

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณ
จากสถานีพยากรณ์อากาศรอบกัณฑ์ลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณ
จากสถานีพยากรณ์อากาศรอบกัณฑ์ลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณ
จากสถานีพยากรณ์อากาศรอบกังหันลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า

จำลอง มะละเขต

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจิต)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวค์ศักดิ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์อากาศรอบกังหันลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า
ชื่อผู้เขียน	นายจำลอง มะละเขต
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัช อรรถเวชกุล

บทคัดย่อ

การประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์อากาศเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมนั้นเป็นอีกแนวทางที่ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต อย่างเช่น ขั้นตอนการทำงานของกังหันลม กำลังสูญเสียขณะรอการผลิต ความเร็วที่ขาดความต่อเนื่องไม่สม่ำเสมอทำให้มีผลกระทบต่อ การผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วกังหันลมจะมีระบบทำการตรวจวัดความเร็ว ทิศทางและความต่อเนื่องของลมเพื่อประมวลผลสำหรับการเริ่มกระบวนการผลิตไฟฟ้า กังหันลมที่ใช้ในการศึกษานี้ มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่ อำเภอซับใหญ่ จังหวัดชัยภูมิ มีขนาดกำลังการผลิต 2.5 MW ต่อต้น ซึ่งต้องใช้ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที ที่มีความต่อเนื่องเป็นเวลา 3 นาที และหน้ากังหันต้องอยู่ตรงกับทิศของลมจึงจะเริ่มกระบวนการผลิตไฟฟ้า จากการเก็บข้อมูลลมประจำปีที่ผ่านมาพบว่าลมที่พัดผ่านกังหันลมมี 2 ลักษณะ คือ ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายนลมจะพัดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ลมพัดทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลเฉลี่ยของทิศทางและความเร็วลมที่ได้จากสถานีพยากรณ์อากาศที่ติดตั้งภายในโครงการผ่านระบบสกาดูเพื่อควบคุมขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มกังหันลมจำนวน 6 ต้น จากทั้งหมดจำนวน 32 ต้น รวมกำลังการผลิต 80 เมกะวัตต์ ซึ่งจะทำให้รู้ว่าลมที่จะมาถึงต้นกังหันลมมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าหรือไม่ โดยไม่ต้องตรวจวัดความเร็วลมและทิศทางลมในแบบเดิม ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลการควบคุมการผลิตจะทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 275,703.13 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี และหากนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตกับกังหันลมภายในโครงการทั้งหมดจะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 1,342,661.87 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 1.07 เปอร์เซนต์

คำสำคัญ : กังหันลม, สถานีพยากรณ์อากาศ, การเพิ่มการผลิตไฟฟ้า, สกาดู

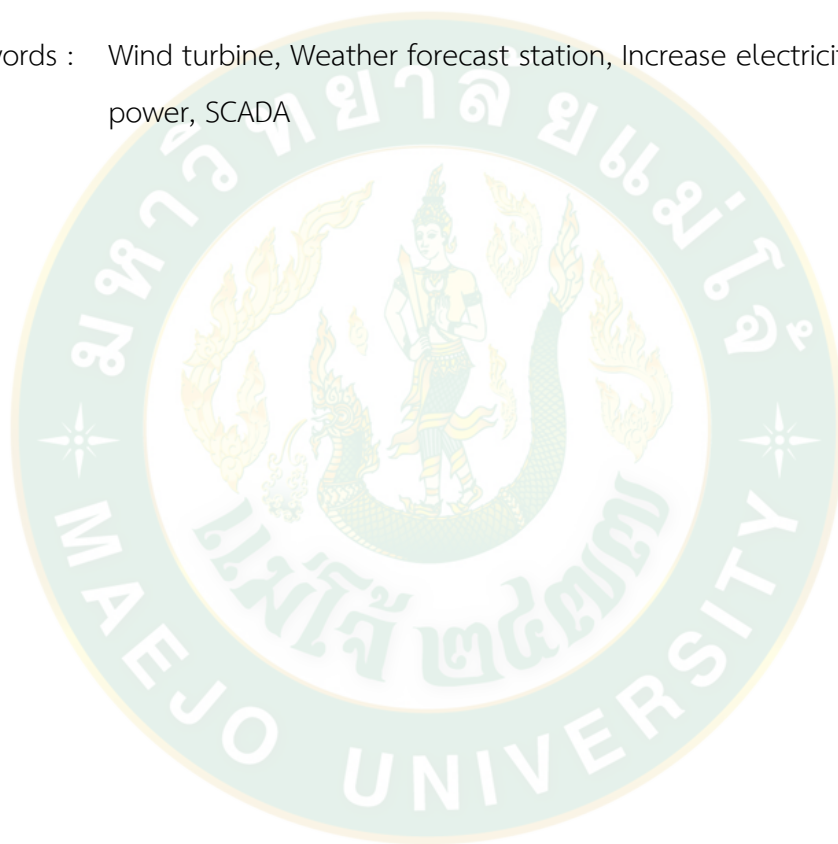
Title	INCREASING WIND POWER GENERATION EFFICIENCY BY USING WIND SIGNAL PROCESSING FROM WEATHER STATIONS AROUND WIND TURBINE FOR CONTROLLING ELECTRICITY GENERATION
Author	Mr. Jumlong Malaket
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Yingrak Auttawaitkul

ABSTRACT

Signal processing from the weather forecast station to control electrical generating is another way to help increase a highest efficiency in electrical generating power. However, these are many concerned factors having an effect on the electrical generating process. For instance, operational steps of a wind turbine, lost power while waiting for the electrical generating, and discontinue speed have an effect on the electrical generating. Generally, the wind turbine has a system measuring wind speed, direction and continuity for processing and the beginning of electrical generating process. The wind turbines used in this study are located in Sub Yai district, Chaiyapum province. It has the electrical generating power of 2.5 megawatts per wind turbine. This must employ the wind speed of 3 meters per second. Moreover, the wind turbines must be in the same direction of the wind to start the electrical generating process. According to the previous data collection on annual wind, it was found that there were two forms of wind blowing through the wind turbines: 1) southwest wind blowing during March and September and 2) northeast wind blowing during October and February. This study proposes an analysis of average data on wind speed and direction obtained from the weather forecast station located in the project through SCADA system to control steps of electrical generating of 6 wind turbines group out of 32 wind turbines (80 megawatts). This will

know that the wind blowing to the wind turbines has potential in electrical generating or not without wind speed and direction measuring. Results of the data analysis show that the electrical generating can increase the generating power to 275,703.13 kilowatts hours per year. If the obtained data are applied to control the process of electrical generating and the wind turbines in the project, it will increase the generating power to 1,342,661.87 kilowatts hours per year (1.07 percent).

Keywords : Wind turbine, Weather forecast station, Increase electricity generating power, SCADA



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี โดยได้รับคำชี้แนะที่มีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน และการสนับสนุนเงินทุนในการทำงานวิจัยจากหลายหน่วยงาน

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนอุดหนุนการศึกษาผ่าน “โครงการผลิตและพัฒนาศัณษภาพทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2559”

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัช อรรถเวชกุล ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจรีต ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คอยช่วยตรวจสอบความเหมาะสม ความเรียบร้อยของเนื้อหางานวิจัย ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณศูนย์บริการวิชาการที่ 7 (จังหวัดเชียงใหม่) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับใช้ในการศึกษา โครงการกักเก็บลมผลิตไฟฟ้า ชัยภูมิ วินด์ฟาร์ม ขนาด 80 เมกะวัตต์ และบริษัท อีเทลไทยวิศวกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่หลายท่านที่ได้กล่าวชื่อในครั้งนี้ รวมถึงเพื่อน และญาติมิตรทุกท่านที่ไม่สามารถจะกล่าวไว้ในนี้ได้หมด สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

จำลอง มะละเขต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญตารางผนวก.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการศึกษา	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ทฤษฎีของลม.....	4
1. การเกิดลม.....	4
2. พื้นที่ความกดอากาศ	4
3. การวัดลม	5
4. ลมพื้นผิว (Surface wind).....	7
5. ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย	7
6. สภาพอากาศในประเทศไทย.....	11
7. การวัดลมพื้นผิว	14

8. การวัดที่เกี่ยวกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา	16
9. การประมาณการค่าของลม (Estimation of wind).....	18
10. การอ่านค่าเครื่องวัดแรงลม	19
11. การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม	23
หลักการและทฤษฎีของระบบ SCADA	32
1. ประเภทงานที่เหมาะสมกับสกาด้า.....	34
2. รูปแบบของสกาด้า	34
3. ส่วนประกอบของสกาด้า	35
4. ลักษณะพิเศษของสกาด้า	36
5. ฐานข้อมูลของสกาด้า	36
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	41
ศักยภาพของลมในพื้นที่ติดตั้งกังหันลม.....	41
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมโดยการประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์ อากาศ.....	42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	43
ผลวิเคราะห์ข้อมูลลมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาภายในโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์ม.....	44
ผลวิเคราะห์ข้อมูลลมจากกลุ่มกังหันลมหมายเลข 21,22,23,24,25 และ 26	46
ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลลมระหว่างสถานีพยากรณ์อากาศและกลุ่มกังหันลม	58
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าและกำลังการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มกังหันลม	62
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก. ความถี่ทิศทางและความเร็วของลมในงานวิจัย.....	71

ภาคผนวก ข. กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของกังหันลมหากประยุกต์ข้อมูลใช้ในการควบคุม...	114
ประวัติผู้วิจัย.....	128



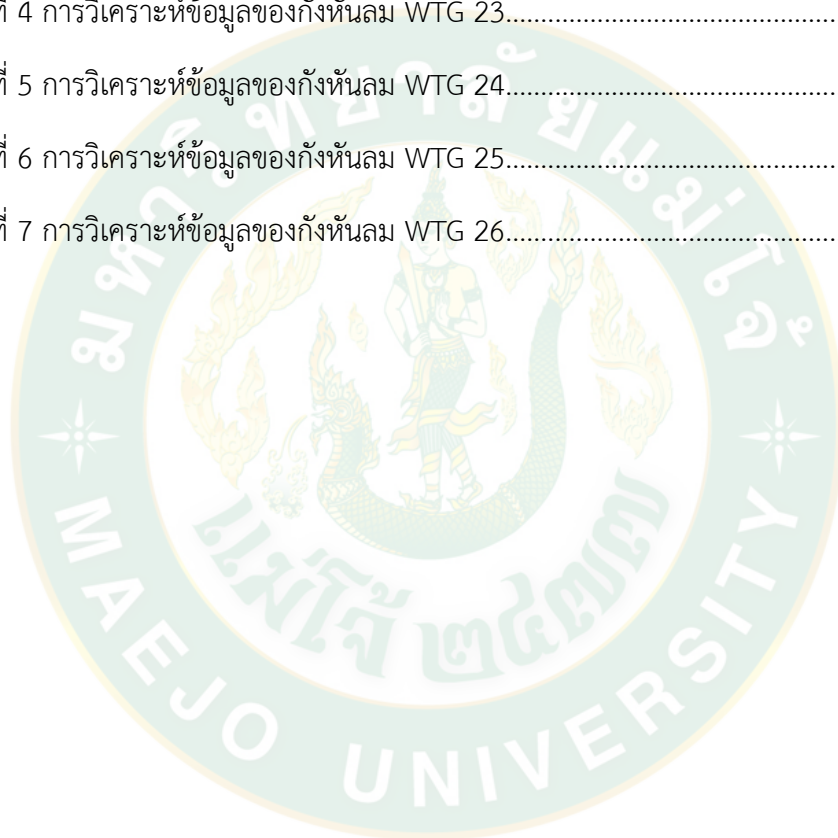
สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้า.....	2
ภาพที่ 2 ทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง	5
ภาพที่ 3 ทิศทางการพัดพาของลมมรสุม.....	9
ภาพที่ 4 สภาพอากาศและทิศทางลมช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน	14
ภาพที่ 5 สภาพอากาศและทิศทางลมช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม.....	14
ภาพที่ 6 การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม.....	23
ภาพที่ 7 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)	24
ภาพที่ 8 กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine).....	25
ภาพที่ 9 แนวโน้มการขยายขนาดและเพิ่มความสูงของกังหันลม	25
ภาพที่ 10 ขนาดและกำลังผลิตของกังหันลม ออกแบบโดย The National Renewable Energy Laboratory (IPCC, 2001)	26
ภาพที่ 11 แสดง Power Curve ของกังหันลม	27
ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตไฟฟ้า.....	28
ภาพที่ 13 แสดง Fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage Induction generator.....	30
ภาพที่ 14 แสดง Variable speed based on a direct drive and synchronous generator... ..	31
ภาพที่ 15 แสดง Variable speed with doubly fed induction generator	31
ภาพที่ 16 องค์ประกอบของระบบสกาด้า.....	33
ภาพที่ 17 การติดตั้งสกาด้าสำหรับตรวจสอบเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุม	33
ภาพที่ 18 Point-to-Point Configuration	34
ภาพที่ 19 Point-to-Multipoint Configuration.....	34

ภาพที่ 20 การติดต่อโดยใช้ SPC เป็นตัวกลางระหว่าง Central Computer SCADA Software และ RTU	38
ภาพที่ 21 การสื่อสารแบบ M2M	40
ภาพที่ 22 ผังการติดตั้งระหว่างสถานีพยากรณ์อากาศกับกังหันลมต้นที่ศึกษา	41
ภาพที่ 23 การประมวลสัญญาณเพื่อควบคุมการผลิตของกังหันลม.....	43
ภาพที่ 24 ลักษณะลมพัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศช่วงเดือนมีนาคม-กันยายน.....	45
ภาพที่ 25 ลักษณะลมพัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศช่วงเดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	46
ภาพที่ 26 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21 เดือนมีนาคม-กันยายน.....	47
ภาพที่ 27 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	48
ภาพที่ 28 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 22 เดือนมีนาคม-กันยายน.....	49
ภาพที่ 29 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 22 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	50
ภาพที่ 30 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 23 เดือนมีนาคม-กันยายน.....	51
ภาพที่ 31 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 23 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	52
ภาพที่ 32 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 24 เดือนมีนาคม-กันยายน.....	53
ภาพที่ 33 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 24 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	54
ภาพที่ 34 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 25 เดือนมีนาคม-กันยายน.....	55
ภาพที่ 35 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 25 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	56
ภาพที่ 36 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 26 เดือนมีนาคม-กันยายน.....	57
ภาพที่ 37 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 26 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์	58
ภาพที่ 38 ข้อมูลลมระหว่างสถานีพยากรณ์อากาศและกลุ่มกังหันลม	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต	6
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 21.....	62
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 22.....	63
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 23.....	63
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 24.....	64
ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 25.....	64
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 26.....	65



[illegible]

[illegible]

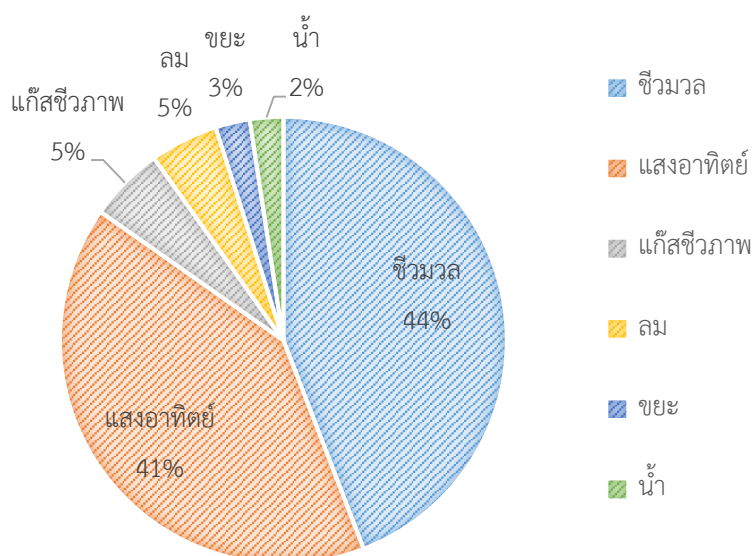
บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

แนวโน้มสถานการณ์การใช้พลังงานในปี 2559 (กระทรวงพลังงาน, 2558a) ของกระทรวงพลังงาน พบว่าการใช้น้ำมันสำเร็จรูปจะมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2558 ในอัตรา 3.0% ซึ่งเป็นการประมาณการตัวเลขที่สอดคล้องกับ GDP ของประเทศในปี 2559 ที่คาดว่าจะขยายตัวประมาณ 3.0 - 4.0% โดยแบ่งเป็นการปรับตัวเพิ่มขึ้นในชนิดต่าง ๆ ดังนี้ น้ำมันเบนซินเพิ่มขึ้น 9.7% น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น 1.8% ส่วนก๊าซ LPG จะปรับตัวลดลงต่อเนื่องจากปี 2558 เฉลี่ยลดลงประมาณ 2.5% ขณะที่ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกจะยังอยู่ในช่วงการปรับตัวลดลง โดยคาดว่าจะราคาน้ำมันดิบดูไบค่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 35-45 USD/Barrel สำหรับสถานการณ์ด้านไฟฟ้า เพื่อรองรับการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทย ดังนั้น กระทรวงพลังงานได้ทบทวนการจัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลักในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2579 (กระทรวงพลังงาน, 2558b) ที่สอดคล้องกับกรอบของการจัดทำแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้แก่ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) จะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศให้ได้เต็มตามศักยภาพ การพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน

สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2559) มีหน้าที่กำกับกิจการไฟฟ้าและกิจการก๊าซธรรมชาติ กำกับดูแลกิจการพลังงาน ตรวจสอบการประกอบกิจการพลังงานของผู้รับใบอนุญาต โดยในด้านพลังงานทดแทนมีสถานะการรับซื้อไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนกว่า 6,000 MW พลังงานทดแทนที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้ามากเป็นอันดับหนึ่งได้แก่พลังงานชีวมวล จำนวน 2,680.95 MW คิดเป็น 44.16% ของพลังงานทดแทนทั้งหมด อันดับสองพลังงานแสงอาทิตย์ 2,464.57 MW คิดเป็น 40.59% อันดับสามพลังงานก๊าซชีวภาพ 329.42 MW คิดเป็น 5.43% และพลังงานทดแทนอื่น ๆ ได้แก่ พลังงานลม ชยะ และน้ำ จำนวน 299.17, 151.18 และ 146.28 MW คิดเป็น 4.93, 2.49 และ 2.41% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม โดยพื้นที่ในประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมเฉพาะที่เท่านั้น

การประมวลผลจากสถานีอุตุนิยมวิทยา เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หากมีการรายงานผลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาก่อนที่ลมจะมาถึงกังหันลม จะเป็นการเพิ่มระยะเวลาเพื่อให้กังหันลมหันไปยังทิศทางของลม และกางใบพัดรอลมได้ จะเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของกังหันลมในการหันตามทิศทางลมไม่ให้สูญเปล่า เนื่องจากการหันเปลี่ยนทิศของกังหันลมแต่ละครั้งในการหันหน้ารับลมเพื่อผลิตไฟฟ้า มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่ระบบควบคุมต่าง ๆ งานวิจัยนี้จึงทำการประมวลผลสัญญาณจากพยากรณ์อากาศ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม เป็นการลดการสูญเสียการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานลม ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินการของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในประเทศไทยได้

วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งภายในโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์ม
- 2) ศึกษาข้อมูลในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมของโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์ม
- 3) ศึกษาข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม

ขอบเขตการศึกษา

- 1) เก็บข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาของโรงไฟฟ้าพลังงานลม โครงการชัยภูมิ วินด์ฟาร์ม อ.กิ่งอำเภอซับใหญ่ จ.ชัยภูมิ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกในปี พ.ศ. 2560
- 2) เก็บข้อมูลและกำลังการผลิตไฟฟ้าจากกลุ่มกังหันลม 6 ต้น (หมายเลข WTG21, WTG22, WTG23, WTG24, WTG25 และหมายเลข WTG26) จากทั้งหมด 32 ต้น ของโรงไฟฟ้าพลังงานลม โครงการชัยภูมิ วินด์ฟาร์ม อ.กิ่งอำเภอซับใหญ่ จ.ชัยภูมิ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกในปี พ.ศ.2560
- 3) หาความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งภายในโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์มเทียบกับข้อมูลจากกลุ่มกังหันลมดังกล่าว
- 4) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปประมวลผลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มกังหันลม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ความสัมพันธ์ของข้อมูลในพื้นที่ตั้งโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์ม
- 2) แนวทางการวางแผนการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมของโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์ม
- 3) เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันพลังงานลม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีของลม

1. การเกิดลม

ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติทั่วโลก ลมที่พัดเปลี่ยนทิศตามฤดู อิทธิพลของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศในแต่ละพื้นที่ ลมเกิดจากอากาศที่เคลื่อนที่จากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- ความแตกต่างของอุณหภูมิในที่สองแห่ง อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ความหนาแน่นของอากาศจะลดลง อากาศจึงลอยตัวขึ้น อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและความหนาแน่นของอากาศมากกว่าจากบริเวณใกล้เคียงจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลม
- ความแตกต่างของความกดอากาศ อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะมีความกดอากาศต่ำ ความหนาแน่นลดลงจึงลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าและมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาหาบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำทำให้เกิดลม

2. พื้นที่ความกดอากาศ

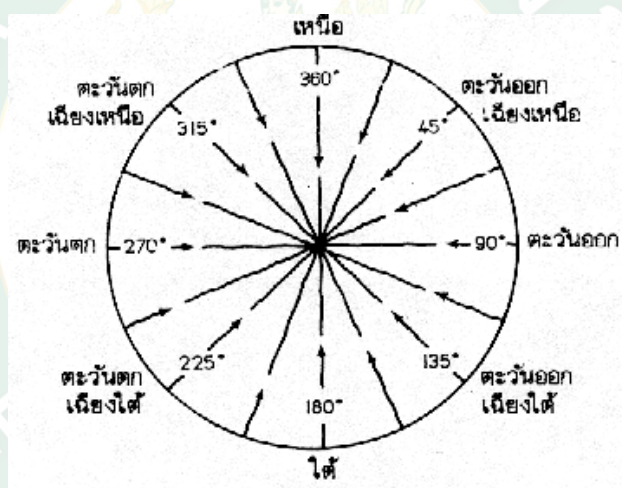
พื้นที่ความกดอากาศ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) พื้นที่ความกดอากาศสูง (High pressure area) หมายถึง บริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่าบริเวณข้างเคียง กระแสลมจะพัดเวียนออกจากจุดศูนย์กลางในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ในซีกโลกด้านเหนือเส้นศูนย์สูตร) บริเวณที่มีความกดอากาศสูงนี้จะมีสภาพท้องฟ้าแจ่มใส อากาศเย็น
- 2) พื้นที่ความกดอากาศต่ำ (Low pressure area) หมายถึง บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง กระแสลมจะพัดเวียนออกจากจุดศูนย์กลางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ในซีกโลกด้านเหนือเส้นศูนย์สูตร) บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำนี้ ท้องฟ้าจะมีเมฆมาก ถ้าหากมีความกดอากาศต่ำมาก ๆ จะเกิดพายุต่าง ๆ ขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

3. การวัดลม

การวัดลมมีพารามิเตอร์ที่ต้องการวัด 2 พารามิเตอร์ คือ

- 1) ทิศลม อาจเรียกตามทิศของเข็มทิศ หรือองศาจากทิศจริง เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก แบ่งย่อยได้อีก 8 ทิศ คือทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้ และยังสามารถแบ่งย่อยเป็น 16 หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้น นิยมรายงานเพียง 8 หรือ 16 ทิศเท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศา จะนับจาก 0° - 360° ตามเข็มนาฬิกา เช่น ทิศเหนือคือ 0° หรือ 360° , ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 45° , ทิศตะวันออก คือ 90° , ทิศตะวันออกเฉียงใต้ คือ 135° , ทิศใต้ คือ 180° , ทิศตะวันตกเฉียงใต้ คือ 225° เป็น, ทิศตะวันตก คือ 270° และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ คือ 315° ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง

ที่มา: (ลม, ม.ป.ป.)

- 2) ความเร็วลม อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีพลังงานจลน์ ทำให้เกิดแรงกระทำต่อวัตถุใด ๆ ที่ปะทะลมได้ และแรงในรูปความกดดันเป็นสัดส่วนกับความเร็วลมยกกำลังสองหรือในรูปสมการ ดังสมการที่ 1

$$p = 0.5 \rho u^2$$

สมการที่ 1

เมื่อ p คือ ความดันที่เกิดจากการกระทำของลม (N/m^2)
 u คือ ความเร็วลม (m/s)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของลม สามารถหาความเร็วลมได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือใด ๆ โดยการสังเกตจากวัตถุที่อยู่รอบ ๆ ส่งผลให้มีการกำหนดมาตราความเร็วลมที่ขึ้นกับลักษณะของลม เรียกว่ามาตราโบฟอร์ต (Beaufort Scale) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสิ่งที่เกิดขวางบนบกและในทะเล โดยการสังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเล มาตราโบฟอร์ต เริ่มต้นจากมาตราที่ 0 ไปจนถึงมาตราที่ 17 ปัจจุบันมาตราโบฟอร์ตถูกนำมาใช้น้อยลง โดยเฉพาะสถานีนบนบกเนื่องจากมีการใช้เครื่องมือวัดลมมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 เป็นตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ตและปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน

ตารางที่ 1 ตารางเทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ต

มาตรา โบฟอร์ต	ความเร็วลม		ชนิดลม	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
	knot	km/hr		
0	1	1.6	ลมสงบ	ลมสงบ คว้นลอยขึ้นตรง
1	1 – 3	1.6 – 4.8	ลมเบา	ทิศทางลมสังเกตได้จากคว้นที่ แต่ ไม่ใช่จากศรลม
2	4 – 6	6.4 – 8.6	ลมอ่อน	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เคลื่อนไหว ศรลมเริ่มหันทิศทางไปตามลม
3	7 – 10	12.8 – 19.2	ลมเฉื่อย	ใบไม้และกิ่งไม้เล็ก ๆ เคลื่อนไหว ตลอดเวลา ธงคล้ออกตามลม
4	11 – 21	20.8 – 28.8	ลมปานกลาง	ฝุ่นฟุ้ง กระดาษปลิว กิ่งไม้เล็ก ๆ โยก ต้นไม้เล็ก ๆ เริ่มโยก แหล่งน้ำบนบก
5	17 – 21	30.4 – 38.4	ลมกระโชก	เช่นแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง เป็น ระลอก
6	22 – 27	40.0 - 38.4	ลมแรง	กิ่งไม้ใหญ่โยก สายโทรเลขดังหวิว ๆ ไม่สะดวกที่จะใช้ร่ม
7	28 – 33	51.2 – 60.8	พายุปานกลาง	ต้นไม้โยก เดินด้านลมไม่สะดวก
8	34 – 40	62.4 – 73.6	พายุกระโชก	กิ่งไม้หัก เดินไปข้างหน้าไม่สะดวก
9	41 – 47	75.2 – 86.4	พายุแรง	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อย
10	48 – 55	88.0 – 100.8	พายุจัด	ต้นไม้ถอนราก สิ่งก่อสร้างเสียหาย

มาตรา โบฟอร์ต	ความเร็วลม		ชนิดลม	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
	knot	km/hr		
				มาก
11	56 – 63	102.4 – 115.2	พายุจัด	สิ่งก่อสร้างเสียหายเป็นบริเวณกว้าง
12	64 – 71	116.8 – 131.2	เฮอริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
13	72 – 80	132.8 – 147.3	เฮอริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
14	81 – 89	148.8 – 164.8	เฮอริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
15	90 – 99	166.4 – 182.4	เฮอริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
16	100 – 108	184.0 – 200.0	เฮอริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก
17	109 – 118	201.6 – 217.6	เฮอริเคน	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก

4. ลมพื้นผิว (Surface wind)

ลมพื้นผิว (Surface winds) คือ ลมที่พัดจากบริเวณผิวพื้นไปยังความสูงประมาณ 1 km เหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศ และมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วย ในระดับต่ำแรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะไม่สมดุลกับ แรงคอริโอลิส (Coriolis) ลมพื้นผิวจะไม่พัดขนานกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) แต่พัดข้ามเส้นความกดอากาศเท่าจากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ และทำมุมกับเส้นความกดอากาศเท่า การทำมุมนั้นขึ้นอยู่กับความหยาบของผิวพื้น ถ้าเป็นทะเลที่ราบเรียบจะทำมุม 10° - 20° แต่พื้นดิน (ระดับความสูง 10 m) ทำมุม 20° - 40° ส่วนบริเวณที่เป็นป่าไม้หนาทึบ อาจทำมุมถึง 90° แต่ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 m ขึ้นไป แรงต้านจะลดลงและความเร็วลมจะเพิ่มขึ้น มุมที่ทำกับเส้นความกดอากาศเท่า จะเล็กลง ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 km เกือบไม่มีแรงฝัด ดังนั้นลมจึงพัดขนานเส้นความกดอากาศเท่า

5. ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

5.1 ลมมรสุม (Monsoon)

ในฤดูร้อนของทวีปเอเชีย แผ่นดินจะได้รับความร้อนเต็มที่ ขณะที่ในฤดูหนาวแผ่นดินจะได้รับความเย็นเต็มที่โดยเฉพาะในบริเวณทางเหนือของเทือกเขาหิมาลัย ในฤดูหนาวอากาศจะหนักทำให้เกิดความกดอากาศสูงแต่ปกคลุมทั่วทวีปเอเชีย ในฤดูร้อนแผ่นดินจะร้อนระอุทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ ลมมรสุมจึงเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความกดอากาศดังกล่าว กล่าวคือในมหาสมุทร

อินเดียลมจะพัดจากทะเลสู่แผ่นดินจากทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้ในฤดูร้อน เมื่อถึงเดือนพฤศจิกายนทวีปเอเชียจะเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาวซึ่งถูกปกคลุมด้วยลมหนาวที่เป็นอากาศแห้ง พัดจากทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือลงใต้

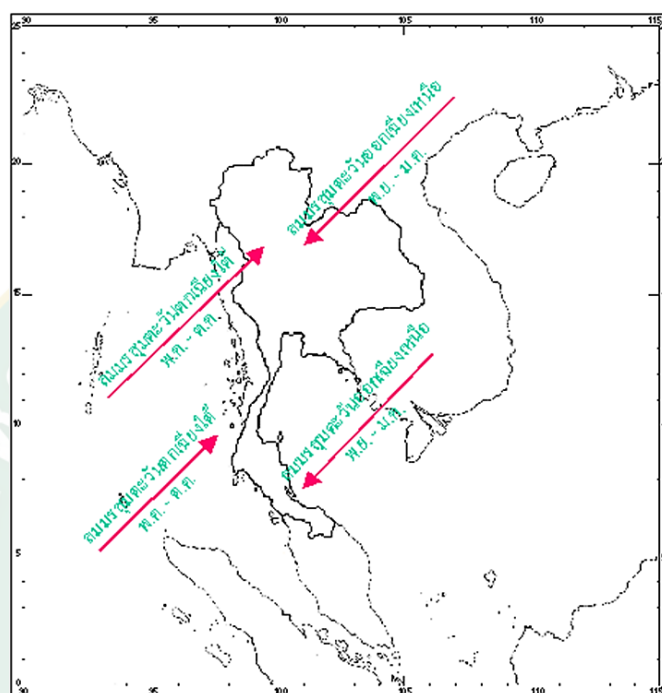
ลมมรสุม มาจากคำในภาษาอาหรับว่า Mausim แปลว่า ฤดู ดังนั้นลมมรสุมจึงหมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนฤดูคือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว ครั้งแรกใช้เรียกลมนี้ในบริเวณทะเลอาหรับซึ่งพัดอยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลา 6 เดือน แต่อยู่ในส่วนอื่น ๆ ของโลก ลมมรสุมที่เห็นชัดเจนที่สุดคือ ลมมรสุมที่เกิดขึ้นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้

ลักษณะการเกิดลมมรสุม คือ ในฤดูหนาวอากาศภายในภาคพื้นทวีปเย็นกว่าอากาศในมหาสมุทรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ภาคพื้นทวีปบริเวณไซบีเรียเป็นเขตความกดอากาศสูงอุณหภูมิต่ำ มหาสมุทรอินเดียเป็นเขตความกดอากาศต่ำอุณหภูมิสูง อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา อากาศที่ไหลออกจากบริเวณความกดอากาศสูงจะไหลลงในทิศทางเบนไปทางขวา กลายเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ผ่านเข้าไปยังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ โดยทั่วไปมีลักษณะอากาศดีและอากาศแห้ง ลมมรสุมฤดูหนาวจึงมีลักษณะของท้องฟ้าแจ่มใส

ในฤดูร้อนลมจะพัดเปลี่ยนในทิศทางตรงกันข้าม อากาศภาคพื้นทวีปอุ่นกว่าพื้นน้ำ ซึ่งทำให้ภาคพื้นทวีปเป็นเขตความกดอากาศต่ำ พื้นน้ำเป็นเขตความกดอากาศสูง เกิดลมพัดจากพื้นน้ำที่เป็นเขตความกดอากาศสูงเข้าสู่พื้นดินที่เป็นเขตความกดอากาศต่ำ ในทิศวนเข็มนาฬิกากลายเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมที่พัดจากพื้นน้ำเข้ามา นำเอาความชื้นมาด้วย

มรสุมที่มีกำลังแรงจัดที่สุด เกิดขึ้นในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้แก่ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนเกาหลี ลมมรสุมที่เกิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แตกต่างจากเอเชียใต้คือ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวมีกำลังแรงกว่าและมีทิศทางที่คงที่กว่ามรสุมฤดูร้อน ความเร็วลมตามชายฝั่งในเดือนมกราคม จะมีมากกว่าเดือนกรกฎาคมหลายเท่า ส่วนลมมรสุมในเอเชียใต้ รวมทั้งประเทศอินเดีย ปากีสถาน และประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวไม่สามารถแผ่เข้าไปถึงดินแดนเหล่านี้ได้ เพราะมีเทือกเขาหิมาลัยขวางกั้นอยู่ ดังนั้นเอเชียใต้จึงได้รับมรสุมโดยตรงเฉพาะในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น และลมจะมีกำลังแรงในฤดูร้อน แม้แต่ในมหาสมุทร คือฤดูร้อนลมมีความเร็วเฉลี่ย 20 km/hr ส่วนฤดูหนาวลมมีกำลังอ่อน มีความเร็วน้อยกว่า 10 km/hr บริเวณที่มีฝนตกหนักเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมฤดูร้อนคือ เมืองเซอร์ราปันจิ ทางภาคตะวันออกของประเทศอินเดีย มีปริมาณฝนตกในแต่ละปีประมาณ 10,800 mm ส่วนใหญ่จะมีฝนตกในช่วงเดือนเมษายนถึงตุลาคม ฝนที่ตกมีประโยชน์

ทางการเกษตร ทำให้พืชผลเจริญเติบโต เนื่องจากบริเวณที่มีฝนอากาศแห้ง แต่ฝนที่ตกลงมามีข้อเสีย เนื่องจากช่วงเวลาที่ฝนตกจะมีความไม่แน่นอนรวมทั้งความแรงของฝน สำหรับประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้ง 2 ฤดู คือ ในช่วงฤดูฝนประมาณต้นเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนต้นเดือนตุลาคม ได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และต่อมาเป็นช่วงฤดูหนาว



ภาพที่ 3 ทิศทางการพัดพาของลมมรสุม

ที่มา: (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)

นอกจากลมมรสุมที่เกิดขึ้นทวีปเอเชียแล้ว ยังมีลมมรสุมที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนอื่นของโลก เช่น ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย เมื่อลมมรสุมพัดข้ามเส้นศูนย์สูตรจะเปลี่ยนทิศทางเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือพัดเข้าสู่ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีแนวเขตลมค้าเบียดตัวเข้าหากันพาดผ่านอยู่ เป็นแนวแบ่งเขตระหว่างลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือของซีกโลกเหนือกับลมค้าตะวันตกเฉียงใต้ของซีกโลกใต้ รวมทั้งมีลมมรสุมเกิดขึ้นในอ่าวกินีของแอฟริกาตะวันออกบางส่วนของทวีปอเมริกาเหนือ และบางส่วนของทวีปอเมริกาใต้

5.2 ลมประจำถิ่น

เป็นลมที่เกิดขึ้นภายในท้องถิ่นเนื่องจากอิทธิพลของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศประจำถิ่น แบ่งแยกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1) **ลมบกและลมทะเล** เป็นลมประจำถิ่น เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างทะเลกับแผ่นดิน

- **ลมทะเล (Sea breeze)** เกิดขึ้นในฤดูร้อนตามชายฝั่งทะเลในเวลากลางวัน เนื่องจาก พื้นดินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นดินเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวลอยขึ้น อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดเป็นลมพัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง เรียกว่า ลมทะเล
- **ลมบก (Land breeze)** เกิดในเวลากลางคืน พื้นดินจะคายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งร้อนกว่าพื้นดินจะลอยตัวขึ้น อากาศเหนือพื้นดินซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดเป็นลมพัดจากชายฝั่งไปสู่ทะเล เรียกว่า ลมบก

2) **ลมภูเขาและลมหุบเขา** เกิดขึ้นเองตามความแตกต่างของความกดอากาศในเวลากลางคืน จากความแตกต่างของความกดอากาศบริเวณภูเขา กล่าวคือ บริเวณภูเขาที่ระดับสูงจะมีอากาศเย็นกว่าที่ระดับต่ำ

