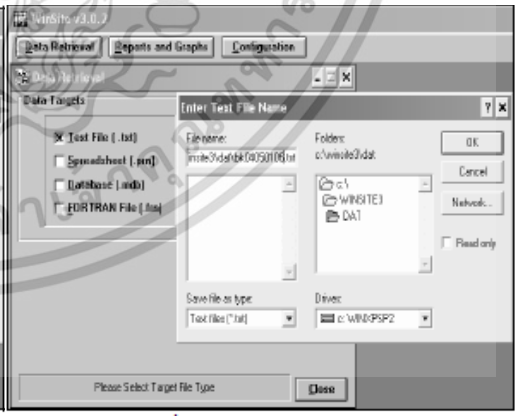
ในการวิเคราะห์พลังงานลมโดยใช้ *OWC ใน WasP* จะต้องทำการแปลงข้อมูลดิบจาก Data logger ให้เป็นไฟล์นามสกุล .txt โดยใช้โปรแกรม Winsite ก่อนจึงสามารถนำเข้าไปใช้ในการวิเคราะห์ได้

ก.1 การใช้งานโปรแกรม WinSite ใช้ในการแปลงข้อมูลลมให้อยู่ในรูปแบบเท็กไฟล์(*.txt) เมื่อทำการเปิดโปรแกรม WinSite แล้วมีขั้นตอนทำงานดังนี้

- เลือก Data Retrieval
  - เลือก Archive
    - เลือกไฟล์ที่ต้องการแปลง
      - เลือก OK
    - เลือกแทร็กของข้อมูลที่ต้องการ
      - เลือก Proceed
- เลือกรูปแบบของไฟล์ที่ต้องการ
  - เลือก Proceed
    - ตั้งชื่อไฟล์และเลือกไดเรกทอรีที่ต้องการเก็บไฟล์ที่ทำการแปลง
      - เลือก OK



รูปที่ ก.1 Data Retrieval

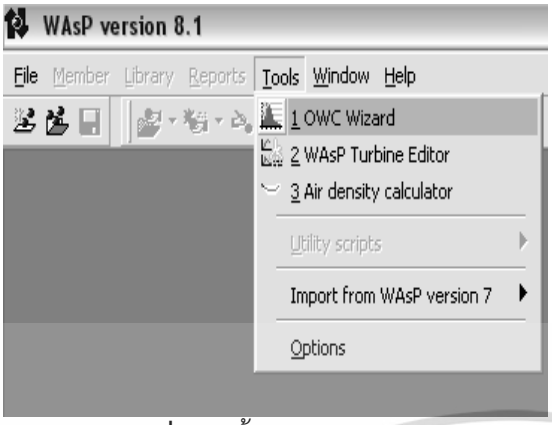


รูปที ก.2 Data Targets

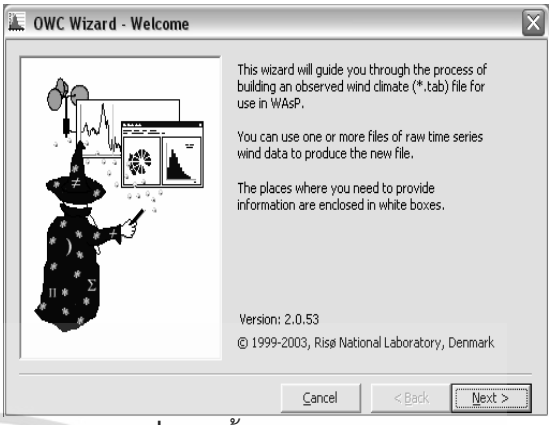
ก.2 การใช้ WAsP 8.1 ในการวิเคราะห์หา Observed Wind Climate

1.ทำการเปิดโปรแกรมจากนั้นทำการคลิ้กที่ Tools > OWC wizard ดังในรูปที่ ก.3 หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก.4 เพื่อให้ผู้ใช้ทำการเลือกชุดข้อมูลทำการเลือก Next

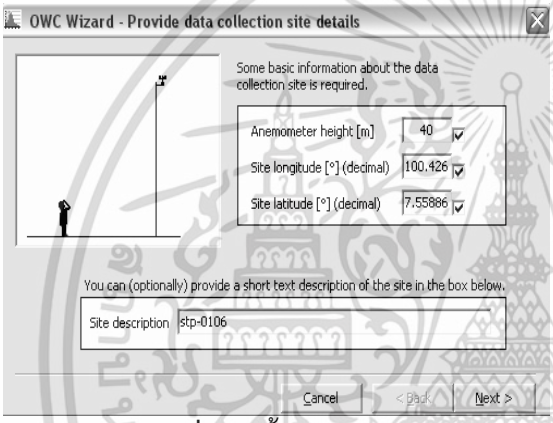
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



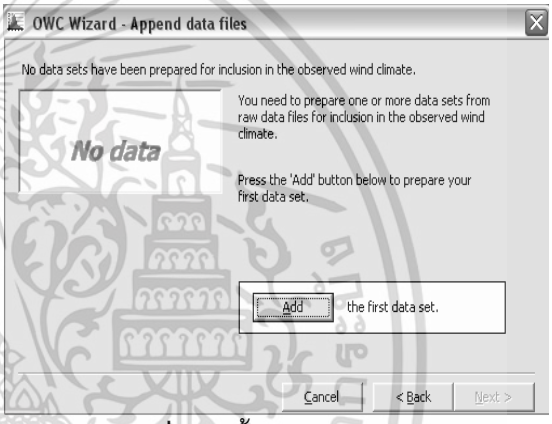
รูปที่ ก.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.4 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.5 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.6 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

2. จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก.5 ซึ่งให้ผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับ site ดังรูปที่ ก.5 แล้วกดเลือก Add ดังรูปที่ ก.6 แล้วทำการเลือก ดังรูปที่ ก.7 เลือกไฟล์ที่ต้องการดังรูปที่ ก.8 หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างเพื่อแสดงชุดข้อมูลที่เราได้ทำการเลือก แล้วเลือก Next ดังรูปที่ ก.9

3. จากนั้นให้ผู้ใช้ทำการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับการนำเข้าข้อมูลโดยจะประกอบด้วย

Header row in file หมายถึง แถวแรกของข้อมูล

Data elements per row หมายถึง จำนวนข้อมูลในหนึ่งแถว

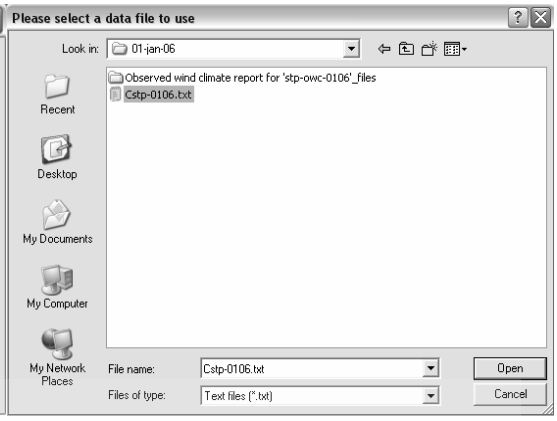
Direction column หมายถึง คอลัมน์ของทิศทาง

Speed column หมายถึง คอลัมน์ของความเร็วลม

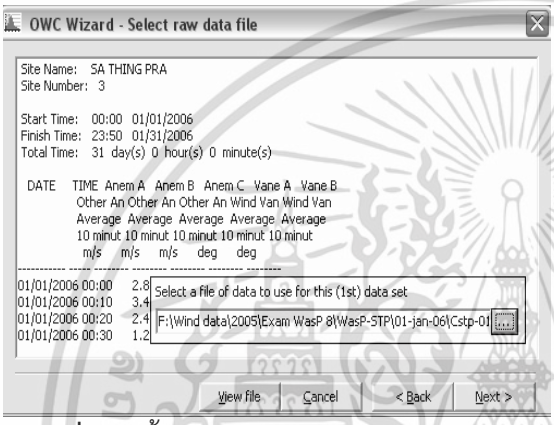
ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความถูกต้องโดยการเลือก View file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

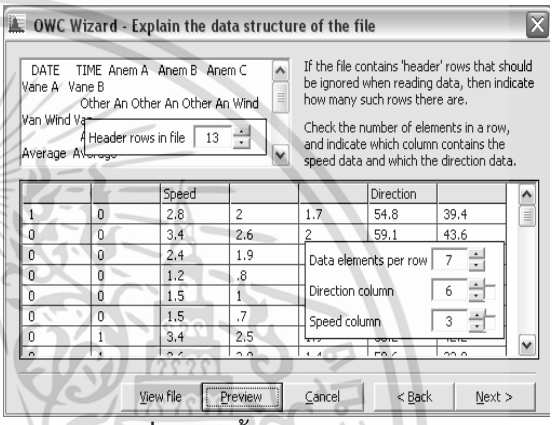
รูปที่ ก.7 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.8 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