- **ลมหุบเขา (Valley breeze)** เกิดในช่วงกลางวัน อากาศตามภูเขาและลาดเขาร้อนเพราะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ส่วนอากาศที่หุบเขาด้านล่างมีความเย็นกว่าจึงไหลเข้าแทนที่ ทำให้ลมเย็นจากหุบเขาเบื้องล่างพัดไปตามลาดเขาขึ้นสู่เบื้องบน เรียกว่า ลมหุบเขา
- **ลมภูเขา (Mountain breeze)** เกิดในเวลากลางคืน อากาศตามภูเขาและลาดเขาจะเย็นอย่างรวดเร็ว อากาศลาดเขาที่เย็นกว่า จึงไหลออกมาทำให้มีลมพัดมาจากลาดเขาสู่หุบเขาเบื้องล่าง เรียกว่า ลมภูเขา

3) **ลมตะเภา ลมตะเภา (Southwest local wind)** เป็นลมท้องถิ่นในประเทศที่พัดจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ คือ พัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ภาคกลางตอนล่าง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

4) **ลมว่าว ลมว่าว (Northeast local wind)** เป็นลมที่พัดจากทิศเหนือไปทิศใต้ตอนต้นฤดูหนาว เกิดในระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน เป็นลมเย็นที่พัดตามลำน้ำเจ้าพระยา และพัดในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรืออาจจะเรียกว่าลมข้าวเบา เพราะพัดในช่วงที่ข้าวเบากำลังออกรวง ส่วนลมในฤดูเล่นว่าว คือ ลมตะเภา ซึ่งพัดจากทิศใต้ไปทิศเหนือในช่วงกลางฤดูร้อน ทั้งลมว่าวและลมตะเภาเป็นลมท้องถิ่นในประเทศ

6. สภาพอากาศในประเทศไทย

6.1 ฤดูหนาว (กลางเดือนตุลาคม-กลางเดือนกุมภาพันธ์)

สภาพอากาศหนาวเกิดจากบริเวณความกดอากาศสูง (High pressure area) แผ่ปกคลุมประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 4 ทำให้ประเทศไทยตอนบนมีลมกระโชกแรง บริเวณอ่าวไทยมีคลื่นลมแรง ภาคใต้จะได้รับอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะทางภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะมีฝนตกชุกและมีอุณหภูมิลดลงขึ้นในหลายจังหวัดทุกปีซึ่งเป็นสภาพอากาศชนิดทรงตัว (Stable) โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1) ความแรงของความกดอากาศสูงจากประเทศมองโกเลียและจีนที่แผ่ปกคลุมทั่วประเทศไทยหากความกดอากาศสูงมีประมาณ 1,020 mb จะมีแนวโน้มปกคลุมทั่วประเทศไทยและอ่าวไทยมากขึ้นซึ่งเป็นสภาพอากาศ Neutral
- 2) แนวปะทะอากาศบริเวณประเทศจีนด้านตะวันออกจากสภาพภูมิประเทศเป็นตัวการที่กั้นมวลอากาศเย็นให้เคลื่อนลงมาทางใต้ หากลมชั้นบนที่ระดับ 500-200 mb เป็นลักษณะร่องความกดอากาศต่ำ (Trough) อยู่ประมาณ Longitude 110-120 องศาตะวันออกจะทำให้มวลอากาศเย็นแผ่ลงมาทางใต้ได้เร็วขึ้น
- 3) Sub-tropical Jet ที่ระดับ 500-200 mb ถ้าแกนอยู่ไกลภาคเหนือของประเทศไทย บริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนมีแนวโน้มจะแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยมากขึ้น
- 4) พายุหมุนเขตร้อนในทะเลจีนใต้ตอนล่าง ทะเลอันดามัน และอ่าวเบงกอลตอนล่างรวมทั้งบริเวณมหาสมุทรอินเดียด้านตะวันออกตอนล่างจะเป็นตัวการที่ทำให้อากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยได้มากและเร็วขึ้น
- 5) คลื่นกระแสลมตะวันตกจากประเทศอินเดียและบังคลาเทศเคลื่อนทางตะวันออกผ่านอ่าวเบงกอลและประเทศเมียนมาเข้ามาพาดอยู่บริเวณทางเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ถ้ามีความกดอากาศสูงแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยพอดีจะเกิดเป็นสภาพอากาศชนิดไม่ทรงตัว (Unstable) ที่บริเวณทางเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ

ในฤดูนี้จะมีโอกาสเกิดฝนพายุโซนร้อนและพายุไต้ฝุ่นโดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1) ในระหว่างเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน หากมีร่องความกดอากาศต่ำกำลังแรงพาดผ่านภาคใต้จะทำให้เกิดฝนตกทั้งฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทยสภาพอากาศเป็นชนิด Neutral

- 2) ในทะเลจีนใต้ตอนล่างใกล้เกาะบอร์เนียวหากมีหย่อมความกดอากาศต่ำเกิดขึ้นซึ่งเป็นสภาพอากาศชนิด Neutral หากมีกำลังแรงขึ้นอาจจะกลายเป็นพายุดีเปรสชันหรือพายุโซนร้อนแล้วเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตกซึ่งมีโอกาสสูงที่จะเข้าสู่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก เช่นเดียวกับพายุโซนร้อน “แฮเรียต” (ตุลาคม 2505) พายุไต้ฝุ่น “เกย์” (พฤษภาคม 2532) และพายุไต้ฝุ่น “ลินดา” (พฤษภาคม 2540)

6.2 ฤดูร้อน (กลางเดือนมีนาคม-กลางเดือนพฤษภาคม)

สภาพอากาศร้อนเกิดจาก หย่อมความกดอากาศจากอากาศร้อนซึ่งมีการเคลื่อนตัว เป็นลักษณะ Cyclonic Motion ในชั้นบรรยากาศระดับต่ำและระดับสูง แต่ในระดับกลางจะเกิดลักษณะ Anti-Cyclonic Motion ปกคลุมประเทศไทยตอนบน ซึ่งเป็นสภาพอากาศชนิดทรงตัวทำให้เกิดการจมตัวจากระดับสูงลงมายังระดับกลาง เป็นเหตุให้ท้องฟ้าโปร่ง ประกอบกับลำแสงของดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับผิวพื้น อากาศและพื้นดินจึงได้รับความร้อนทำให้อุณหภูมิดังกล่าวสูงมาก เกิดเป็นสภาวะแห้งแล้งขึ้นในประเทศไทย

ในฤดูนี้จะมีโอกาสเกิดพายุฤดูร้อนและพายุฝนฟ้าคะนองโดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1) มีบริเวณความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยตอนบนซึ่งมีอากาศร้อน ทำให้เกิดการปะทะกันของมวลอากาศเย็นและอากาศร้อนเนื่องจากมวลอากาศมีคุณสมบัติแตกต่างกันมากจึงทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ลมกระโชกแรง และอาจมีลูกเห็บตกได้
- 2) คลื่นกระแสลมตะวันตกในระดับ 500 mb ขึ้นไปซึ่งจะเริ่มก่อตัวให้เห็นก่อนที่บริเวณประเทศอินเดีย บังคลาเทศ และเคลื่อนตัวมาทางตะวันออกผ่านอ่าวเบงกอลและประเทศเมียนมาร์เข้าสู่ประเทศไทยตอนบน คลื่นนี้มักจะอ่อนลงและสลายไปในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คลื่นนี้จะทำให้เกิดสภาพอากาศชนิดไม่ทรงตัว (Unstable) กล่าวคือเกิดการพัดสอบของลมใต้และลมตะวันตก และเป็นการกระตุ้นให้การหมุนเวียนของอากาศในแนวตั้งทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองที่รุนแรง

6.3 ฤดูฝน (กลางเดือนพฤษภาคม-กลางเดือนตุลาคม)

ในฤดูนี้จะมีโอกาสเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 1) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เริ่มพัดปกคลุมประเทศไทยทางใต้ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมและพัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนประมาณต้นเดือนมิถุนายนถึงกลางเดือนตุลาคม ดังแสดงใน ทำให้มีฝนตกชุกหนาแน่นและมีฝนตกหนักถึง

หนักมากบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันตก และภาคใต้ฝั่งตะวันออก ความแรงของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้สัมพันธ์โดยตรงกับความแรงของบริเวณความกดอากาศสูงบริเวณซีกโลกใต้ สภาพอากาศเป็นชนิดไม่ทรงตัว

- 2) ร่องความกดอากาศต่ำหรือร่องมรสุมพาดผ่านทำให้บริเวณดังกล่าวมีฝนตกชุกหนาแน่น ซึ่งเป็นสภาพอากาศชนิด Neutral ฝนจะมากหรือน้อยขึ้นกับความแรงของร่องความกดอากาศต่ำซึ่งร่องมรสุมจะเคลื่อนตัวผ่านประเทศไทยในช่วงปลายเดือนเมษายนจนถึงประมาณปลายเดือนพฤศจิกายน โดยเคลื่อนตัวจากทางใต้สุดขึ้นไปทางเหนือแล้วเคลื่อนตัวกลับลงมาทางใต้ อีก โดยที่ความแรงของร่องความกดอากาศต่ำหรือร่องมรสุมขึ้นอยู่กับ
 - บริเวณความกดอากาศสูงจากซีกโลกใต้มีกำลังแรงประกอบกับบริเวณความกดอากาศสูงจากจีนมีกำลังแรงขึ้นในระยะเวลาใกล้เคียงกัน
 - มีลมหมุนเข้าหาจุดศูนย์กลางในระดับสูง (Upper Vortex) ในแนวร่องความกดอากาศต่ำตั้งแต่ระดับ 2,000-10,000 ft
 - มีพายุหมุนเขตร้อนบริเวณทะเลจีนใต้แล้วเคลื่อนตัวทางตะวันตกหรือตะวันตกก่อนทางเหนือในแนวร่องความกดอากาศต่ำ
 - เมื่อร่องความกดอากาศต่ำหรือร่องมรสุมมีกำลังแรงจะทำให้บริเวณที่ร่องนี้พาดผ่านมีฝนตกหนักถึงหนักมาก จนทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันและน้ำป่าไหลหลากขึ้นได้
- 3) พายุโซนร้อนซึ่งมักก่อตัวในมหาสมุทรแปซิฟิกและเคลื่อนตัวผ่านประเทศฟิลิปปินส์ ลงสู่ทะเลจีนใต้หรือก่อตัวขึ้นในทะเลจีนใต้แล้วเคลื่อนเข้าสู่ประเทศเวียดนามหรืออ่าวไทยต่อไป

สภาพของอากาศเป็นชนิดไม่ทรงตัว โดยในแต่ละช่วงเวลาจะมีแนวการเคลื่อนตัวดังนี้

- 1) ช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน มักจะมีแนวโน้มนเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยตอนบน
- 2) ช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน มักจะมีแนวโน้มนเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าวไทยและขึ้นฝั่งภาคใต้ฝั่งตะวันออกของประเทศไทย (บริษัท เฟลโลว เอ็นจิเนียर्स คอนซัลแตนต์ส์ จำกัด, 2544)



ภาพที่ 4 สภาพอากาศและทิศทางลมช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน



ภาพที่ 5 สภาพอากาศและทิศทางลมช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม

7. การวัดลมพื้นผิว

ความเร็วลม (Wind velocity) เป็นเวกเตอร์สามมิติของการผันแปรที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มในสเกลขนาดเล็กตามตำแหน่งทิศทางและเวลา อยู่ภายใต้ระบบการไหลเวียนขนาดใหญ่ที่เป็นระบบ

ระเบียบ นิยามนี้ใช้ในกรณีที่เกี่ยวข้องในตัวอย่าง เช่น มลพิษที่มากับอากาศ และการลงจอดของเครื่องบิน อย่างไรก็ตามลมผิวพื้นส่วนใหญ่จะพิจารณาเป็นเวกเตอร์สองมิติ ที่ระบุโดยจำนวนสองจำนวนแทนทิศทางและอัตราเร็วลม ขนาดของการเปลี่ยนแปลงของลมที่มีการผันแปรความเร็วอย่างรวดเร็ว เรียกว่า ความแรงของลมกระโชก (Gustiness) และส่วนการผันแปรของลมใด ๆ อย่างรวดเร็ว นั้น เรียกว่า ลมกระโชก (Gust) ผู้ที่ใช้ข้อมูลลมส่วนใหญ่ต้องการค่าเฉลี่ยของลมในแนวนอน โดยทั่วไปจะแสดงในพิกัดขั้วโลก (Polar coordinates) ตามทิศทางและความเร็ว แต่อย่างไรก็ดี ปัจจุบันได้มีความต้องการข้อมูลเกี่ยวกับความแรงของลมกระโชกมากขึ้น ในกรณีเช่นนี้ข้อมูลที่ต้องการสามชนิดคือ ลมกระโชกสูงสุด และการเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วและทิศทางลม

ปริมาณเฉลี่ย (Averaged quantities) คือ ปริมาณ (ตัวอย่างเช่น อัตราเร็วลมในแนวนอน) ซึ่งคิดเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 10-60 min โดยทั่วไปใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาทุก 10 min ตามที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศ ส่วนในทางสถิติทางภูมิอากาศโดยทั่วไปต้องการค่าเฉลี่ยตลอดแต่ละชั่วโมง ค่าเฉลี่ยช่วงกลางวันและช่วงกลางคืน การใช้งานเกี่ยวกับการบินมักใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาสั้นกว่า การคิดค่าเฉลี่ยในระยะเวลาที่สั้นกว่า 2-3 min ไม่สามารถลบค่าจากอิทธิพลการปั่นป่วนของลมที่มักเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ดังนั้นการอ่าน “ค่าเฉลี่ย 1 min” ในช่วงเวลาใดควรมองในลักษณะของลมกระโชกที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันไป

ลมกระโชกสูงสุด (Peak gust) คือ ค่าสูงสุดของความเร็วลมที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ในกรณีการรายงานสภาพอากาศรายชั่วโมง ลมกระโชกสูงสุด หมายถึง ลมสูงสุดในชั่วโมงที่ผ่านมา

ความยาวนานของลมกระโชก (Gust duration) คือ ระยะเวลาที่ลมกระโชกสูงสุดที่เราตรวจวัดได้ ซึ่งขึ้นกับการตอบสนองของระบบตรวจวัด ระบบการตรวจวัดที่มีการตอบสนองที่ช้าจะตัดค่าสูงสุดออกและให้ค่าของลมกระโชกที่ถูกกลบค่าสูงๆ ออก ส่วนระบบที่มีการตอบสนองที่รวดเร็วอาจแสดงค่าลมกระโชกที่มีค่าสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ มากไป

สำหรับคำนิยามของความยาวนานของลมกระโชกในทางอุดมคตินั้นจะใช้การวัดที่ต่อเนื่องกัน กล่าวคือ การกำหนดค่ากรองทางคณิตศาสตร์ที่หาค่าเฉลี่ยทุกช่วง t_0 วินาทีอย่างต่อเนื่อง ค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ได้ คือค่าลมกระโชกสูงสุดที่ระยะเวลา t_0 s นอกจากระบบการตรวจวัดอื่น ๆ อาจใช้หลักการการกรองค่าที่ต่างกัน

การเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ:

$$s_u = \sqrt{(u_i - U)^2} = \sqrt{((\sum(u_i^2) - (\sum(u_i))^2/n)/n)}$$

สมการที่ 2

เมื่อ u คือสัญญาณที่ขึ้นอยู่กับเวลา (เช่น ค่าอัตราเร็วลมตามแนวนอน) กับค่าเฉลี่ย U และค่าเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนดของค่า u_i ทั้ง n ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานจะใช้เพื่อแสดงขนาดของการผันแปรของลม

เวลาคงที่ (Time-constant) (ของการประมาณค่าทางคณิตศาสตร์ –first order system) เป็นเวลาที่กำหนดสำหรับอุปกรณ์เพื่อตรวจจับและครอบคลุมประมาณ 63% ของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ (Step functions)

ระยะทางการตอบสนอง (Response length) เป็นค่าระยะที่ลมผ่านโดยประมาณ (หน่วยเป็นเมตร) ในการที่เซ็นเซอร์วัดอัตราเร็วลม สามารถแสดงค่าประมาณ 63% ของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ (Step functions) ของการเปลี่ยนแปลงของลมที่พัดผ่าน

ความหน่วงที่จำเป็น (Critical damping) (ของเซ็นเซอร์เซ็นสครลม มีการตอบสนองที่อธิบายโดยสมการอนุพันธ์อันดับสอง) คือค่าของความหน่วงที่จะให้การตอบสนองชั่วคราวเร็วที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงโดยไม่มีการกระโดดข้ามค่า

อัตราส่วนความหน่วง (Damping ratio) เป็นอัตราส่วนของความหน่วงที่แท้จริงต่อความหน่วงที่จำเป็น

ความยาวคลื่นธรรมชาติที่ไม่ถูกหน่วง (Undamped natural wavelength) คือระยะของการผ่านของลม ซึ่งจำเป็นสำหรับสครลม เพื่อจะผ่าน 1 คาบของการแกว่งถ้าไม่มีความหน่วง ความยาวคลื่นธรรมชาติที่ไม่ถูกหน่วงนี้ จะน้อยกว่าความยาวคลื่นที่แท้จริงที่ “ถูกหน่วง” โดย $\sqrt{(1-D^2)}$ ถ้า D คืออัตราส่วนความหน่วง

8. การวัดที่เกี่ยวกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา

8.1 หน่วยวัดและระบบการวัด (Units and scales)

อัตราเร็วลม ควรรายงานโดยค่าความละเอียดที่ 0.5 m/s หรือ 1 knot (0.515 m/s) โดยปัดหน่วยที่ใกล้เคียงที่สุด และในรายงานอากาศควรใช้ค่าเฉลี่ยของลมในช่วง 10 min ค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในระยะเวลาที่สั้นกว่านี้ใช้ในวัตถุประสงค์ของการบิน

ทิศทางลมควรรายงานโดยใช้หน่วย องศา ที่ใกล้เคียงหน่วย 10° ที่สุด โดยใช้รหัส 01 ถึง 36 (เช่นรหัส 2 หมายความว่าทิศทางลมระหว่าง 15° และ 25°) และควรจะแสดงค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 min นิยามของทิศทางลมคือ ทิศทางจากที่ลมพัดเข้าหาสถานี และวัดตามเข็มนาฬิกาจากทิศเหนือทางภูมิศาสตร์ กล่าวคือ ทิศเหนือจริง (True north) นั่นเอง

“ลมสงบ” ควรรายงานเมื่อความเร็วลมเฉลี่ยน้อยกว่า 1 knot ในกรณีนี้ทิศทางที่ใช้คือรหัส

ทิศทางลมที่สถานีภายใต้ละติจูด 1° เหนือหรือใต้จากขั้วโลก ควรรายงานรหัสตามตาราง 0878 ของ WMO ปี 1995 ที่ วงแหวนของเส้นวางราบ (Azimuth ring) ควรปรับค่าศูนย์อยู่ในแนวเดียวกับเส้นเมริเดียนกรีนิชที่ 0°

มีข้อเปรียบเทียบความแตกต่างที่สำคัญถึงความต้องการของการตรวจอากาศผิวพื้น สำหรับการตรวจวัดและการรายงานอัตราเร็วและทิศทางลม ต่อการนำเครื่องบินขึ้น-ลง บริเวณสนามบิน ในการตรวจอากาศผิวพื้นตามสถานีตรวจอากาศโดยปกติแล้ว ทิศทางลมควรได้จากการตั้งค่าเส้นวางราบ (Azimuth) ให้อ้างอิงกับทิศเหนือจริง (True north) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ทำการตรวจ ในขณะที่การตรวจอากาศตามสนามบินนั้น ทิศทางลมที่สนามบินจะต้องรายงานโดยอ้างอิงกับทิศเหนือของแม่เหล็ก (Magnetic North) และค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 2 min ดังนั้นหากมีการรายงานลมของสนามบินนั้น เป็นรายงานอากาศของสถานีผิวพื้นจะต้องปรับทิศทางลมให้อ้างอิงถึงทิศเหนือจริง และมีช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 10 min

8.2 ข้อกำหนดของอุตุนิยมวิทยา (Meteorological requirements)

การตรวจหรือการวัดลมมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังสภาพอากาศ และการคำนวณค่ากำลังลม (Wind-load) ทางภูมิอากาศ หรือในการคำนวณค่าความเป็นไปได้ของความเสียหายจากลม การประมาณค่าของพลังงานลม หรือในการประเมินการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของพื้นผิวดตัวอย่างเช่น ค่าการระเหยในการติดตามมลพิษที่แพร่กระจายในอากาศและการประยุกต์ทางการเกษตร ทั้งนี้ข้อกำหนดในด้านประสิทธิภาพ กำหนดให้ค่าความถูกต้องของอัตราเร็วในแนวนอนอยู่ที่ 0.5 m/s ในขณะที่อัตราเร็วลมต่ำกว่า 5 m/s และมีค่าต่ำกว่า 10% ที่อัตราเร็วลมมากกว่า 5 m/s ส่วนทิศทางลมที่ถูกต้องควรวัดที่ค่าความถูกต้องไม่เกิน 5° นอกเหนือจากค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วและทิศทางลมแล้ว การใช้งานหลายๆ อย่างอาจต้องการค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviations) และค่าความสูงสุด (Extremes) จากเครื่องมือวัดลมที่ทันสมัย สิ่งที่เป็นอุปสรรคที่สุดของการวัดลมคือ การวางตำแหน่งเปิดโล่งที่จะวางเครื่องวัดลม เนื่องจากเป็นไปยากที่จะหาพื้นที่ติดตั้งเครื่องวัดลมเพื่อที่จะได้ค่าตรวจวัดที่เป็นค่าตัวแทนของลมในพื้นที่ใหญ่ขึ้นไป ดังนั้นเราต้องประมาณค่าผิดพลาดที่เกิดจากการวางตำแหน่งของเครื่องมือ

การใช้งานหลายๆ อย่างต้องการข้อมูลเกี่ยวกับค่าความแรงของลมกระโชก ข้อมูลดังกล่าวใช้เพื่อรายงานสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นในขณะปัจจุบันสำหรับเตรียมการขึ้นและลงจอดของเครื่องบินในบริเวณท่าอากาศยาน การศึกษา Wind load ทางภูมิอากาศ และปัญหาการแพร่กระจายของมลพิษในอากาศ สองตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการอ่านค่า ได้แก่ ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราเร็วและทิศทางลมและลมกระโชกสูงสุด 3 s

8.3 วิธีการวัดและการสังเกต (Methods of measurement and observation)

ปกติแล้วลมผิวพื้นมักวัดโดยศรลมและเครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วยหรือใบพัด หากต้องนำเครื่องวัดลมออกไปซ่อมแซมชั่วคราวหรือไม่มีเครื่องมือใช้งาน ผู้ตรวจอากาศอาจประมาณการค่าของลมได้เอง เช่น เซอร์ของเครื่องวัดความเร็วลมและเครื่องวัดทิศทางลมได้แก่ ลูกถ้วยและศรลมใบพัดและศรลม และใบพัดอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีเซนเซอร์อื่น ๆ อีก เช่น Pitot tube ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปใช้ในการวัดค่อนข้างน้อย แต่ก็สามารถนำไปใช้ได้ผลเป็นอย่างดี ขณะที่เครื่องมือชนิดใหม่ก็กำลังพัฒนาหรือค้นคว้าขึ้นมาอยู่เรื่อย ๆ เครื่องมือเหล่านี้อาจจะกลายมาเป็นเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าสำหรับใช้เป็นเครื่องวัดลมที่ใช้งานประจำต่อไป

เครื่องวัดลมเกือบทุกรูปแบบนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นในการวัดค่าเฉลี่ยของอัตราเร็วและทิศทางลมการใช้งานในหลายๆ ด้านยังคงต้องการข้อมูลของความแรงของลมกระโชก ด้วยเหตุนี้ระบบของการวัดลมจึงไม่ได้ประกอบไปด้วยแค่เพียงตัวเซนเซอร์ แต่ยังรวมระบบของการบันทึกและประมวลผลไว้ด้วย ซึ่งการประมวลผลนี้ต้องคำนึงถึงการคิดค่าเฉลี่ย การคำนวณของการเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอัตราเร็วสูงสุดด้วย รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการประมวลผลสามารถทำได้โดยเขียนสัญญาณลมด้วยเครื่องบันทึกปากกาและประมาณการค่าเฉลี่ยและสูงสุดโดยการอ่านบันทึก

9. การประมาณการค่าของลม (Estimation of wind)

ในระหว่างที่ไม่มีเครื่องมือสำหรับการวัดลม การตรวจจะต้องทำโดยการประมาณ ทั้งนี้ข้อผิดพลาดในการสังเกตด้วยวิธีการนี้อาจมีอยู่มาก แต่ถ้าสังเกตให้ดีวิธีการนี้อาจจะให้ข้อมูลที่ถูกต้องดีพอ ในสถานการณ์ที่ไม่สามารถหาข้อมูลมาได้จากทางอื่น หากข้อมูลลมบางสถานีที่ได้มาโดยการประมาณแทนการวัดทั้งแบบชั่วคราวหรือถาวรส่วนของข้อมูลลมนี้สถานีควรบันทึกลงในเอกสารเพื่อให้ง่ายแก่ผู้ใช้ข้อมูลอัตราลม (Wind speed) การประมาณอัตราเร็วลม ขึ้นอยู่ผลของลมต่อวัตถุที่เคลื่อนไหวได้ ดังนั้นวัตถุใด ๆ ที่เคลื่อนไหวได้ภายใต้อิทธิพลของลมสามารถใช้การวัดอัตราเร็วลมได้แทบทั้งสิ้น ลักษณะของแรงลมตามที่ได้อธิบายไว้ในมาตราโบฟอร์ตใน

- ตารางที่ 1 นั้นง่ายต่อการใช้งาน ในการประมาณค่าลมผู้ตรวจอากาศ (และวัตถุที่ไวต่อลม) ต้องยืนบนพื้นดินที่เรียบกว้างห่างจากสิ่งกีดขวางเท่าที่จะเป็นไปได้ต้องรำลึกเสมอว่าแม้แต่สิ่งกีดขวางเล็ก ๆ ก็อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นนัยสำคัญต่อค่าอัตราลมและการเบี่ยงเบนของทิศทางลมได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่บังลม
- ทิศทางลม (Wind direction) ในกรณีที่ไม่มีเครื่องมือหรือเมื่อเครื่องมือใช้การไม่ได้ ทิศทางของลมควรประมาณการโดยการสังเกตควันที่ลอยสูงขึ้นจากปล่องไฟ และการเคลื่อนไหวของใบไม้ในที่โล่ง หรือธงที่ปลิวอยู่บนเสาธงสูง นอกจากนี้ธงลมที่สนามบิน

อาจถูกนำมาใช้เมื่อมีอัตราลมเพียงพอที่ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวเคลื่อนไหวได้การใช้ตัวช่วยเหล่านี้ ข้อผิดพลาดโดยตรงมักมาจากปัญหามุมมองของผู้สังเกตจากผู้สังเกตไม่ยืนอยู่ในแนวตั้งใต้เครื่องชี้ทิศทางลม ข้อระวังควรป้องกันการเข้าใจผิดต่อลมหมุนวนประจำท้องถิ่นที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้างซึ่งดูเหมือนกับกระแสลมจริง ในสถานที่เปิดโล่งทิศทางลมผิวพื้นสามารถประมาณการได้ค่อนข้างถูกต้องแม่นยำโดยอาศัยการเผชิญหน้ากับลม ทั้งนี้ไม่ควรใช้ทิศทางลมการเคลื่อนไหวของเมฆมาวิเคราะห์ไม่ว่าเมฆนั้นจะอยู่ต่ำเท่าไรก็ตาม

- ความผันแปรของลม (Wind fluctuations) ไม่ควรประมาณการค่าลมกระโชกสูงสุดหรือค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์บันทึกที่เหมาะสม

10. การอ่านค่าเครื่องวัดแรงลม

อัตราเร็วลมเพิ่มขึ้นอย่างมากตามความสูง โดยเฉพาะเหนือภูมิประเทศที่ขรุขระ สำหรับเหตุผลนี้ ความสูงมาตรฐาน 10 m เหนือภูมิประเทศแบบโล่งถูกระบุไว้แน่นอนสำหรับการอ่านค่าด้วยเครื่องวัดแรงลม ในส่วนของการวัดทิศทางลมนั้น การเปลี่ยนแปลงทิศทางกับระยะความสูงมีความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อย และไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการการวัดลมผิวพื้น ตำแหน่งที่ตั้งในการสังเกตแรงลมที่เหมาะสม เป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถใช้เป็นตัวแทนลมเหนือพื้นที่อย่างน้อย 2-3 km ได้ เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับภูมิประเทศไม่ราบเรียบที่มีสิ่งกีดขวาง หรือสภาพพื้นผิวไม่เหมือนกันทั้งอัตราเร็วลมและทิศทางส่งผลอย่างมาก การแก้ไขให้ถูกต้องสามารถเป็นไปได้และมีเครื่องมือในการคำนวณแก้ไข การพัฒนาความสามารถในการประยุกต์ข้อมูลดิบของลม ข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขควรถูกส่งผ่านถึงผู้ใช้งานรวมถึงการวัดทิศทาง

10.1 เครื่องวัดอัตราเร็วลมสำหรับวัดเหนือพื้นดิน

การอ่านค่ามาตรฐานของเครื่องวัดแรงลมเหนือภูมิประเทศแบบโล่ง คือ 10 m เหนือพื้นดิน ภูมิประเทศแบบโล่งถูกให้คำจำกัดความเสมือนพื้นที่ซึ่งระยะทางระหว่างเครื่องวัดอัตราเร็วลมและสิ่งกีดขวางใด ๆ คืออย่างน้อย 10 เท่าของความสูงสิ่งกีดขวาง การวัดแรงลมที่ทำในบริเวณระลอก (Wake) ของต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง หรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ มีคุณค่าเพียงเล็กน้อยและให้ข้อมูลเพียงน้อยนิดเกี่ยวกับลมที่ไม่ถูกรบกวน เนื่องจากระลอกลมจากสิ่งกีดขวางสามารถเพิ่มกระแสลมได้โดยง่ายถึงระยะทาง 12 ถึง 15 เท่าของความสูงสิ่งกีดขวาง ดังนั้นข้อบังคับที่ระยะ 10 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางเป็นค่าต่ำสุด ในทางปฏิบัติยากที่จะค้นหาตำแหน่งที่ดีหรือยอมรับได้สำหรับสถานีวัดแรงลม สิ่งสำคัญของการหาตำแหน่งที่เหมาะสมเป็นเรื่องเฉพาะ มีสองแง่มุมที่สำคัญมากคือ 1) เซนเซอร์ควรติดตั้งห่างจากสิ่งกีดขวางในท้องที่ให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เมื่อการวัดแรงลมถูกทำบนด้านข้างของเสา

หรือหอคอยที่ค่อนข้างจะบนสุด เครื่องมือควรจะวางบนคานที่มีความยาว 3 เท่าของความกว้างเสา หอคอย เมื่อเครื่องวัดถูกวางบนสุดของตึก ควรยกขึ้นอย่างน้อย 1 เท่าของความกว้างตึกเหนือส่วนบน ที่สุด 2) ตำแหน่งท้องที่ควรจะพิสูจน์ให้ดี อย่างน้อยควรมีแผนที่ของสถานีโดยรอบภายในรัศมี 2 km พิสูจน์สิ่งกีดขวาง และตำแหน่งต้นพืชและการเปลี่ยนความสูงระดับการยกตัวของภูมิประเทศ และอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อม เช่น การก่อสร้างตึก หรือการเจริญเติบโตของต้นไม้ ซึ่งควรถูกบันทึกในคู่มือของสถานี เครื่องมือของสถานีควรถูกระบุไว้แน่นอนในรายละเอียด

ในที่ซึ่งการอ่านค่ามาตรฐานไม่สามารถยอมรับได้ เครื่องวัดอัตราเร็วลมอาจถูกติดตั้งที่ความสูงไม่ควรได้รับผลกระทบมาจากสิ่งกีดขวาง และค่าที่วัดสามารถโยงไปถึงลักษณะลมที่ 10 m ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางในบริเวณใกล้เคียงได้ ในกรณีที่ภูมิประเทศเปลี่ยนเพียงเล็กน้อยตามเส้นวางราบ อาจวางเครื่องวัดอัตราเร็วลมที่ความสูงมากกว่า 10 m โดยขึ้นอยู่กับค่า Roughness length ของพื้นผิว Z_0 ของบริเวณโดยรอบ คือสูงประมาณ 13 m ถ้าค่า $Z_0 = 0.1$ m และสูงประมาณ 19 m ถ้า $Z_0 = 0.5$ m ทั้งนี้ การติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร็วลมที่ความสูงเพิ่มขึ้นจาก 10 m จะทำงานได้ไม่ดี ถ้าสภาพอาคารในท้องที่เปลี่ยนแปลงไปมากตามเส้นวางราบ ขั้นตอนการคำนวณอย่างง่ายเพื่อพิจารณาผลกระทบของความสูงต่ำของท้องที่และภูมิอากาศที่บันทึกไว้สามารถนำมาใช้พิจารณาแก้ไขการอ่านค่าในพื้นที่รอบ ๆ ที่ไม่เหมือนกัน ในสภาพอากาศเป็นน้ำแข็ง การเตือนล่วงหน้าเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อรักษาเซนเซอร์ลมให้ปราศจากการสะสมตัวของฝนลูกเห็บ และน้ำแข็ง ในบางพื้นที่อาจต้องการให้มีรูปแบบพลังงานความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับชิ้นส่วนที่โดนแสง เช่น เตาความร้อน อินฟราเรดที่ควบคุมโดยความร้อน กำบังกันฝนและน้ำแข็ง เคยถูกออกแบบมาสำหรับแบบของเครื่องวัดแรงลมที่พิเศษ

10.2 เครื่องวัดอัตราเร็วลมที่ใช้งานในทะเล

มีความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับการวัดลมเหนือทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้วิธีการตรวจอัตโนมัติที่ไม่มีผู้ดูแล ซึ่งมีปัญหาพิเศษต่าง ๆ ตั้งแต่ความสูงมาตรฐาน คือ 10 m ที่ระบุไว้สำหรับการใช้ในพื้นที่ดิน ไม่สามารถทำได้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นน้ำจำพวกทะเล สภาพทะเล น้ำขึ้น-น้ำลง การประมาณการจากเกณฑ์การอ่านค่าลมสำหรับพื้นดินนำไปสู่ความคิดที่ว่า เครื่องวัดอัตราเร็วลมบนทุ่นลอยน้ำ ควรติดตั้งที่ระดับสูง 10 m เหนือระดับน้ำ แต่อย่างไรก็ดี ความผิดพลาดจากแหล่งอื่น ๆ มีความสำคัญมากกว่าความผิดพลาดจากการติดตั้งที่ระดับความสูงที่ต่างจากการวัดลมเหนือพื้นดิน ในกรณีแท่นลอยที่อยู่กับที่ (แท่นที่ยึดแน่น) และเรือ มีความสำคัญที่สุดที่เซนเซอร์วัดแรงลมถูกติดตั้งที่ระดับสูงอย่างเหมาะสมเหนือแท่น และโครงสร้าง เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลท้องที่ของแท่นต่อลมที่วัดโดยทั่วไป ไม่สามารถกล่าวได้ว่าเซนเซอร์วัดแรงลมไม่ได้รับผลกระทบหรืออิทธิพลจากโครงสร้างแท่น แม้ว่าจะถูกติดตั้งที่ระดับ 10 m เป็นอย่างน้อย เหนือความสูงของสิ่งกีดขวางที่สูงสุดบนแท่น ยกเว้น

แท่นที่เล็กมาก สรุปว่า ในทะเลการหาตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดลมที่ได้รับอิทธิพลจากแท่นหรือโครงสร้างน้อยที่สุด เป็นประโยชน์มากกว่าการยึดเอามาตรฐานของการวัดที่ 10 m อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะหาที่ติดตั้งอย่างระมัดระวัง แต่ในแง่ปฏิบัติบ่อยครั้งที่มักเป็นไปได้ที่จะหลีกเลี่ยงค่าความผิดพลาดจากผลของอิทธิพลแท่นหรือโครงสร้าง ในการแก้ไขผลของการติดตั้งที่ระดับสูงและการบิดเบือนของกระแสลม การเก็บบันทึก และรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับที่ตั้ง เครื่องวัดลม และแบบของแท่นเรือ (รูปร่าง, สัดส่วน) เป็นเรื่องสำคัญ ถ้าอัตราเร็วลมถูกวัดที่ความสูงมากกว่า 10 m

10.3 การแก้ไขการอ่านค่าให้ถูกต้องจากผลของอิทธิพลสิ่งรอบด้าน

การวัดลมพื้นผิวที่ไม่มีปัญหาการอ่านค่าแทบจะไม่มีอยู่เลย ความต้องการของภูมิประเทศแบบโล่งก็ยากที่จะพบเจอ และสถานีลมส่วนมากเหนือพื้นดินมักบ่มเพาะกับผลกระทบจากความสูงต่ำของผิวพื้น หรือผิวหน้าที่ถูกปกคลุม หรือทั้งสองอย่าง เป็นที่ชัดเจนว่า ความผิดพลาดจากการอ่านค่าก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ใช้ข้อมูลลม และบ่อยครั้งที่ทำให้ข้อมูลไร้ประโยชน์ ปัญหานี้เองเป็นสิ่งสำคัญในโมเดลพยากรณ์อากาศด้วยการคำนวณ ที่ซึ่งมีแนวโน้มในการวิเคราะห์ลม และความดันแยกจากกัน อย่างไรก็ตาม ลมที่พื้นผิวสามารถถูกใช้สำหรับเริ่มต้น ถ้ามันเป็นตัวแทนของพื้นที่กว้าง สิ่งนี้หมายความว่า ความผิดพลาดเนื่องจากการอ่านค่าในท้องที่ หรือความสูงการวัดไม่ได้มาตรฐานจะถูกกำจัดออกไปการแก้ไขการอ่านค่าแรงลมในท้องที่เกิดจากการวัดที่มีคุณภาพที่สมเหตุสมผล ในที่ติดตั้งไม่ขรุขระมาก ($Z_0 < 0.5$ m) และสมเหตุสมผล ไม่ควรพยายามแก้ไขการวัดค่า ที่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของพื้นที่ ตัวอย่างเช่น สถานีลมในหุบเขาลึก ที่ซึ่งการไหลถูกควบคุมโดยลมภูเขา อาจมีความสำคัญในการพยากรณ์ในท้องที่ แต่ไม่สามารถใช้เหมือนตัวแทนลมในพื้นที่ได้ ถ้า U คืออัตราเร็วลมวัดที่ความสูง Z อัตราเร็วลมที่แก้ไขแล้ว U_c ซึ่งควรจะถูกบ่งชี้ที่ 10 m เหนือภูมิประเทศที่มีความขรุขระ Z_0 ดังแสดงในสมการที่ 4

$$U_c = U \cdot C_F \cdot C_T \cdot \frac{\ln(10/Z_{0u})}{\ln(Z/Z_{0u})} \cdot \frac{\ln(60/Z_{0u}) \ln(10/Z_0)}{\ln(10/Z_{0u}) \ln(60/Z_0)} \quad \text{สมการที่ 4}$$

ที่ซึ่ง C_F การแก้ไขความบิดเบือนของกระแสลม C_T คือ ค่าแฟคเตอร์ที่แก้ไขแล้ว เนื่องมาจากผลของความสูงต่ำของพื้นที่ Z_{0u} คือ Roughness Length ที่ส่งผลของภูมิประเทศเหนือสถานีวัด และ Z_0 คือ Roughness Length ในการประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ Z , Z_0 และ Z_{0u} ใช้หน่วยเมตร เทอมที่ใช้แก้ไขต่าง ๆ แสดงดังนี้

- การบิดเบือนของกระแสลม ค่าแฟคเตอร์ C_F อธิบายการบิดเบือนของกระแสลมโดยอยู่ใกล้วัตถุขนาดใหญ่ สิ่งนี้มีความสำคัญสำหรับเครื่องวัดลมบนตึก เรือ และแท่นลอยในทะเล การหาค่า C_F ที่เป็นฟังก์ชันของทิศทางลม คือ วิธีจำลองในอุโมงค์ลม นอกจากนี้

สามารถใช้การประมาณค่ากระแสลมศักย์ รอบโครงสร้างง่ายๆ มาประยุกต์หาค่าได้ สำหรับการวัดบนที่สูงสุดของเสา การบิดเบือนของกระแสลมไม่มีความสำคัญ

- การแก้ไขเกี่ยวกับความสูงต่ำของพื้นที่ (Topographic) การแก้ไขนี้อธิบายผลกระทบความสูงภูมิประเทศรอบสถานีวัดแรงลม C_T คืออัตราส่วนระหว่างแรงลมเฉลี่ยในพื้นที่ (เฉลี่ยเหนือสันเขาและหุบเขาที่ 10 m บนภูมิประเทศในท้องถิ่น) และแรงลมซึ่งวัดที่สถานี ในตัวอย่างของภูเขาที่แยกตัวโดดเดี่ยวที่มีสถานีอยู่บนยอดเขา C_T ควรจะน้อยกว่า 1 เพื่อแก้ไขการเพิ่มอัตราเร็วซึ่งถูกเหนี่ยวมาโดยภูเขา ให้ผลลมที่เป็นตัวแทนในพื้นที่แทนที่เป็นบนสุดเท่านั้น นอกจากนี้ C_T เท่ากับ 1 สำหรับภูมิประเทศราบเรียบ ในกรณีภูเขาที่แยกเดี่ยว การประมาณค่า C_T อาจใช้แนวทางอย่างง่ายที่แนะไว้ ในกรณีความสูงต่ำของพื้นที่ที่ซับซ้อนมากกว่า จำเป็นต้องใช้โมเดลการคำนวณโดยมีข้อมูลแผนที่โครงสร้าง รายละเอียดความสูงของภูมิประเทศโดยรอบสถานีวัดแรงลม การคำนวณนั้นซับซ้อนสามารถทำเพียงครั้งเดียวสำหรับสถานี แล้วนำไปสร้างตารางกึ่งถาวรของค่า C_T เหมือนเป็นฟังก์ชันของทิศทางลม
- การวัดความสูงที่ไม่ได้มาตรฐาน ผลกระทบนี้ถูกรวมอย่างง่ายในสูตร U_c โดยตั้งสมมติฐานข้อมูลในรูปฟังก์ชัน Logarithm แล้วรวมกับค่า Roughness Length, Z_{ou} ของที่สูงต่ำเหนือลมสำหรับสถานีเหนือน้ำทะเล การลดลงสู่ความสูงมาตรฐานมีความสำคัญ แต่การแก้ไขความเสถียรเป็นเรื่องเล็กน้อย สามารถใช้ฟังก์ชัน Logarithm ของการลดลงได้
- ผลกระทบของความขรุขระ ผลของความขรุขระเหนือลม เช่นเดียวกับผลของสิ่งกีดขวางบนพื้นผิวสามารถแก้ไขได้โดย การประมาณข้อมูลโดยฟังก์ชัน Logarithm ของอัตราเร็วลมไปยังความสูง 60 m ที่สถานีที่มีค่า Roughness Length, Z_{ou} และโดยการประมาณค่าย้อนกลับสู่ระดับ 10 m ที่มีค่า Roughness Length, Z_o

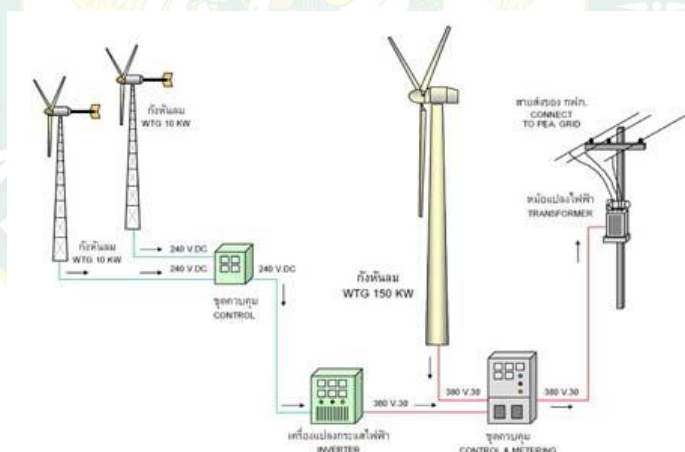
ถ้าค่าการบิดเบือนกระแสลม และปัญหาความสูงต่ำของพื้นที่ มีค่าเล็กน้อยหรือได้แก้ไขแล้ว สามารถประยุกต์ ข้อ (ค) ใน (ง) ในการแก้ไขการอ่านค่า โดย $Z = 10$ m และ $Z_o = 0.03$ m อัตราเร็วลมที่แก้ไขจะถูกทำให้สมดุล เป็นเสมือนลมที่วัดที่สถานีตามทฤษฎี (10 m เหนือภูมิประเทศแบบโล่ง) การแก้ไขอัตราเร็วลมโดยวิธีนี้ให้ค่าอัตราลมที่เรียกว่า อัตราลมศักย์ (Potential wind speed) ทั้งนี้มีข้อสังเกตว่า ประการแรก ไม่ควรมองความสูงที่ใช้ในการประมาณค่าที่ 60 m เป็นค่าตายตัว โดยค่าที่ยอมรับได้ คือ ความสูงระหว่าง 40 และ 80 m ระยะ 60 m คือมิติที่ถูกต้องที่มีความสัมพันธ์กับ 2 km ซึ่ง Z_{ou} เป็นตัวแทน และพิสูจน์ให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ประการที่สองการเปลี่ยนแปลงของความเสถียรภาพของอากาศต่อลมเหนือช่วงความสูง 10 ถึง 60 m ไม่สามารถละทิ้ง

ได้ แต่ผลกระทบของเสถียรภาพอากาศมีเล็กน้อยในสูตรคำนวณปัจจุบัน เพราะว่า เสถียรภาพอากาศเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงบล้างกันเอง แม้ว่าส่วนมากของการแก้ไขการอ่านค่าสามารถประยุกต์ได้โดยตรงต่อการวัด ข้อมูลที่ไม่ได้ปรับค่า (level 1) และปรับค่าแล้ว (level 2) ยังถูกใช้ (สำนักตรวจและเฝ้าระวังสภาวะอากาศ, ม.ป.ป.)

11. การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

11.1 หลักการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

หลักการทำงานทั่วไปของกังหันลมผลิตไฟฟ้า (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) เมื่อมีกระแสลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปแบบของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกล ใบพัดเกิดการหมุนแรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านเพลากลมหุน ทำให้เฟืองขับเคลื่อนหรือเฟืองเกียร์ ที่ติดอยู่กับเพลากลมหุนๆ ตามไปด้วย เมื่อเฟืองขับเคลื่อนของกังหันลมเกิดการหมุน จะขับเคลื่อนให้เพลากลมหุนที่ต่อเชื่อมอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกมา ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ที่ติดตั้งกังหันลมนั้นแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม

ที่มา: (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.)

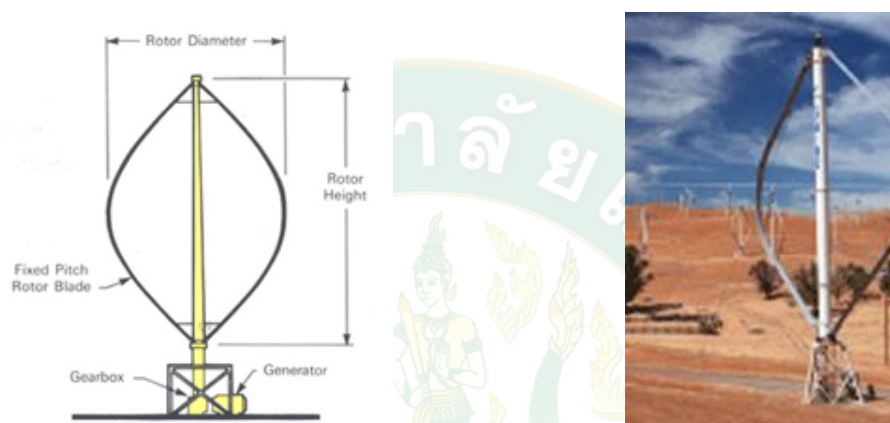
11.2 ชนิดของกังหันลม

ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจ โดยเฉพาะในทวีปยุโรป เช่น ประเทศเดนมาร์ก กังหันลมที่ได้มี

การพัฒนากันขึ้นมานั้นจะมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่ถ้าจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันจะได้ 2 แบบ คือ

1) กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง ดังแสดงในภาพที่ 7

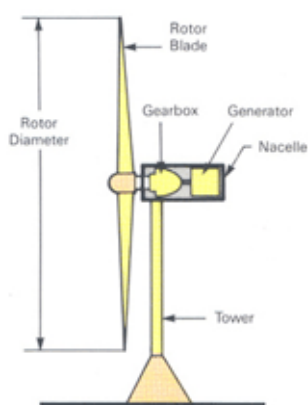


ภาพที่ 7 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

แม้ว่ากังหันลมแบบแนวแกนนอนเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากออกแบบให้เป็นชนิดที่ขับใบกังหันด้วยแรงยก แต่อย่างไรก็ตาม กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง ซึ่งได้รับการพัฒนามากในระยะหลังก็ได้รับความสนใจมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีกว่าแบบแนวแกนนอนคือ ในแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังหมุนได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม นอกจากนี้แล้วแบบแนวแกนตั้งนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแกนนอนที่ติดอยู่บนหอคอยสูง

2) กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal axis wind turbine)

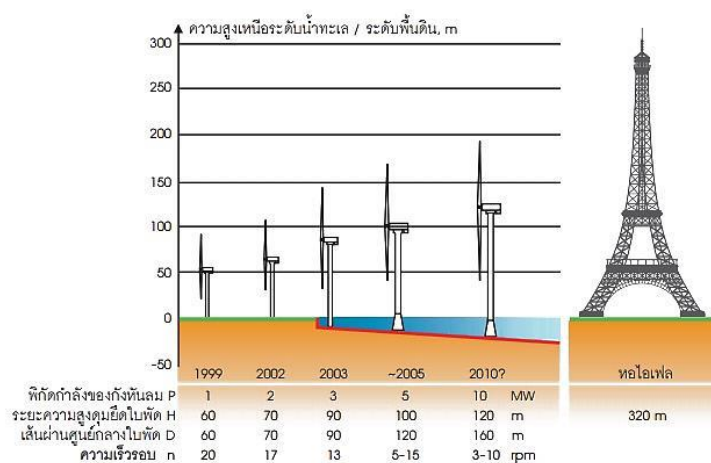
เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง ดังแสดงในภาพที่ 8 กังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกังล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอปเพลเลอร์ (Propeller)



ภาพที่ 8 กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

11.3 พิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัด (Rated rotor speed)

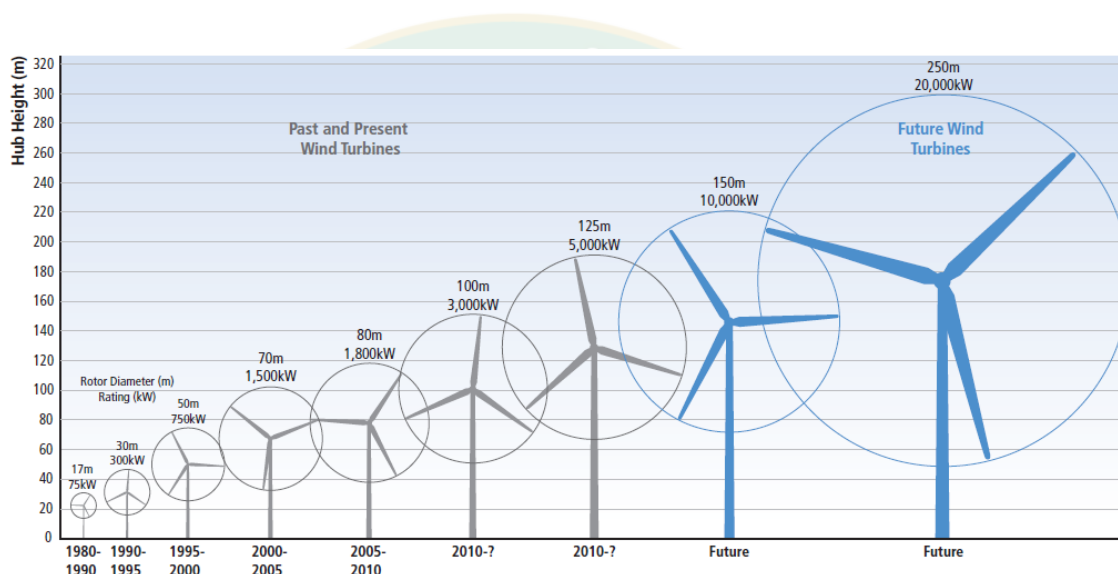
พิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) เป็นความเร็วรอบต่ำสุดของชุดแกนหมุนใบพัดที่ทำให้กังหันลมสกัดพลังงานจากลมได้เท่ากับ พิกัด (ต้องสอดคล้องกับความเร็วพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย) มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm) กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมีค่าพิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัดสูงระหว่าง 100-500 rpm กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ชุดแกนหมุนใบพัดต่อกับเพลารอบต่ำมีค่าต่ำ ระหว่าง 5-20 rpm โดยมีแนวโน้มการขยายขนาดและเพิ่มความสูงของกังหันลมซึ่งทำให้พิกัดความเร็วรอบชุดแกนหมุนใบพัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แนวโน้มการขยายขนาดและเพิ่มความสูงของกังหันลม

11.4 ขนาดและกำลังผลิตของกังหันลม

กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้ง กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และ กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะแปรผันตรงต่อขนาดของกังหันดังแสดงในภาพที่ 10 และขนาดของกังหันก็จะขึ้นอยู่กับศักยภาพของลมในพื้นที่เช่นกัน (Green intreand.com, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 10 ขนาดและกำลังผลิตของกังหันลม ออกแบบโดย

The National Renewable Energy Laboratory (IPCC, 2001)

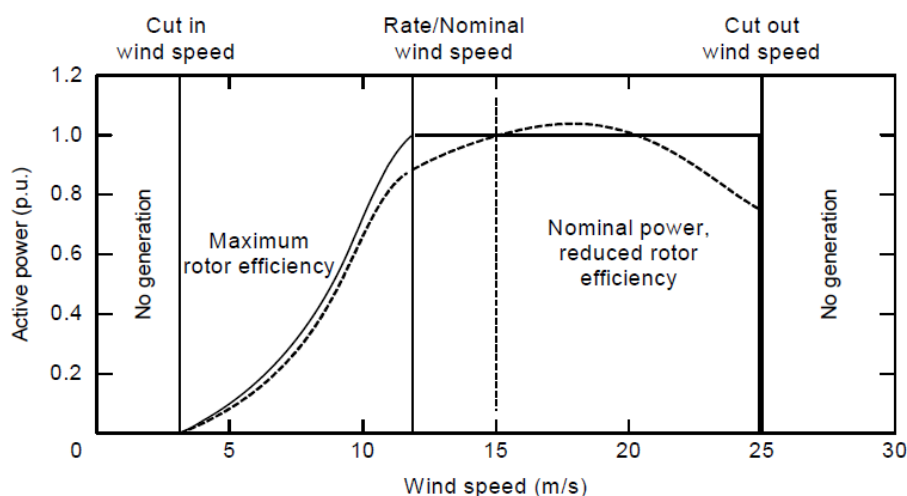
11.5 การทำงานของกังหันลมและรูปแบบการเชื่อมโยง

การทำงานของกังหันลม (วิภาอร เศรษฐศิริพันธ์ และคณะ, 2550) สามารถอธิบายได้จาก รูป Power Curve ของกังหันลมของแต่ละผู้ผลิต ดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมจะมีลักษณะการทำงานดังนี้

- 1) ที่ความเร็วลมต่ำ (1-3 m/s) กังหันลมจะยังไม่ทำงาน ในช่วงความเร็วลมนี้ กังหันลมจะยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5-5 m/s กังหันลมจะเริ่มทำงาน เรียกช่วงนี้ว่า “Cut in wind speed”
- 2) ที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12-15 m/s เรียกว่า “Nominal หรือ Rated wind speed” เป็นช่วงที่กังหันลมเริ่มผลิตไฟฟ้า และกำลังผลิตจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ถึงพิกัดกำลังสูงของกังหันลม โดยมีกำลังผลิตสูงสุดเท่ากับ Installed capacity ของกังหันลม

ค่าความเร็วลมที่แน่นอนขึ้นกับอัตราส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดใบพัด และการออกแบบที่จุดต่ำกว่า Nominal คือ “Maximum rotor efficiency” ซึ่งขึ้นกับ “Tip speed ratio”

- 3) ที่ช่วงความเร็วลมสูงกว่า Cut-out speed (ค่าประมาณ 25 m/s) กังหันลมจะหยุดทำงาน เนื่องจากเมื่อมีความเร็วลมที่สูงเกินไปพัดผ่านกังหันลม จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมและเป็นอันตรายต่อบริเวณโดยรอบได้



ภาพที่ 11 แสดง Power Curve ของกังหันลม

สามารถประมาณการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก Power curve ของกังหันลม ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ดังแสดงในสมการที่ 5

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้(KWh) = ผลของ Speed frequency distribution(hrs.)

x Power curve

สมการที่ 5

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากสูตร ยังไม่รวมค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นจริงในระบบ เจเนอเรเตอร์, เครื่องจักรกล, ผลของพลศาสตร์ของลม หากต้องการค่าใกล้เคียงพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายจริง ต้องคูณด้วยตัวเฟคเตอร์ประสิทธิภาพของกังหันลม ประมาณ 90% จึงสามารถประเมินความเหมาะสมของกังหันลมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ดังสมการที่ 6

Capacity factor (CF) =

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงตลอดปี (kWh)

[กำลังผลิตไฟฟ้าของกังหันลม (kW) x จำนวนชั่วโมงการผลิตใน 1 ปี (hr/year)]

สมการที่ 6

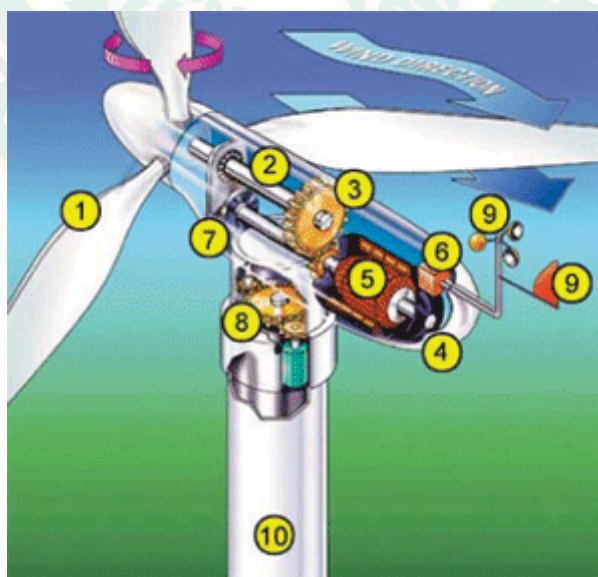
โดยที่ค่า Capacity factor (CF) ของกังหันลมผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมควรมีค่าระหว่าง 10-20%

รูปแบบการเชื่อมโยงของกังหันลมในการผลิตกระแสไฟฟ้ามี 2 รูปแบบ ได้แก่

- 1) Iso-rated Grid เป็นการใช้กังหันลมจ่ายพลังงานไฟฟ้าร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น โดยไม่เชื่อมโยงกับระบบจำหน่าย เช่น กังหันลมร่วมกับพลังน้ำขนาดเล็ก (Mini hydro) หรือกังหันลมร่วมกับพลังแสงอาทิตย์ เหมาะสำหรับพื้นที่ห่างไกล
- 2) Grid Connect เป็นการใช้กังหันลมจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายขนาดใหญ่ซึ่งกังหันลมทำหน้าที่เสริมพลังงานของต้นพลังงานหลัก เช่น โรงไฟฟ้าจากก๊าซ โรงไฟฟ้าถ่านหิน หรือพลังงานน้ำจากเขื่อน

11.6 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตไฟฟ้า

ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมทั่วไปแบ่งได้เป็น 10 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตไฟฟ้า

- 1) ใบพัด เป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลากลหมุน จำนวนใบกังหันอาจมีตั้งแต่หนึ่งถึงหลายสิบใบ กังหันลมที่มีจำนวนใบมากส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง ในทางตรงข้ามกังหันที่มีจำนวนใบน้อยส่วนใหญ่ใช้กับงานที่ต้องการความเร็วรอบสูง แรงบิด (Torque) ต่ำ เช่น การผลิตไฟฟ้า รูปหน้าตัดของใบกังหันอาจมีตั้งแต่ลักษณะแผ่นอากาศ (Airfoil) หรือลักษณะคล้ายปีกเครื่องบิน เป็นแผ่นโค้งและเป็น แผ่นราบตรง วัสดุที่ใช้ทำใบกังหันควรจะเป็นวัสดุเบาและแข็งแรงซึ่งอาจเป็นอะลูมิเนียม อลลอยด์ แผ่นเหล็ก ไม้ และไฟเบอร์กลาส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความต้องการของผู้ออกแบบ
- 2) เพลากลหมุน รับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านระบบกำลัง เพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 3) ห้องส่งกำลัง เป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุน ระหว่างเพลากลหมุนกับเพลากลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 4) ห้องเครื่อง มีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อกังหันลม ใช้บรรจุระบบต่าง ๆ ของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม
- 5) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
- 6) ระบบควบคุมไฟฟ้า ใช้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ
- 7) ระบบเบรก เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลหมุนของกังหัน เมื่อได้รับความเร็วลม เกินความสามารถของกังหัน ที่จะรับได้ และในระหว่างการซ่อมบำรุงรักษา
- 8) แกนคอกหมุนรับทิศทางลม เป็นตัวควบคุมการหมุนห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดรับทิศทางลม โดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์ กับทางเสื่อรับทิศทางลมที่อยู่ด้านบนของเครื่อง
- 9) เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลม เชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นตัวชี้ขนาดของความเร็วและทิศทางของลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกอื่น ๆ ได้ถูกต้อง
- 10) เสากังหันลม เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน

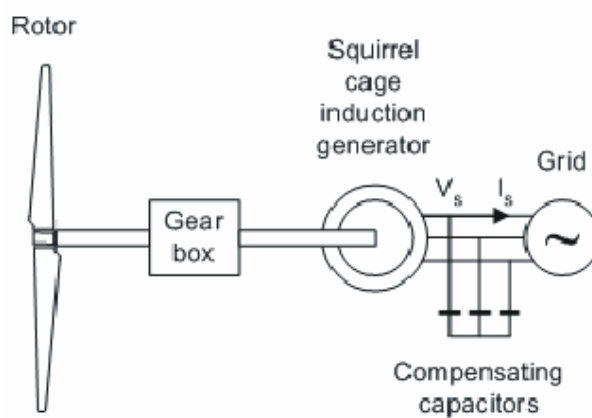
11.7 ระบบควบคุมกังหันลม

ระบบควบคุมในชุดกังหันลม (นิพนธ์ เกตุจ้อย และอชิตพล ศศิธรานวัฒน์, 2547) จะต้องอาศัยข้อมูลของความเร็วจากอุปกรณ์วัดความเร็วลม Anemometer และข้อมูลทิศทางของกระแสลมจากอุปกรณ์ Wind vane ในการควบคุม ซึ่งระบบควบคุมในชุดกังหันลมส่วนใหญ่จะมี 2 ชนิด

- 1) ระบบควบคุมทิศทางของกังหันลม ทำหน้าที่ควบคุมให้กังหันลมให้หันหน้าเข้าหาทิศทางลมตลอดเวลา หันไปข้าง ๆ หันเงยหน้าขึ้น หรือทำให้ใบกังหันหุบตัวเพื่อให้มีพื้นที่ของกังหันที่รับกระแสลมน้อยลงเมื่อความเร็วสูงเกิน
- 2) ระบบควบคุมความเร็วรอบของเพล่า เป็นระบบควบคุมที่จะมีการทดรอบให้สอดคล้องกันระหว่างความเร็วรอบของแกนกังหันลมกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเสียหาย หากความเร็วลมสูง ๆ แรงลมที่ปะทะใบกังหันจะมาก กังหันลมจึงถูกออกแบบให้มีระบบควบคุมกังหันลมเมื่อมีค่าความเร็วสูง โดยค่าที่รับได้นี้เป็นค่าที่จำกัดค่าหนึ่ง โดยการควบคุมให้เกิดการหน่วงต่อการหมุนของกังหันลม อาจทำได้โดยการเพิ่มชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดแรงหน่วงขึ้นอย่างสูง เมื่อถึงจุดของความเร็วที่กำหนดไว้ หรือปิดมุมของใบกังหันเมื่อมีความเร็วลมที่สูงมาปะทะ

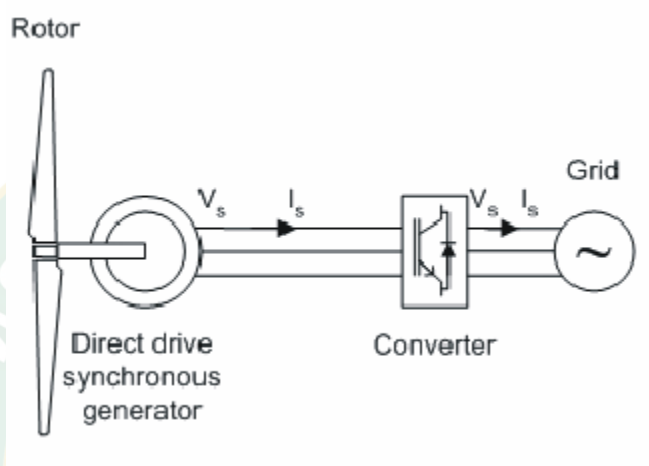
โดยที่ทั้ง 2 ระบบนี้จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- Fixed speed with directly grid-couple (Asynchronous) squirrel cage induction generator เป็นกังหันลมแบบความเร็วคงที่กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด (Rotor) กล้องเกียร์ (Gear box) ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (Squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 13



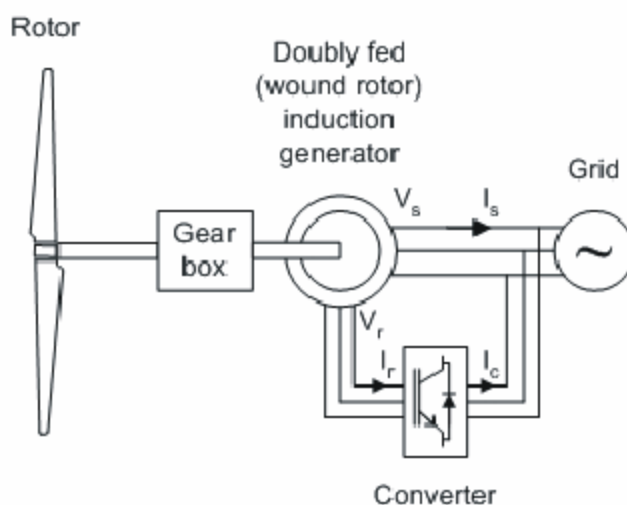
ภาพที่ 13 แสดง Fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage Induction generator

- Variable speed based on a direct drive and synchronous generator เป็นกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงซึ่งกังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรง และมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดง Variable speed based on a direct drive and synchronous generator

- Variable speed with doubly fed induction generator เป็นกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ซึ่งกังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่องเกียร์ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิด ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดง Variable speed with doubly fed induction generator

หลักการและทฤษฎีของระบบ SCADA

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition (วันชัย รักษาควร และนัฐวรุช ชันธเนตร, 2556) คือระบบเครื่องมืออัตโนมัติสำหรับตรวจสอบเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุมของกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม สกาด้าประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ

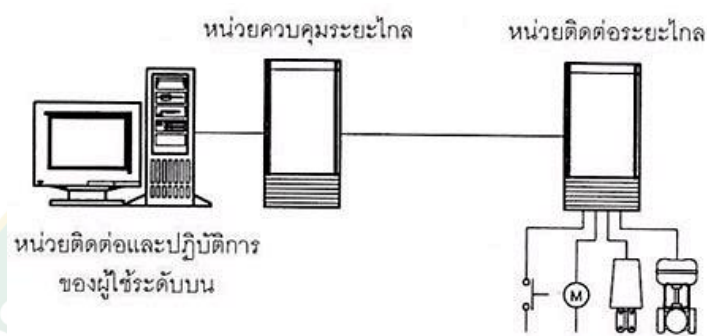
- หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของผู้ใช้ระดับบน
- หน่วยควบคุมระยะไกล และหน่วยติดต่อระยะไกล

SCADA เป็นระบบที่สามารถเอาสัญญาณจากตัววัดที่อยู่ในรูปของไฟฟ้าหรือพลังงานอื่น ๆ มาแปลงอยู่ในรูปของข้อมูลที่เป็นตัวเลขเพื่อใช้ทำประโยชน์ต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ปฏิบัติงานในระยะไกล เป็นการรวม ขบวนการ 2 ขบวนการเข้าด้วยกัน คือ

- 1) Telemetry System เป็นเทคนิคที่ใช้ในการส่งและรับข้อมูลผ่านสื่อกลาง โดยข้อมูลนั้นสามารถวัดได้ เช่น โวลต์ ความเร็ว หรืออัตราการไหล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปอีกสถานที่หนึ่งโดยผ่านสื่อกลางต่าง ๆ เช่น เคเบิล สายโทรศัพท์ หรือ คลื่นวิทยุ ข้อมูลจากหลายๆ สถานที่ จะถูกนำมารวมกันใน ระบบ SCADA
- 2) Data Acquisition เป็นวิธีการที่จะเข้าถึงและควบคุมข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือถูกตรวจสอบอยู่ โดยที่ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปให้ระบบ Telemetry ระบบ DAQ (Data acquisition) เป็นการเก็บรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานวิจัยทดลองวิทยาศาสตร์ และทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีความแตกต่างจากงานระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปตรงที่มี Hardware พิเศษเพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความดันอากาศ ก๊าซ อัตราการไหล เป็นต้น แปลงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบในลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่าน Software ประยุกต์ที่พัฒนาตามคุณลักษณะของงานวิจัยทดลองนั้น ๆ ในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ดังแสดงในภาพที่ 16 ซึ่งในอดีตมักใช้เป็นระบบเฉพาะเจาะจงลงไปตามประเภทงาน ไม่สามารถใช้งานร่วมกับงานวิจัยอื่นได้ ทั้งยังมีราคาที่สูงมาก ทว่าด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ประกอบกับการใช้งานที่ง่ายขึ้นของ Software ระบบปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นวินโดว์ หรือกราฟฟิก ทำให้การประยุกต์เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการงานด้าน Data Acquisition นี้มีความเป็นไปได้โดยไม่ยุ่งยาก และให้ความคล่องตัวกับนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัยทดลองและวิศวกร เพื่อพัฒนาระบบงานดังกล่าวได้เองจาก Hardware และ Software งานด้าน Data Acquisition ที่มีให้เลือกมากมายหลากหลายผู้ผลิต และสามารถใช้งาน

ร่วมกันได้โดยส่วนใหญ่ ทำให้ราคาระบบโดยรวมมีราคาไม่สูง และให้ประสิทธิภาพในการพัฒนาประเทศเชิงเทคโนโลยีได้ดีกว่าองค์ประกอบของระบบสกาด้า

- หน่วยติดต่อและปฏิบัติการของผู้ใช้ระดับบน
- หน่วยควบคุมระยะไกล
- หน่วยติดต่อระยะไกล



ภาพที่ 16 องค์ประกอบของระบบสกาด้า

ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นระยะทางไกลได้โดยหน่วยติดต่อและปฏิบัติการของผู้ใช้ระดับบนเป็นเครื่องมือปฏิบัติการของผู้ใช้สำหรับตรวจสอบและควบคุม กระบวนการผลิตเชื่อมต่อกับหน่วยควบคุมระยะไกล หน่วยควบคุมระยะไกลติดต่อกับหน่วยติดต่อระยะไกลโดยการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัลทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และหน่วยติดต่อระยะไกลเป็นเครื่องมือเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิต ประกอบด้วยหน่วยรับสัญญาณ และส่งสัญญาณของสัญญาณชนิดอนาล็อกและสัญญาณชนิดดิจิทัล ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การติดตั้งสกาด้าสำหรับตรวจสอบเก็บรวบรวมข้อมูลและบริหารระบบควบคุม

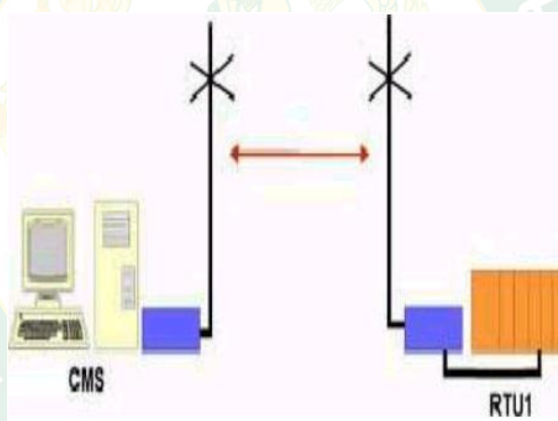
1. ประเภทงานที่เหมาะสมกับสกาด้า

- การตรวจสอบ
- การเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิต
- การบริหารระบบควบคุม

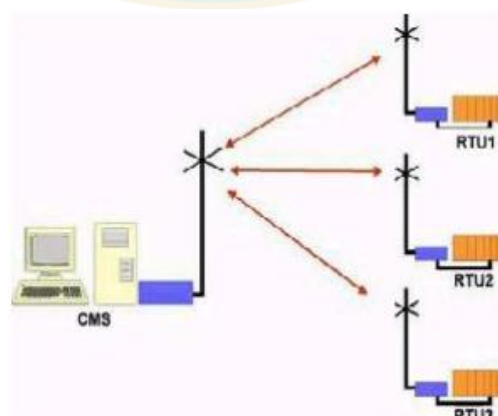
ของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่บริเวณกระบวนการผลิตครอบคลุมพื้นที่กว้างหรือโรงงานอุตสาหกรรมมีกระบวนการผลิตอิสระติดตั้งกระจายทั่วบริเวณพื้นที่การผลิต รวมถึงระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ

2. รูปแบบของสกาด้า

- Point-to-Point Configuration ดังแสดงในภาพที่ 18
- Point-to-Multipoint Configuration ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 18 Point-to-Point Configuration



ภาพที่ 19 Point-to-Multipoint Configuration

3. ส่วนประกอบของสกาด้า

3.1 Field Instrumentation

เป็นเครื่องมือหรือเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือถูกตรวจสอบ อุปกรณ์นี้จะเปลี่ยน Physical Parameter เช่น Fluid Flow, Velocity, Fluid Level ให้เป็น Electrical Signal เช่น Voltage หรือ Current ซึ่งสามารถอ่านค่าเหล่านี้ได้โดย Remote Station Equipment ผลลัพธ์ที่ได้เป็นได้ทั้ง Analog และ Digital