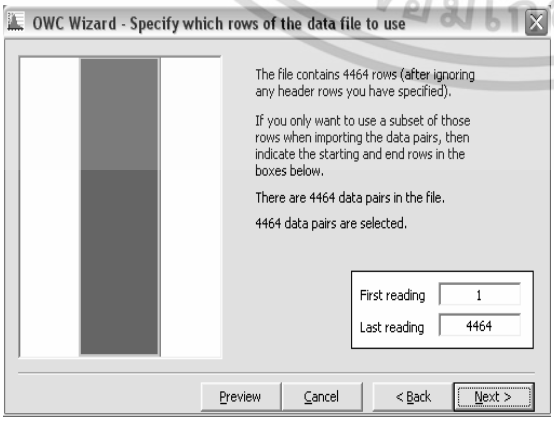


รูปที่ ก.9 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

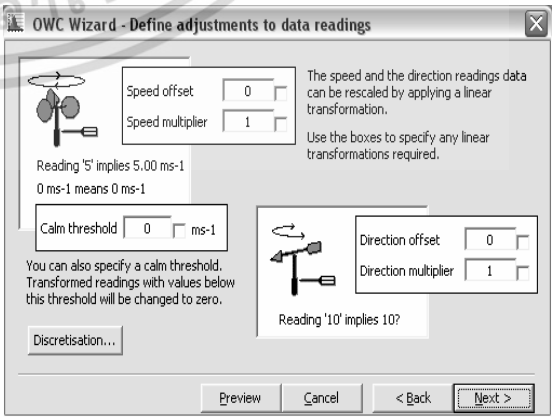


รูปที่ ก.10 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

จากนั้นให้ทำการเลือก Next ดังรูปที่ ก.10 จะปรากฏหน้าต่างเพื่อแสดงแถวข้อมูลที่อ่านมา ให้ทำการเลือก Next ดังรูปที่ ก.11 (ตอนนี้ ผู้ใช้สามารถปรับตั้งค่าของ Anemometer และVane ได้) จากนั้นให้เลือก Next ดังรูปที่ ก.12 จะปรากฏหน้าต่างเพื่อแสดงขอบเขตของ Directionและ Speed ให้เลือก Next ดังรูปที่ ก.13 หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างเพื่อแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลและการตั้งค่าการแสดงผล ให้เลือก Next ดังรูปที่ ก.14

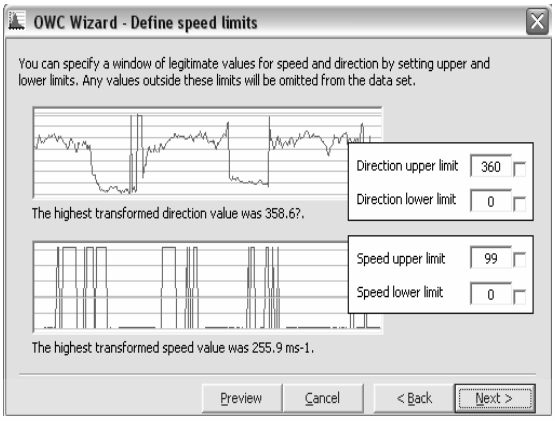


รูปที่ ก.11 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.12 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

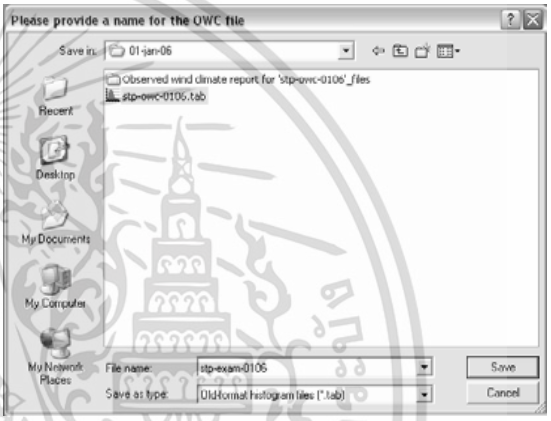
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



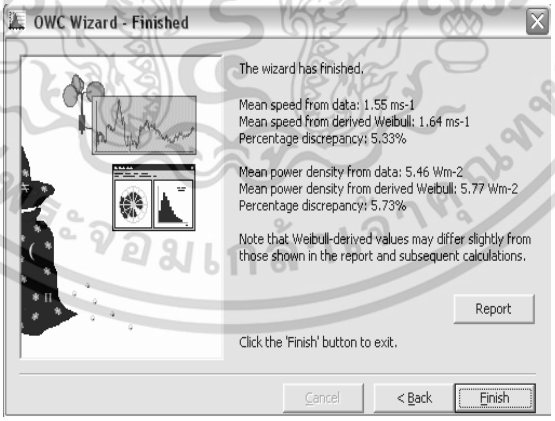
รูปที่ ก.13 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

รูปที่ ก.14 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

รูปที่ ก.15 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.16 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม



รูปที่ ก.17 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

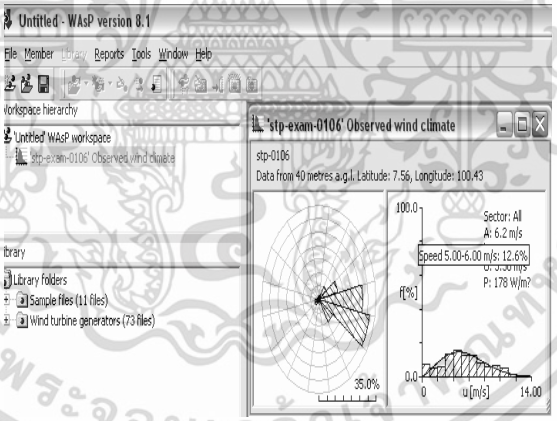
4.หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างเพื่อให้ผู้ใช้ทำการเพิ่มชุดข้อมูลโดยหากต้องการ ให้เลือก Add หากไม่ต้องการให้เลือก Next ดังรูปที่ ก.15 หลังจากนั้นให้ผู้ใช้เลือกไดเรกทอรี่ที่ต้องการเก็บไฟล์และตั้งชื่อไฟล์ หลังจากนั้นให้เลือก Save ดังรูปที่ ก.16 หลังจากนั้นแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับ ค่าต่างๆ ให้เลือก Finish ดังรูปที่ ก.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ดูผลการวิเคราะห์ OWC ได้โดยทำการเปิดไฟล์ที่ผู้ใช้ได้ทำไว้โดยไปที่ File > New workspace เมื่อทำการเปิด New workspace ให้ทำการคลิ้กขวาที่ Untitled Wasp workspace เลือก Insert from file > Observed wind climate ดังรูปที่ ก.18 หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้ ผู้ใช้ทำการเลือกไฟล์ OWC ที่ได้สร้างไว้แล้วเลือก Open ดังรูปที่ ก.19 เมื่อผู้ใช้ทำการเปิดไฟล์จะปรากฏหน้าต่างเพื่อให้ผู้ยืนยันว่าต้องการให้แสดง ถ้าต้องการเลือก OK ถ้าไม่ต้องการเลือก Cancel รูปที่ ก.20 หน้าต่างแสดงผล OWC

รูปที่ ก.18 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

รูปที่ ก.19 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

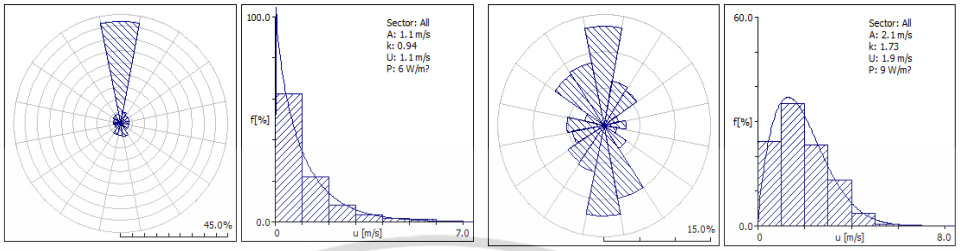


รูปที่ ก.20 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

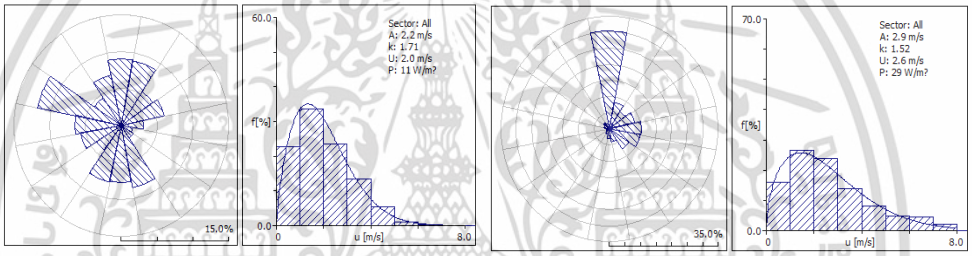
ภาคผนวก ข

ความถี่ของระดับความเร็วลมและทิศทางรายปีในรูปของ Weibull Distribution



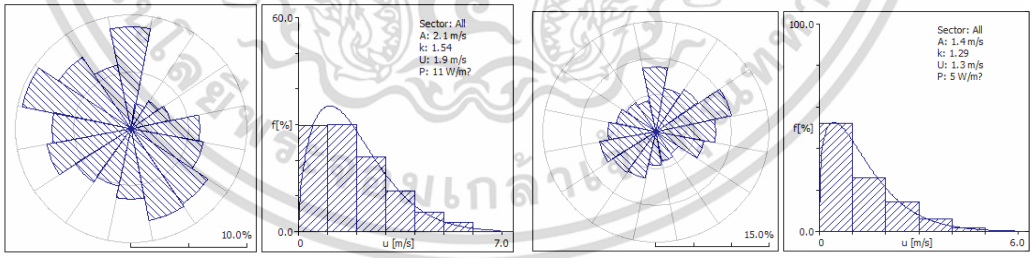
รูปที่ ข.1 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดนครนายก

รูปที่ ข.2 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดนนทบุรี



รูปที่ ข.3 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดนครปฐม

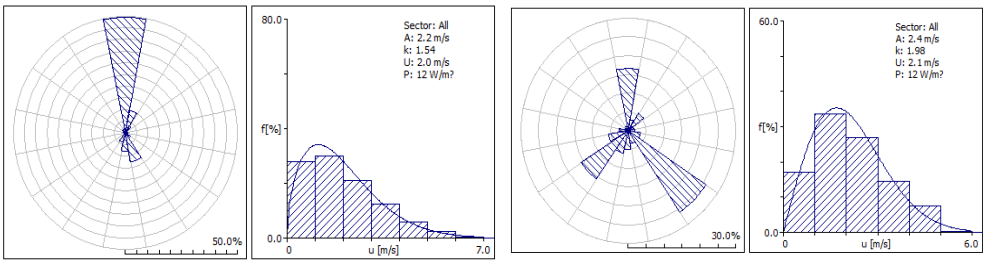
รูปที่ ข.4 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ ข.5 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

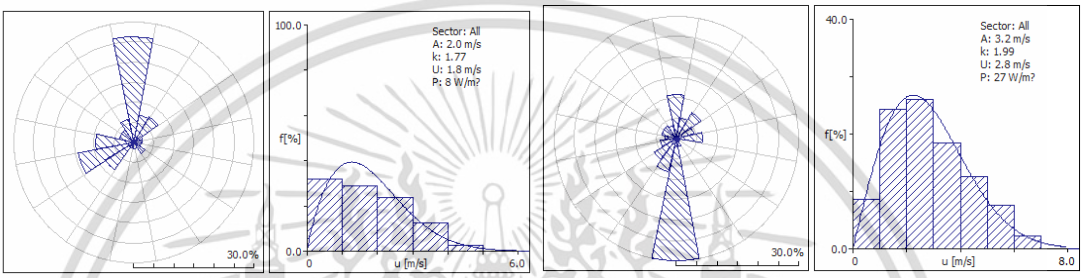
รูปที่ ข.6 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดปราจีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



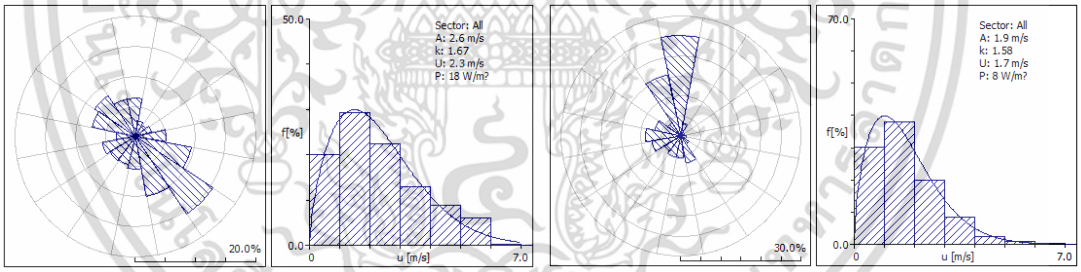
รูปที่ ข.7 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดเพชรบุรี

รูปที่ ข.8 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดราชบุรี



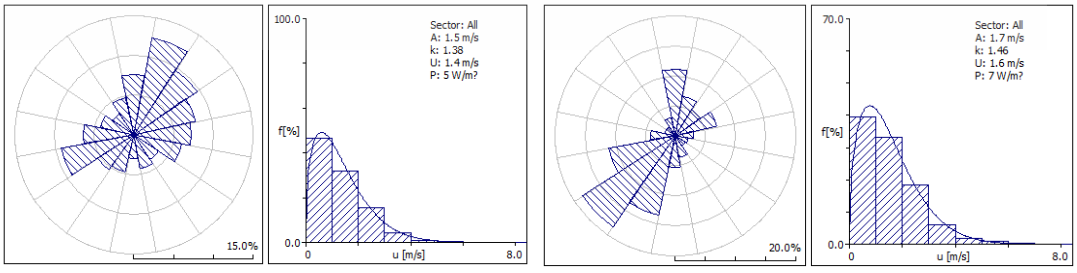
รูปที่ ข.9 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดลพบุรี

รูปที่ ข.10 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสมุทรปราการ



รูปที่ ข.11 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสมุทรสงคราม

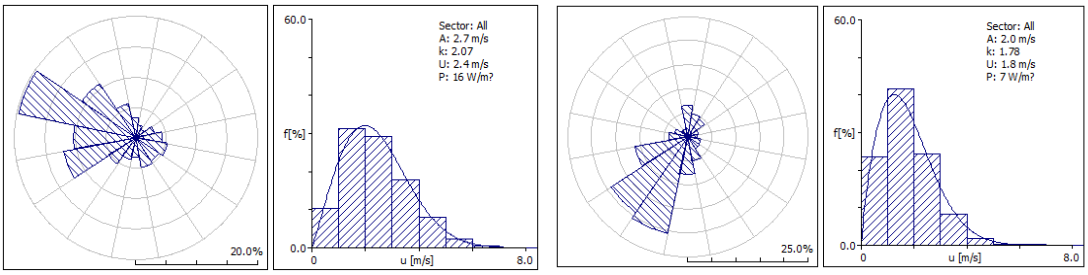
รูปที่ ข.12 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสมุทรสาคร



รูปที่ ข.13 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสระแก้ว

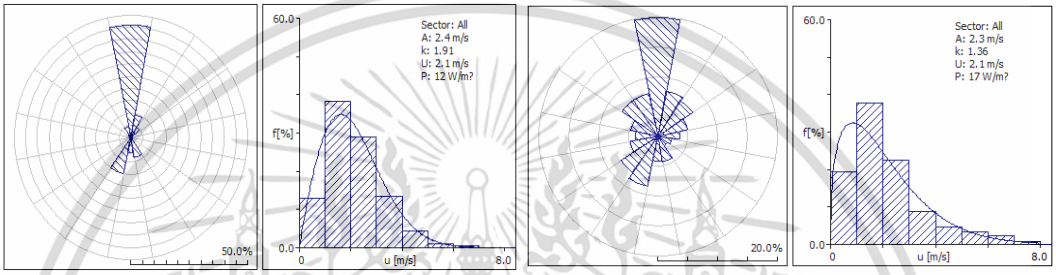
รูปที่ ข.14 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสระบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



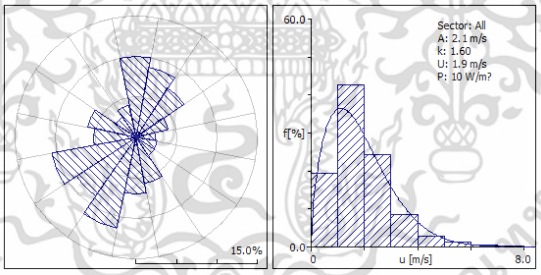
รูปที่ ข.15 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสิงห์บุรี

รูปที่ ข.16 (ขวา)การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ ข.17 (ซ้าย) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดอยุธยา

รูปที่ ข.18 (ขวา) การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดอ่างทอง



รูปที่ ข.19 การกระจายของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ย รายปี –สถานี จังหวัดกาญจนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างในการวิเคราะห์หาค่า พารามิเตอร์ c และ k โดยวิธีการ Graphical Method

ทำการติดตั้งเสาวัดลมข้อมูลลมสูง 12 เมตร จากพื้นดิน โดยทำการตรวจวัดข้อมูล ได้แก่ ความเร็วลมเฉลี่ยทุก 10 นาทีและทำการเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงในรอบ 1 เดือน จำนวน 744 ชั่วโมง ให้วิเคราะห์หา 1.ความเร็วลมเฉลี่ยในรอบเดือน 2.ค่า k-shape และ c-scale ด้วยวิธี Graphical Method

ตารางที่ ค.1 จำนวนชั่วโมงในช่วงความเร็ว

Velocity	hour
0-1	12
1-2	57
2-3	83
3-4	115
4-5	96
5-6	110
6-7	93
7-8	100
8-9	41
9-10	51
10-11	9
11-12	6
12-13	6
13-14	1
14-15	0
15-16	0
sum	744