3.2 Remote Station

เป็นส่วนที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ และส่งไปยังศูนย์กลางระบบ SCADA ซึ่งอาจจะเป็น Remote Terminal Unit (RTU) หรือ Programmable Logic Controller (PLC) ก็ได้ RTU คืออุปกรณ์ใช้ในการตรวจจับสัญญาณจาก Field Sensor แล้วส่งสัญญาณข้อมูลให้ Controller ควบคุมอุปกรณ์ Remote Station แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- Single Board: input และ output เป็น Fixed Number จะมีราคาถูกแต่ไม่สามารถรองรับการขยายของระบบสมัยใหม่ได้
- Modular Board: สามารถรองรับการขยาย Remote Station แต่ราคาค่อนข้างแพง

3.3 Communication Network

เป็นการส่งข้อมูลดิจิทัลระหว่างสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่หนึ่งโดยผ่านตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร เช่น สายเคเบิล คลื่นวิทยุ

3.4 Central Monitoring Station (CMS)

เป็นศูนย์กลางของระบบ SCADA โดยรับข้อมูลมาประมวลผลและทำการแสดงกระบวนการบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ และ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์จะต้องทำงานแบบ Multitasking ได้ดังต่อไปนี้

- สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ
- แสดงค่าที่อ่านได้บนจอภาพ
- เก็บบันทึกข้อมูลระยะยาวบนหน่วยความจำ
- ตรวจสอบสัญญาณเตือนและแสดงสัญญาณเตือน
- คำนวณค่าเก็บบันทึกและการควบคุม
- พิมพ์รายงานผลการปฏิบัติงานบนจอภาพ
- ตอบรับข้อมูลที่ป้อนผ่านแป้นพิมพ์

4. ลักษณะพิเศษของสกาด้า

ลักษณะพิเศษของระบบ SCADA ที่ต่างจากระบบควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์อื่น คือ ระบบ SCADA มีอุปกรณ์ปลายทางที่ถูกควบคุมจะอยู่ในตำแหน่งที่ห่างไกลจากศูนย์กลางระบบคอมพิวเตอร์ที่มีผู้สั่งการโดยการส่งสัญญาณควบคุมจะถูกส่งผ่านสื่ออื่นเป็นตัวกลาง เช่น คลื่นวิทยุ Microwave หรือระบบสื่อสารดาวเทียม

5. ฐานข้อมูลของสกาด้า

5.1 Real time Database Servers

เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดการและเก็บค่าของกระบวนการ ณ เวลาปัจจุบันในขณะใด ๆ ค่า Real time จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ค่าของกระบวนการจะถูกตรวจจับ (Monitor & Scan) โดย RTU (Remote Termination Unit) จากนั้นข้อมูลค่า Real time จะถูกประมวลนำมาแสดงผลบน MMI (Man-Machine Interface) เพื่อให้โอเปอเรเตอร์ รู้ถึงสภาพของกระบวนการ ณ ขณะนั้น ๆ ค่า Real time ทุก ๆ ค่าจะถูก Update ได้ไม่เกินทุก ๆ 2 s

5.2 Historical Database Servers

เป็นระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดการและจัดเก็บค่า Historical Data ของกระบวนการเพื่อใช้ในการ Trending Logging, Statistic และ Report ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้คือ XIS (Extended Information System) ซึ่งถูกสร้างโดยใช้ Sybase Relational Database Management System (RDBMS) ที่เป็นมาตรฐาน

6. มาตรฐาน Protocols ที่ใช้ในสกาด้า

ปัจจุบัน มี SCADA มาตรฐาน Protocols มากกว่า 200 โปรโตคอลทั่วโลก ที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่าง Central Computer และ Remote RTUs, PLCs และ Flow Computer Standard มาตรฐาน Protocols ที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 5 แบบ

- 1) ASCII (American Standard Code for Information Interchange) เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารของคอมพิวเตอร์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและเป็นสากล
- 2) CAP (Compressed ASCII Protocol) เป็น RTU Protocol ที่ดีที่สุด เป็นภาษาที่คนสามารถอ่านเข้าใจได้ (Man readable) มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) เร็ว (Fast) และมีความปลอดภัยสูง (Secure)

- 3) Modbus เป็น Point-to-Point PLC Protocol ที่ใช้กันทุกหนทุกแห่ง แต่มีข้อเสียคือ เป็นภาษาที่คนไม่สามารถอ่านเข้าใจได้ (Man Unreadable)
- 4) Modbus X เป็นส่วนที่พัฒนามาจาก Modbus Protocol ที่ทำให้ผู้ใช้ Modbus สามารถอ่านและสามารถสร้างจำนวนบวกและลบได้
- 5) IEEE 32bit Single Format Floating Point เป็นมาตรฐานของงานอุตสาหกรรม สำหรับการส่งตัวเลข 23 บิต ด้วยความถูกต้อง โปรโตคอลเหล่านี้ใช้ได้กับ National Instrument's Lookout ที่เป็น Object Oriented Software, DDE, SQL และ WEB

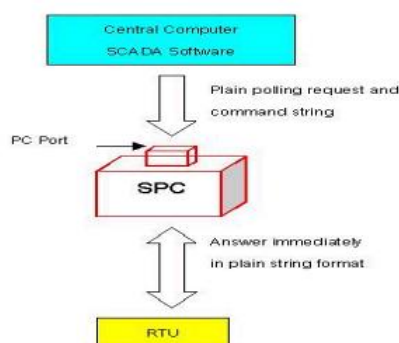
7. การแปลงข้อมูลในสกาด้า

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากระบบการจะถูกแปลงโดย SCADA Central Station Computer ไปเป็นข้อมูลชนิดตัวเลขและตรรกะ ดังแสดงในภาพที่ 20 ส่วนใน Object Oriented Software รูปแบบของฐานข้อมูลจะถูกเก็บในรูปของ Object โดยข้อมูลในฐานข้อมูลเหล่านี้จะถูกเรียกใช้โดย Central Station Computer จาก Remote RTUs, PLCs, Flow Computers เป็นต้น และข้อมูลจะถูกส่งผ่านสัญญาณวิทยุ, สายเคเบิล, Fiber Optic Cable, By Dialing, By Satellite Communication

8. การแปลงข้อมูล SCADA Protocol

การแปลงระบบให้ SCADA System Protocol สามารถใช้งานกับคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่และฐานข้อมูลแบบใหม่ได้ ซึ่งหลายแนวทางด้วยกัน

- การแปลง Remote RTU เก่า และ Flow Computer ให้สื่อสารด้วย Standard Protocol วิธีนี้ทำให้ข้อมูลในระบบเดิมยังคงอยู่ครบถ้วน
- การแปลง Remote RTU ใหม่และ Flow Computer ให้สื่อสารด้วย Old Protocol วิธีนี้ไม่นิยมเนื่องจากมีข้อเสียคือ เป็นการใช้เทคโนโลยีเก่า (Step Back Technology)
- การใช้ SPC (SCADA Protocol Converter) เป็น H/W Protocol Converter ระหว่าง RTU, PLC, Flow Computer และ Central Station ซึ่งวิธีนี้ทำให้ระบบเก่า (Old System) สามารถสื่อสารกับซอฟต์แวร์แบบใหม่ (Modern Software) ได้ และ SPC จะติดต่อโดยตรงกับ Central Station โดยไม่มี Delay หรือ Distortion เลย



ภาพที่ 20 การติดต่อโดยใช้ SPC เป็นตัวกลางระหว่าง
Central Computer SCADA Software และ RTU

9. คุณสมบัติของซอฟต์แวร์ SCADA

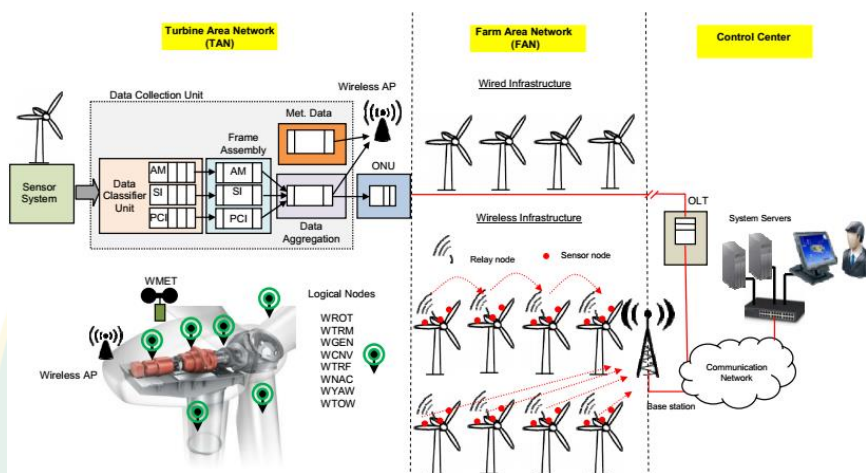
- 1) Object Oriented Graphics โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ทำงานแบบ Object ทุก ๆ ออปเจกต์หรือกลุ่มของออปเจกต์ สามารถเคลื่อนย้าย ปรับขนาดหมุน ตัดแปะได้ ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา Standard User Interface ระบบติดต่อกับผู้ใช้เป็นลักษณะมาตรฐานของ Window ทำให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้ง่าย
- 2) DDE Software สนับสนุน DDE Software ที่สนับสนุนการใช้งาน DDE ทำให้ซอฟต์แวร์ตัวอื่นในวินโดวส์ที่สนับสนุน DDE เช่น Excel, Microsoft Word สามารถนำข้อมูลจากซอฟต์แวร์นั้นไปใช้งานได้
- 3) Net DDE เป็น DDE สำหรับระบบเน็ตเวิร์คที่พัฒนาโดยบริษัท Wonder Ware ทำให้คอมพิวเตอร์แต่ละจุดบนเน็ตเวิร์คสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ นอกจากนี้ควรจะสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบปฏิบัติการอื่น ๆ เช่น VMS และ UNIX ซอฟต์แวร์บางตัวอาจจะไม่สนับสนุน Net DDE เพราะ Net DDE พัฒนาโดยบริษัท Wonder Ware
- 4) Wizards เป็น Library ที่เก็บรูปภาพของหน้าปัด หรือรูปร่างของวัตถุที่ใช้บ่อย
- 5) Real-Time Database สนับสนุนข้อมูลทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องรวมทั้งข้อมูลจำนวนเต็มและตัวอักษร
- 6) Real-Time and Historical Trends สามารถดูการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ เทียบกับเวลาได้และสามารถใช้ Cursor อ่านค่า ณ จุดที่ต้องการ หรือทำการขยายภาพ ณ บริเวณที่ต้องการได้

- 7) Alarm Capabilities สนับสนุนสัญญาณเตือนอย่างน้อย 10 ระดับ สัญญาณเตือนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงบนหน้าจอในลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีได้ เก็บข้อมูลลง Disk หรือส่งออกทางเครื่องพิมพ์ได้
- 8) Security ระบบรักษาความปลอดภัย ควรจะกำหนดระดับของผู้ใช้ได้ไม่ต่ำกว่า 10 ชั้น พร้อมกับบันทึกการใช้งานของผู้ใช้แต่ละคนว่ามีการใช้งาน เข้า-ออก จากระบบเมื่อไร และระหว่างที่ใช้งานระบบอยู่นั้นได้ทำอะไรบ้าง
- 9) Client-server ในระบบขนาดใหญ่ที่ซับซ้อนนั้น ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติจะต้องเป็นระบบเน็ตเวิร์ค การสนับสนุนระบบ Client-server ทำให้สามารถกระจายงานต่าง ๆ ไปยังคอมพิวเตอร์ แต่ละตัวในเน็ตเวิร์ค โดยอาศัยข้อมูลกลางร่วมกันได้
- 10) Reporting สนับสนุนการทำรายงานต่าง ๆ เช่น รายงานประจำวันเกี่ยวกับข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริหารในการตัดสินใจอีกต่อไป
- 11) Network สนับสนุนการทำงานบนเน็ตเวิร์คได้หลายชนิด เช่น Ethernet, Token Ring, Arnet, DEC Net เป็นต้น และสลับโปรโตคอลหลายชนิดเช่น TPX, TCP/IP เป็นต้น
- 12) SPC (Statistic Process Control) ความสามารถส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์และส่งผลลัพธ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ฮิสโตแกรม ตาราง กราฟเส้น เป็นต้น ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามและวิเคราะห์ระบบโดยรวมได้
- 13) Redundant Server เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่คอมพิวเตอร์ที่ต่อกับ PLC หรือ MPU (Master Control Unit) อาจเกิดปัญหาได้ ดังนั้นซอฟต์แวร์ทางด้าน SCADA ที่ดีควรจะยอมให้คอมพิวเตอร์ 2 ตัว ต่อกับ MCU เพียงตัวเดียวได้ โดยคอมพิวเตอร์อีกตัวหนึ่งจะเป็นระบบสำรอง เมื่อคอมพิวเตอร์หลักเกิดขัดข้อง คอมพิวเตอร์สำรองจำได้เข้าทำงานแทนที่ทันที เพื่อป้องกันมิให้ระบบโดยรวมเสียหาย
- 14) Development Kits จะทำให้ผู้ใช้พัฒนา Application ของตนเองได้ เช่น สร้าง Object ต่าง ๆ ขึ้นมาเอง หรือเขียน Driver ขึ้นมาสำหรับอุปกรณ์ที่ทางบริษัทพัฒนาขึ้นมาเอง Program สนับสนุนการใช้โปรแกรมภาษา C หรือ Visual Basic บน Windows เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสร้าง Application ของตนเองขึ้นมาได้ และยังสามารถดึงข้อมูลจากโปรแกรม SCADA ไปใช้งานได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพยากรณ์ความเร็วลม และกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยใช้โมเดลในการพยากรณ์ เพื่อควบคุมและปรับปรุงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ได้มีการศึกษาไว้ดังนี้

A. Mohamed and K. Young-Chon (2013) บทความนี้นำเสนอระบบการสื่อสารระหว่างเครื่องกังหันลม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน ระบบสื่อสารระหว่างเครื่องกังหันลมแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม 1) การสื่อสารภายในกังหันลม 2) การสื่อสารในกลุ่มกังหันลม 3) การสื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุม ซึ่งรวมถึงการสื่อสารข้อมูลกับอุตุนิยมวิทยา พบว่าแต่ละกังหันลมสามารถตัดสินใจดำเนินงานในเวลาจริง เพื่อเพิ่มการผลิตไฟฟ้าและยืดอายุการใช้งานของกังหันลมได้ ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การสื่อสารแบบ M2M

K. Tar and S. Szegedi (2011) เก็บข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง ของสถานีตรวจอากาศประเทศฮังการี 3 สถานี รอบบริเวณติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า และข้อมูลความเร็วลมจากเครื่องวัดความเร็วลมบนตัวกังหันเอง จัดทำฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อประมาณการความเร็วลมรายชั่วโมงที่จะเกิดขึ้น ทำนายช่วงเวลาที่มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าวางแผนสำหรับการทำงานของกังหันลมให้ทำงานทั้งวันหรือหยุดเป็นระยะเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

M.S. Roulston et al. (2003) ศึกษาการปรับปรุงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยการพยากรณ์ความเร็วลมและกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม แบบ medium-range ใช้ Numerical Weather Prediction (NWP) Computer model ได้แก่ European Centre for Medium Range Weather Forecasting (ECMWF) และ Ensemble forecast พบว่าการพยากรณ์โดยใช้ ECMWF สามารถเพิ่มรายได้จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ถึง 75% และการพยากรณ์โดยใช้ Ensemble forecast สามารถเพิ่มรายได้ถึง 20% เนื่องจากสามารถลดความสูญเสียในระบบที่เกิดขึ้นช่วงเดินเครื่อง

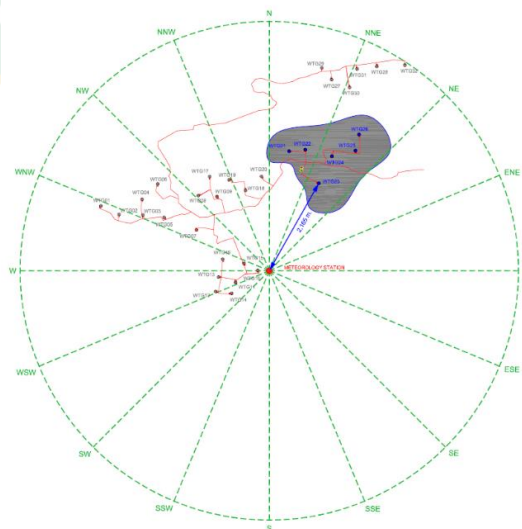
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมนั้นเป็นอีกแนวทางที่ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมด้วยการนำข้อมูลที่ได้จากสถานีพยากรณ์อากาศที่ติดตั้งอยู่ภายในโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์มเพื่อนำมาวิเคราะห์และหาแนวทาง ในการวางแผนควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม

ศักยภาพของลมในพื้นที่ติดตั้งกังหันลม

- 1) โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย กำลังการผลิตต้นละ 2.5 MW มีทั้งหมดจำนวน 32 ต้น ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกมาเพียง 6 ต้น ที่ติดตั้งห่างจากสถานีพยากรณ์อากาศภายในโครงการมากกว่า 540 m โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทิศทาง ความเร็วลมและกำลังการผลิตตลอดทั้งปี พ.ศ.2560 ของกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21, WTG22, WTG23, WTG24,WTG25และWTG26 มาวิเคราะห์เทียบกับข้อมูลสถานีพยากรณ์อากาศ
- 2) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลตลอดทั้งปี พ.ศ.2560 ที่พัดผ่านทั้งสถานีพยากรณ์อากาศที่ตั้งภายในโครงการและกลุ่มกังหันลม ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ผังการติดตั้งระหว่างสถานีพยากรณ์อากาศกับกังหันลมต้นที่ศึกษา

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมโดยการประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์อากาศ

- 1) ศึกษาข้อมูลการผลิตไฟฟ้า(Online)และกำลังการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มกังหันลมหมายเลขดังกล่าวแล้วนำมาหากำลังผลิตที่ได้ต่อปี โดยการรับข้อมูลจากสถานีพยากรณ์อากาศแล้ววิเคราะห์ผ่านระบบสกาต้า เพื่อลดระยะเวลาที่รอลมความเร็ว 3 m/s ต่อเนื่อง 3 min จะทำให้เพิ่มเวลาในการผลิตไฟฟ้าให้กับกลุ่มกังหันลม

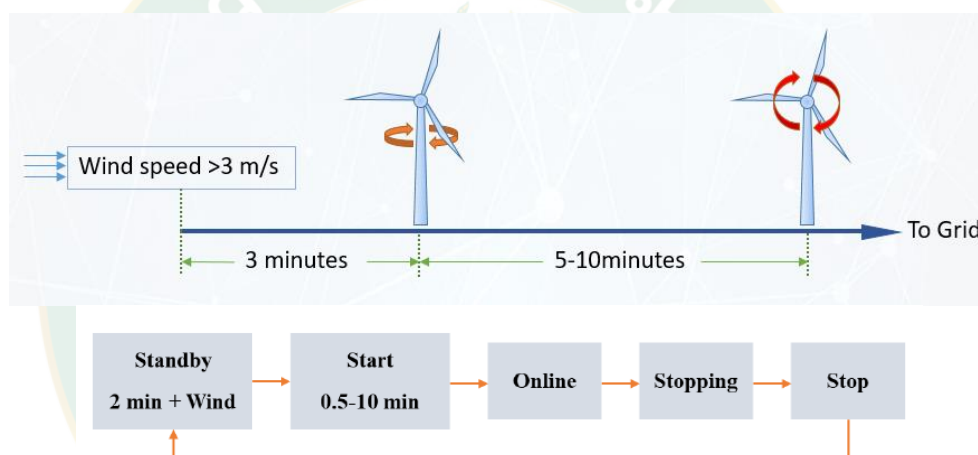
กำลังการผลิตที่ได้ = ((เวลาตรวจวัดความต่อเนื่อง 3 min × จำนวนครั้งที่ผลิตไฟฟ้า)/60 min)
x กำลังการผลิตเฉลี่ยในช่วงเวลานั้น ๆ



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การประมวลสัญญาณเพื่อควบคุมการผลิตของกังหันลมดังภาพที่ เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในขั้นตอนการทำงานของกังหันลมนั้นต้องใช้ความเร็วลมต่อเนื่อง 3 min ที่ความเร็วลม 3 m/s จึงจะเริ่มกระบวนการผลิต และยังต้องใช้เวลาสำหรับปรับทิศทางลมอีกประมาณ 5 ถึง 10 min หากมีการรายงานผลจากสถานีพยากรณ์อากาศก่อนที่ลมจะมาถึงกังหันลมเพื่อเข้าสู่กระบวนการเตรียมการผลิตนั้นจะทำให้สามารถเพิ่มระยะเวลาในการผลิตมากขึ้น และส่งผลต่อปริมาณของกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น



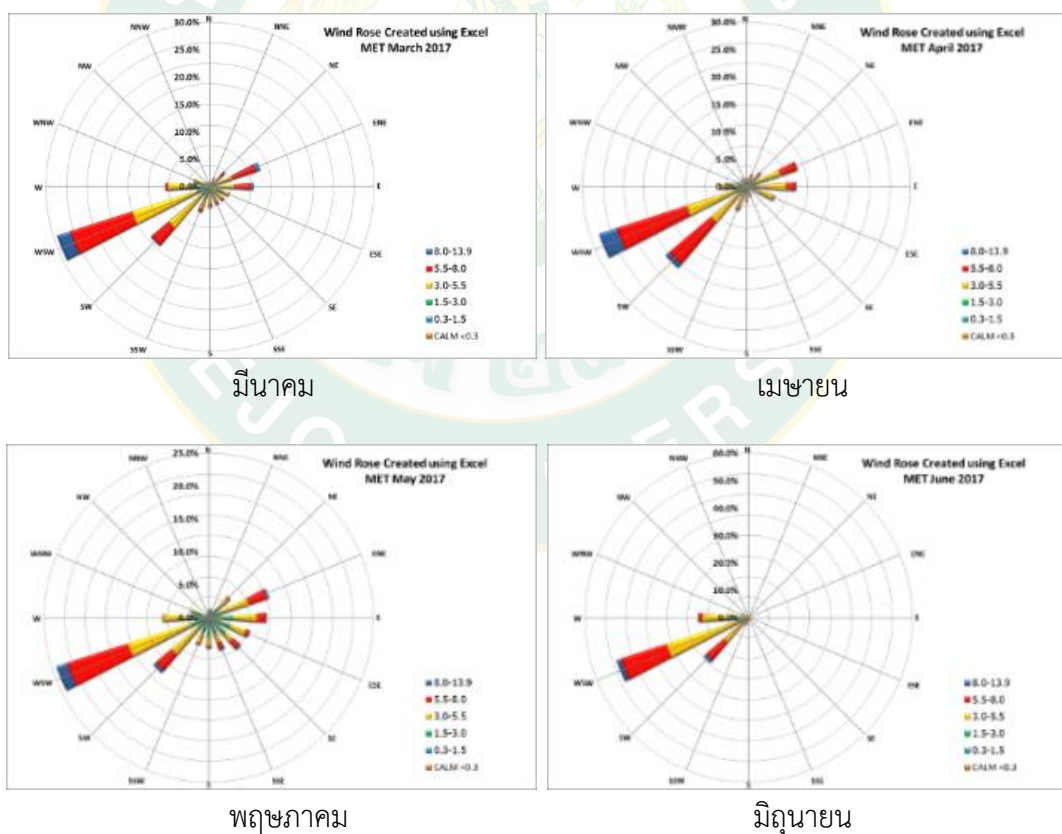
ภาพที่ 23 การประมวลสัญญาณเพื่อควบคุมการผลิตของกังหันลม

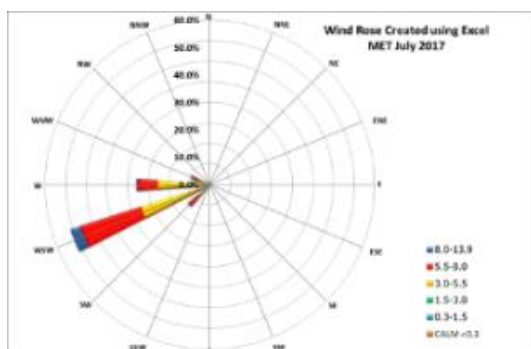
- Standby ปรับใบพัดกังหันลมไปที่ 75° เพื่อรอลมเริ่มต้นผลิตไฟฟ้า
- Start ปรับทิศของหน้ากังหันไปในทิศเดียวกับทิศลม
- Online ผลิตไฟฟ้า
- Stopping กังหันเริ่มหยุดหมุน
- Stop กังหันหยุดทำงานและปรับใบพัดกังหันลมไปที่ 90°
- Service ซ่อมบำรุง แก้ไขระบบ

ผลวิเคราะห์ข้อมูลลมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาภายในโครงการชัยภูมิวินด์ฟาร์ม

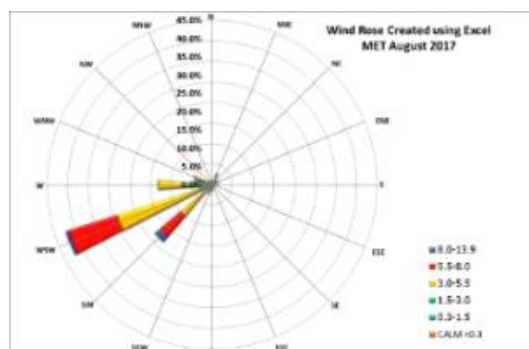
การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางและความเร็วลมที่พัดผ่านโครงการกังหันลมชัยภูมิวินด์ฟาร์ม จังหวัดชัยภูมิ ด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยทิศทางลมพบลมที่พัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศและกลุ่มกังหันลมมี 2 ทิศหลักซึ่งเป็นผลมาจากตามช่วงเวลาของลมมรสุมที่พัดผ่านคือ ช่วงเวลาเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายนทิศทางตรงกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเวลาเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ทิศทางตรงกับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบได้ว่าการควบคุมการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มกังหันลมโดยการวิเคราะห์สัญญาณที่ส่งมาจากสถานีพยากรณ์อากาศนั้น สามารถทำได้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายนเท่านั้น เนื่องจากมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ของกลุ่มกังหันลม

ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ลักษณะลมพัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศ มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในภาพที่ 24

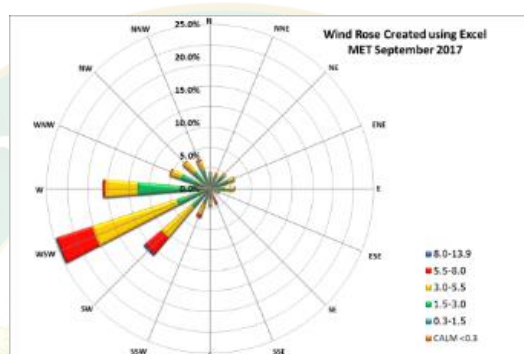




กรกฎาคม



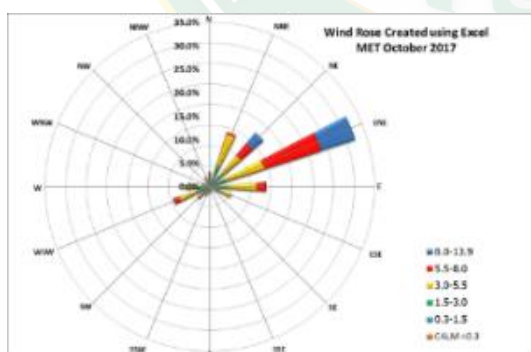
สิงหาคม



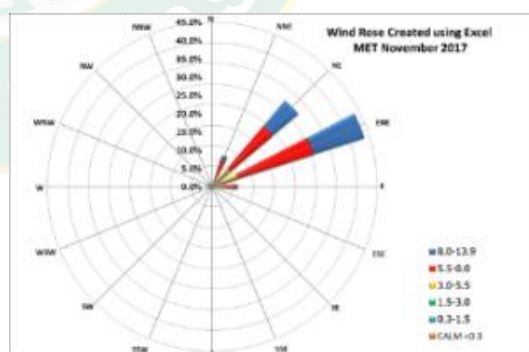
กันยายน

ภาพที่ 24 ลักษณะลมพัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศช่วงเดือนมีนาคม-กันยายน

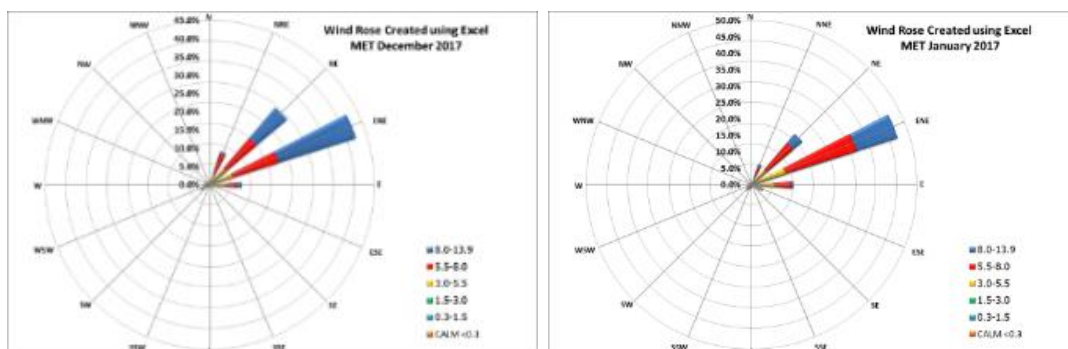
ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะลมพัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศ มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 25



ตุลาคม

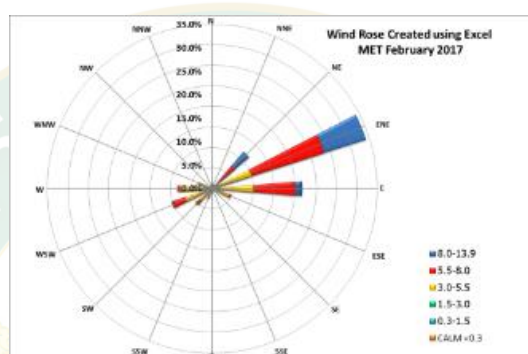


พฤศจิกายน



ธันวาคม

มกราคม



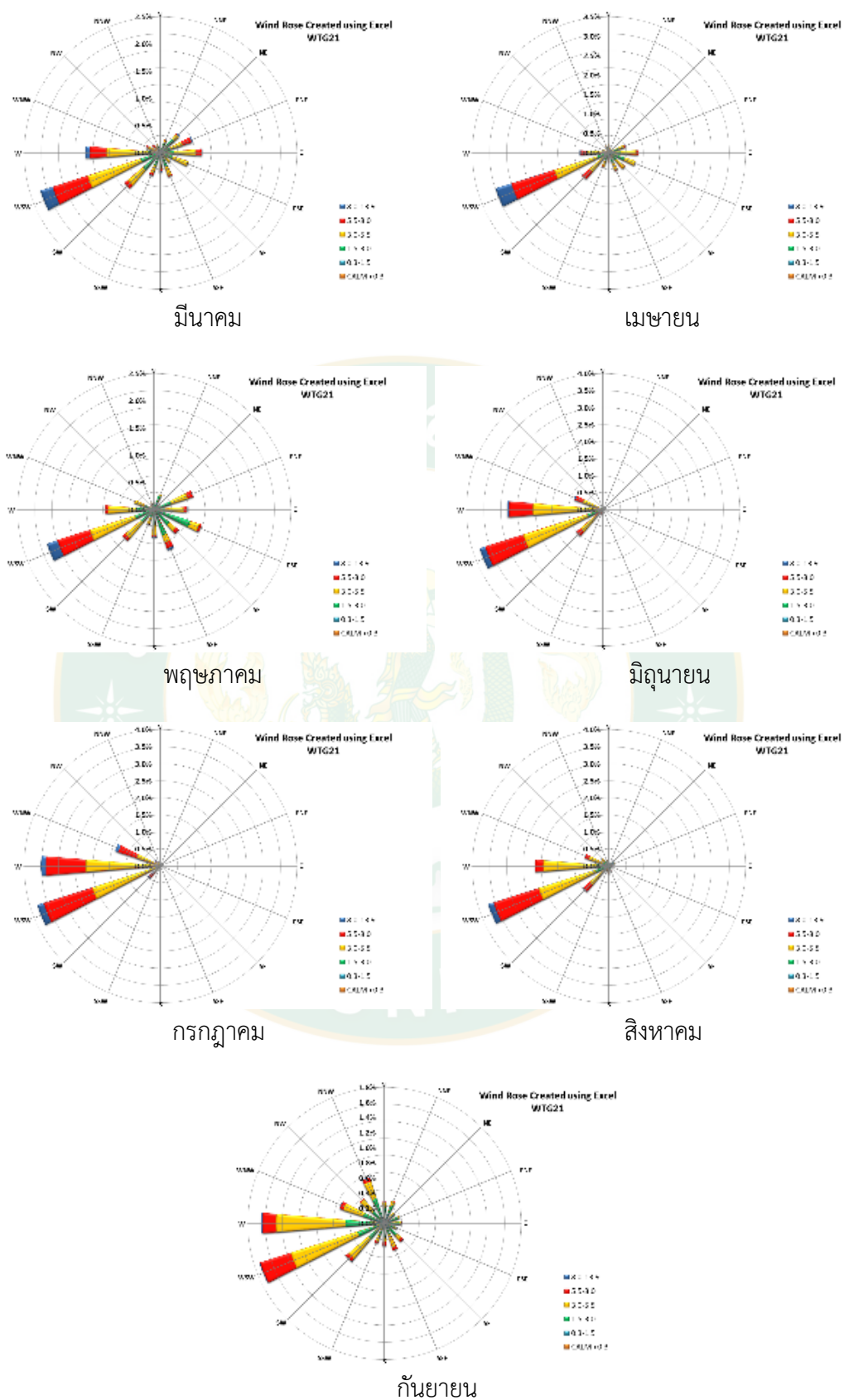
กุมภาพันธ์

ภาพที่ 25 ลักษณะลมพัดผ่านสถานีพยากรณ์อากาศช่วงเดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

ผลวิเคราะห์ข้อมูลลมจากกลุ่มกังหันลมหมายเลข 21,22,23,24,25 และ 26

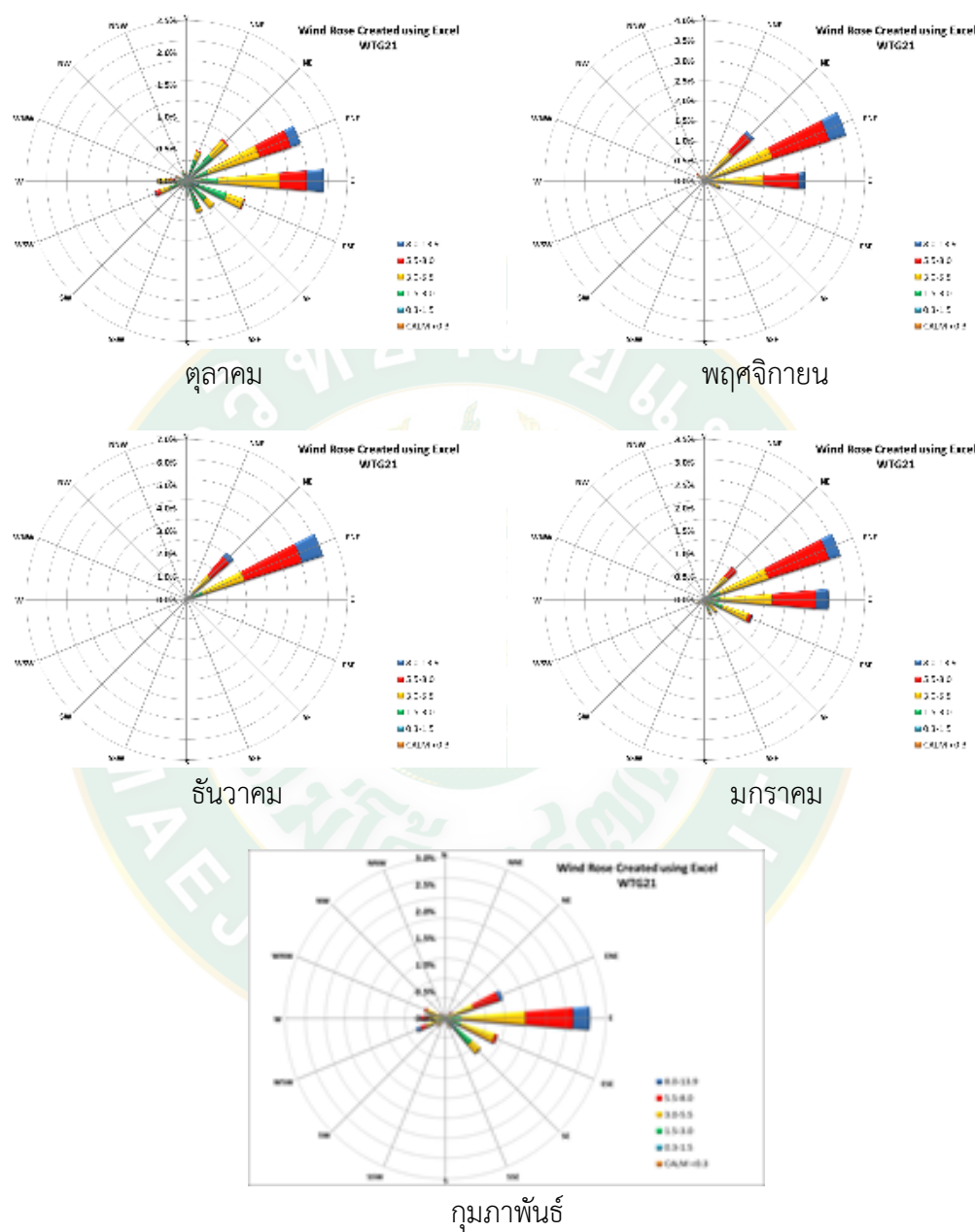
โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย กำลังการผลิตต้นละ 2.5 MW มีทั้งหมดจำนวน 32 ต้น ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกมาเพียง 6 ต้น โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทิศทาง ความเร็วลมตลอดทั้งปี พ.ศ.2560 ของกลุ่มกังหันลมมาวิเคราะห์เพื่อใช้สำหรับการควบคุมกระบวนการผลิต

ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21 มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในภาพที่ 26



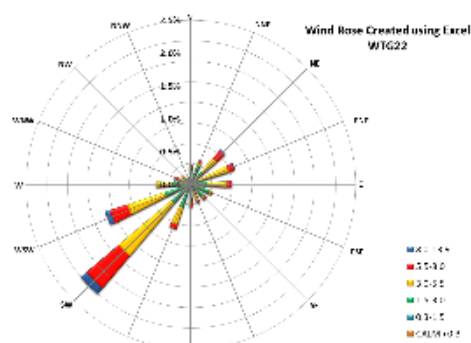
ภาพที่ 26 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21 เดือนมกราคม-กันยายน

ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21 มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 27

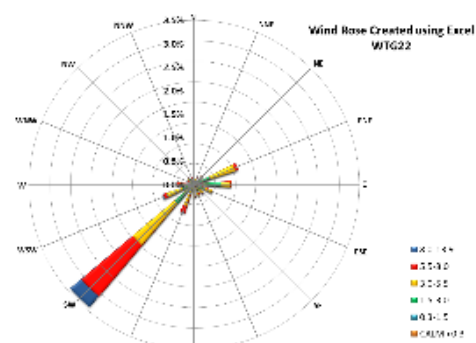


ภาพที่ 27 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 21 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

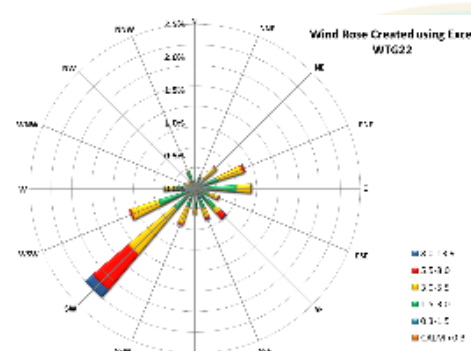
ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 22 มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในภาพที่ 28



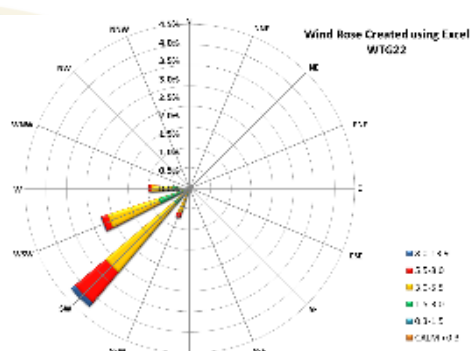
มีนาคม



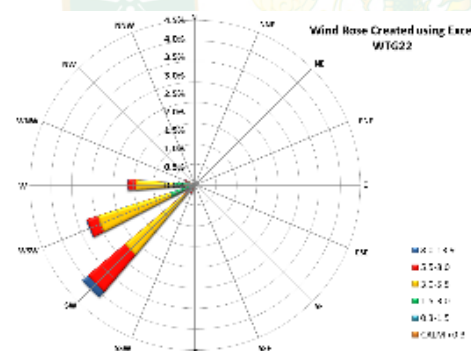
មេឡាយ



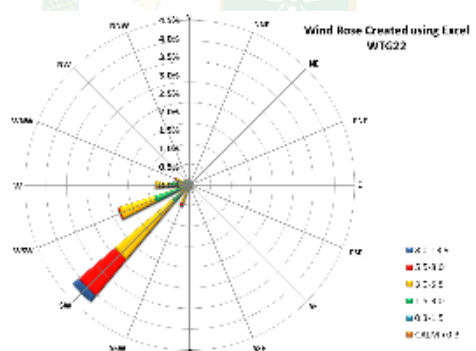
พฤษภาคม



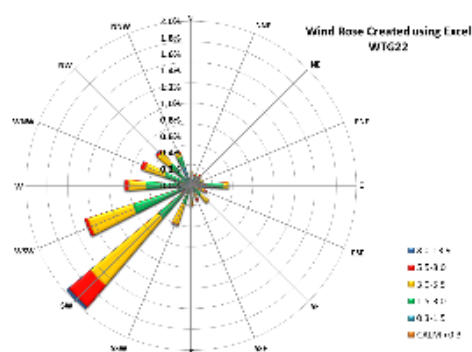
มิถุนายน



กรกฎาคม



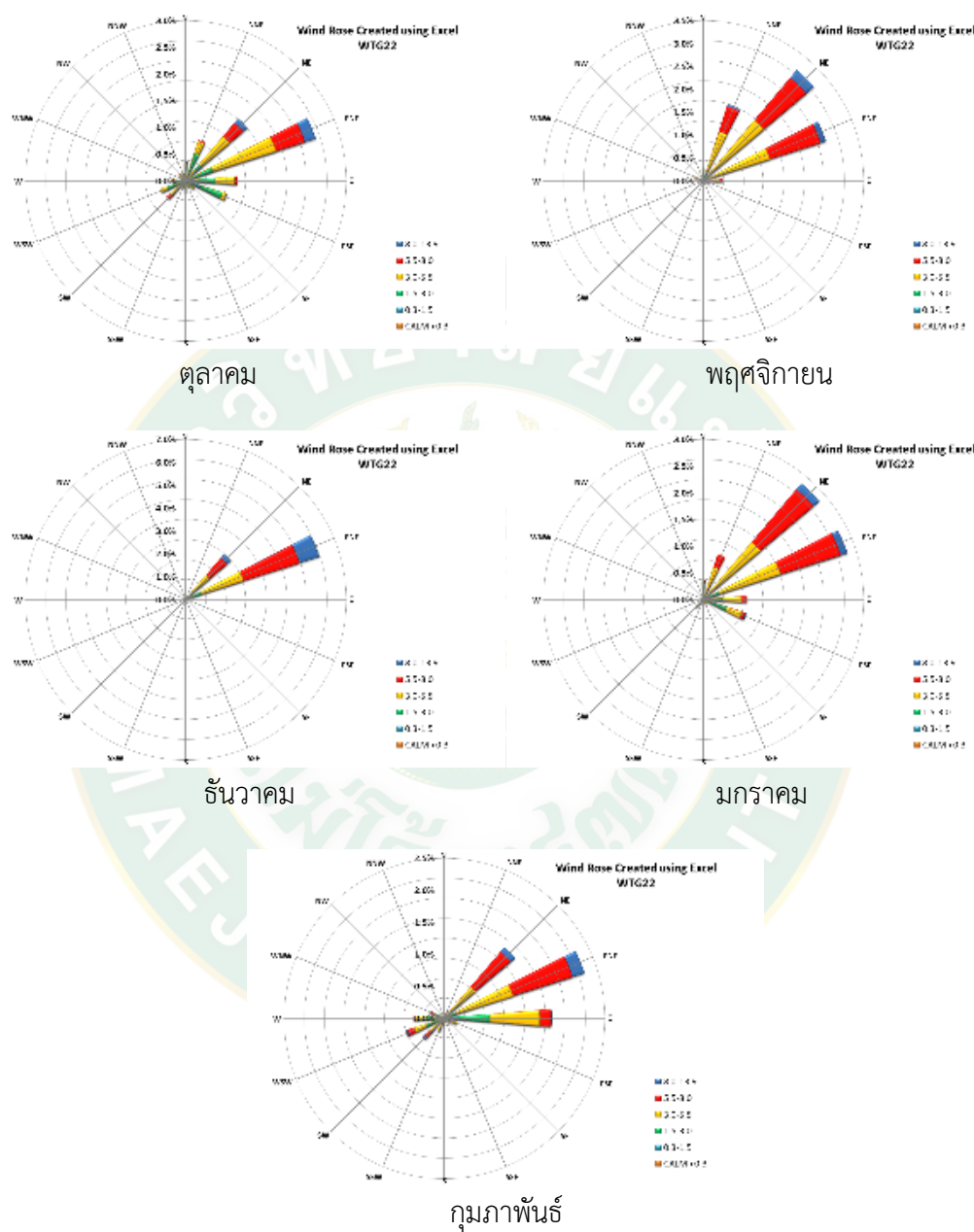
สิงหาคม



กัณยายน

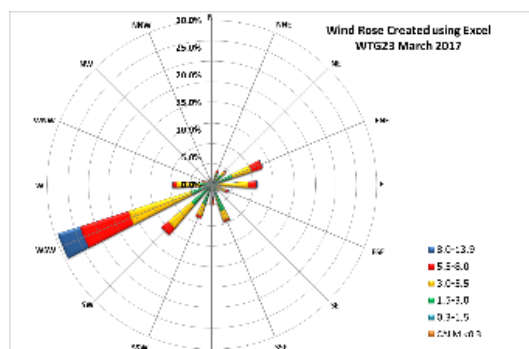
ภาพที่ 28 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 22 เดือนมีนาคม-กันยายน

ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 22 มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 29

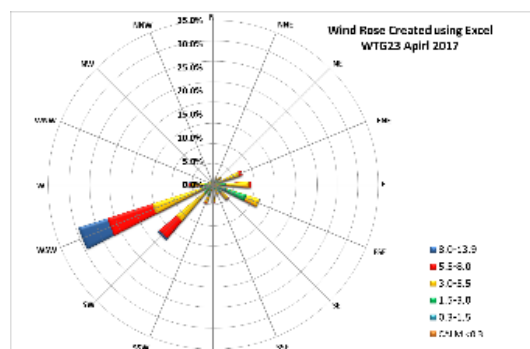


ภาพที่ 29 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 22 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

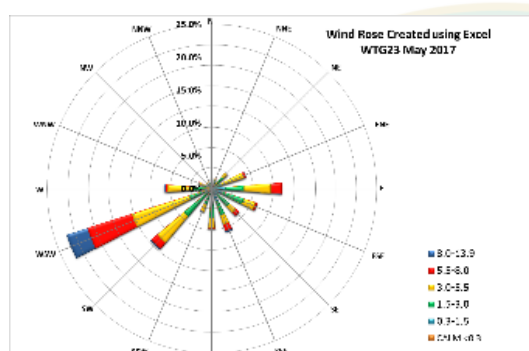
ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 23 มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในภาพที่ 30



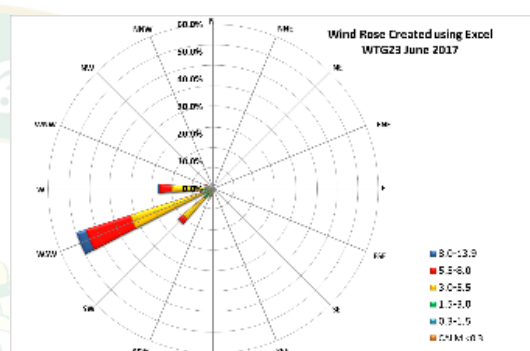
มีนาคม



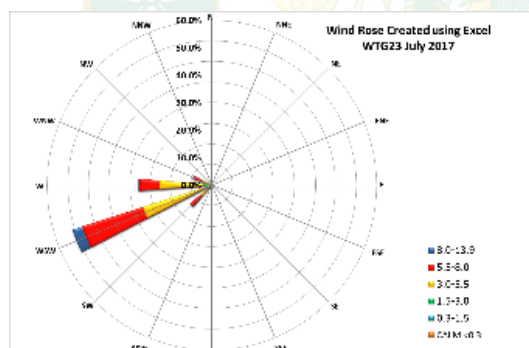
เมษายน



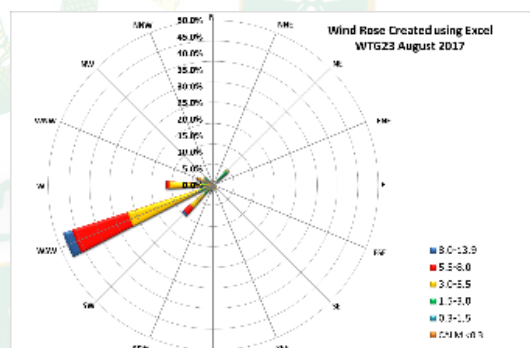
พฤษภาคม



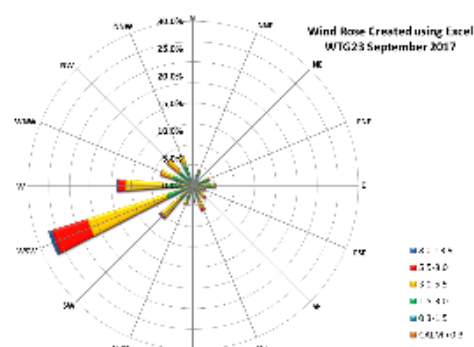
มิถุนายน



กรกฎาคม



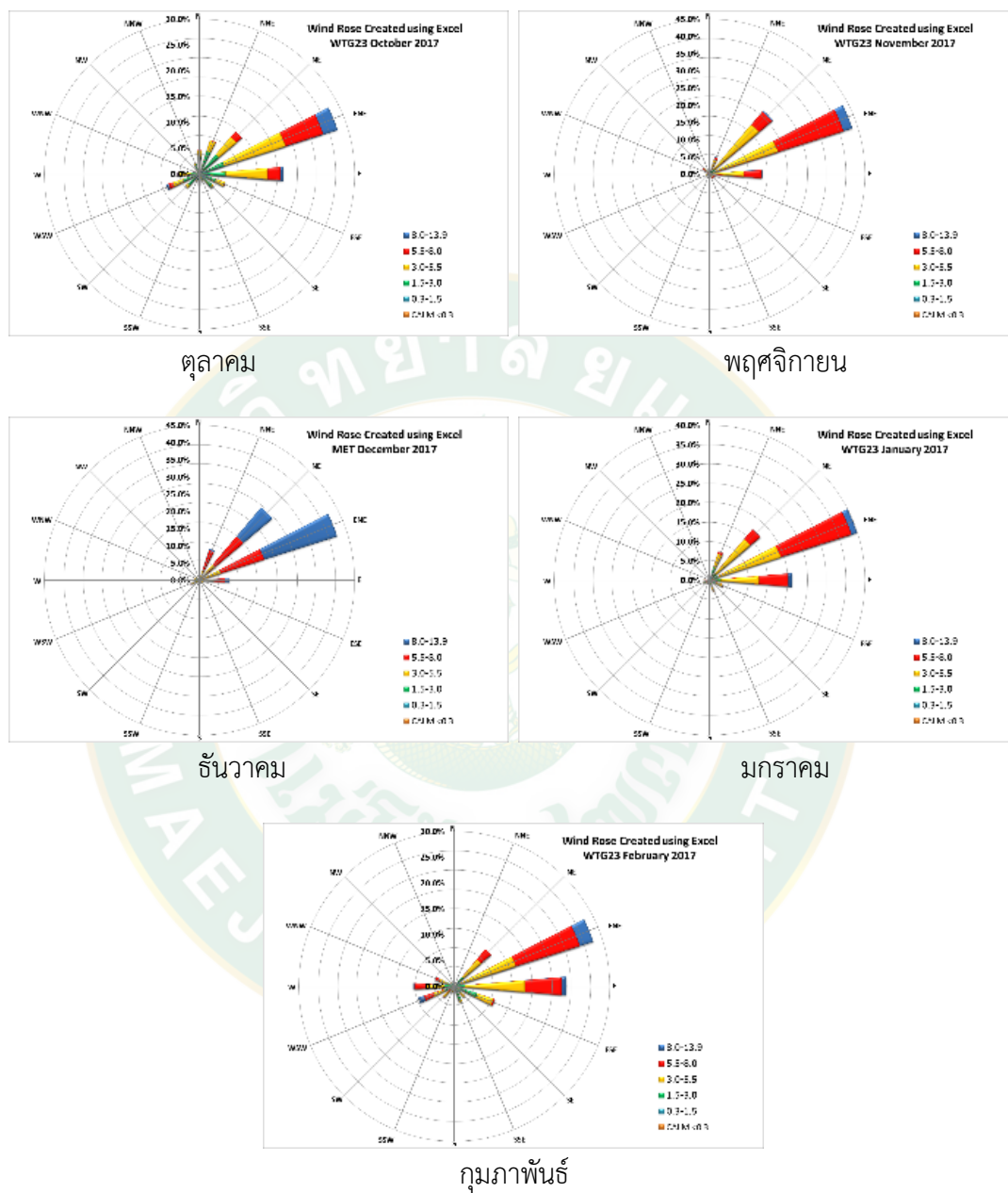
สิงหาคม



กันยายน

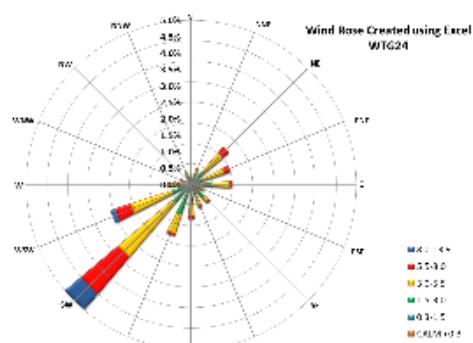
ภาพที่ 30 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 23 เดือนมีนาคม-กันยายน

ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลม
หมายเลขที่ WTG 23 มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 31

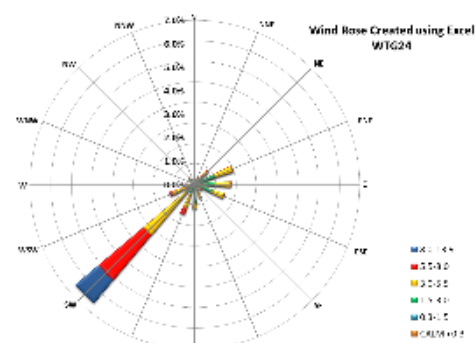


ภาพที่ 31 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 23 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

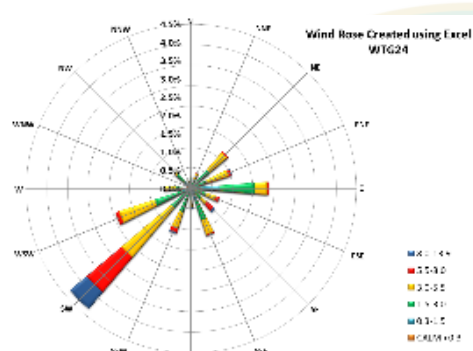
ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลข
ที่ WTG 24 มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในภาพที่ 32



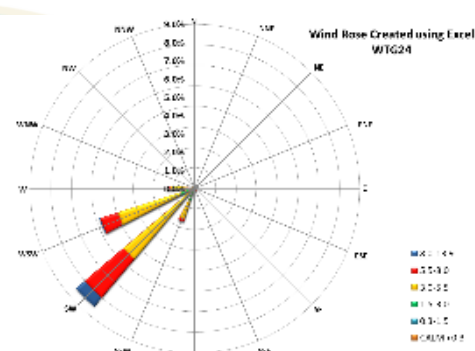
มีนาคม



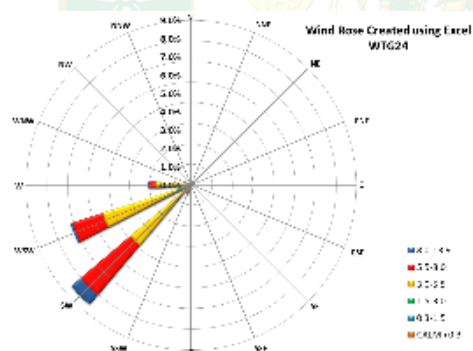
មេឡាយ



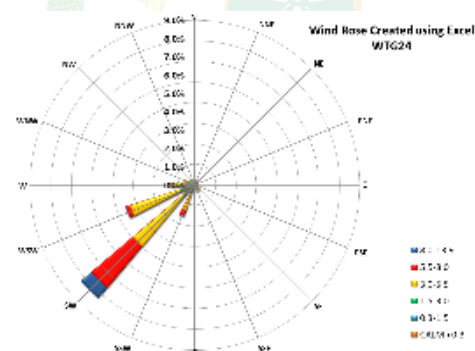
พฤษภาคม



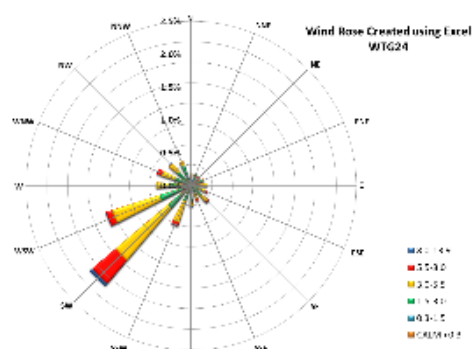
มิถุนายน



กรกฎาคม



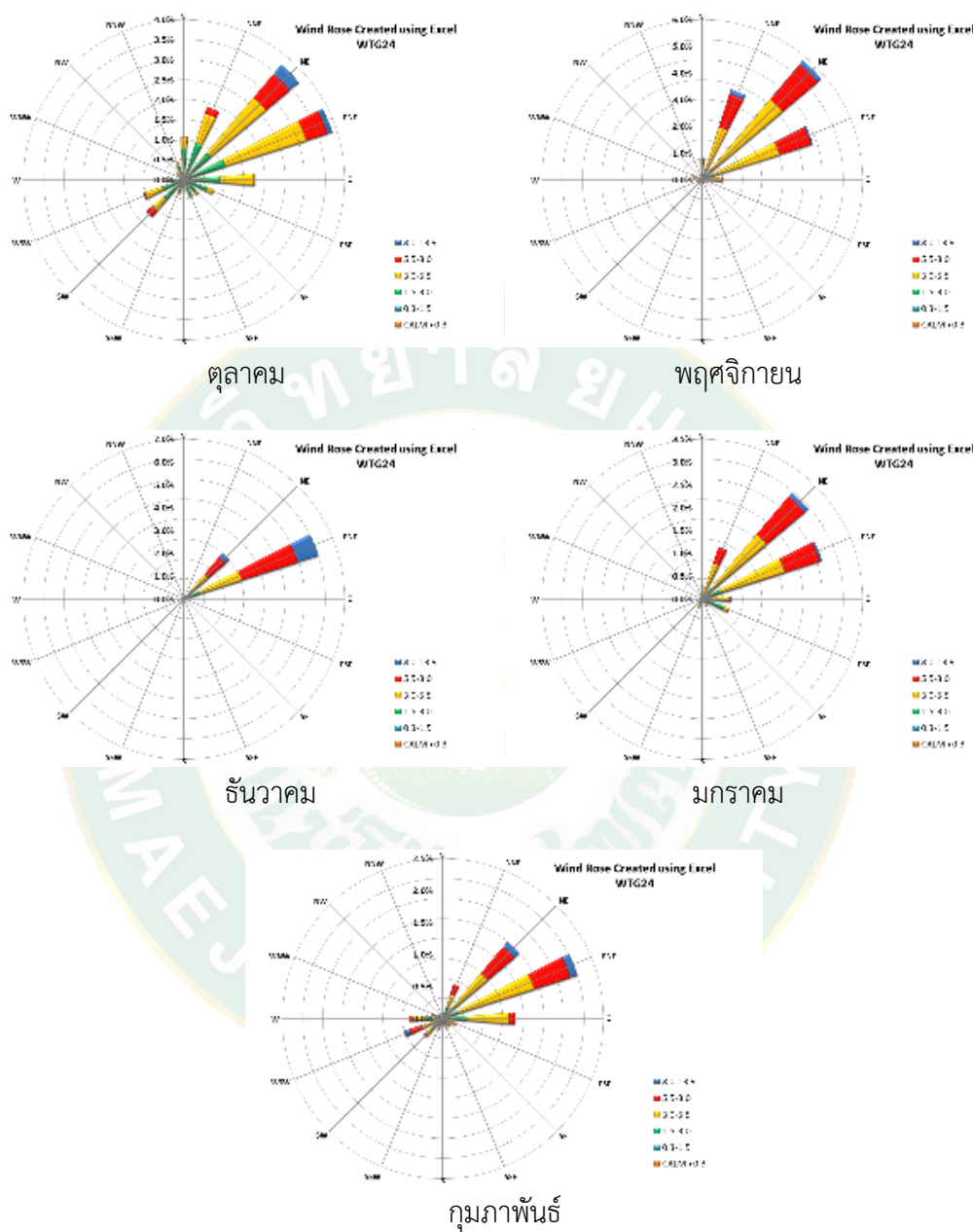
สิงหาคม



กัณยายน

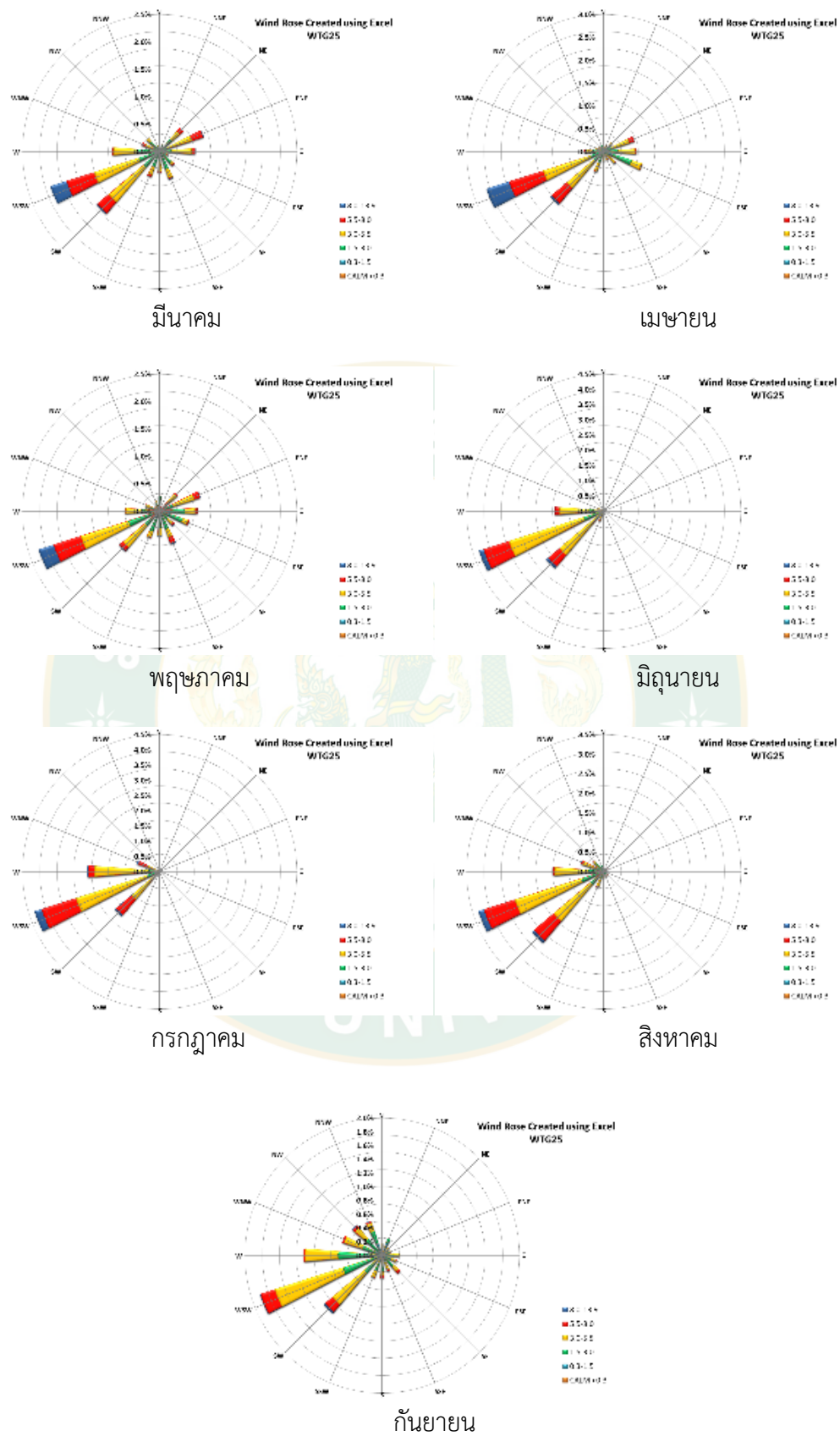
ภาพที่ 32 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 24 เดือนมีนาคม-กันยายน

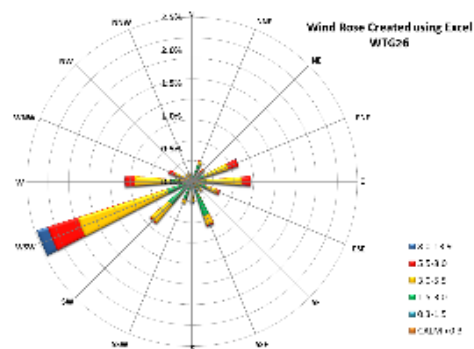
ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลม
หมายเลขที่ WTG 24 มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 33



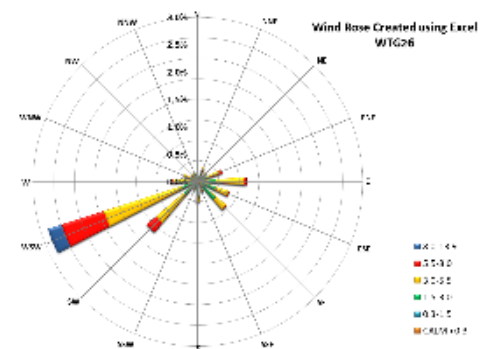
ภาพที่ 33 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 24 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลข
ที่ WTG 25 มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ดังแสดงในภาพที่ 34

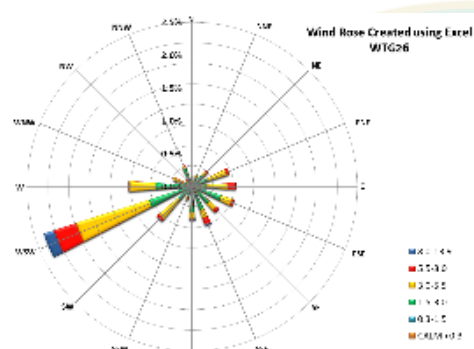




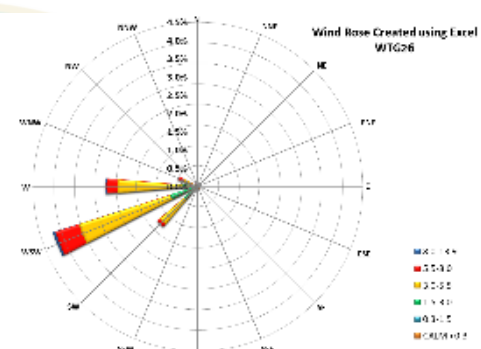
มีนาคม



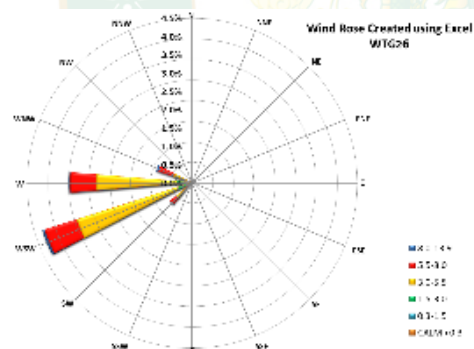
เมษายน



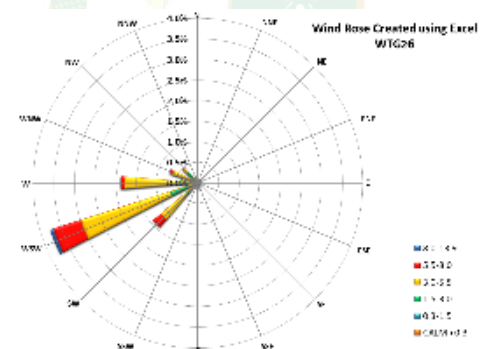
พฤษภาคม



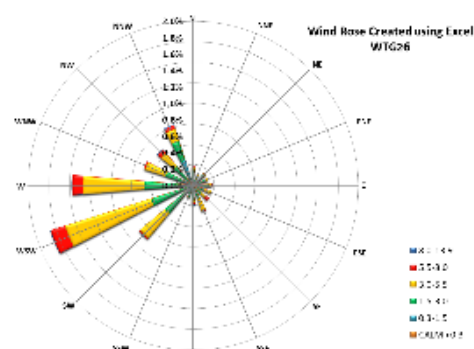
มิถุนายน



กรกฎาคม



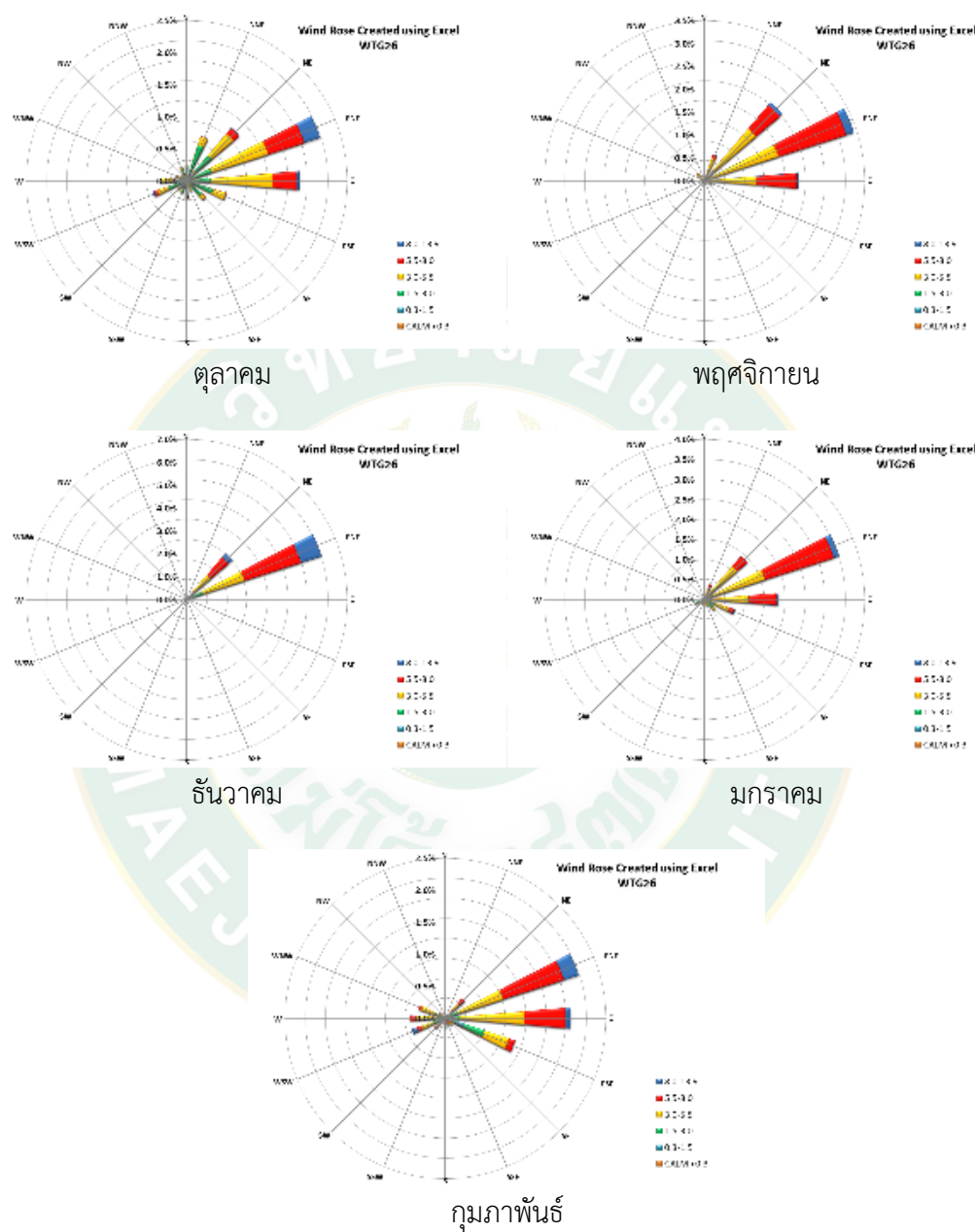
สิงหาคม



กันยายน

ภาพที่ 36 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 26 เดือนมีนาคม-กันยายน

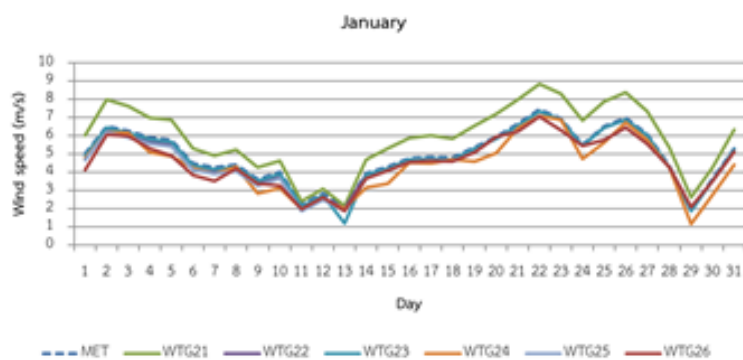
ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 26 มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในภาพที่ 37