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ความเร็วลมเฉลี่ยในรอบเดือน

Method of bin สมการหาความเร็วลมเฉลี่ยในรอบเดือนหาจากสมการดังนี้

$$V_m = \frac{V_1N_1+V_2N_2....V_nN_n}{N_1+N_2+\cdots.N_n} \quad \text{(ค-1)}$$

ตารางที่ ค.2 จำนวนชั่วโมงในช่วงความเร็วคูณกับค่ากลางของbin จะได้เป็น product

Velocity	mid	hour	product
0-1	0.5	12	6
1-2	1.5	57	85.5
2-3	2.5	83	207.5
3-4	3.5	115	402.5
4-5	4.5	96	432
5-6	5.5	110	605
6-7	6.5	93	604.5
7-8	7.5	100	750
8-9	8.5	41	348.5
9-10	9.5	51	142.55
10-11	10.5	9	94.5
11-12	11.5	6	69
12-13	12.5	6	75
13-14	13.5	1	13.5
14-15	14.5	0	0
15-16	15.5	0	0
sum		744	3836

ดังนั้นจากสมการ ฉ – 1 จะได้ $V_m = \frac{3836}{744} = 5.15\ m/s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.3 แสดงค่าความเร็ว จำนวนชั่วโมง ค่าความน่าจะเป็นไวล์บูลล์ ค่าความถี่สะสม

Velocity	mid	hour	product	f(v)	F(v)
0-1	0.5	12	6	0.016	0.016
1-2	1.5	57	85.5	0.077	0.093
2-3	2.5	83	207.5	0.112	0.204
3-4	3.5	115	402.5	0.155	0.359
4-5	4.5	96	432	0.129	0.488
5-6	5.5	110	605	0.148	0.636
6-7	6.5	93	604.5	0.125	0.761
7-8	7.5	100	750	0.134	0.895
8-9	8.5	41	348.5	0.055	0.95
9-10	9.5	51	142.55	0.02	0.97
10-11	10.5	9	94.5	0.012	0.983
11-12	11.5	6	69	0.008	0.991
12-13	12.5	6	75	0.008	0.999
13-14	13.5	1	13.5	0.001	0.999
14-15	14.5	0	0	0	
15-16	15.5	0	0	0	
sum		744	3836	1	9.34

ให้ทำการหาค่า f(v) และ F(v) จากสมการ 3.21 และ 3.22 จะได้ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ ค.3 จากนั้นทำการหาค่า Xi และ Yi จากสมการ Xi =ln(v) และ Yi = ln(-ln(1-F(v)) จะได้ดังตารางที่ ค.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.4 แสดงค่า Xi และ Yi

Velocity	mid	hour	product	f(v)	F(v)	Xi	Yi	X^2	XiYi
						ln(v)	ln(-ln(1-F(v))		
0-1	0.5	12	6	0.016	0.016	-0.693	-4.127	0.48	2.855
1-2	1.5	57	85.5	0.077	0.093	0.405	-2.327	0.164	-0.945
2-3	2.5	83	207.5	0.112	0.204	0.916	-1.478	0.84	-1.353
3-4	3.5	115	402.5	0.155	0.359	1.253	-0.81	1.569	-1.016
4-5	4.5	96	432	0.129	0.488	1.504	-0.401	2.262	-0.604
5-6	5.5	110	605	0.148	0.636	1.705	0.011	2.906	0.017
6-7	6.5	93	604.5	0.125	0.761	1.872	0.359	3.504	0.67
7-8	7.5	100	750	0.134	0.895	2.015	0.813	4.06	1.639
8-9	8.5	41	348.5	0.055	0.95	2.14	1.097	4.58	2.352
9-10	9.5	51	142.55	0.02	0.97	2.251	1.255	5.068	2.834
10-11	10.5	9	94.5	0.012	0.983	2.351	1.405	5.529	3.287
11-12	11.5	6	69	0.008	0.991	2.442	1.55	5.965	3.762
12-13	12.5	6	75	0.008	0.999	2.526	1.933	6.379	4.771
13-14	13.5	1	13.5	0.001	0.999	2.603	1.933	6.774	5.03
14-15	14.5	0	0	0					
15-16	15.5	0	0	0					
sum		744	3836	1	9.34	23.29	1.21	50.08	23.3

และเมื่อได้ตัวแปรครบแล้วทำการแทนในสมการ (ฉ-2) และ (ฉ-3)

$$k = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2} \qquad (ค\text{-}2)$$

$$c = \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 \sum_{i=1}^{n} Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i^n \sum_{i=1}^{n} Y_i}\right] \qquad (ค\text{-}3)$$

เมื่อ $Yi = \ln[-\ln(1-F(v))]$

$Xi = \ln V$

จะได้ค่า k *และ* ค่า *C* เป็น 1.877 และ 5.04 *m/s* ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างการหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยและการหาทิศทางลมเฉลี่ย

การหาค่าความเร็วลมเฉลี่ย Mean Wind Speed

ตัวอย่างเช่น จากการตรวจวัดข้อมูลในสถานีวัดลมที่หนึ่งพบว่า มีข้อมูลความเร็วลมดังต่อไปนี้ จงหาความเร็วลมเฉลี่ยโดยวิธีทางสถิติลม

ตารางที่ ง.1 แสดงค่า ช่วงความเร็วลมและจำนวนชั่วโมง

Bin of Wind Speeds (m/s)	No. of Hour.
0 - 1	5
1 - 2	19
2 - 3	82
3 - 4	144
4 - 5	175
5 - 6	144
6 - 7	86
7 - 8	41
8 - 9	24
9 - 10	14
10 - 12	7
12 - 14	3
Total	744

วิธี ทำ จาก สมการที่ 3.1

$$V_m = \frac{V_1N_1 + V_2N_2 \ldots . V_nN_n}{N_1 + N_2 + \cdots . N_n}$$

เมื่อ V_m คือ ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ตรวจวัด

V_n คือ ความเร็วลมที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ BIN range m/s

N_n คือ จำนวนชั่วโมงรวมในช่วง Bin range , h

ขั้นต่อมาจัดทำตาราง ตามตารางที่ ง.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 แสดงรายละเอียดค่ากลางของ *bin*

Bin of Wind Speeds (m/s) (1)	No. of Hour. (3)	(1)/(2) Mid-point (m/s)	(2)*(3) product
0 - 1	5	0.5	2.5
1 - 2	19	1.5	28.5
2 - 3	82	2.5	205
3 - 4	144	3.5	504
4 - 5	175	4.5	787.52
5 - 6	144	5.5	792
6 - 7	86	6.5	559
7 - 8	41	7.5	307.5
8 - 9	24	8.5	204
9 - 10	14	9.5	133
10 - 12	7	11	77
12 - 14	3	13	39
Total	744		3639

จากตาราง ที่ ง.2 เมื่อนำข้อมูลไปแทนในสมการที่ 3.1 จะได้

$$V_m = \frac{3639}{744} = 4.89\ m/s$$

การวิเคราะห์การแจกแจงทิศทางลมสามารถทำได้ดังนี้ โดยใช้สมการ 3.2

$$WD_m = \frac{WD_1N_1 + WD_2N_2 + \cdots WD_nN_n}{N_1 + N_2 + .. N_n}$$

เมื่อ WD_m คือ ทิศทางลมเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ตรวจวัด,องศา

WD_n คือ ทิศทางลมที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ Bins range,องศา

N_n คือ จำนวนชั่วโมงรวมในช่วง Bins range , h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่นจงวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของทิศทางลม จากตาราง ด้านล่าง

ตารางที่ ง.3 แสดงรายละเอียดค่ากลางของทิศทาง

Span	mid	No of hour	product
0-30	15	13	195
30-60	45	12	540
60-90	75	22	1650
90-120	105	12	1260
120-150	135	37	4995
150-180	165	30	4950
180-210	195	37	7215
210-240	225	49	11025
240-270	255	49	12495
270-300	285	116	33060
300-330	315	87	27405
330-360	345	280	96600
Total	-	744	201390

จากนั้นนำข้อมูลจากตารางมาแทนในสมการ จะได้

$$WD_{avg} = \frac{201390}{744} = 270.68 \text{ ทิศตะวันตก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาศักยภาพพลังงานลมเพื่อการสูบน้ำในพื้นที่การเกษตรเขต 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย

A Study Potential Wind Energy for Pumping in Agricultural Areas in The 21 Provinces of Central Thailand

แสนทรัพย์ ชูรัศมี[1*] และ จำลอง ปราบแก้ว[1]

Sansup Churassamee[1*] and Chamlong Prabkeaw[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ทำการเกษตรของเกษตรกรที่ต้องการสูบน้ำมาใช้เพื่อการเกษตรในเขต 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่จังหวัด กาญจนบุรี นนทบุรี ฉะเชิงเทรา ชัยนาท นครนายก นครปฐม ปทุมธานี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี ลพบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สระแก้ว สระบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อยุธยาและอ่างทอง โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลมที่ติดตั้งบนเสาวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 12 เมตรในพื้นที่เป้าหมายในระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่ เดือนกันยายน 2558 จนถึงเดือน สิงหาคม 2559 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยและทิศทางลมและกำลังลมเฉลี่ยที่วัดได้จะถูกวิเคราะห์และแสดงในรูปของกราฟและตารางของแต่ละพื้นที่ของสถานีวัดลม จากการศึกษาพบว่าทุกจังหวัดทั้ง 21 จังหวัดที่ความเร็วลมเฉลี่ยมากที่สุด คือที่ จังหวัดสมุทรปราการที่มีค่าอยู่ที่ 3.2 m/s และมีความหนาแน่นกำลังลม 27 W/m^{2}ค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดคือจังกวัดนครนายก อยู่ที่ 1.1 m/s และความหนาแน่นกำลังลม 6 W/m^2 เนื่องจากค่าความเร็วลมที่สามารถนำไปใช้กับกังหันลมความเร็วลมต่ำเพื่อการสูบน้ำได้นั้นเฉลี่ยอยู่ที่ 2 – 8 m/s