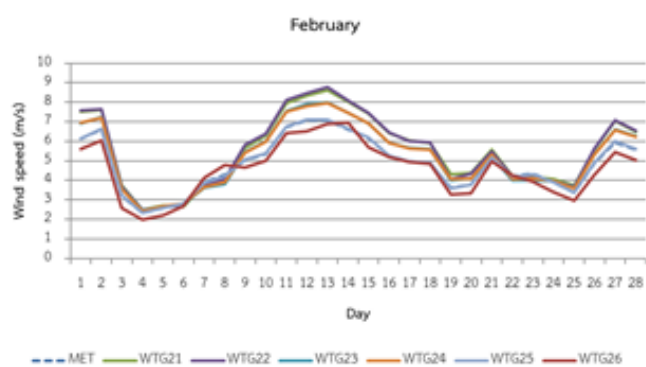
ภาพที่ 37 ลักษณะลมพัดผ่านกังหันลมหมายเลขที่ WTG 26 เดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลระหว่างสถานีพยากรณ์อากาศและกลุ่มกังหันลม

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีพยากรณ์อากาศเทียบกับกลุ่มกังหันลม พบว่าลมที่พัดผ่านนั้นเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 3-8 เมตร/นาที่ ดังแสดงในภาพที่ 38



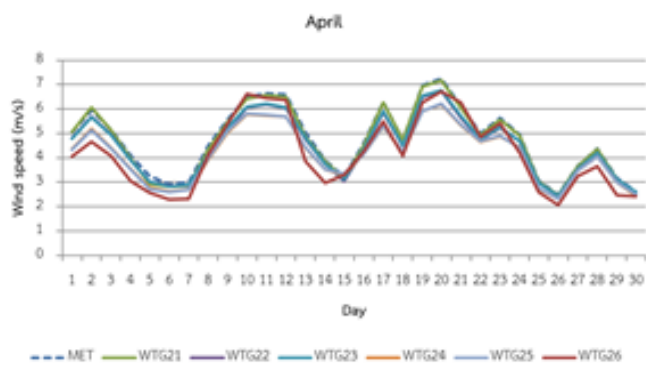
มกราคม



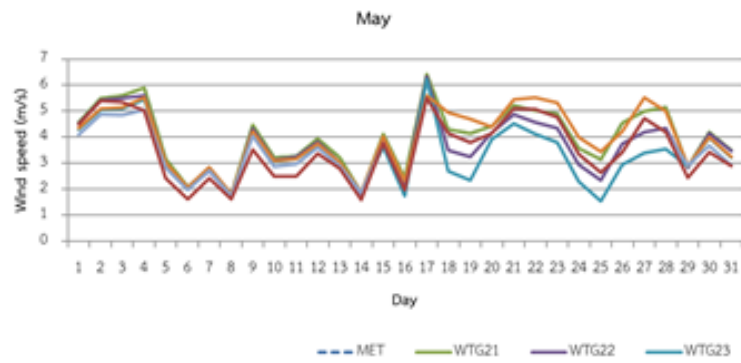
กุมภาพันธ์



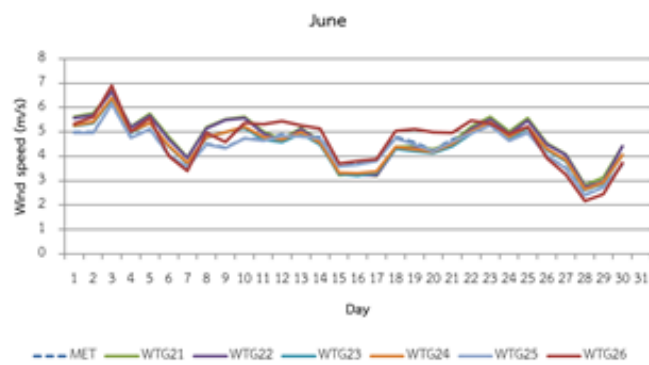
มีนาคม



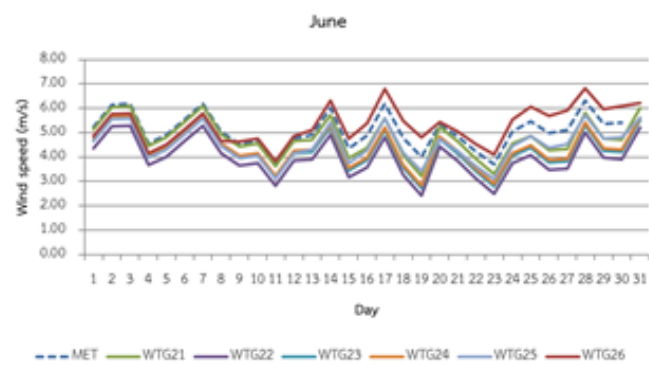
เมษายน



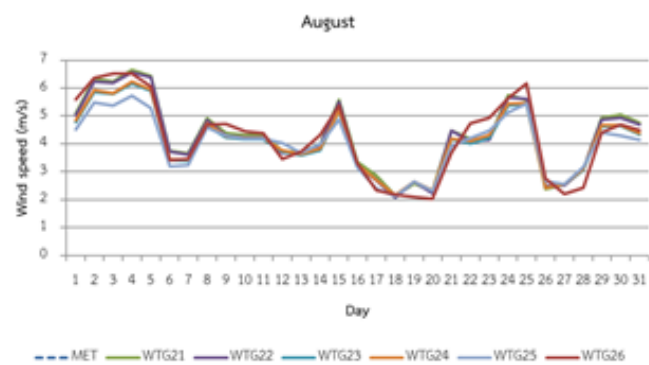
พฤษภาคม



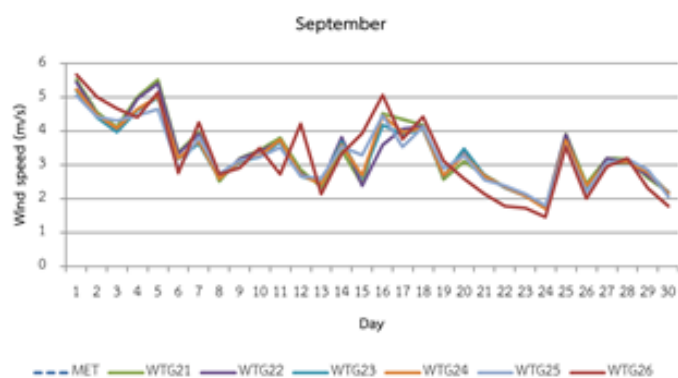
มิถุนายน



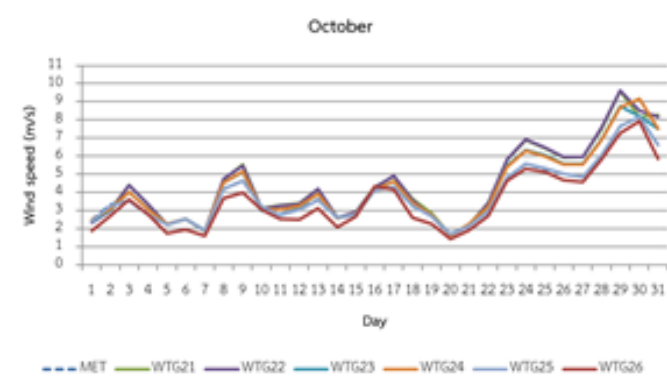
กรกฎาคม



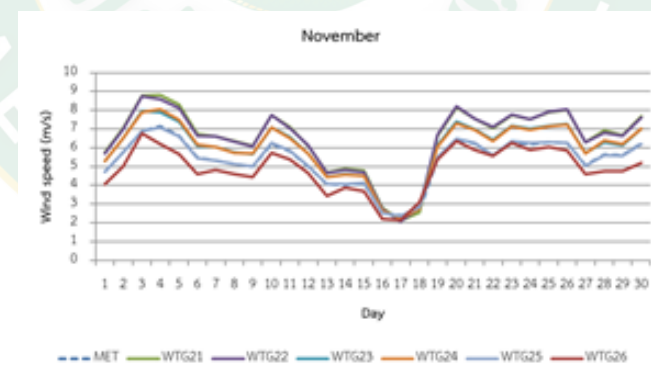
สิงหาคม



กันยายน



ตุลาคม



พฤศจิกายน



ธันวาคม

ภาพที่ 38 ข้อมูลลมระหว่างสถานีพยากรณ์อากาศและกลุ่มกังหันลม

ผลวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าและกำลังการผลิตไฟฟ้าของกลุ่มกังหันลม

การวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยทิศทางและความเร็วลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ผ่านระบบสกาด้า ทำให้กลุ่มกังหันลมมีระยะเวลาในการรับลมที่พัดผ่านมากกว่าเดิม ไม่ต้องเสียเวลาในการรออุปกรณ์ตรวจวัดลมบนกังหันลมเก็บข้อมูลลมและประมวลผลก่อน จึงทำให้ลดขั้นตอนการทำงานของระบบ ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น ดังการคำนวณจากเวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นคูณกับกำลังผลิตไฟฟ้า ณ ความเร็วลมหนึ่ง การวิจัยแสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 21

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	444.98	202.00	606.00	324029.00	4494.30	1.39
กุมภาพันธ์	409.04	255.00	765.00	262462.00	5215.26	1.99
มีนาคม	418.67	376.00	1128.00	274748.00	7870.98	2.86
เมษายน	458.36	320.00	960.00	297834.00	7333.75	2.46
พฤษภาคม	343.26	326.00	978.00	209825.00	5595.17	2.67
มิถุนายน	404.08	133.00	399.00	389954.00	2687.14	0.69
กรกฎาคม	428.86	13.00	39.00	553496.00	278.76	0.05
สิงหาคม	384.21	104.00	312.00	321736.00	1997.88	0.62
กันยายน	290.73	174.00	522.00	185673.00	2529.36	1.36
ตุลาคม	310.16	160.00	480.00	236984.00	2481.28	1.05
พฤศจิกายน	660.07	45.00	135.00	476073.00	1485.16	0.31
ธันวาคม	711.69	82.00	246.00	524934.00	2917.93	0.56
รวมทั้งสิ้น		2190.00	6,570	4,057,748	44,886.96	1.11

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 22

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทีก)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	447.09	192	576.00	324934	4,292.06	1.32
กุมภาพันธ์	433.24	244	732.00	277923	5,285.53	1.90
มีนาคม	390.56	370.00	1,110.00	255,263.00	7,225.30	2.83
เมษายน	456.10	328.00	984.00	296,090.00	7,480.09	2.53
พฤษภาคม	321.46	330.00	990.00	207,181.00	5,304.16	2.56
มิถุนายน	450.75	139.00	417.00	301,082.00	3,132.75	1.04
กรกฎาคม	579.22	27.00	81.00	409,468.00	781.94	0.19
สิงหาคม	418.65	91.00	273.00	285,556.00	1,904.88	0.67
กันยายน	260.67	147.00	441.00	158,170.00	1,915.92	1.21
ตุลาคม	307.15	153	459.00	228352	2,349.70	1.03
พฤศจิกายน	662.50	47	141.00	477740	1,556.88	0.33
ธันวาคม	560.08	269	807.00	413432	7,533.08	1.82
รวมทั้งสิ้น		2337.00	7,011	3,635,191	48,762.29	1.34

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 23

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทีก)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	499.2	158	474.00	362150	3,943.68	1.09
กุมภาพันธ์	562.5	188	564.00	359024	5,287.78	1.47
มีนาคม	494.55	354.00	1,062.00	322,429.00	8,753.54	2.71
เมษายน	541.82	277.00	831.00	370,409.00	7,504.21	2.03
พฤษภาคม	392.69	322.00	966.00	266,529.00	6,322.31	2.37
มิถุนายน	636.64	163.00	489.00	443,433.00	5,188.62	1.17
กรกฎาคม	842.58	64.00	192.00	611,398.00	2,696.26	0.44
สิงหาคม	541.76	173.00	519.00	387,182.00	4,686.22	1.21
กันยายน	325.78	141.00	423.00	209,965.00	2,296.75	1.09
ตุลาคม	358.46	129.00	387.00	266755	2,312.07	0.87
พฤศจิกายน	649.60	40	120.00	468652	1,299.20	0.28
ธันวาคม	720.26	71	213.00	531875	2,556.92	0.48
รวมทั้งสิ้น		2080.00	6,240	4,599,801	52,847.55	1.15

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 24

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทิจ)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	367.79	193.00	579.00	267888.00	3,549.17	1.32
กุมภาพันธ์	381.00	229.00	687.00	244240.00	4,362.45	1.79
มีนาคม	426.49	365.00	1,095.00	292,662.00	7,783.44	2.66
เมษายน	510.24	306.00	918.00	346,430.00	7,806.67	2.25
พฤษภาคม	357.49	323.00	969.00	237,651.00	5,773.46	2.43
มิถุนายน	571.53	118.00	354.00	397,481.00	3,372.03	0.85
กรกฎาคม	748.10	19.00	57.00	539,501.00	710.70	0.13
สิงหาคม	519.32	82.00	246.00	373,243.00	2,129.21	0.57
กันยายน	285.97	137.00	411.00	189,948.00	1,958.89	1.03
ตุลาคม	261.19	144.00	432.00	195131.00	1,880.57	0.96
พฤศจิกายน	554.48	32.00	96.00	399875.00	887.17	0.22
ธันวาคม	570.45	67.00	201.00	421667.00	1,911.01	0.45
รวมทั้งสิ้น		2015.00	6,045	3,905,717	42,124.77	1.08

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 25

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทิจ)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	605.23	204	612.00	317,374.00	6,173.35	1.95
กุมภาพันธ์	438.43	223	669.00	280,161.00	4,888.49	1.74
มีนาคม	374.02	408.00	1,224.00	258,785.00	7,630.08	2.95
เมษายน	505.50	303.00	909.00	302,026.00	7,658.27	2.54
พฤษภาคม	341.98	326.00	978.00	457,272.00	5,574.31	1.22
มิถุนายน	493.83	138.00	414.00	331,383.00	3,407.43	1.03
กรกฎาคม	646.65	28.00	84.00	476,118.00	905.32	0.19
สิงหาคม	435.63	92.00	276.00	312,263.00	2,003.88	0.64
กันยายน	299.08	153.00	459.00	166,423.00	2,287.97	1.37
ตุลาคม	357.83	125.00	375.00	265778	2,236.44	0.84
พฤศจิกายน	696.17	41.00	123.00	502184	1,427.15	0.28
ธันวาคม	773.21	67.00	201.00	571133	2,590.25	0.45
รวมทั้งสิ้น		2108.00	6,324	4,240,900	46,782.93	1.10

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลม WTG 26

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	440	216	648.00	319,105.00	4,755.02	1.49
กุมภาพันธ์	410	209	627.00	262,187.00	4,279.90	1.63
มีนาคม	310.99	433.00	1,299.00	207,904.00	6,732.93	3.24
เมษายน	364.90	354.00	1,062.00	234,761.00	6,458.79	2.75
พฤษภาคม	267.63	343.00	1,029.00	169,464.00	4,589.81	2.71
มิถุนายน	406.74	145.00	435.00	264,980.00	2,948.85	1.11
กรกฎาคม	554.81	30.00	90.00	398,582.00	832.21	0.21
สิงหาคม	344.37	108.00	324.00	236,878.00	1,859.62	0.79
กันยายน	244.99	160.00	480.00	137,677.00	1,959.90	1.42
ตุลาคม	313.63	142.00	426.00	233,608	2,226.77	0.95
พฤศจิกายน	614	37	111.00	442,751	1,135.38	0.26
ธันวาคม	681	74	222.00	503,280	2,519.44	0.50
รวมทั้งสิ้น		2251.00	6,753	3,411,177	40,298.63	1.18

จากตารางที่ 2-7 จะเห็นได้ว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของแต่ละต้นกังหันลมไม่เท่ากัน เนื่องจากกำลังผลิตเฉลี่ยในแต่ละเดือนรวมทั้งจำนวนรอบการทำงานที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากความเร็วลมที่พัดผ่านตำแหน่งที่ติดตั้งที่มีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกันจึงทำให้ส่งผลกระทบต่อความเร็วและทิศทางลม เมื่อใช้วิธีการรับข้อมูลจากสถานีพยากรณ์อากาศผ่านระบบสกาด้าโดยข้อมูลที่ส่งคือค่าเฉลี่ยทิศทางและความเร็วลมของกลุ่มกังหันลม พบว่า กังหัน ทั้ง 6 ต้น สามารถเพิ่มระยะเวลาการผลิตไฟฟ้าได้ 38,943 min/y คิดเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น 275,703.13 kWh เฉลี่ยต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมในประเทศไทยได้จริง โดยเฉพาะบริเวณที่มีลมไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นลักษณะของลมในประเทศไทย ส่งผลให้กังหันลมต้องหยุดการผลิตแต่ยังมีการใช้พลังงานในการเลี้ยงระบบควบคุมภายในตัวกังหัน เกิดการสูญเสียพลังงาน วิธีดังกล่าวจึงสามารถเพิ่มโอกาสในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และสามารถทราบว่าลมที่พัดผ่านมาในแต่ละเวลาเหมาะสมต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือไม่ ผลของงานวิจัยแสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยการเพิ่มระยะเวลาการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นจากการรับข้อมูลจากสถานีพยากรณ์อากาศแล้วประมวลระบบสกาด้าแล้วควบคุมกระบวนการผลิต ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 275,703.13 kWh เฉลี่ยต่อปี งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในโครงการอื่นที่มีปัญหาเดียวกันได้

หากทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลของงานวิจัยนี้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตของกังหันลมภายในโครงการทั้งหมด 32 ต้น จะสามารถทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของกำลังการผลิตได้ 1,342,661.87 kWh เฉลี่ยต่อปี คิดเป็น 1.07% ของกำลังการผลิตทั้งหมดของโครงการ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 8

งานวิจัยนี้ยังสามารถหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งสถานีพยากรณ์อากาศเพื่อควบคุมกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมได้ โดยต้องติดตั้งสถานีพยากรณ์อากาศเพิ่มในทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของโครงการและต้องมีระยะห่างจากกังหันลมชุดแรกไม่น้อยกว่า 540 m

ตารางที่ 8 กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วควบคุมกระบวนการผลิตกังหันลมทั้งหมดภายในโครงการ ในปี พ.ศ.2560

กังหันลมภายในโครงการ	จำนวนรอบการทำงานในปี พ.ศ.2560 (ครั้ง)	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (min)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (kWh/y)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
กังหันลมหมายเลขที่ 1	2,015.00	6,045.00	44,275.91	1.60
กังหันลมหมายเลขที่ 2	2,204.00	6,612.00	43,667.85	1.11
กังหันลมหมายเลขที่ 3	2,346.00	7,038.00	44,816.61	1.23
กังหันลมหมายเลขที่ 4	2,295.00	6,885.00	32,520.16	1.07
กังหันลมหมายเลขที่ 5	2,056.00	6,168.00	38,516.19	1.03
กังหันลมหมายเลขที่ 6	2,475.00	7,425.00	43,534.37	1.10

กังหันลมภายใน โครงการ	จำนวนรอบการทำงาน ในปี พ.ศ.2560 (ครั้ง)	เวลาการผลิต ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (min)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่ เพิ่มขึ้น (kWh/y)	กำลังผลิตไฟฟ้า ที่เพิ่มขึ้น (%)
กังหันลมหมายเลขที่ 7	1,918.00	5,754.00	43,621.82	0.95
กังหันลมหมายเลขที่ 8	2,366.00	7,098.00	40,896.90	1.24
กังหันลมหมายเลขที่ 9	2,309.00	6,927.00	40,165.55	1.24
กังหันลมหมายเลขที่ 10	1,653.00	4,959.00	33,246.04	0.79
กังหันลมหมายเลขที่ 11	1,919.00	5,757.00	36,716.83	0.93
กังหันลมหมายเลขที่ 12	1,374.00	4,122.00	31,224.51	0.66
กังหันลมหมายเลขที่ 13	1,696.00	5,088.00	41,792.10	0.82
กังหันลมหมายเลขที่ 14	1,624.00	4,872.00	43,024.01	0.82
กังหันลมหมายเลขที่ 15	2,090.00	6,270.00	43,858.74	0.99
กังหันลมหมายเลขที่ 16	1,727.00	5,181.00	44,694.06	0.84
กังหันลมหมายเลขที่ 17	2,443.00	7,329.00	48,136.68	1.22
กังหันลมหมายเลขที่ 18	2,116.00	6,348.00	43,705.04	1.12
กังหันลมหมายเลขที่ 19	2,184.00	6,552.00	48,314.30	1.12
กังหันลมหมายเลขที่ 20	2,233.00	6,699.00	39,361.57	1.13
กังหันลมหมายเลขที่ 21	2,190.00	6,570.00	44,886.96	1.11
กังหันลมหมายเลขที่ 22	2,337.00	7,011.00	48,762.29	1.34
กังหันลมหมายเลขที่ 23	2,080.00	6,240.00	52,847.55	1.15
กังหันลมหมายเลขที่ 24	2,015.00	6,045.00	42,124.77	1.08
กังหันลมหมายเลขที่ 25	2,108.00	6,324.00	46,782.93	1.10
กังหันลมหมายเลขที่ 26	2,251.00	6,753.00	40,298.63	1.18
กังหันลมหมายเลขที่ 27	1,916.00	5,748.00	36,550.23	0.94
กังหันลมหมายเลขที่ 28	2,693.00	8,079.00	41,768.24	1.33
กังหันลมหมายเลขที่ 29	1,734.00	5,202.00	38,091.38	0.84
กังหันลมหมายเลขที่ 30	2,152.00	6,456.00	38,210.83	1.09
กังหันลมหมายเลขที่ 31	2,199.00	6,597.00	38,931.34	1.02
กังหันลมหมายเลขที่ 32	2,308.00	6,924.00	47,317.50	1.22
รวมทั้งสิ้น		201,078.00	1,342,661.87	1.07

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. **พลังงานลม**. สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. ม.ป.ป. **ลมมรสุม**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52> (5 พฤศจิกายน 2559).
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2558. **การประเมินผลกระทบของสภาวะฝนที่มีต่อประเทศไทยโดยใช้ดัชนี GMI. ปีที่ 13 เล่มที่ 3 น. 10-12.**
- กระทรวงพลังงาน. 2558a. **สถานการณ์พลังงาน ปี 2558 และแนวโน้ม ปี 2559**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.chanthaburi.buu.ac.th/~office_building/power/documents/energy2015-forecast2016.pdf (5 พฤศจิกายน 2559).
- กระทรวงพลังงาน. 2558b. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf (5 พฤศจิกายน 2559).
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. **เทคโนโลยีกังหันลม**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm (29 พฤศจิกายน 2559).
- นิพนธ์ เกตุจ้อย และอชิตพล ศศิธรานุวัฒน์. 2547. **เทคโนโลยีพลังงานลม**. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร.
- บริษัท เฟลโลว เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด. 2544. **แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย**. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน สนับสนุนโดย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน
- ลม. ม.ป.ป. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.marine.tmd.go.th/thai/windhtml/windhtml.html> (10 พฤศจิกายน 2559).
- วันชัย รักษาควร และนัฐฐ์ ชันธเนตร. 2556. **การติดตั้งระบบสกาด้าของรถไฟฟ้าบีทีเอสสายสีเขียวส่วนต่อขยาย ตากสิน-เพชรเกษม**. สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย, มหาวิทยาลัยสยาม.
- วิภากร เศรษฐศิริพันธ์, วีรเทพ พงศ์ศรีเพียร และวรรณกมล ไชยชนะ. 2550. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานลม เพื่อผลิตไฟฟ้าจ่ายขนานเข้าระบบจำหน่าย**

โดยภาคเอกชน : กรณีศึกษาชายหาด อ. สทิงพระ จังหวัดสงขลา. สารนิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2559. ข้อมูลผู้ผลิตไฟฟ้า SPP/VSP. [ระบบ
ออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.erc.or.th/ERCSP/default.aspx?x=&muid=23&prid=41> (5 พฤศจิกายน 2559).

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ม.ป.ป. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง. [ระบบออนไลน์].
แหล่งที่มา http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/39181/88ba62f07f0f74e40872da8120e2dcf?Resolve_DOI=10.14457/NU.the.2012.22 (10
พฤศจิกายน 2559).

สำนักตรวจและเฝ้าระวังสภาวะอากาศ. ม.ป.ป. บทที่ 1 การวัดลมพื้นผิว. [ระบบออนไลน์].
แหล่งที่มา www.mob.tmd.go.th/data/academic1-3.pdf (10 พฤศจิกายน
2559).

A. Mohamed and K. Young-Chon. 2013. Machine-to-Machine Communication
Infrastructure for Smart Wind Power Farms. **Intelligent Energy Systems**
(IWIES), 137-142.

Green intrend.com. ม.ป.ป. พลังงานลมกับการลดการเปลี่ยนแปลงอากาศ. [ระบบออนไลน์].
แหล่งที่มา <http://www.greenintrend.com/พลังงานลมมนุษย์ทำอะไร/> (6
พฤศจิกายน 2559).

K. Tar and S. Szegedi. 2011. A statistical model for estimating electricity produced by
wind energy. **Renewable Energy**, 36, 823-828.

M.S. Roulston, D.T. Kaplan, J. Hardenberg and L.A. Smith. 2003. Using medium-range
weather forecasts to improve the value of wind energy production.
Renewable Energy, 28, 585-602.



ภาคผนวก ก. ความถี่ทิศทางและความเร็วของลมในงานวิจัย

งานวิจัยการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์อากาศเทียบกับอุปกรณ์วัดลมบนกังหันลมทั้ง 6 ต้น โดยทำการเก็บข้อมูลความเร็วลม ทิศของลม ในเดือนมกราคม-เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ด้วยระบบ SCADA แล้วนำมาสร้างผังลม โดยรายละเอียดของข้อมูลดังแสดงในตารางผนวกที่ 1-7

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลลมของสถานีพยากรณ์อากาศ เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560 (มกราคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.10%	0.30%	0.24%	0.00%	0.00%	0.64%
NNE	0.17%	0.64%	1.92%	2.55%	1.34%	6.62%
NE	0.44%	1.04%	4.17%	10.79%	3.73%	20.16%
ENE	0.24%	1.41%	9.24%	22.48%	12.94%	46.30%
E	0.27%	1.38%	5.34%	4.94%	0.71%	12.63%
ESE	0.10%	0.60%	2.76%	0.20%	0.03%	3.70%
SE	0.00%	0.00%	0.20%	0.00%	0.00%	0.20%
SSE	0.03%	0.47%	0.27%	0.00%	0.00%	0.77%
S	0.17%	0.60%	0.30%	0.03%	0.00%	1.11%
SSW	0.13%	0.57%	0.47%	0.00%	0.00%	1.18%
SW	0.20%	1.11%	0.60%	0.10%	0.00%	2.02%
WSW	0.30%	0.67%	0.67%	0.03%	0.00%	1.68%
W	0.20%	0.71%	0.27%	0.00%	0.00%	1.18%
WNW	0.07%	0.54%	0.07%	0.00%	0.00%	0.67%
NW	0.03%	0.30%	0.24%	0.00%	0.00%	0.57%
NNW	0.27%	0.27%	0.03%	0.00%	0.00%	0.57%
	2.72%	10.62%	26.78%	41.13%	18.75%	100.00%
No. of Hours Monitored	2976	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	31	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.07	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	6.47	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.26%	0.44%	0.33%	0.04%	0.00%	1.06%
NNE	0.26%	0.48%	0.37%	0.07%	0.04%	1.21%
NE	0.18%	0.77%	1.02%	4.50%	3.87%	10.34%
ENE	0.37%	1.28%	7.16%	16.08%	9.32%	34.21%
E	0.26%	1.46%	7.02%	8.77%	1.57%	19.08%
ESE	0.15%	1.13%	2.56%	0.40%	0.00%	4.24%
SE	0.00%	0.07%	0.26%	0.00%	0.00%	0.33%
SSE	0.18%	0.07%	0.51%	0.00%	0.00%	0.77%
S	0.15%	0.37%	0.44%	0.04%	0.00%	0.99%
SSW	0.11%	0.33%	1.57%	0.22%	0.00%	2.23%
SW	0.00%	0.40%	3.00%	1.17%	0.07%	4.64%
WSW	0.04%	0.80%	5.15%	2.85%	0.18%	9.03%
W	0.11%	2.27%	4.35%	0.58%	0.00%	7.31%
WNW	0.15%	1.17%	1.86%	0.00%	0.00%	3.18%
NW	0.26%	0.37%	0.18%	0.04%	0.00%	0.84%
NNW	0.15%	0.33%	0.07%	0.00%	0.00%	0.55%
	2.60%	11.73%	35.86%	34.76%	15.06%	100.00%
No. of Hours Monitored	2736	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	29	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.85	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	4.36	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.04%	0.27%	0.11%	0.02%	0.02%	0.47%
NNE	0.16%	0.54%	0.67%	0.16%	0.25%	1.77%
NE	0.25%	0.43%	1.81%	0.76%	0.40%	3.65%
ENE	0.27%	0.90%	3.11%	4.50%	0.85%	9.63%
E	0.18%	1.08%	3.11%	2.98%	0.58%	7.93%
ESE	0.58%	1.84%	1.21%	0.11%	0.04%	3.79%
SE	0.43%	1.28%	1.41%	0.20%	0.09%	3.41%
SSE	0.31%	0.85%	1.81%	0.38%	0.20%	3.56%
S	0.34%	1.01%	1.75%	0.67%	0.11%	3.88%
SSW	0.27%	1.86%	2.26%	0.47%	0.09%	4.95%
SW	0.40%	1.70%	7.80%	4.12%	0.16%	14.18%
WSW	0.18%	2.28%	12.52%	11.83%	2.51%	29.32%
W	0.49%	2.98%	4.32%	0.34%	0.00%	8.13%
WNW	0.29%	1.25%	1.57%	0.02%	0.00%	3.14%
NW	0.18%	0.56%	0.43%	0.04%	0.00%	1.21%
NNW	0.13%	0.47%	0.29%	0.09%	0.00%	0.99%
	4.50%	19.29%	44.20%	26.70%	5.31%	100.00%
No. of Hours Monitored	4464	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	31	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	13.58	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	5.31	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.24%	0.48%	0.68%	0.20%	0.00%	1.61%
NNE	0.44%	0.55%	0.99%	0.41%	0.00%	2.39%
NE	0.38%	0.82%	1.91%	0.31%	0.00%	3.42%
ENE	0.38%	1.43%	4.71%	3.14%	0.14%	9.80%
E	0.31%	1.74%	5.09%	1.78%	0.17%	9.08%
ESE	0.14%	1.13%	4.00%	0.20%	0.00%	5.46%
SE	0.03%	0.38%	0.44%	0.00%	0.03%	0.89%
SSE	0.10%	0.44%	1.02%	0.34%	0.07%	1.98%
S	0.38%	0.65%	1.61%	0.10%	0.00%	2.73%
SSW	0.14%	0.99%	3.04%	0.44%	0.00%	4.61%
SW	0.34%	1.16%	7.04%	9.94%	0.96%	19.43%
WSW	0.24%	2.08%	9.26%	13.39%	3.38%	28.35%
W	0.17%	2.12%	2.36%	0.24%	0.03%	4.92%
WNW	0.41%	0.96%	0.58%	0.03%	0.00%	1.98%
NW	0.41%	0.61%	0.38%	0.10%	0.03%	1.54%
NNW	0.44%	0.72%	0.58%	0.07%	0.00%	1.81%
	4.54%	16.26%	43.68%	30.70%	4.82%	100.00%
No. of Hours Monitored	2928	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	20	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.20	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	4.20	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.44%	0.56%	0.37%	0.00%	0.02%	1.40%
NNE	0.44%	0.74%	0.16%	0.07%	0.00%	1.42%
NE	0.47%	1.49%	1.99%	0.37%	0.02%	4.30%
ENE	0.40%	1.53%	4.47%	2.99%	0.25%	9.63%
E	0.81%	2.79%	3.74%	1.30%	0.07%	8.72%
ESE	1.12%	2.33%	2.51%	0.53%	0.09%	6.58%
SE	0.84%	2.56%	1.49%	1.21%	0.37%	6.47%
SSE	0.81%	1.84%	1.43%	0.91%	0.33%	5.30%
S	0.84%	2.05%	1.49%	0.23%	0.09%	4.70%
SSW	0.56%	1.81%	1.81%	0.19%	0.02%	4.40%
SW	0.53%	1.72%	5.21%	3.02%	0.53%	11.02%
WSW	0.58%	2.19%	10.16%	9.69%	1.69%	24.23%
W	0.33%	2.72%	3.86%	0.12%	0.00%	6.98%
WNW	0.58%	1.19%	1.13%	0.00%	0.00%	2.88%
NW	0.23%	0.25%	0.16%	0.00%	0.00%	0.65%
NNW	0.25%	0.42%	0.07%	0.05%	0.00%	0.79%
	9.19%	26.19%	40.00%	20.63%	3.47%	99.47%
No. of Hours Monitored	4800	Hours	No. of Calm	12	Hours	
No. of Day Monitored	45	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	19.94	m/s	Calm (%)	0.25%		
Average Wind Speed	4.86	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
NNE	0.03%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%
NE	0.00%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.07%
ENE	0.07%	0.10%	0.14%	0.00%	0.00%	0.31%
E	0.07%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.17%
ESE	0.00%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.10%
SE	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.03%
SSE	0.07%	0.17%	0.17%	0.07%	0.07%	0.56%
S	0.14%	0.56%	0.38%	0.17%	0.03%	1.28%
SSW	0.10%	0.90%	1.39%	0.38%	0.00%	2.78%
SW	0.10%	1.08%	10.83%	8.33%	1.28%	21.63%
WSW	0.03%	3.89%	27.67%	17.40%	1.74%	50.73%
W	0.14%	5.52%	11.39%	1.18%	0.21%	18.44%
WNW	0.21%	1.32%	1.22%	0.24%	0.03%	3.02%
NW	0.07%	0.21%	0.21%	0.00%	0.03%	0.52%
NNW	0.10%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.14%
	1.18%	14.06%	53.58%	27.78%	3.40%	100.00%
No. of Hours Monitored	2880	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	120	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.44	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	5.44	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.04%
NE	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.02%	0.04%
ENE	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%	0.09%
E	0.00%	0.04%	0.04%	0.02%	0.00%	0.11%
ESE	0.00%	0.00%	0.02%	0.07%	0.00%	0.09%
SE	0.00%	0.04%	0.09%	0.07%	0.00%	0.20%
SSE	0.00%	0.02%	0.04%	0.04%	0.02%	0.13%
S	0.00%	0.04%	0.13%	0.04%	0.00%	0.22%
SSW	0.00%	0.02%	0.40%	0.07%	0.04%	0.54%
SW	0.04%	0.96%	4.51%	4.78%	0.25%	10.54%
WSW	0.16%	2.15%	24.17%	22.94%	3.86%	53.27%
W	0.02%	3.03%	16.05%	7.13%	0.52%	26.75%
WNW	0.00%	0.49%	3.72%	2.91%	0.16%	7.29%
NW	0.00%	0.07%	0.27%	0.11%	0.02%	0.47%
NNW	0.00%	0.09%	0.07%	0.02%	0.00%	0.18%
	0.22%	6.97%	49.69%	38.23%	4.89%	100.00%

No. of Hours Monitored	4460	Hours	No. of Calm	0	Hours
No. of Day Monitored	31	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	11.79	m/s	Calm (%)	0.00%	
Average Wind Speed	5.32	m/s	Prevailing Wind Direction		WSW

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.28%	0.63%	0.24%	0.07%	0.00%	1.22%
NNE	0.21%	0.66%	1.35%	0.90%	0.07%	3.19%
NE	0.28%	0.76%	0.59%	0.07%	0.00%	1.70%
ENE	0.49%	1.04%	0.49%	0.00%	0.00%	2.01%
E	0.42%	0.63%	0.35%	0.00%	0.00%	1.39%
ESE	0.00%	0.24%	0.10%	0.00%	0.00%	0.35%
SE	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.03%
SSE	0.07%	0.21%	0.52%	0.21%	0.03%	1.04%
S	0.10%	0.90%	0.56%	0.07%	0.03%	1.67%
SSW	0.35%	1.22%	1.04%	0.10%	0.00%	2.71%
SW	0.31%	1.81%	9.27%	7.33%	1.84%	20.56%
WSW	0.24%	3.30%	23.61%	13.96%	0.83%	41.94%
W	0.49%	6.04%	8.09%	0.14%	0.03%	14.79%
WNW	0.76%	2.78%	1.42%	0.31%	0.00%	5.28%
NW	0.63%	0.83%	0.17%	0.07%	0.00%	1.70%
NNW	0.38%	0.69%	0.21%	0.07%	0.03%	1.39%
	5.00%	21.74%	48.06%	23.30%	2.88%	100.97%
No. of Hours Monitored	2880	Hours	No. of Calm	3	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.70	m/s	Calm (%)	0.10%		
Average Wind Speed	5.46	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.87%	1.01%	0.49%	0.14%	0.07%	2.57%
NNE	1.11%	0.90%	0.45%	0.03%	0.07%	2.57%
NE	1.25%	1.15%	0.63%	0.10%	0.00%	3.13%
ENE	1.04%	1.77%	1.01%	0.10%	0.00%	3.92%
E	0.66%	1.42%	1.46%	0.17%	0.07%	3.78%
ESE	0.10%	0.63%	0.49%	0.31%	0.03%	1.56%
SE	0.03%	0.07%	0.24%	0.14%	0.00%	0.49%
SSE	0.14%	0.63%	0.80%	0.90%	0.10%	2.57%
S	0.52%	1.18%	0.80%	0.21%	0.03%	2.74%
SSW	0.73%	1.81%	1.70%	0.38%	0.10%	4.72%
SW	0.83%	2.88%	6.15%	3.23%	0.31%	13.40%
WSW	1.01%	4.38%	13.61%	5.63%	0.17%	24.79%
W	1.77%	9.31%	5.00%	0.28%	0.07%	16.42%
WNW	1.60%	3.16%	1.67%	0.14%	0.00%	6.56%
NW	1.08%	2.33%	2.05%	0.10%	0.00%	5.56%
NNW	1.49%	1.42%	1.42%	0.31%	0.10%	4.76%
	14.24%	34.03%	37.95%	12.19%	1.15%	99.55%
No. of Hours Monitored	2880	Hours	No. of Calm	6	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	14.71	m/s	Calm (%)	0.21%		
Average Wind Speed	4.41	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.80%	1.22%	0.94%	0.17%	0.03%	3.16%
NNE	0.69%	4.17%	6.70%	0.63%	0.00%	12.19%
NE	0.80%	2.36%	5.45%	3.44%	2.99%	15.03%
ENE	1.01%	2.60%	8.61%	12.60%	7.64%	32.47%
E	0.42%	3.23%	6.32%	1.94%	0.14%	12.05%
ESE	0.21%	2.08%	2.53%	0.07%	0.00%	4.90%
SE	0.03%	0.07%	0.07%	0.00%	0.00%	0.17%
SSE	0.35%	0.49%	0.38%	0.00%	0.00%	1.22%
S	0.24%	0.83%	0.31%	0.00%	0.03%	1.42%
SSW	0.42%	1.35%	0.14%	0.07%	0.00%	1.98%
SW	0.80%	1.70%	0.66%	0.28%	0.03%	3.47%
WSW	0.69%	2.08%	4.10%	1.22%	0.03%	8.13%
W	0.76%	2.81%	1.46%	0.03%	0.10%	5.17%
WNW	0.45%	1.11%	0.28%	0.00%	0.00%	1.84%
NW	0.38%	0.45%	0.17%	0.00%	0.00%	1.01%
NNW	0.42%	1.01%	0.76%	0.10%	0.00%	2.29%
	8.47%	27.57%	38.89%	20.56%	11.01%	106.49%
No. of Hours Monitored	2880	Hours	No. of Calm	12	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	25.42	m/s	Calm (%)	0.42%		
Average Wind Speed	2.94	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.14%	0.52%	0.28%	0.00%	0.00%	0.94%
NNE	0.35%	0.28%	1.94%	5.21%	1.35%	9.13%
NE	0.07%	0.49%	5.80%	15.17%	9.24%	30.76%
ENE	0.17%	0.42%	6.63%	21.70%	14.55%	43.47%
E	0.07%	0.17%	2.53%	3.78%	0.52%	7.08%
ESE	0.03%	0.10%	0.45%	0.00%	0.00%	0.59%
SE	0.00%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.10%
SSE	0.14%	0.21%	0.10%	0.00%	0.00%	0.45%
S	0.14%	0.28%	0.03%	0.00%	0.00%	0.45%
SSW	0.03%	0.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.59%
SW	0.00%	0.38%	0.10%	0.03%	0.00%	0.52%
WSW	0.14%	0.59%	0.07%	0.00%	0.00%	0.80%
W	0.24%	0.63%	0.10%	0.00%	0.00%	0.97%
WNW	0.24%	0.73%	0.76%	0.00%	0.00%	1.74%
NW	0.17%	0.80%	0.42%	0.00%	0.00%	1.39%
NNW	0.10%	0.59%	0.28%	0.00%	0.00%	0.97%
	2.05%	6.81%	19.55%	45.90%	25.66%	99.97%
No. of Hours Monitored	2880	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	120	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	14.53	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	7.36	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(จำนวน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.26%	0.64%	0.23%	0.21%	0.03%	1.36%
NNE	0.18%	0.98%	1.62%	6.30%	0.54%	9.62%
NE	0.15%	0.77%	4.84%	10.75%	11.14%	27.65%
ENE	0.03%	0.77%	5.66%	13.04%	22.35%	41.85%
E	0.08%	1.03%	3.22%	3.09%	1.34%	8.74%
ESE	0.00%	0.28%	0.90%	0.00%	0.00%	1.18%
SE	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.03%
SSE	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
S	0.05%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.18%
SSW	0.18%	0.26%	0.10%	0.00%	0.00%	0.54%
SW	0.03%	0.46%	0.31%	0.10%	0.00%	0.90%
WSW	0.21%	0.90%	1.18%	0.44%	0.00%	2.73%
W	0.10%	1.31%	0.31%	0.00%	0.00%	1.72%
WNW	0.23%	0.85%	0.31%	0.00%	0.00%	1.39%
NW	0.41%	0.54%	0.33%	0.00%	0.00%	1.29%
NNW	0.18%	0.33%	0.18%	0.00%	0.00%	0.69%
	2.08%	9.28%	19.24%	33.92%	35.39%	99.92%

No. of Hours Monitored	3888	Hours	No. of Calm	2	Hours
No. of Day Monitored	27	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	12.81	m/s	Calm (%)	0.05%	
Average Wind Speed	7.24	m/s	Prevailing Wind Direction		ENE

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลลมของกังหันลม WTG 21 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560
(มกราคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.00%	0.03%	0.04%	0.01%	0.00%	0.08%
NE	0.01%	0.11%	0.54%	0.27%	0.00%	0.94%
ENE	0.04%	0.30%	1.12%	1.39%	0.27%	3.12%
E	0.01%	0.32%	1.15%	0.96%	0.28%	2.72%
ESE	0.10%	0.31%	0.61%	0.07%	0.02%	1.11%
SE	0.02%	0.15%	0.20%	0.00%	0.00%	0.38%
SSE	0.05%	0.22%	0.05%	0.00%	0.00%	0.33%
S	0.03%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.08%
SSW	0.04%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.09%
SW	0.01%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.06%
WSW	0.04%	0.11%	0.06%	0.00%	0.00%	0.20%
W	0.03%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.08%
WNW	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	0.40%	1.72%	3.87%	2.70%	0.57%	9.25%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	14	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.84	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	4.69	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
NNE	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NE	0.00%	0.01%	0.09%	0.08%	0.00%	0.18%
ENE	0.00%	0.06%	0.49%	0.51%	0.07%	1.13%
E	0.00%	0.29%	1.20%	0.90%	0.31%	2.70%
ESE	0.02%	0.29%	0.67%	0.05%	0.00%	1.03%
SE	0.28%	0.37%	0.22%	0.00%	0.00%	0.87%
SSE	0.00%	0.09%	0.10%	0.00%	0.00%	0.19%
S	0.00%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.05%
SSW	0.00%	0.03%	0.04%	0.01%	0.00%	0.07%
SW	0.02%	0.05%	0.12%	0.01%	0.00%	0.21%
WSW	0.01%	0.14%	0.22%	0.13%	0.09%	0.58%
W	0.01%	0.07%	0.24%	0.14%	0.01%	0.47%
WNW	0.03%	0.11%	0.23%	0.05%	0.00%	0.42%
NW	0.01%	0.05%	0.05%	0.03%	0.00%	0.14%
NNW	0.01%	0.03%	0.03%	0.02%	0.00%	0.09%
	0.41%	1.64%	3.73%	1.92%	0.49%	8.18%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	2	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.60	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	4.49	m/s	Prevailing Wind Direction			E

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.10%
NNE	0.06%	0.14%	0.03%	0.01%	0.00%	0.25%
NE	0.04%	0.28%	0.11%	0.03%	0.01%	0.46%
ENE	0.04%	0.14%	0.25%	0.18%	0.02%	0.62%
E	0.01%	0.25%	0.40%	0.10%	0.00%	0.76%
ESE	0.02%	0.22%	0.29%	0.01%	0.00%	0.54%
SE	0.04%	0.13%	0.07%	0.01%	0.00%	0.25%
SSE	0.06%	0.23%	0.16%	0.02%	0.01%	0.48%
S	0.04%	0.11%	0.15%	0.05%	0.02%	0.37%
SSW	0.08%	0.18%	0.14%	0.05%	0.01%	0.46%
SW	0.05%	0.37%	0.37%	0.08%	0.00%	0.86%
WSW	0.08%	0.30%	1.02%	0.67%	0.23%	2.31%
W	0.01%	0.22%	0.76%	0.30%	0.08%	1.37%
WNW	0.01%	0.05%	0.17%	0.04%	0.00%	0.28%
NW	0.02%	0.04%	0.07%	0.06%	0.00%	0.19%
NNW	0.01%	0.11%	0.05%	0.00%	0.00%	0.16%
	0.58%	2.81%	4.06%	1.61%	0.39%	9.45%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	14	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.07	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	4.00	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.13%	0.06%	0.00%	0.00%	0.22%
NNE	0.03%	0.04%	0.05%	0.01%	0.00%	0.13%
NE	0.00%	0.06%	0.06%	0.01%	0.00%	0.13%
ENE	0.01%	0.22%	0.17%	0.06%	0.00%	0.47%
E	0.10%	0.21%	0.40%	0.05%	0.00%	0.75%
ESE	0.08%	0.35%	0.30%	0.00%	0.00%	0.72%
SE	0.05%	0.20%	0.28%	0.02%	0.00%	0.55%
SSE	0.10%	0.19%	0.19%	0.01%	0.00%	0.50%
S	0.01%	0.07%	0.15%	0.02%	0.00%	0.25%
SSW	0.04%	0.20%	0.13%	0.01%	0.00%	0.38%
SW	0.03%	0.22%	0.41%	0.25%	0.00%	0.90%
WSW	0.01%	0.31%	1.15%	1.15%	0.42%	3.04%
W	0.01%	0.13%	0.40%	0.18%	0.03%	0.75%
WNW	0.02%	0.05%	0.12%	0.00%	0.00%	0.19%
NW	0.02%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.09%
NNW	0.05%	0.12%	0.02%	0.00%	0.00%	0.19%
	0.60%	2.53%	3.89%	1.77%	0.46%	9.26%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	16	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.29	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	4.11	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.05%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.14%
NNE	0.13%	0.13%	0.03%	0.00%	0.00%	0.30%
NE	0.02%	0.08%	0.04%	0.01%	0.00%	0.14%
ENE	0.06%	0.27%	0.32%	0.10%	0.00%	0.75%
E	0.01%	0.18%	0.35%	0.06%	0.01%	0.60%
ESE	0.14%	0.55%	0.18%	0.03%	0.00%	0.91%
SE	0.11%	0.26%	0.15%	0.06%	0.00%	0.58%
SSE	0.18%	0.32%	0.14%	0.11%	0.04%	0.79%
S	0.15%	0.15%	0.17%	0.04%	0.01%	0.52%
SSW	0.04%	0.12%	0.11%	0.02%	0.01%	0.31%
SW	0.09%	0.24%	0.37%	0.06%	0.00%	0.76%
WSW	0.04%	0.32%	0.87%	0.63%	0.20%	2.06%
W	0.02%	0.31%	0.52%	0.05%	0.00%	0.89%
WNW	0.05%	0.13%	0.20%	0.01%	0.00%	0.39%
NW	0.02%	0.03%	0.05%	0.00%	0.00%	0.10%
NNW	0.02%	0.08%	0.04%	0.00%	0.00%	0.14%
	1.13%	3.24%	3.56%	1.18%	0.27%	9.38%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	19	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	14.10	m/s	Calm (%)	0.04%		
Average Wind Speed	3.54	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NE	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%
ENE	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.03%
E	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
ESE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SE	0.02%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.06%
SSE	0.01%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.06%
S	0.03%	0.05%	0.04%	0.01%	0.00%	0.13%
SSW	0.02%	0.06%	0.07%	0.01%	0.01%	0.16%
SW	0.01%	0.19%	0.66%	0.17%	0.01%	1.04%
WSW	0.03%	0.44%	1.98%	1.17%	0.17%	3.79%
W	0.02%	0.26%	1.77%	0.69%	0.07%	2.81%
WNW	0.00%	0.07%	0.56%	0.23%	0.03%	0.90%
NW	0.00%	0.02%	0.05%	0.01%	0.02%	0.08%
NNW	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
	0.14%	1.17%	5.22%	2.30%	0.33%	9.17%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	8	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.94	m/s	Calm (%)	0.02%		
Average Wind Speed	4.68	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%
NNE	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%
NE	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.02%
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
E	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.02%
ESE	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
SE	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.01%	0.02%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
SSW	0.00%	0.00%	0.03%	0.01%	0.00%	0.05%
SW	0.00%	0.02%	0.24%	0.21%	0.02%	0.48%
WSW	0.00%	0.13%	1.96%	1.49%	0.19%	3.78%
W	0.00%	0.20%	1.97%	1.18%	0.13%	3.49%
WNW	0.01%	0.05%	0.67%	0.58%	0.09%	1.40%
NW	0.00%	0.01%	0.10%	0.10%	0.02%	0.23%
NNW	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.04%
	0.02%	0.42%	5.06%	3.62%	0.49%	9.61%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	2	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.96	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	5.36	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.11%
NNE	0.02%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.08%
NE	0.05%	0.13%	0.02%	0.01%	0.00%	0.21%
ENE	0.05%	0.10%	0.03%	0.00%	0.01%	0.19%
E	0.05%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.12%
ESE	0.02%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.08%
SE	0.02%	0.03%	0.03%	0.01%	0.00%	0.09%
SSE	0.02%	0.09%	0.06%	0.01%	0.00%	0.18%
S	0.06%	0.07%	0.09%	0.02%	0.00%	0.25%
SSW	0.00%	0.11%	0.06%	0.01%	0.00%	0.19%
SW	0.02%	0.17%	0.54%	0.24%	0.02%	1.00%
WSW	0.04%	0.38%	1.75%	1.38%	0.16%	3.70%
W	0.04%	0.35%	1.54%	0.22%	0.01%	2.16%
WNW	0.07%	0.12%	0.44%	0.11%	0.02%	0.75%
NW	0.04%	0.13%	0.11%	0.01%	0.01%	0.29%
NNW	0.05%	0.08%	0.06%	0.00%	0.00%	0.20%
	0.58%	1.95%	4.81%	2.03%	0.23%	9.60%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	22	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.96	m/s	Calm (%)	0.05%		
Average Wind Speed	4.19	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.08%	0.12%	0.07%	0.01%	0.00%	0.28%
NNE	0.13%	0.13%	0.05%	0.01%	0.00%	0.32%
NE	0.09%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.19%
ENE	0.10%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.21%
E	0.08%	0.12%	0.03%	0.00%	0.00%	0.23%
ESE	0.04%	0.10%	0.04%	0.00%	0.00%	0.18%
SE	0.09%	0.12%	0.08%	0.03%	0.00%	0.33%
SSE	0.05%	0.11%	0.18%	0.04%	0.00%	0.38%
S	0.10%	0.09%	0.06%	0.05%	0.02%	0.31%
SSW	0.08%	0.10%	0.08%	0.02%	0.01%	0.29%
SW	0.04%	0.22%	0.35%	0.04%	0.01%	0.67%
WSW	0.05%	0.32%	0.93%	0.42%	0.01%	1.72%
W	0.10%	0.41%	0.92%	0.17%	0.02%	1.62%
WNW	0.11%	0.18%	0.28%	0.04%	0.01%	0.62%
NW	0.06%	0.14%	0.20%	0.01%	0.00%	0.42%
NNW	0.11%	0.24%	0.24%	0.05%	0.01%	0.64%
	1.29%	2.58%	3.54%	0.90%	0.09%	8.40%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	47	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	13.12	m/s	Calm (%)	0.10%		
Average Wind Speed	3.33	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.14%
NNE	0.08%	0.25%	0.14%	0.02%	0.00%	0.49%
NE	0.09%	0.44%	0.30%	0.02%	0.00%	0.85%
ENE	0.05%	0.31%	0.84%	0.51%	0.16%	1.86%
E	0.10%	0.39%	0.95%	0.42%	0.27%	2.14%
ESE	0.19%	0.47%	0.27%	0.01%	0.00%	0.95%
SE	0.14%	0.26%	0.15%	0.00%	0.00%	0.56%
SSE	0.16%	0.30%	0.06%	0.00%	0.00%	0.52%
S	0.11%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.24%
SSW	0.04%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.11%
SW	0.03%	0.05%	0.06%	0.00%	0.00%	0.15%
WSW	0.05%	0.22%	0.17%	0.09%	0.02%	0.53%
W	0.02%	0.13%	0.28%	0.00%	0.00%	0.44%
WNW	0.06%	0.06%	0.07%	0.00%	0.00%	0.19%
NW	0.02%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.07%
NNW	0.07%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.18%
	1.23%	3.22%	3.43%	1.09%	0.46%	9.42%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	35	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.87	m/s	Calm (%)	0.08%		
Average Wind Speed	3.55	m/s	Prevailing Wind Direction			E

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.07%
NNE	0.02%	0.06%	0.06%	0.04%	0.00%	0.18%
NE	0.00%	0.12%	0.79%	0.61%	0.10%	1.63%
ENE	0.02%	0.14%	1.63%	1.50%	0.43%	3.71%
E	0.01%	0.22%	1.24%	0.89%	0.16%	2.51%
ESE	0.02%	0.13%	0.27%	0.00%	0.00%	0.42%
SE	0.01%	0.05%	0.04%	0.00%	0.00%	0.10%
SSE	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%
S	0.00%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%
SSW	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
SW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
WSW	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
W	0.01%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
WNW	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
NW	0.02%	0.07%	0.14%	0.02%	0.00%	0.24%
NNW	0.01%	0.05%	0.04%	0.00%	0.00%	0.10%
	0.19%	1.09%	4.29%	3.06%	0.69%	9.32%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	6	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.54	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	5.11	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(ธันวาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.08%	0.34%	0.97%	1.05%	0.26%	2.70%
ENE	0.10%	0.64%	1.92%	2.62%	0.97%	6.25%
E	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
ESE	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
SE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
SSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
W	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.32%	1.10%	2.90%	3.67%	1.23%	9.23%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.70	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	5.50	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลลมของกังหันลม WTG 22 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560
(มกราคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.21%	0.11%	0.00%	0.00%	0.36%
NNE	0.03%	0.08%	0.52%	0.26%	0.00%	0.88%
NE	0.02%	0.13%	1.25%	1.29%	0.15%	2.84%
ENE	0.03%	0.27%	1.22%	1.17%	0.13%	2.83%
E	0.09%	0.25%	0.38%	0.09%	0.01%	0.82%
ESE	0.08%	0.37%	0.31%	0.06%	0.02%	0.85%
SE	0.03%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.11%
SSE	0.02%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.09%
S	0.01%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.06%
SSW	0.02%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.06%
SW	0.04%	0.09%	0.06%	0.01%	0.00%	0.20%
WSW	0.02%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
W	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
WNW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NW	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
NNW	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
	0.45%	1.65%	3.97%	2.89%	0.32%	9.27%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	18	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.82	m/s	Calm (%)	0.04%		
Average Wind Speed	4.62	m/s	Prevailing Wind Direction			NE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.00%	0.01%	0.08%	0.02%	0.00%	0.11%
NE	0.01%	0.08%	0.56%	0.71%	0.09%	1.45%
ENE	0.01%	0.19%	0.93%	0.97%	0.20%	2.29%
E	0.22%	0.49%	0.78%	0.17%	0.01%	1.67%
ESE	0.03%	0.06%	0.13%	0.00%	0.00%	0.21%
SE	0.02%	0.05%	0.06%	0.00%	0.00%	0.13%
SSE	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
S	0.00%	0.06%	0.04%	0.01%	0.00%	0.12%
SSW	0.03%	0.08%	0.11%	0.01%	0.00%	0.23%
SW	0.01%	0.09%	0.19%	0.11%	0.04%	0.45%
WSW	0.04%	0.26%	0.19%	0.11%	0.04%	0.64%
W	0.02%	0.27%	0.16%	0.03%	0.00%	0.48%
WNW	0.05%	0.08%	0.06%	0.03%	0.00%	0.23%
NW	0.01%	0.03%	0.03%	0.02%	0.00%	0.10%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.47%	1.78%	3.34%	2.19%	0.38%	8.17%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	5	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.11	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	4.44	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.06%	0.15%	0.07%	0.01%	0.01%	0.30%
NNE	0.03%	0.27%	0.05%	0.03%	0.00%	0.38%
NE	0.06%	0.19%	0.26%	0.16%	0.02%	0.70%
ENE	0.02%	0.09%	0.49%	0.10%	0.01%	0.70%
E	0.05%	0.19%	0.30%	0.06%	0.01%	0.62%
ESE	0.06%	0.23%	0.06%	0.00%	0.00%	0.35%
SE	0.07%	0.18%	0.04%	0.02%	0.01%	0.32%
SSE	0.03%	0.10%	0.14%	0.02%	0.01%	0.30%
S	0.09%	0.13%	0.09%	0.04%	0.00%	0.35%
SSW	0.06%	0.32%	0.28%	0.07%	0.00%	0.72%
SW	0.04%	0.33%	1.06%	0.64%	0.13%	2.19%
WSW	0.06%	0.35%	0.60%	0.28%	0.07%	1.37%
W	0.03%	0.26%	0.23%	0.00%	0.00%	0.53%
WNW	0.01%	0.08%	0.12%	0.06%	0.00%	0.27%
NW	0.02%	0.09%	0.06%	0.01%	0.00%	0.18%
NNW	0.00%	0.04%	0.07%	0.00%	0.00%	0.12%
	0.70%	3.01%	3.92%	1.51%	0.28%	9.41%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	31	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.62	m/s	Calm (%)	0.07%		
Average Wind Speed	3.80	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.04%	0.07%	0.00%	0.00%	0.12%
NNE	0.00%	0.09%	0.05%	0.00%	0.00%	0.15%
NE	0.01%	0.13%	0.10%	0.00%	0.00%	0.25%
ENE	0.10%	0.25%	0.57%	0.06%	0.00%	0.98%
E	0.11%	0.46%	0.20%	0.01%	0.00%	0.79%
ESE	0.02%	0.19%	0.19%	0.01%	0.00%	0.41%
SE	0.10%	0.07%	0.10%	0.02%	0.01%	0.29%
SSE	0.05%	0.11%	0.11%	0.01%	0.00%	0.28%
S	0.04%	0.13%	0.12%	0.00%	0.00%	0.29%
SSW	0.02%	0.19%	0.27%	0.16%	0.00%	0.65%
SW	0.07%	0.46%	1.17%	1.43%	0.31%	3.43%
WSW	0.02%	0.24%	0.35%	0.09%	0.02%	0.72%
W	0.04%	0.20%	0.09%	0.04%	0.00%	0.37%
WNW	0.02%	0.10%	0.04%	0.00%	0.00%	0.16%
NW	0.05%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.18%
NNW	0.03%	0.07%	0.04%	0.01%	0.00%	0.14%
	0.69%	2.83%	3.49%	1.84%	0.34%	9.20%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	24	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.14	m/s	Calm (%)	0.05%		
Average Wind Speed	3.95	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.08%	0.04%	0.00%	0.00%	0.14%
NNE	0.05%	0.13%	0.04%	0.01%	0.00%	0.22%
NE	0.02%	0.13%	0.27%	0.02%	0.00%	0.45%
ENE	0.08%	0.28%	0.40%	0.03%	0.01%	0.80%
E	0.20%	0.43%	0.22%	0.02%	0.00%	0.87%
ESE	0.06%	0.16%	0.15%	0.03%	0.00%	0.40%
SE	0.19%	0.21%	0.10%	0.11%	0.02%	0.63%
SSE	0.16%	0.15%	0.15%	0.03%	0.02%	0.52%
S	0.11%	0.17%	0.11%	0.00%	0.01%	0.39%
SSW	0.04%	0.26%	0.27%	0.03%	0.00%	0.60%
SW	0.07%	0.35%	0.89%	0.71%	0.15%	2.18%
WSW	0.13%	0.46%	0.43%	0.03%	0.00%	1.05%
W	0.04%	0.26%	0.18%	0.00%	0.00%	0.48%
WNW	0.01%	0.09%	0.08%	0.00%	0.00%	0.18%
NW	0.04%	0.07%	0.04%	0.00%	0.00%	0.15%
NNW	0.13%	0.14%	0.02%	0.00%	0.00%	0.29%
	1.36%	3.37%	3.37%	1.03%	0.21%	9.34%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	36	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	13.21	m/s	Calm (%)	0.08%		
Average Wind Speed	3.34	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ENE	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
ESE	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.04%
SE	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
SSE	0.04%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.10%
S	0.02%	0.05%	0.06%	0.01%	0.00%	0.14%
SSW	0.03%	0.19%	0.49%	0.14%	0.01%	0.86%
SW	0.03%	0.55%	2.43%	1.09%	0.13%	4.24%
WSW	0.04%	0.84%	1.47%	0.18%	0.02%	2.55%
W	0.02%	0.44%	0.60%	0.06%	0.01%	1.13%
WNW	0.00%	0.04%	0.06%	0.00%	0.01%	0.12%
NW	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.04%
NNW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
	0.22%	2.21%	5.20%	1.49%	0.19%	9.31%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	12	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.63	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	4.09	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)							
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL	
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
ESE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
S	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.02%	
SSW	0.00%	0.02%	0.15%	0.08%	0.01%	0.26%	
SW	0.00%	0.22%	2.28%	1.32%	0.21%	4.03%	
WSW	0.04%	0.67%	2.07%	0.31%	0.02%	3.11%	
W	0.03%	0.58%	1.01%	0.21%	0.03%	1.85%	
WNW	0.00%	0.03%	0.16%	0.10%	0.02%	0.31%	
NW	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.02%	
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
	0.07%	1.52%	5.71%	2.01%	0.29%	9.61%	
No. of Hours Monitored		46272	Hours	No. of Calm		3	Hours
No. of Day Monitored		321	Days	Missing Data		0	Hours
Maximum Wind Speed		11.35	m/s	Calm (%)		0.01%	
Average Wind Speed		4.52	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)							
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL	
N	0.10%	0.09%	0.03%	0.00%	0.00%	0.21%	
NNE	0.02%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.07%	
NE	0.01%	0.06%	0.02%	0.00%	0.00%	0.08%	
ENE	0.04%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.11%	
E	0.01%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.04%	
ESE	0.01%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.05%	
SE	0.03%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%	
SSE	0.02%	0.04%	0.05%	0.00%	0.00%	0.11%	
S	0.06%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.17%	
SSW	0.02%	0.17%	0.33%	0.10%	0.01%	0.63%	
SW	0.08%	0.53%	2.06%	1.29%	0.22%	4.18%	
WSW	0.09%	0.91%	1.02%	0.04%	0.00%	2.07%	
W	0.09%	0.44%	0.40%	0.02%	0.00%	0.96%	
WNW	0.05%	0.19%	0.14%	0.03%	0.01%	0.44%	
NW	0.08%	0.09%	0.04%	0.00%	0.00%	0.20%	
NNW	0.04%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.11%	
	0.73%	2.90%	4.19%	1.50%	0.26%	9.58%	
No. of Hours Monitored		46272	Hours	No. of Calm	26	Hours	
No. of Day Monitored		321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed		10.32	m/s	Calm (%)	0.06%		
Average Wind Speed		3.81	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.06%	0.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.18%
NNE	0.07%	0.06%	0.01%	0.01%	0.00%	0.15%
NE	0.07%	0.06%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%
ENE	0.05%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%
E	0.20%	0.19%	0.06%	0.01%	0.00%	0.46%
ESE	0.04%	0.06%	0.07%	0.03%	0.00%	0.21%
SE	0.06%	0.10%	0.12%	0.01%	0.00%	0.29%
SSE	0.05%	0.06%	0.06%	0.03%	0.00%	0.21%
S	0.06%	0.11%	0.07%	0.01%	0.01%	0.26%
SSW	0.06%	0.18%	0.27%	0.02%	0.01%	0.53%
SW	0.08%	0.44%	1.07%	0.34%	0.04%	1.98%
WSW	0.16%	0.58%	0.57%	0.04%	0.00%	1.36%
W	0.16%	0.40%	0.21%	0.04%	0.00%	0.81%
WNW	0.09%	0.25%	0.25%	0.05%	0.00%	0.64%
NW	0.13%	0.22%	0.19%	0.02%	0.01%	0.57%
NNW	0.23%	0.14%	0.06%	0.00%	0.00%	0.42%
	1.56%	3.01%	3.08%	0.64%	0.08%	8.37%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	103	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.43	m/s	Calm (%)	0.22%		
Average Wind Speed	2.98	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.23%	0.08%	0.02%	0.00%	0.36%
NNE	0.09%	0.44%	0.24%	0.03%	0.00%	0.80%
NE	0.05%	0.35%	0.67%	0.33%	0.11%	1.52%
ENE	0.10%	0.43%	1.25%	0.56%	0.22%	2.55%
E	0.17%	0.39%	0.37%	0.04%	0.00%	0.96%
ESE	0.30%	0.42%	0.09%	0.00%	0.00%	0.81%
SE	0.06%	0.11%	0.04%	0.00%	0.00%	0.21%
SSE	0.08%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.13%
S	0.04%	0.14%	0.04%	0.00%	0.00%	0.22%
SSW	0.07%	0.06%	0.02%	0.00%	0.00%	0.15%
SW	0.07%	0.16%	0.15%	0.08%	0.00%	0.47%
WSW	0.11%	0.26%	0.11%	0.00%	0.00%	0.49%
W	0.05%	0.14%	0.07%	0.00%	0.00%	0.26%
WNW	0.03%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.12%
NW	0.05%	0.08%	0.04%	0.00%	0.00%	0.17%
NNW	0.03%	0.09%	0.04%	0.00%	0.00%	0.16%
	1.32%	3.42%	3.23%	1.07%	0.33%	9.38%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	55	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.38	m/s	Calm (%)	0.12%		
Average Wind Speed	3.39	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.06%	0.19%	0.01%	0.00%	0.28%
NNE	0.02%	0.17%	0.93%	0.59%	0.05%	1.75%
NE	0.01%	0.14%	1.57%	1.22%	0.22%	3.16%
ENE	0.01%	0.11%	1.40%	1.17%	0.12%	2.81%
E	0.02%	0.07%	0.24%	0.08%	0.00%	0.42%
ESE	0.02%	0.06%	0.05%	0.00%	0.00%	0.14%
SE	0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%
SSE	0.00%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%
S	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
SSW	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
SW	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
WSW	0.02%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
W	0.06%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.11%
WNW	0.02%	0.07%	0.13%	0.00%	0.00%	0.22%
NW	0.01%	0.06%	0.02%	0.00%	0.00%	0.10%
NNW	0.00%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
	0.27%	0.97%	4.60%	3.09%	0.39%	9.33%

No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	4	Hours
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	10.42	m/s	Calm (%)	0.01%	
Average Wind Speed	4.97	m/s	Prevailing Wind Direction	NE	

(ธันวาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.08%	0.34%	0.97%	0.97%	0.24%	2.61%
ENE	0.10%	0.64%	1.92%	2.54%	0.93%	6.13%
E	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
ESE	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
SE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
SSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
W	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.32%	1.10%	2.90%	3.52%	1.17%	9.02%

No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	10.70	m/s	Calm (%)	0.03%	
Average Wind Speed	5.45	m/s	Prevailing Wind Direction	ENE	

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลลมของกังหันลม WTG 23 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560
(มกราคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.26%
NNE	0.53%	2.77%	3.83%	0.58%	0.00%	7.71%
NE	0.13%	2.03%	11.62%	3.38%	0.03%	17.19%
ENE	0.05%	2.16%	16.97%	19.11%	1.53%	39.84%
E	0.42%	2.48%	9.85%	7.58%	0.95%	21.28%
ESE	0.21%	1.58%	1.98%	0.08%	0.00%	3.85%
SE	0.40%	0.55%	0.11%	0.00%	0.00%	1.06%
SSE	0.42%	1.27%	1.27%	0.05%	0.03%	3.04%
S	0.11%	0.13%	0.08%	0.00%	0.00%	0.32%
SSW	0.03%	0.34%	0.21%	0.00%	0.00%	0.58%
SW	0.50%	0.34%	0.29%	0.00%	0.00%	1.14%
WSW	0.32%	0.98%	0.53%	0.00%	0.00%	1.82%
W	0.37%	0.84%	0.29%	0.00%	0.00%	1.50%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.11%	0.08%	0.05%	0.00%	0.00%	0.24%
NNW	0.00%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.11%
	3.59%	15.89%	47.12%	30.78%	2.53%	99.92%
No. of Hours Monitored	3788	Hours	No. of Calm	3	Hours	
No. of Day Monitored	158	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.07	m/s	Calm (%)	0.08%		
Average Wind Speed	5.26	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.13%	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%
NNE	0.03%	0.18%	0.29%	0.08%	0.00%	0.58%
NE	1.29%	1.03%	4.41%	2.59%	0.00%	9.32%
ENE	0.05%	1.24%	11.14%	12.99%	2.72%	28.14%
E	0.26%	1.80%	11.54%	7.15%	0.90%	21.65%
ESE	1.14%	3.33%	3.46%	0.34%	0.00%	8.26%
SE	0.40%	1.16%	1.27%	0.00%	0.00%	2.82%
SSE	1.29%	1.58%	0.34%	0.00%	0.00%	3.22%
S	0.11%	0.74%	0.42%	0.00%	0.00%	1.27%
SSW	0.05%	0.42%	0.87%	0.03%	0.00%	1.37%
SW	0.05%	0.87%	1.90%	0.08%	0.00%	2.90%
WSW	0.24%	1.90%	2.11%	1.82%	1.21%	7.29%
W	0.03%	1.90%	3.41%	2.30%	0.26%	7.89%
WNW	0.18%	1.32%	1.50%	0.79%	0.00%	3.80%
NW	0.40%	0.42%	0.21%	0.00%	0.00%	1.03%
NNW	0.03%	0.11%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%
	5.68%	18.11%	42.90%	28.17%	5.10%	99.95%
No. of Hours Monitored	3788	Hours	No. of Calm	2	Hours	
No. of Day Monitored	158	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.17	m/s	Calm (%)	0.05%		
Average Wind Speed	4.57	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.05%	0.16%	0.11%	0.00%	0.00%	0.32%
NNE	0.27%	1.85%	0.34%	0.16%	0.05%	2.67%
NE	0.41%	1.87%	0.96%	0.16%	0.07%	3.47%
ENE	1.25%	2.71%	3.72%	1.96%	0.05%	9.69%
E	0.05%	0.98%	5.68%	1.44%	0.16%	8.30%
ESE	0.25%	0.82%	1.66%	0.41%	0.09%	3.24%
SE	0.34%	0.91%	0.25%	0.07%	0.09%	1.66%
SSE	1.78%	3.26%	1.85%	0.23%	0.11%	7.23%
S	0.32%	1.35%	1.64%	0.32%	0.02%	3.65%
SSW	1.21%	2.62%	2.07%	0.52%	0.00%	6.43%
SW	1.23%	3.63%	5.54%	1.60%	0.07%	12.06%
WSW	0.41%	3.56%	11.97%	9.23%	4.24%	29.41%
W	0.16%	2.12%	4.10%	0.73%	0.14%	7.25%
WNW	0.21%	0.39%	0.98%	0.39%	0.00%	1.96%
NW	0.02%	0.71%	0.34%	0.11%	0.00%	1.19%
NNW	0.34%	0.59%	0.32%	0.00%	0.00%	1.25%
	8.30%	27.52%	41.54%	17.33%	5.08%	99.77%
No. of Hours Monitored	4386	Hours	No. of Calm	10	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.83	m/s	Calm (%)	0.23%		
Average Wind Speed	4.04	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.28%	0.95%	0.63%	0.00%	0.00%	1.85%
NNE	0.35%	0.51%	0.93%	0.00%	0.00%	1.79%
NE	0.05%	1.25%	0.90%	0.09%	0.00%	2.30%
ENE	0.26%	1.48%	4.08%	0.70%	0.00%	6.52%
E	0.60%	2.02%	4.87%	0.53%	0.00%	8.02%
ESE	2.74%	4.59%	2.92%	0.02%	0.02%	10.29%
SE	0.46%	1.88%	1.85%	0.16%	0.09%	4.45%
SSE	0.26%	0.88%	1.25%	0.16%	0.00%	2.55%
S	1.02%	1.69%	1.00%	0.12%	0.00%	3.83%
SSW	0.23%	2.34%	1.55%	0.19%	0.00%	4.31%
SW	0.14%	2.41%	7.67%	4.80%	0.42%	15.44%
WSW	0.30%	2.20%	11.04%	9.99%	6.47%	30.00%
W	0.32%	1.44%	2.78%	0.67%	0.14%	5.36%
WNW	0.26%	0.63%	0.21%	0.00%	0.00%	1.09%
NW	0.09%	0.51%	0.21%	0.00%	0.00%	0.81%
NNW	0.32%	0.53%	0.14%	0.05%	0.00%	1.04%
	7.67%	25.32%	42.04%	17.48%	7.14%	99.65%
No. of Hours Monitored	4313	Hours	No. of Calm	15	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.93	m/s	Calm (%)	0.35%		
Average Wind Speed	4.20	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.76%	0.64%	0.23%	0.02%	0.00%	1.65%
NNE	0.34%	1.03%	0.23%	0.00%	0.00%	1.61%
NE	0.62%	1.65%	0.87%	0.00%	0.00%	3.14%
ENE	0.41%	1.26%	3.51%	0.28%	0.05%	5.50%
E	2.09%	2.66%	4.20%	1.67%	0.02%	10.64%
ESE	1.56%	3.53%	1.93%	0.28%	0.02%	7.31%
SE	1.10%	2.36%	1.38%	0.66%	0.05%	5.55%
SSE	2.06%	2.22%	1.47%	1.03%	0.23%	7.02%
S	2.11%	2.27%	1.61%	0.11%	0.16%	6.26%
SSW	0.66%	1.93%	1.12%	0.09%	0.05%	3.85%
SW	1.08%	4.45%	5.25%	1.22%	0.23%	12.22%
WSW	0.50%	3.12%	9.10%	7.06%	3.32%	23.11%
W	0.28%	2.52%	3.90%	0.34%	0.23%	7.27%
WNW	0.37%	0.87%	0.89%	0.09%	0.00%	2.22%
NW	0.66%	0.21%	0.25%	0.00%	0.00%	1.12%
NNW	0.30%	0.76%	0.07%	0.00%	0.00%	1.12%
	14.90%	31.48%	36.00%	12.86%	4.36%	99.61%
No. of Hours Monitored	4361	Hours	No. of Calm	16	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	19.00	m/s	Calm (%)	0.37%		
Average Wind Speed	3.55	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.02%	0.05%	0.02%	0.00%	0.12%
NNE	0.05%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%
NE	0.00%	0.09%	0.02%	0.00%	0.05%	0.16%
ENE	0.00%	0.16%	0.02%	0.00%	0.02%	0.21%
E	0.00%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%
ESE	0.28%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%
SE	0.09%	0.12%	0.05%	0.00%	0.02%	0.28%
SSE	0.07%	0.12%	0.32%	0.00%	0.00%	0.51%
S	0.02%	0.25%	0.69%	0.14%	0.05%	1.16%
SSW	0.83%	1.46%	1.32%	0.02%	0.00%	3.63%
SW	0.37%	4.21%	10.00%	2.25%	0.09%	16.92%
WSW	0.23%	4.14%	27.20%	17.08%	3.59%	52.25%
W	0.12%	2.87%	11.99%	4.61%	0.49%	20.07%
WNW	0.02%	0.72%	1.76%	0.72%	0.12%	3.33%
NW	0.00%	0.09%	0.23%	0.02%	0.02%	0.37%
NNW	0.00%	0.12%	0.07%	0.00%	0.00%	0.19%
	2.11%	14.68%	53.73%	24.86%	4.44%	99.81%
No. of Hours Monitored	4320	Hours	No. of Calm	8	Hours	
No. of Day Monitored	30	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.97	m/s	Calm (%)	0.19%		
Average Wind Speed	4.67	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.04%
NE	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.02%	0.04%
ENE	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%	0.09%
E	0.00%	0.04%	0.04%	0.02%	0.00%	0.11%
ESE	0.00%	0.00%	0.02%	0.07%	0.00%	0.09%
SE	0.00%	0.04%	0.09%	0.07%	0.00%	0.20%
SSE	0.00%	0.02%	0.04%	0.04%	0.02%	0.13%
S	0.00%	0.04%	0.13%	0.04%	0.00%	0.22%
SSW	0.00%	0.02%	0.40%	0.07%	0.04%	0.54%
SW	0.04%	0.96%	4.51%	4.78%	0.25%	10.54%
WSW	0.16%	2.15%	24.17%	22.94%	3.86%	53.27%
W	0.02%	3.03%	16.05%	7.13%	0.52%	26.75%
WNW	0.00%	0.49%	3.72%	2.91%	0.16%	7.29%
NW	0.00%	0.07%	0.27%	0.11%	0.02%	0.47%
NNW	0.00%	0.09%	0.07%	0.02%	0.00%	0.18%
	0.22%	6.97%	49.69%	38.23%	4.89%	100.00%