ABSTRACT

The objective of this research was to study the wind potential in agricultural in the 21 provinces of central Thailand. Kanchanaburi, Nonthaburi, Chachoengsao, ChaiNat, NakhonNayok, NakhonPathom, SamutSakhon, SamutPrakan, SamutSongkhram, LopBuri, Ratchaburi, Phetchaburi, PrachuapKhiriKhan, PrachinBuri, SaKaeo, Saraburi, SingBuri, AngThong, Ayutthaya, SuphanBuri, PathumThani. Wind speed velocity by installation wind measure tower. This research used value wind average speed and wind direction at height level 12 m above ground level. using all information collected 12 months since September 2015 up to August 2016. The data displayed in form of a graphs and tables to compare the area of wind measure stations with the highest wind speed to show that the region contained high energy. It was found that from 21 provinces, the average max wind speed(3.2 m/s) and power(27 W/m^2) province was and could be Samut Prakan applied to a low speed pumpimg(2-8m/s).

Keywords: Wind energy,The average wind speed maximum, Pumping windmill

*Corresponding author; e-mail address: Bluegold789@hotmail.com

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang , Bangkok 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานสะอาดที่ใช้แล้วไม่หมด เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ได้ฟรีจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยลดระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ถือเป็นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดของการผลิตพลังงานลม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ พลังงานลมได้กลายเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับหลายๆประเทศทั่วโลก จากรายงานของสภาพพลังงานลมโลก (Sawyer and Rave, 2011) กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของโลกในปี ค.ศ. 2010 เพิ่มขึ้น 35,802 MW ซึ่งคิดเป็น 22.5% จากกำลังที่ผลิตได้ทั้งหมด 194,390 MW เกือบครึ่งหนึ่งเพิ่มขึ้นในประเทศจีนเนื่องจากอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจและจำนวนประชากรที่สูงขึ้น ประกอบกับประเทศจีนมีความเชี่ยวชาญในเรื่องกังหันลมเป็นอย่างดีจึงทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมได้เพิ่มขึ้น 65% ประเทศอินเดีย ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และไต้หวัน มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเพิ่มขึ้นประมาณ 2,139 MW ทำให้ในปี 2010 ภูมิภาคเอเชียกลายเป็นตลาดพลังงานที่ใหญ่ที่สุด ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มได้มากกว่า 19,022 MW นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานลมเพื่อการสูบน้ำเพื่อการบริโภค อุปโภค การเกษตร การทำนาเกลือ และการเลี้ยงสัตว์มาเป็นเวลาหลายร้อยปีมาแล้ว ต่อมาเมื่อปี 1994 (Smulders,1986) และ (Smulders and de Jongh,1994) ได้นำเสนอความคิดเกี่ยวกับการใช้พลังงานลมในการสูบน้ำที่มีความทันสมัย ประหยัด และมีศักยภาพมากที่สุด (Mohsen and Akash, 1998) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้พลังงานลมเพื่อการสูบน้ำในเมืองต่างๆ ของประเทศจอแดนผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด 11 พื้นที่ เพื่อใช้ในการสูบน้ำที่ประเทศจอแดนร์ (Al-Suleimani and Rao, 2000) ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ที่ความเร็วลมที่แตกต่างกัน และปริมาณน้ำที่ได้รายเดือน เทียบกับค่าปริมาณที่ออกแบบโดยผู้ผลิตซึ่งสรุปได้ว่าสามารถนำพลังงานลมมาใช้ในการสูบน้ำบาดาลได้สำเร็จ สำหรับพื้นที่ห่างไกลในประเทศโอมานซึ่งมีทรัพยากรลมที่สามารถใช้ได้อย่างเพียงพอ (Bouzidi, 2011)รายงานการใช้ทรัพยากรพลังงานลม เพื่อใช้ในการสูบน้ำในภูมิภาค Adrar ของประเทศแอลจีเรีย (Algeria) พบว่าระบบสูบน้ำด้วยพลังงานลม สามารถใช้ได้ดีทั้งด้านเทคนิคและความประหยัด เมื่อเทียบกับระบบการสูบน้ำด้วยโซลาร์เซลล์ (Hammad,1995; Harries, 2002) นำเสนอบทความการออกแบบ การทดสอบภาคสนาม และประสบการณ์ของการผลิตของ BHEL (Bharat Heavy Electricals Ltd.) ในการพัฒนากังหันลม สำหรับการสูบน้ำในพื้นที่ชนบทที่ห่างไกล เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในแอฟริกา (Bragg and Schmidt,1979) นำเสนอวิธีการขั้นตอนการเลือกปั๊มสูบน้ำและกังหันลมเพื่อใช้ในการสูบน้ำ ด้วยข้อมูลของความเร็วลม ซึ่งนำไปสู่การเลือกปั๊มสูบน้ำและกังหันลมที่ดีที่สุดสำหรับการประยุกต์ใช้งาน

บทความนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ทำการเกษตรของเกษตรกรที่ต้องการสูบน้ำมาใช้เพื่อการเกษตรในเขต 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย ได้แก่จังหวัด กาญจนบุรี นนทบุรี ฉะเชิงเทรา ชัยนาท นครนายก นครปฐม ปทุมธานี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี ลพบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สระแก้ว สระบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อยุธยา อ่างทอง โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลมที่ติดตั้งบนเสาวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 12 เมตรในพื้นที่เป้าหมายในรอบ 12 เดือน เริ่มตั้งแต่ เดือน กันยายน 2558 จนถึงเดือน สิงหาคม 2559 ซึ่งจากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลของลมนั้นจะแสดงให้เห็นว่าในการติดตั้งกังหันลมสูบน้ำนั้นควรจะอยู่ในบริเวณไหนที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วลมที่เหมาะสมที่สามารถให้พลังงานได้ตามที่ต้องการได้ ซึ่งการติดตั้งกังหันลมสูบน้ำจะนำมาติดตั้งและทดสอบในงานวิจัยในอนาคตต่อไป กังหันความเร็วลมต่ำจะสามารถเริ่มทำงาน ได้ที่ความเร็วลม 2 เมตร/วินาที สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการประเมินศักยภาพความหนาแน่นกำลังลมและความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่การเกษตรขนาดเล็ก 1-3 ไร่ใน 21 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

เสาวัดความเร็วลมมีความสูง 12 เมตร ประกอบด้วยเครื่องวัดความเร็วลมและศรเพื่อวัดทิศทางลม จะทำการวัดข้อมูลทุกๆวินาทีและบันทึกข้อมูลเฉลี่ยทุกๆ 10 นาที ในงานวิจัยนี้เราจะใช้ตัวเก็บข้อมูลยี่ห้อ WindLog ของบริษัท RainWise ของประเทศอเมริกา ซึ่งอุปกรณ์ที่เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพงมากและออกแบบมาเพื่อพิจารณาในการเลือกซื้อกังหันอีกด้วย จากรูปที่ 1 จะแสดงอุปกรณ์ที่การวัดศักยภาพของลม

Figure 1 Dataloger and Wind measurement equipment

การติดตั้งเสาวัดความเร็วลม

ในการเก็บข้อมูลความเร็วลมนั้นจะทำการติดตั้งเสาวัดความเร็วลมขนาดความสูงของเสา12เมตร จำนวน 21 สถานีจำนวน 21 เสา และสถานีติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางจะติดตั้งจะใกล้กับแหล่งน้ำและมีพื้นที่ใกล้ทำการเกษตร พิกัดตำแหน่งของเสาวัดลมในพื้นที่แต่ละสถานีที่ใช้ในงานวิจัยจะสรุปไว้ใน Table 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1 Show location of the wind measurement stations

Station	Latitude (degree)	longitude (degree)	Sea level (M)
Kanchanaburi	14.611	99.451	137.34
Chachoengsao	13.806	101.218	3.06
Chai Nat	15.201	100.197	19.21
NakhonNayok	14.247	101.194	9.48
NakhonPathom	14.021	99.981	12.36
Pathum Thani	13.984	100.445	4.35
PrachuapKhiriKhan	12.071	99.806	22.06
Prachin Buri	14.116	101.372	17.02
Phetchaburi	12.653	99.863	58.01
Ratchaburi	13.863	99.932	13.87
Lop Buri	14.902	101.024	65.73
Samut Prakan	13.691	100.872	2.39
Samut Songkhram	13.344	99.885	3.86
Samut Sakhon	13.611	100.158	4.74
Sakaeo	14.043	102.231	222.44
Saraburi	14.543	100.924	20.75
Sing Buri	14.826	100.377	10.85
Supanburi	14.441	100.126	9.88
Ayutthaya	14.134	100.422	3.65
Ang Thong	14.494	100.462	10.13
Nonthaburi	13.862	100.514	8.43

วิธีการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการติดตั้งเสาวัดความเร็วลมพร้อมกับอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลลมแล้ว ข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จะส่งไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ที่มีอัตราการตรวจวัดค่าความเร็วเฉลี่ยลมทุกๆ 10 นาที ข้อมูลลมที่ได้จะถูกบันทึกไว้ใน เครื่องบันทึกข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นความเร็วลม และ ทิศทาง และ ความเร็วลมสูงสุด หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกลงในเครื่องบันทึกข้อมูลแล้วนำไปแปลงไฟล์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Symphonies Data Retriever เป็นไฟล์นามสกุล .xls เพื่อใช้ร่วมกับโปรแกรม Excel และนำข้อมูลมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางเลขาคณิต

การวิเคราะห์ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่พิจารณาเช่น ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน สามารถคำนวณได้จากการทำ Wind speed frequency distribution ในรูปกราฟที่เรียกว่า histogram ซึ่งสามารถนำคำนวณความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาต่างๆ

$$V_m = \frac{V_1N_1 + V_2N_2 + .. V_nN_n}{N_1 + N_2 + .. N_n} \quad (1)$$

เมื่อ V_m คือ ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ ตรวจวัด, m/s

V_n คือ ความเร็วลมที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ Bins range, m/s

N_n คือ จำนวนชั่วโมงรวมในช่วง Bins range, h

ความหนาแน่นกำลังลมนั้นจะแปรผันกับกำลัง 3 ของความเร็วลม และแปรผันโดยตรงกับความหนาแน่นของอากาศ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าลดลงถ้าระดับความสูง และอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นกำลังลมลดลง ทุ่งกังหันลมที่ติดตั้งอยู่บนภูเขา และอยู่ในเขตร้อนต้องคำนึงถึงผลกระทบนี้ด้วยการเปรียบเทียบแหล่งของทรัพยากรลม พิจารณาจากค่าความหนาแน่นกำลังลมที่แบ่งออกเป็นหลายระดับ โดยวัดความเร็วลมที่ความสูงที่กำหนด การคำนวนกำลังที่ได้รับจากลม กำลังที่ได้รับจากลม มีหน่วยเป็นวัตต์ (Power, Watt) สามารถคำนวนได้จากสูตร

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

เมื่อ P คือ กำลังของลม (วัตต์)

M คือ มวลของอากาศที่ตกกระทบตั้งฉากกับทิศทางการไหลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

V คือ ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

A คือ พื้นที่พื้นที่วงกลมของใบพัดของเครื่องวัดลม มีหน่วยเป็นตารางเมตร

ρ คือ ความหนาแน่นของมวลอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ผลการวิเคราะห์

จากการเก็บข้อมูลลมทั้ง 21 สถานีเป็นระยะเวลา 1 ปี ใน ตั้งแต่เดือน กันยายน 2558 – สิงหาคม 2559 โดยนำข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละสถานีมาวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความสูงของเสาวัดลม 12 เมตร โดยใช้โปรแกรม OWC Wizard เพื่อแสดงการแจกแจงความถี่ของความเร็วและทิศทางของลมในบริเวณนั้นๆ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลลมดิบ จะแสดงออกมาในรูป wind rose และ Weibull distribution ซึ่งการแสดงออกมาในรูปแบบนี้นั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายระดับตัวอย่างการแสดงข้อมูลใน Figure 2 จะเห็นว่ากราฟแผนภูมิแท่งในรูปขวาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่ (หรือปริมาณ) โดยที่แกน x ใช้แสดงค่าความเร็วลมตั้งแต่1m/sถึง 8 m/s เป็นต้น แกน y ใช้แสดงความถี่ของลมแต่ละช่วง คิดเป็น % ส่วนรูปด้านซ้ายแสดง ความถี่ของทิศทางลม และเมื่อสังเกตุจาก Figure 2 จะพบว่าค่า U คือค่าความเร็วลมเฉลี่ย ง่ายที่สุดซึ่งสามารถนำไปใช้งานภาพของกังหันลมเบื้องต้น ส่วนค่า A,K คือค่าเร็วและพารามิเตอร์ในรูป K ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ในทางเทคนิคให้มีศักยภาพที่ดียิ่งขึ้น ส่วน ค่า P คือความหนาแน่นกำลังลม ต่อไปจะแสดงผลวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยและความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นกำลังลมและทิศทางในรูปของ Wind rose และ Weibull distribution เฉพาะที่มีค่ามากสุดคือสถานีที่ จ. สมุทรปราการ ใน Figure 2 และสถานีที่เหลือจะแสดงผลวิเคราะห์ใน Table 2

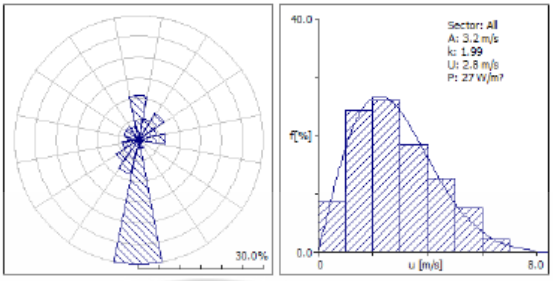


Figure 2 The analysis of average speed and wind direction at Samutprakan station

จาก Figure 2 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมเฉลี่ยที่มีความถี่สูงสุดอยู่ที่ 3.2 m/s และมีกำลังลมเฉลี่ยอยู่ที่ 27 W/m และ ทิศทางโดยรวมอยู่ที่ทิศใต้ จ.สมุทรปราการ จาก Figure 3 จะแสดงผลความเร็วเฉลี่ยแต่ละเดือนทุก 21 สถานีแล้วนำมาวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟ จากกราฟจะพบว่าเดือนที่มีค่าความเร็วเฉลี่ยสูงสุดจะอยู่ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม

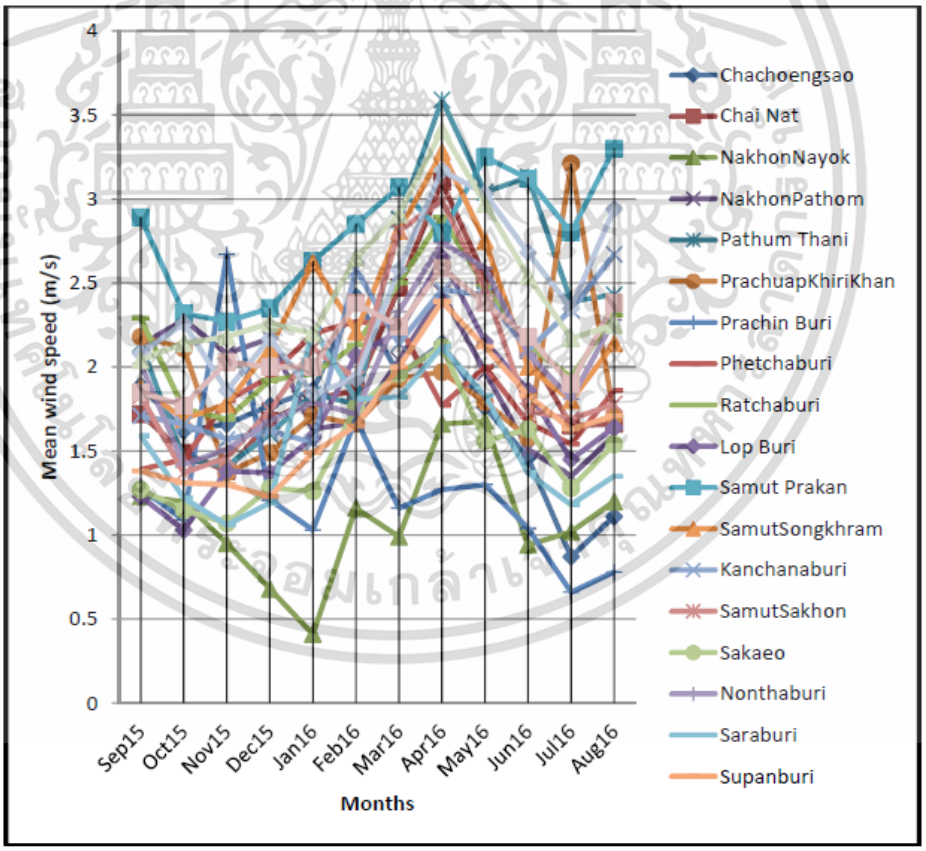


Figure 3 Monthly variation of wind speeds of the year for selected stations

Table 2 Show the average wind speed and average wind power density and Direction of 21 stations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stations	Period 1 year		
	Average wind speed	Wind power density	Direction
PrachuapKhiriKhan	2.1 m/s	11 W/m^2	NW
Phetchaburi	2.2 m/s	12 W/m^2	N
SamutSongkhram	2.6 m/s	18 W/m^2	SE
SamutSakhon	1.9 m/s	8 W/m^2	N
Chachoengsao	2.1 m/s	10 W/m^2	N
Chai Nat	2.1 m/s	9 W/m^2	N
NakhonNayok	1.1 m/s	6 W/m^2	N
Pathum Thani	2.9 m/s	25 W/m^2	N
Prachin Buri	1.4 m/s	5 W/m^2	NE
Ratchaburi	2.4 m/s	12 W/m^2	SE
Lop Buri	2.0 m/s	8 W/m^2	N
Samut Prakan	3.2 m/s	27 W/m^2	S
Sakaeo	1.5 m/s	5 W/m^2	NE
Supanburi	2.0 m/s	7 W/m^2	SW
Saraburi	1.7 m/s	7 W/m^2	SW
Nonthaburi	2.1 m/s	9 W/m^2	NS
NakhonPathom	2.2 m/s	11 W/m^2	N
Ayutthaya	2.4 m/s	12 W/m^2	N
Ang Thong	2.3 m/s	17 W/m^2	N
Sing Buri	2.7 m/s	16 W/m^2	NW
Kanchanaburi	2.1 m/s	10 W/m^2	SW

สรุป

จากงานวิจัยนี้สามารถทราบถึงศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ใกล้แหล่งทำการเกษตร 21 จังหวัด ภาคกลาง ได้แก่จังหวัด กาญจนบุรี นนทบุรี ฉะเชิงเทรา ชัยนาท นครนายก นครปฐม ปทุมธานี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี ลพบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สระแก้ว สระบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อยุธยา อ่างทอง โดยทำการตรวจวัดข้อมูลความเร็วลมจากการติดตั้งเสาวัดลมในพื้นที่ 21 จังหวัด เป็นระยะเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ปี ตั้งแต่เดือน กันยายน 2558 ถึง สิงหาคม 2559 ที่ระดับความสูงของเสา 12 เมตรจากพื้นที่ติดตั้ง เพื่อศึกษาความเร็วลมและกำลังลมเพื่อทำมาประเมินศักยภาพในการติดตั้งกังหันสูบน้ำเพื่อการเกษตรในอนาคต ซึ่งพบว่าพื้นที่ที่มีพลังงานลมสูงสุดอยู่ที่สถานี หมู่ 10 ตำบลเปร็ง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ มีศักยภาพสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 20 สถานีที่เหลือ ส่วนค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดจะอยู่ที่สถานีหมู่ 9 ตำบลพรหมณี อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก ส่วนความเร็วลมเฉลี่ยนั้นจะมีแนวโน้มสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์–พฤษภาคม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำวิจัยขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ให้ทุนสนับสนุนการทำโครงการในครั้งนี้และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรของพื้นที่ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลที่ดีในการดำเนินงานโครงการนี้ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

S. Sawyer and K. Rave. 2011. The Global Status of Wind Power. **Global wind energy Council (GWEC)** [accessed 27.03.11]: 10-17.

PT. Smulders. 1986. Wind energy for water pumping in developing countries. **In: Proceedings of the 6th EWEC conference** 1: 99-105.

PT. Smulder. and J. De Jongh. 1994. Wind water pumping: status, prospects and barriers. **Renewable Energy** 5(1): 587-94.

MS. Mohsen. and BA. Akash. 1998. Potentials of wind energy development for water pumping in Jordan. **Renewable Energy** 14(1-4): 441-6.

Z. Al-Suleimani and NR. Rao 2000. Wind-powered electric water-pumping system installed in a remote location. **Applied Energy** 65: 339-47.

B. Bouzidi. 2011. Viability of solar or wind for water pumping systems in the Algerian Sahara regions-case study Adrar. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

M. Hammad. 1995. Photovoltaic wind and diesel: a cost comparative study of water pumping options in Jordan. **Energy Policy** 23(8): 723-6.

M. Harries. 2002. Disseminating wind pumps in rural Kenya-meeting rural water needs using locally manufactured wind pumps. **Energy Policy** 30: 1087-94.

GM. Bragg and WL. Schmidt. 1979. Performance matching and optimization of wind powered water pumping systems. **Energy Conversion and Management** 19: 33-9.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก

1. จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ตารางที่ ฉ.1 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.37	395.64	4.66	11.80
Feb	2.45	391.32	5.11	12.90
Mar	2.91	634.89	7.49	18.82
Apr	3.34	802.99	9.78	24.53
May	3.37	843.33	9.94	24.93
Jun	3.36	809.52	9.86	24.73
Jul	3.05	697.69	8.23	20.66
Aug	3.34	830.11	9.79	24.54
Sep	2.72	534.19	6.51	16.38
Oct	2.55	477.28	5.63	14.19
Nov	2.48	431.67	5.26	13.28
Dec	2.37	397.92	4.69	11.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จังหวัดชัยนาท

ตารางที่ ฉ.2 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดชัยนาท

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.67	530.12	6.25	15.74
Feb	2.45	388.13	5.07	12.80
Mar	2.82	597.11	7.04	17.71
Apr	3.26	768.41	9.36	23.48
May	2.96	657.58	7.75	19.48
Jun	2.80	569.46	6.94	17.45
Jul	2.41	411.89	4.86	12.27
Aug	2.37	396.62	4.68	11.83
Sep	2.42	402.71	4.91	12.40
Oct	2.38	400.01	4.72	11.92
Nov	2.16	294.18	3.58	9.11
Dec	2.61	500.95	5.91	14.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.จังหวัดสิงห์บุรี

ตารางที่ ฉ.3 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสิงห์บุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	3.01	682.99	8.05	20.22
Feb	3.14	667.85	8.72	21.88
Mar	3.10	720.11	8.49	21.31
Apr	3.48	860.99	10.49	26.29
May	3.20	765.66	9.03	22.65
Jun	2.89	607.02	7.40	18.59
Jul	2.66	525.78	6.20	15.61
Aug	2.64	516.98	6.10	15.35
Sep	2.50	440.66	5.37	13.55
Oct	2.60	496.48	5.85	14.75
Nov	2.85	591.72	7.21	18.13
Dec	2.88	622.43	7.34	18.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.จังหวัดอ่างทอง

ตารางที่ ฉ.4 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดอ่างทอง

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.87	618.23	7.29	18.32
Feb	3.03	622.67	8.13	20.41
Mar	2.59	495.46	5.84	14.72
Apr	2.78	560.90	6.83	17.19
May	2.75	565.40	6.67	16.77
Jun	2.62	489.37	5.96	15.02
Jul	2.39	406.40	4.79	12.11
Aug	2.73	556.20	6.56	16.50
Sep	2.40	395.41	4.82	12.17
Oct	2.41	415.96	4.90	12.39
Nov	2.96	636.37	7.75	19.48
Dec	2.90	631.86	7.45	18.72

.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ ฉ.5 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดปทุมธานี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.68	535.83	6.32	15.91
Feb	2.48	403.66	5.27	13.30
Mar	3.25	788.89	9.30	23.33
Apr	3.72	966.58	11.78	29.49
May	3.44	874.64	10.31	25.85
Jun	3.43	842.28	10.26	25.72
Jul	3.06	703.00	8.29	20.81
Aug	2.93	643.87	7.59	19.08
Sep	2.76	553.69	6.75	16.97
Oct	2.29	361.02	4.26	10.78
Nov	2.33	365.93	4.46	11.28
Dec	2.41	413.64	4.88	12.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.. จังหวัดกาญจนบุรี

ตารางที่ ฉ.6 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดกาญจนบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.96	660.75	7.79	19.57
Feb	3.22	700.36	9.14	22.94
Mar	3.08	714.62	8.43	21.15
Apr	3.25	765.43	9.33	23.39
May	3.14	738.20	8.70	21.85
Jun	2.87	601.23	7.32	18.42
Jul	3.09	716.00	8.44	21.20
Aug	3.41	862.00	10.16	25.48
Sep	2.20	307.93	3.75	9.52
Oct	2.17	308.10	3.63	9.23
Nov	2.39	392.08	4.78	12.08
Dec	2.22	329.63	3.89	9.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.จังหวัดนครปฐม

ตารางที่ ฉ.7 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดนครปฐม

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.64	515.87	6.08	15.32
Feb	2.51	416.04	5.43	13.70
Mar	2.64	517.07	6.10	15.36
Apr	2.76	553.04	6.74	16.96
May	2.58	487.95	5.75	14.50
Jun	2.39	392.73	4.78	12.10
Jul	2.33	378.09	4.46	11.28
Aug	2.60	497.78	5.87	14.79
Sep	2.46	422.08	5.14	12.98
Oct	2.69	540.43	6.37	16.04
Nov	2.73	538.34	6.56	16.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.จังหวัดนนทบุรี

ตารางที่ ฉ.8 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดนนทบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.54	471.88	5.56	14.03
Feb	2.32	337.46	4.41	11.15
Mar	2.64	516.54	6.09	15.34
Apr	2.95	633.86	7.72	19.41
May	2.98	668.39	7.88	19.80
Jun	2.82	577.67	7.04	17.70
Jul	2.60	498.67	5.88	14.82
Aug	2.82	596.93	7.04	17.70
Sep	2.62	491.23	5.98	15.08
Oct	2.27	352.98	4.16	10.55
Nov	2.40	395.15	4.81	12.17
Dec	2.74	561.20	6.62	16.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.จังหวัดราชบุรี

ตารางที่ ฉ.9 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดราชบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.78	579.07	6.83	17.18
Feb	2.71	494.79	6.46	16.26
Mar	2.91	638.47	7.53	18.92
Apr	3.16	726.61	8.85	22.22
May	2.91	635.34	7.49	18.83
Jun	2.73	538.78	6.56	16.52
Jul	2.71	546.02	6.44	16.21
Aug	2.96	659.90	7.78	19.55
Sep	2.75	545.26	6.64	16.72
Oct	2.50	453.56	5.35	13.50
Nov	2.49	434.61	5.29	13.36
Dec	2.61	503.14	5.93	14.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. จังหวัดสุพรรณบุรี

ตารางที่ ฉ.10 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสุพรรณบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.40	409.35	4.83	12.20
Feb	2.50	408.86	5.34	13.47
Mar	2.46	438.29	5.17	13.05
Apr	2.61	485.14	5.91	14.90
May	2.53	467.41	5.51	13.90
Jun	2.43	409.11	4.98	12.59
Jul	2.20	322.20	3.80	9.64
Aug	2.18	309.75	3.65	9.28
Sep	2.10	266.05	3.24	8.25
Oct	2.03	245.88	2.90	7.40
Nov	2.27	339.05	4.13	10.47
Dec	2.18	310.56	3.66	9.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. จังหวัดฉะเชิงเทรา

ตารางที่ ฉ.11 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดฉะเชิงเทรา

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.84	607.65	7.16	18.02
Feb	3.16	675.47	8.82	22.13
Mar	2.57	484.38	5.71	14.40
Apr	2.72	533.59	6.50	16.37
May	3.04	692.95	8.17	20.52
Jun	2.33	365.02	4.45	11.26
Jul	2.27	351.29	4.14	10.50
Aug	2.41	414.71	4.89	12.36
Sep	2.57	468.32	5.71	14.39
Oct	2.44	425.43	5.02	12.67
Nov	2.42	402.63	4.91	12.40
Dec	2.57	484.78	5.72	14.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. จังหวัดนครนายก

ตารางที่ ฉ.12 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดนครนายก

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.39	404.88	4.77	12.07
Feb	2.19	284.54	3.71	9.43
Mar	2.35	386.08	4.55	11.52
Apr	2.66	508.09	6.19	15.59
May	2.67	530.29	6.25	15.75
Jun	2.46	422.34	5.15	12.99
Jul	2.28	355.75	4.19	10.63
Aug	2.55	474.38	5.59	14.11
Sep	2.34	369.52	4.50	11.39
Oct	2.24	336.91	3.97	10.07
Nov	2.32	363.60	4.43	11.21
Dec	2.21	326.41	3.85	9.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. จังหวัดปราจีนบุรี

ตารางที่ ฉ.13 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดปราจีนบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.42	417.83	4.93	12.45
Feb	2.98	603.30	7.88	19.79
Mar	2.35	386.48	4.56	11.53
Apr	2.48	431.89	5.26	13.28
May	2.49	447.31	5.27	13.31
Jun	2.33	365.02	4.45	11.26
Jul	2.27	351.73	4.15	10.51
Aug	2.41	415.02	4.89	12.37
Sep	2.36	378.86	4.62	11.67
Oct	2.27	350.75	4.14	10.48
Nov	2.38	385.34	4.69	11.87
Dec	2.58	490.46	5.78	14.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. จังหวัดลพบุรี

ตารางที่ ฉ.14 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดลพบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.86	613.41	7.23	18.19
Feb	3.08	645.82	8.43	21.17
Mar	2.66	527.35	6.22	15.66
Apr	2.82	577.24	7.03	17.69
May	2.68	533.46	6.29	15.84
Jun	2.61	484.89	5.91	14.89
Jul	2.35	388.71	4.58	11.59
Aug	2.50	452.49	5.33	13.46
Sep	2.10	265.61	3.24	8.24
Oct	2.15	295.77	3.49	8.87
Nov	2.66	507.66	6.18	15.58
Dec	2.65	518.77	6.12	15.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. จังหวัดสมุทรปราการ

ตารางที่ ฉ.15 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสมุทรปราการ

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	3.13	735.38	8.67	21.76
Feb	3.26	718.35	9.38	23.52
Mar	3.33	826.54	9.74	24.44
Apr	3.19	736.30	8.97	22.51
May	3.67	974.77	11.49	28.79
Jun	3.55	891.46	10.86	27.21
Jul	3.32	822.03	9.69	24.31
Aug	3.60	944.67	11.14	27.90
Sep	3.31	789.03	9.61	24.11
Oct	2.69	536.86	6.33	15.94
Nov	2.65	503.89	6.14	15.47
Dec	2.78	580.72	6.85	17.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. จังหวัดสระแก้ว

ตารางที่ ฉ.16 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสระแก้ว

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.36	392.38	4.63	11.70
Feb	2.64	466.55	6.09	15.34
Mar	2.39	406.58	4.79	12.12
Apr	2.54	456.65	5.56	14.03
May	2.59	494.21	5.83	14.69
Jun	2.67	511.98	6.24	15.71
Jul	2.27	353.07	4.16	10.55
Aug	2.46	435.70	5.14	12.97
Sep	2.32	361.05	4.40	11.13
Oct	2.29	360.22	4.25	10.76
Nov	2.24	326.13	3.97	10.08
Dec	2.32	371.83	4.38	11.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. จังหวัดสระบุรี

ตารางที่ ฉ.17 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสระบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	3.48	891.26	10.51	26.34
Feb	3.22	700.52	9.14	22.94
Mar	2.42	418.28	4.93	12.46
Apr	2.54	456.65	5.56	14.03
May	2.49	447.76	5.28	13.33
Jun	2.26	333.90	4.07	10.31
Jul	2.12	284.70	3.36	8.54
Aug	2.27	350.84	4.14	10.48
Sep	2.47	428.13	5.22	13.17
Oct	2.26	346.82	4.09	10.36
Nov	2.41	398.74	4.86	12.28
Dec	2.29	360.22	4.25	10.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ ฉ.18 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดเพชรบุรี

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	3.35	833.64	9.83	24.65
Feb	3.18	684.39	8.93	22.42
Mar	3.40	854.19	10.07	25.25
Apr	3.07	686.20	8.36	20.99
May	3.06	705.86	8.32	20.90
Jun	2.78	559.95	6.82	17.16
Jul	2.63	511.18	6.03	15.19
Aug	2.96	660.35	7.79	19.56
Sep	2.49	434.18	5.29	13.35
Oct	2.38	401.31	4.73	11.96
Nov	2.43	408.25	4.97	12.57
Dec	2.68	532.17	6.27	15.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ ฉ.19 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.91	635.34	7.49	18.83
Feb	2.83	543.20	7.09	17.83
Mar	3.06	703.67	8.30	20.83
Apr	2.95	635.59	7.74	19.46
May	2.72	551.37	6.50	16.37
Jun	2.85	590.64	7.20	18.09
Jul	2.73	554.77	6.54	16.46
Aug	2.96	659.46	7.78	19.54
Sep	2.78	560.39	6.83	17.18
Oct	2.46	435.70	5.14	12.97
Nov	2.23	321.37	3.92	9.93
Dec	2.37	395.77	4.67	11.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. จังหวัดสมุทรสงคราม

ตารางที่ ฉ.20 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสมุทรสงคราม

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	3.47	886.34	10.45	26.19
Feb	3.04	627.83	8.20	20.58
Mar	3.45	877.41	10.34	25.93
Apr	3.94	1,061.24	12.93	32.36
May	3.42	864.01	10.19	25.54
Jun	2.82	578.11	7.04	17.71
Jul	2.70	542.40	6.39	16.10
Aug	3.20	766.65	9.04	22.68
Sep	2.75	545.26	6.64	16.72
Oct	2.39	403.10	4.75	12.02
Nov	2.38	388.32	4.73	11.96
Dec	2.62	508.50	6.00	15.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. จังหวัดสมุทรสาคร

ตารางที่ ฉ.21 ผลการประมาณปริมาณน้ำที่สูบได้จากกังหันลมสูบน้ำแบบสูบชัก ร่วมกับความเร็วลมที่วัดได้ของจังหวัดสมุทรสาคร

Month	Wind Speed (m/s)	Capacity (m^3)	Pump Speed (rpm)	Windmill Speed (rpm)
Jan	2.77	574.60	6.77	17.05
Feb	2.50	411.28	5.37	13.55
Mar	3.16	748.78	8.83	22.16
Apr	3.38	819.72	9.99	25.04
May	3.07	707.25	8.34	20.94
Jun	2.56	465.30	5.67	14.30
Jul	2.53	466.52	5.50	13.88
Aug	2.53	467.41	5.51	13.90
Sep	2.56	465.30	5.67	14.30
Oct	2.38	400.42	4.72	11.94
Nov	2.25	332.57	4.05	10.27
Dec	2.65	520.47	6.14	15.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายแสนทรัพย์ ชูรัศมี

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ.2532

ประวัติการศึกษา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2554 -2558 บริษัท ไทยฮอนด้าเมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด

ตำแหน่ง วิศวกรคุณภาพ

พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน การไฟฟ้าฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ตำแหน่ง วิศวกรเครื่องกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้