No. of Hours Monitored	4460	Hours	No. of Calm	0	Hours
No. of Day Monitored	31	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	11.79	m/s	Calm (%)	0.00%	
Average Wind Speed	5.32	m/s	Prevailing Wind Direction	WSW	

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.13%	0.07%	0.00%	0.00%	0.22%
NNE	0.00%	0.16%	0.11%	0.00%	0.00%	0.27%
NE	1.89%	3.84%	0.40%	0.00%	0.02%	6.15%
ENE	0.04%	0.40%	0.16%	0.02%	0.02%	0.65%
E	0.02%	0.29%	0.20%	0.00%	0.00%	0.52%
ESE	0.00%	0.25%	0.13%	0.02%	0.02%	0.43%
SE	0.27%	0.88%	0.49%	0.02%	0.00%	1.66%
SSE	0.11%	0.72%	0.70%	0.04%	0.00%	1.57%
S	0.09%	0.67%	0.58%	0.04%	0.07%	1.46%
SSW	0.36%	1.44%	0.85%	0.02%	0.00%	2.67%
SW	0.29%	3.46%	5.41%	2.74%	0.61%	12.50%
WSW	0.58%	3.97%	22.69%	17.55%	2.85%	47.65%
W	0.34%	3.16%	9.81%	0.99%	0.09%	14.39%
WNW	0.97%	1.80%	2.09%	0.49%	0.18%	5.52%
NW	0.81%	2.40%	0.49%	0.00%	0.00%	3.70%
NNW	0.00%	0.47%	0.04%	0.00%	0.00%	0.52%
	5.79%	24.04%	44.24%	21.95%	3.86%	99.89%

No. of Hours Monitored	4455	Hours	No. of Calm	5	Hours
No. of Day Monitored	31	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	9.83	m/s	Calm (%)	0.11%	
Average Wind Speed	4.23	m/s	Prevailing Wind Direction	WSW	

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.81%	0.96%	0.27%	0.02%	0.00%	2.06%
NNE	1.86%	0.83%	0.25%	0.07%	0.00%	3.02%
NE	0.49%	0.78%	0.20%	0.02%	0.00%	1.50%
ENE	1.42%	1.32%	0.49%	0.05%	0.00%	3.29%
E	1.79%	1.45%	0.91%	0.00%	0.00%	4.14%
ESE	0.66%	0.96%	0.61%	0.10%	0.02%	2.35%
SE	0.64%	1.13%	1.08%	0.34%	0.00%	3.19%
SSE	1.10%	1.50%	1.86%	0.37%	0.12%	4.95%
S	0.71%	1.37%	0.69%	0.37%	0.05%	3.19%
SSW	1.20%	1.32%	1.08%	0.07%	0.05%	3.73%
SW	0.76%	2.43%	4.44%	0.29%	0.15%	8.07%
WSW	0.76%	4.19%	15.30%	6.67%	0.66%	27.59%
W	0.91%	3.51%	7.87%	1.40%	0.22%	13.90%
WNW	1.77%	2.01%	2.38%	0.20%	0.02%	6.38%
NW	1.08%	2.26%	2.87%	0.12%	0.00%	6.33%
NNW	1.77%	2.31%	1.54%	0.05%	0.07%	5.74%
	17.73%	28.32%	41.83%	10.15%	1.37%	99.41%
No. of Hours Monitored	4078	Hours	No. of Calm	24	Hours	
No. of Day Monitored	28	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.36	m/s	Calm (%)	0.59%		
Average Wind Speed	3.32	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	1.07%	2.32%	1.14%	0.09%	0.00%	4.62%
NNE	0.84%	3.78%	2.12%	0.14%	0.00%	6.87%
NE	0.71%	4.12%	4.53%	1.34%	0.07%	10.76%
ENE	1.43%	3.53%	12.53%	7.55%	2.91%	27.96%
E	1.59%	3.41%	8.26%	2.37%	0.59%	16.22%
ESE	1.09%	2.16%	1.96%	0.05%	0.00%	5.25%
SE	1.21%	2.00%	0.34%	0.02%	0.00%	3.57%
SSE	0.32%	0.89%	0.36%	0.00%	0.02%	1.59%
S	0.64%	1.16%	0.27%	0.00%	0.00%	2.07%
SSW	0.61%	0.68%	0.25%	0.02%	0.00%	1.57%
SW	1.41%	1.50%	0.55%	0.02%	0.00%	3.48%
WSW	1.09%	2.16%	2.18%	0.89%	0.45%	6.78%
W	0.34%	1.39%	2.43%	0.11%	0.02%	4.30%
WNW	0.25%	0.66%	0.41%	0.02%	0.00%	1.34%
NW	0.52%	0.16%	0.16%	0.00%	0.00%	0.84%
NNW	0.82%	1.09%	0.36%	0.00%	0.00%	2.27%
	13.94%	31.01%	37.85%	12.63%	4.07%	99.50%
No. of Hours Monitored	4396	Hours	No. of Calm	22	Hours	
No. of Day Monitored	31	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.99	m/s	Calm (%)	0.50%		
Average Wind Speed	3.55	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.51%	0.05%	0.03%	0.00%	0.61%
NNE	0.28%	0.98%	3.18%	0.68%	0.10%	5.23%
NE	0.13%	1.84%	16.74%	5.00%	0.38%	24.09%
ENE	0.08%	1.69%	19.02%	19.87%	2.75%	43.41%
E	0.43%	0.78%	8.86%	5.08%	0.13%	15.28%
ESE	0.13%	0.38%	1.11%	0.25%	0.00%	1.87%
SE	0.20%	0.76%	0.35%	0.00%	0.00%	1.31%
SSE	0.05%	0.20%	0.20%	0.00%	0.00%	0.45%
S	0.08%	0.38%	0.10%	0.05%	0.00%	0.61%
SSW	0.45%	0.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.83%
SW	0.00%	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%
WSW	0.71%	0.45%	0.00%	0.00%	0.00%	1.16%
W	0.08%	0.45%	0.23%	0.00%	0.00%	0.76%
WNW	0.13%	0.35%	0.35%	0.00%	0.00%	0.83%
NW	0.13%	1.24%	1.01%	0.10%	0.00%	2.47%
NNW	0.00%	0.68%	0.03%	0.10%	0.00%	0.81%
	2.88%	11.31%	51.24%	31.16%	3.36%	99.95%

No. of Hours Monitored	3960	Hours	No. of Calm	2	Hours
No. of Day Monitored	28	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	9.91	m/s	Calm (%)	0.05%	
Average Wind Speed	4.89	m/s	Prevailing Wind Direction		ENE

(ธันวาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.21%	0.11%	0.00%	0.00%	0.36%
NNE	0.03%	0.08%	0.52%	0.26%	0.00%	0.88%
NE	0.02%	0.13%	1.25%	1.29%	0.15%	2.84%
ENE	0.03%	0.27%	1.22%	1.17%	0.13%	2.83%
E	0.09%	0.25%	0.38%	0.09%	0.01%	0.82%
ESE	0.08%	0.37%	0.31%	0.06%	0.02%	0.85%
SE	0.03%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.11%
SSE	0.02%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.09%
S	0.01%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.06%
SSW	0.02%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.06%
SW	0.04%	0.09%	0.06%	0.01%	0.00%	0.20%
WSW	0.02%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
W	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
WNW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NW	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
NNW	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
	0.45%	1.65%	3.97%	2.89%	0.32%	9.27%

No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	18	Hours
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed	9.82	m/s	Calm (%)	0.04%	
Average Wind Speed	4.62	m/s	Prevailing Wind Direction		NE

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลลมของกังหันลม WTG 24 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560
(มกราคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.02%	0.13%	0.13%	0.04%	0.00%	0.31%
NNE	0.00%	0.08%	0.72%	0.39%	0.00%	1.19%
NE	0.03%	0.26%	1.55%	1.10%	0.10%	3.03%
ENE	0.03%	0.40%	1.47%	0.81%	0.05%	2.74%
E	0.06%	0.15%	0.37%	0.05%	0.01%	0.64%
ESE	0.15%	0.33%	0.13%	0.00%	0.00%	0.62%
SE	0.04%	0.10%	0.05%	0.00%	0.00%	0.19%
SSE	0.02%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.05%
S	0.01%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.06%
SSW	0.03%	0.10%	0.05%	0.00%	0.00%	0.18%
SW	0.02%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.07%
WSW	0.02%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.09%
W	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
NNW	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
	0.45%	1.73%	4.55%	2.38%	0.16%	9.26%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	21	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.46	m/s	Calm (%)	0.05%		
Average Wind Speed	4.36	m/s	Prevailing Wind Direction			NE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.08%
NNE	0.10%	0.09%	0.19%	0.18%	0.00%	0.56%
NE	0.00%	0.14%	0.77%	0.55%	0.11%	1.57%
ENE	0.02%	0.22%	1.25%	0.59%	0.12%	2.20%
E	0.11%	0.28%	0.65%	0.09%	0.00%	1.12%
ESE	0.00%	0.07%	0.15%	0.00%	0.00%	0.22%
SE	0.04%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.15%
SSE	0.02%	0.11%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%
S	0.02%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.10%
SSW	0.00%	0.09%	0.08%	0.01%	0.00%	0.18%
SW	0.02%	0.16%	0.16%	0.05%	0.02%	0.39%
WSW	0.01%	0.10%	0.23%	0.20%	0.10%	0.64%
W	0.04%	0.22%	0.22%	0.04%	0.00%	0.52%
WNW	0.04%	0.07%	0.07%	0.01%	0.00%	0.18%
NW	0.01%	0.02%	0.03%	0.01%	0.01%	0.08%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	0.45%	1.72%	3.92%	1.74%	0.35%	8.18%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	3	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.56	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	4.32	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.04%	0.21%	0.03%	0.01%	0.01%	0.31%
NNE	0.03%	0.29%	0.16%	0.06%	0.00%	0.53%
NE	0.13%	0.38%	0.74%	0.24%	0.01%	1.50%
ENE	0.03%	0.33%	0.68%	0.19%	0.01%	1.25%
E	0.10%	0.49%	0.57%	0.06%	0.02%	1.24%
ESE	0.14%	0.22%	0.07%	0.00%	0.00%	0.43%
SE	0.17%	0.35%	0.16%	0.05%	0.02%	0.75%
SSE	0.12%	0.19%	0.38%	0.05%	0.02%	0.77%
S	0.20%	0.44%	0.32%	0.09%	0.00%	1.05%
SSW	0.19%	0.78%	0.61%	0.07%	0.00%	1.65%
SW	0.06%	0.67%	2.17%	1.48%	0.62%	4.99%
WSW	0.03%	0.57%	1.32%	0.50%	0.14%	2.56%
W	0.06%	0.25%	0.41%	0.01%	0.00%	0.72%
WNW	0.02%	0.07%	0.19%	0.07%	0.00%	0.36%
NW	0.06%	0.08%	0.05%	0.00%	0.00%	0.19%
NNW	0.02%	0.30%	0.07%	0.00%	0.00%	0.40%
	1.40%	5.62%	7.93%	2.87%	0.86%	18.69%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	40	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.98	m/s	Calm (%)	0.09%		
Average Wind Speed	3.92	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.07%	0.07%	0.15%	0.00%	0.00%	0.30%
NNE	0.00%	0.18%	0.16%	0.00%	0.00%	0.34%
NE	0.05%	0.35%	0.31%	0.05%	0.00%	0.76%
ENE	0.13%	0.75%	0.82%	0.03%	0.00%	1.73%
E	0.29%	0.57%	0.65%	0.03%	0.00%	1.56%
ESE	0.26%	0.52%	0.53%	0.03%	0.01%	1.35%
SE	0.01%	0.13%	0.21%	0.04%	0.00%	0.39%
SSE	0.07%	0.28%	0.27%	0.03%	0.00%	0.64%
S	0.18%	0.61%	0.27%	0.01%	0.00%	1.06%
SSW	0.02%	0.39%	0.67%	0.30%	0.00%	1.38%
SW	0.07%	0.43%	2.32%	2.52%	1.30%	6.64%
WSW	0.03%	0.29%	0.66%	0.13%	0.02%	1.15%
W	0.06%	0.17%	0.19%	0.00%	0.00%	0.42%
WNW	0.04%	0.08%	0.06%	0.00%	0.00%	0.19%
NW	0.11%	0.22%	0.03%	0.01%	0.00%	0.38%
NNW	0.02%	0.12%	0.06%	0.00%	0.00%	0.20%
	1.42%	5.17%	7.36%	3.19%	1.35%	18.49%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	66	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.77	m/s	Calm (%)	0.14%		
Average Wind Speed	4.13	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.06%	0.22%	0.03%	0.00%	0.00%	0.32%
NNE	0.02%	0.24%	0.15%	0.03%	0.00%	0.44%
NE	0.10%	0.53%	0.64%	0.04%	0.00%	1.32%
ENE	0.01%	0.41%	0.66%	0.07%	0.01%	1.16%
E	0.80%	0.92%	0.34%	0.05%	0.00%	2.11%
ESE	0.14%	0.29%	0.29%	0.09%	0.01%	0.82%
SE	0.19%	0.19%	0.18%	0.25%	0.06%	0.86%
SSE	0.36%	0.55%	0.42%	0.03%	0.01%	1.37%
S	0.07%	0.26%	0.17%	0.02%	0.02%	0.55%
SSW	0.12%	0.57%	0.47%	0.11%	0.04%	1.32%
SW	0.05%	0.65%	1.77%	1.24%	0.60%	4.32%
WSW	0.22%	0.81%	1.04%	0.10%	0.00%	2.16%
W	0.05%	0.35%	0.33%	0.00%	0.00%	0.73%
WNW	0.01%	0.05%	0.08%	0.01%	0.00%	0.15%
NW	0.25%	0.27%	0.09%	0.00%	0.00%	0.61%
NNW	0.05%	0.14%	0.05%	0.00%	0.00%	0.24%
	2.50%	6.45%	6.72%	2.05%	0.77%	18.49%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	101	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	14.16	m/s	Calm (%)	0.22%		
Average Wind Speed	3.45	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
ENE	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
ESE	0.07%	0.06%	0.02%	0.00%	0.00%	0.15%
SE	0.01%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.08%
SSE	0.04%	0.09%	0.08%	0.01%	0.00%	0.22%
S	0.03%	0.16%	0.15%	0.02%	0.01%	0.36%
SSW	0.10%	0.62%	1.05%	0.19%	0.01%	1.96%
SW	0.02%	0.64%	4.42%	2.77%	0.64%	8.49%
WSW	0.07%	0.77%	3.54%	1.01%	0.07%	5.47%
W	0.02%	0.28%	1.00%	0.22%	0.01%	1.53%
WNW	0.00%	0.07%	0.10%	0.02%	0.01%	0.19%
NW	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	0.37%	2.82%	10.40%	4.25%	0.76%	18.59%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	26	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.69	m/s	Calm (%)	0.06%		
Average Wind Speed	4.55	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ESE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SSE	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.06%
SSW	0.00%	0.05%	0.36%	0.13%	0.07%	0.62%
SW	0.01%	0.30%	4.01%	3.55%	0.69%	8.56%
WSW	0.03%	0.74%	4.29%	1.72%	0.13%	6.91%
W	0.01%	0.33%	1.59%	0.35%	0.04%	2.32%
WNW	0.00%	0.03%	0.20%	0.18%	0.01%	0.42%
NW	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.02%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	0.06%	1.46%	10.54%	5.95%	0.95%	18.95%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	2	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.32	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	5.13	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.04%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.11%
NNE	0.04%	0.21%	0.02%	0.00%	0.00%	0.26%
NE	0.09%	0.17%	0.04%	0.00%	0.00%	0.30%
ENE	0.04%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.15%
E	0.04%	0.06%	0.03%	0.00%	0.00%	0.15%
ESE	0.00%	0.13%	0.04%	0.00%	0.00%	0.18%
SE	0.06%	0.22%	0.12%	0.00%	0.00%	0.41%
SSE	0.05%	0.16%	0.12%	0.01%	0.00%	0.34%
S	0.09%	0.22%	0.07%	0.00%	0.01%	0.39%
SSW	0.06%	0.52%	0.89%	0.34%	0.03%	1.85%
SW	0.10%	0.74%	3.58%	2.96%	0.73%	8.11%
WSW	0.11%	0.73%	2.87%	0.22%	0.02%	3.95%
W	0.08%	0.48%	0.71%	0.10%	0.02%	1.38%
WNW	0.13%	0.22%	0.24%	0.02%	0.01%	0.63%
NW	0.17%	0.17%	0.06%	0.00%	0.00%	0.39%
NNW	0.06%	0.10%	0.01%	0.00%	0.00%	0.17%
	1.18%	4.28%	8.84%	3.65%	0.82%	18.76%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	64	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.96	m/s	Calm (%)	0.14%		
Average Wind Speed	4.17	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.10%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.19%
NNE	0.09%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.21%
NE	0.09%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.18%
ENE	0.09%	0.09%	0.03%	0.00%	0.00%	0.21%
E	0.04%	0.11%	0.10%	0.00%	0.00%	0.25%
ESE	0.04%	0.09%	0.10%	0.04%	0.00%	0.27%
SE	0.08%	0.12%	0.13%	0.02%	0.01%	0.36%
SSE	0.06%	0.10%	0.07%	0.03%	0.01%	0.27%
S	0.10%	0.15%	0.08%	0.00%	0.01%	0.33%
SSW	0.05%	0.21%	0.34%	0.06%	0.01%	0.66%
SW	0.07%	0.39%	1.04%	0.47%	0.05%	2.01%
WSW	0.14%	0.37%	0.75%	0.10%	0.01%	1.36%
W	0.08%	0.22%	0.22%	0.01%	0.00%	0.53%
WNW	0.13%	0.11%	0.22%	0.08%	0.00%	0.55%
NW	0.08%	0.18%	0.17%	0.01%	0.01%	0.45%
NNW	0.18%	0.14%	0.07%	0.00%	0.00%	0.39%
	1.40%	2.52%	3.36%	0.83%	0.12%	8.23%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	109	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.16	m/s	Calm (%)	0.24%		
Average Wind Speed	3.21	m/s	Prevailing Wind Direction			SW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.15%	0.60%	0.29%	0.03%	0.00%	1.08%
NNE	0.13%	0.82%	0.77%	0.17%	0.02%	1.91%
NE	0.06%	0.80%	1.81%	0.77%	0.32%	3.75%
ENE	0.19%	0.89%	2.12%	0.55%	0.14%	3.88%
E	0.29%	0.60%	0.85%	0.03%	0.01%	1.77%
ESE	0.20%	0.43%	0.16%	0.00%	0.00%	0.79%
SE	0.13%	0.28%	0.08%	0.00%	0.00%	0.49%
SSE	0.13%	0.26%	0.06%	0.01%	0.00%	0.45%
S	0.10%	0.16%	0.04%	0.00%	0.00%	0.29%
SSW	0.16%	0.17%	0.05%	0.00%	0.00%	0.38%
SW	0.21%	0.45%	0.38%	0.19%	0.01%	1.23%
WSW	0.12%	0.44%	0.45%	0.05%	0.02%	1.07%
W	0.17%	0.24%	0.06%	0.00%	0.00%	0.48%
WNW	0.06%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.14%
NW	0.02%	0.12%	0.11%	0.00%	0.00%	0.25%
NNW	0.12%	0.23%	0.10%	0.00%	0.00%	0.44%
	2.23%	6.52%	7.34%	1.81%	0.51%	18.41%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	123	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.04	m/s	Calm (%)	0.27%		
Average Wind Speed	3.36	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.05%	0.19%	0.49%	0.08%	0.00%	0.81%
NNE	0.01%	0.24%	1.79%	1.31%	0.18%	3.54%
NE	0.01%	0.29%	3.61%	1.73%	0.19%	5.84%
ENE	0.02%	0.43%	2.59%	1.23%	0.08%	4.35%
E	0.04%	0.15%	0.56%	0.04%	0.00%	0.79%
ESE	0.03%	0.09%	0.06%	0.00%	0.00%	0.18%
SE	0.01%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.09%
SSE	0.01%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.13%
S	0.02%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.09%
SSW	0.03%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
SW	0.02%	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%
WSW	0.09%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.19%
W	0.02%	0.05%	0.06%	0.03%	0.00%	0.16%
WNW	0.06%	0.06%	0.27%	0.00%	0.00%	0.40%
NW	0.00%	0.08%	0.09%	0.00%	0.00%	0.17%
NNW	0.00%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.07%
	0.43%	2.03%	9.64%	4.44%	0.45%	16.99%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	6	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.08	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	4.68	m/s	Prevailing Wind Direction			NE

(ธันวาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.08%	0.34%	0.97%	0.97%	0.25%	2.61%
ENE	0.10%	0.64%	1.92%	2.55%	0.94%	6.15%
E	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
ESE	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
SE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
SSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
W	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.32%	1.10%	2.90%	3.53%	1.18%	9.04%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.70	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	5.46	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลลมของกังหันลม WTG 25 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560
(มกราคม)

Wind Speed (m/s)							
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL	
N	0.00%	0.04%	0.05%	0.01%	0.00%	0.09%	
NNE	0.04%	0.25%	0.56%	0.34%	0.00%	1.19%	
NE	0.09%	0.10%	0.82%	1.01%	0.10%	2.12%	
ENE	0.02%	0.20%	1.27%	1.49%	0.16%	3.13%	
E	0.05%	0.22%	0.64%	0.29%	0.03%	1.22%	
ESE	0.02%	0.14%	0.14%	0.02%	0.01%	0.32%	
SE	0.12%	0.27%	0.10%	0.01%	0.00%	0.49%	
SSE	0.03%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.08%	
S	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%	
SSW	0.00%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%	
SW	0.04%	0.06%	0.06%	0.00%	0.00%	0.16%	
WSW	0.01%	0.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.12%	
W	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%	
WNW	0.03%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.11%	
NW	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%	
NNW	0.00%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.06%	
	0.46%	1.55%	3.78%	3.18%	0.30%	9.27%	
No. of Hours Monitored		46272	Hours	No. of Calm		6	Hours
No. of Day Monitored		321	Days	Missing Data		0	Hours
Maximum Wind Speed		9.56	m/s	Calm (%)		0.01%	
Average Wind Speed		4.69	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.00%	0.00%	0.03%	0.01%	0.00%	0.06%
NE	0.01%	0.02%	0.31%	0.39%	0.03%	0.76%
ENE	0.03%	0.12%	0.83%	1.05%	0.24%	2.27%
E	0.05%	0.15%	0.85%	0.46%	0.10%	1.62%
ESE	0.19%	0.37%	0.32%	0.02%	0.00%	0.89%
SE	0.00%	0.05%	0.10%	0.00%	0.00%	0.16%
SSE	0.00%	0.07%	0.04%	0.00%	0.00%	0.11%
S	0.01%	0.08%	0.04%	0.00%	0.00%	0.12%
SSW	0.00%	0.02%	0.06%	0.01%	0.00%	0.08%
SW	0.01%	0.11%	0.17%	0.01%	0.00%	0.30%
WSW	0.03%	0.13%	0.23%	0.12%	0.11%	0.61%
W	0.01%	0.21%	0.26%	0.02%	0.00%	0.51%
WNW	0.04%	0.13%	0.22%	0.07%	0.00%	0.45%
NW	0.01%	0.02%	0.04%	0.02%	0.01%	0.10%
NNW	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%
	0.46%	1.53%	3.49%	2.18%	0.49%	8.16%
No. of Hours Monitored		46272	Hours	No. of Calm	1	Hours
No. of Day Monitored		321	Days	Missing Data	0	Hours
Maximum Wind Speed		10.83	m/s	Calm (%)	0.00%	
Average Wind Speed		4.59	m/s	Prevailing Wind Direction		ENE

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
NNE	0.02%	0.10%	0.02%	0.01%	0.00%	0.15%
NE	0.02%	0.25%	0.20%	0.09%	0.01%	0.57%
ENE	0.04%	0.12%	0.46%	0.22%	0.01%	0.84%
E	0.03%	0.18%	0.38%	0.06%	0.01%	0.65%
ESE	0.03%	0.09%	0.06%	0.01%	0.00%	0.18%
SE	0.07%	0.22%	0.05%	0.01%	0.01%	0.36%
SSE	0.14%	0.21%	0.16%	0.02%	0.01%	0.54%
S	0.05%	0.14%	0.19%	0.02%	0.00%	0.39%
SSW	0.07%	0.22%	0.17%	0.04%	0.00%	0.50%
SW	0.04%	0.34%	0.84%	0.27%	0.02%	1.51%
WSW	0.06%	0.35%	0.85%	0.52%	0.30%	2.08%
W	0.03%	0.39%	0.41%	0.02%	0.00%	0.86%
WNW	0.01%	0.11%	0.16%	0.07%	0.00%	0.35%
NW	0.07%	0.17%	0.07%	0.00%	0.00%	0.31%
NNW	0.05%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.12%
	0.71%	2.97%	4.04%	1.37%	0.39%	9.48%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	4	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.98	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	3.87	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.04%	0.05%	0.03%	0.00%	0.00%	0.12%
NNE	0.00%	0.07%	0.08%	0.00%	0.00%	0.16%
NE	0.03%	0.13%	0.08%	0.00%	0.00%	0.25%
ENE	0.03%	0.16%	0.41%	0.11%	0.00%	0.70%
E	0.09%	0.22%	0.39%	0.02%	0.00%	0.72%
ESE	0.23%	0.41%	0.24%	0.01%	0.00%	0.89%
SE	0.01%	0.13%	0.21%	0.02%	0.01%	0.36%
SSE	0.04%	0.06%	0.10%	0.01%	0.00%	0.20%
S	0.02%	0.08%	0.12%	0.01%	0.00%	0.23%
SSW	0.04%	0.23%	0.19%	0.02%	0.00%	0.48%
SW	0.04%	0.24%	0.77%	0.43%	0.04%	1.53%
WSW	0.02%	0.29%	1.07%	0.79%	0.51%	2.69%
W	0.06%	0.19%	0.17%	0.02%	0.00%	0.43%
WNW	0.02%	0.08%	0.09%	0.00%	0.00%	0.18%
NW	0.03%	0.07%	0.04%	0.00%	0.00%	0.15%
NNW	0.02%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.15%
	0.71%	2.50%	4.03%	1.44%	0.57%	9.25%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	9	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.20	m/s	Calm (%)	0.02%		
Average Wind Speed	4.06	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.11%	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%	0.28%
NNE	0.01%	0.06%	0.03%	0.00%	0.00%	0.10%
NE	0.04%	0.13%	0.24%	0.02%	0.00%	0.43%
ENE	0.03%	0.23%	0.41%	0.12%	0.00%	0.78%
E	0.20%	0.25%	0.20%	0.03%	0.00%	0.69%
ESE	0.19%	0.24%	0.11%	0.03%	0.00%	0.57%
SE	0.03%	0.16%	0.12%	0.04%	0.01%	0.36%
SSE	0.13%	0.22%	0.15%	0.13%	0.01%	0.64%
S	0.14%	0.17%	0.13%	0.01%	0.01%	0.46%
SSW	0.14%	0.26%	0.12%	0.01%	0.00%	0.52%
SW	0.05%	0.31%	0.51%	0.09%	0.01%	0.97%
WSW	0.11%	0.49%	0.91%	0.52%	0.28%	2.31%
W	0.02%	0.28%	0.32%	0.00%	0.01%	0.63%
WNW	0.02%	0.13%	0.12%	0.00%	0.00%	0.27%
NW	0.00%	0.05%	0.06%	0.00%	0.00%	0.11%
NNW	0.09%	0.06%	0.04%	0.00%	0.00%	0.19%
	1.32%	3.21%	3.45%	1.00%	0.35%	9.34%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	11	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	15.18	m/s	Calm (%)	0.02%		
Average Wind Speed	3.44	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NE	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
ENE	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
E	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%
ESE	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
SE	0.02%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
SSE	0.02%	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.05%
S	0.05%	0.04%	0.03%	0.00%	0.01%	0.14%
SSW	0.04%	0.12%	0.18%	0.01%	0.00%	0.36%
SW	0.03%	0.35%	1.54%	0.47%	0.10%	2.47%
WSW	0.06%	0.63%	2.58%	0.86%	0.16%	4.29%
W	0.02%	0.44%	0.99%	0.14%	0.01%	1.60%
WNW	0.01%	0.06%	0.14%	0.02%	0.01%	0.24%
NW	0.00%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.04%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	0.25%	1.72%	5.54%	1.52%	0.30%	9.33%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	5	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.94	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	4.26	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ESE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
S	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.02%
SSW	0.00%	0.00%	0.10%	0.04%	0.00%	0.15%
SW	0.00%	0.08%	1.13%	0.66%	0.05%	1.93%
WSW	0.03%	0.41%	2.44%	1.18%	0.24%	4.30%
W	0.03%	0.36%	1.75%	0.21%	0.02%	2.36%
WNW	0.00%	0.06%	0.37%	0.32%	0.05%	0.81%
NW	0.00%	0.01%	0.04%	0.02%	0.00%	0.07%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	0.06%	0.92%	5.85%	2.44%	0.37%	9.64%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.79	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	4.85	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
NNE	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.02%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.12%
ENE	0.02%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.12%
E	0.06%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.11%
ESE	0.02%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
SE	0.01%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.14%
SSE	0.00%	0.08%	0.07%	0.00%	0.00%	0.16%
S	0.01%	0.10%	0.05%	0.00%	0.01%	0.18%
SSW	0.04%	0.16%	0.21%	0.04%	0.00%	0.45%
SW	0.03%	0.42%	1.22%	0.65%	0.07%	2.40%
WSW	0.10%	0.49%	1.78%	0.83%	0.15%	3.35%
W	0.04%	0.35%	0.85%	0.04%	0.00%	1.28%
WNW	0.05%	0.17%	0.35%	0.05%	0.02%	0.62%
NW	0.13%	0.16%	0.06%	0.01%	0.00%	0.36%
NNW	0.08%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.16%
	0.68%	2.38%	4.71%	1.63%	0.25%	9.65%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	0	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.06	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	3.96	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.06%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.18%
NNE	0.19%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.26%
NE	0.07%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.14%
ENE	0.05%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.13%
E	0.07%	0.11%	0.07%	0.00%	0.00%	0.25%
ESE	0.06%	0.08%	0.07%	0.01%	0.00%	0.23%
SE	0.08%	0.13%	0.10%	0.04%	0.00%	0.35%
SSE	0.04%	0.07%	0.12%	0.01%	0.01%	0.25%
S	0.12%	0.11%	0.07%	0.03%	0.01%	0.34%
SSW	0.08%	0.17%	0.10%	0.00%	0.01%	0.36%
SW	0.06%	0.28%	0.61%	0.14%	0.03%	1.11%
WSW	0.12%	0.48%	1.04%	0.21%	0.01%	1.87%
W	0.23%	0.41%	0.48%	0.02%	0.00%	1.14%
WNW	0.11%	0.19%	0.28%	0.03%	0.00%	0.61%
NW	0.07%	0.24%	0.21%	0.05%	0.01%	0.57%
NNW	0.19%	0.18%	0.12%	0.03%	0.01%	0.53%
	1.60%	2.74%	3.32%	0.57%	0.08%	8.32%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.59	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	3.07	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.07%	0.26%	0.04%	0.00%	0.00%	0.37%
NNE	0.13%	0.29%	0.08%	0.01%	0.00%	0.51%
NE	0.11%	0.32%	0.43%	0.11%	0.02%	0.99%
ENE	0.09%	0.28%	1.05%	0.78%	0.33%	2.53%
E	0.09%	0.30%	0.88%	0.22%	0.02%	1.51%
ESE	0.08%	0.30%	0.20%	0.00%	0.00%	0.59%
SE	0.09%	0.21%	0.08%	0.00%	0.00%	0.38%
SSE	0.06%	0.12%	0.04%	0.00%	0.00%	0.23%
S	0.06%	0.18%	0.02%	0.00%	0.00%	0.26%
SSW	0.12%	0.12%	0.05%	0.00%	0.00%	0.30%
SW	0.09%	0.13%	0.08%	0.00%	0.00%	0.30%
WSW	0.12%	0.19%	0.20%	0.06%	0.04%	0.61%
W	0.03%	0.19%	0.13%	0.00%	0.00%	0.36%
WNW	0.04%	0.10%	0.04%	0.00%	0.00%	0.18%
NW	0.02%	0.06%	0.04%	0.00%	0.00%	0.12%
NNW	0.06%	0.12%	0.03%	0.00%	0.00%	0.22%
	1.26%	3.16%	3.40%	1.21%	0.42%	9.45%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.90	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	3.58	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.03%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.12%
NNE	0.00%	0.14%	0.48%	0.18%	0.01%	0.81%
NE	0.01%	0.07%	1.22%	0.91%	0.17%	2.38%
ENE	0.00%	0.09%	1.51%	1.72%	0.18%	3.51%
E	0.01%	0.05%	0.69%	0.55%	0.05%	1.35%
ESE	0.01%	0.05%	0.09%	0.02%	0.00%	0.17%
SE	0.01%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.09%
SSE	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%
S	0.02%	0.09%	0.04%	0.01%	0.00%	0.16%
SSW	0.03%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.10%
SW	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
WSW	0.04%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.09%
W	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.04%
WNW	0.02%	0.05%	0.06%	0.01%	0.00%	0.14%
NW	0.00%	0.04%	0.16%	0.00%	0.00%	0.21%
NNW	0.00%	0.05%	0.03%	0.00%	0.00%	0.08%
	0.22%	0.88%	4.39%	3.43%	0.41%	9.33%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	1	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.61	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	5.10	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(ธันวาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.08%	0.34%	0.97%	1.03%	0.26%	2.68%
ENE	0.10%	0.64%	1.92%	2.60%	0.95%	6.21%
E	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
ESE	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
SE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
SSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
W	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.32%	1.10%	2.90%	3.64%	1.21%	9.17%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.70	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	5.49	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลลมของกังหันลม WTG 26 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560
(มกราคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NNE	0.01%	0.07%	0.22%	0.10%	0.00%	0.39%
NE	0.11%	0.22%	0.74%	0.34%	0.01%	1.42%
ENE	0.02%	0.19%	1.38%	1.80%	0.15%	3.54%
E	0.00%	0.21%	0.89%	0.70%	0.06%	1.86%
ESE	0.04%	0.22%	0.40%	0.13%	0.03%	0.81%
SE	0.14%	0.13%	0.09%	0.00%	0.00%	0.36%
SSE	0.03%	0.10%	0.04%	0.00%	0.00%	0.17%
S	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
SSW	0.04%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.13%
SW	0.00%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.10%
WSW	0.07%	0.14%	0.05%	0.00%	0.00%	0.26%
W	0.01%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
WNW	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
NW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
	0.52%	1.56%	3.85%	3.06%	0.24%	9.24%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	18	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	9.56	m/s	Calm (%)	0.04%		
Average Wind Speed	4.59	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(กุมภาพันธ์)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.04%
NNE	0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.05%
NE	0.00%	0.04%	0.23%	0.13%	0.01%	0.41%
ENE	0.02%	0.19%	0.74%	0.99%	0.24%	2.18%
E	0.04%	0.18%	1.02%	0.64%	0.08%	1.96%
ESE	0.32%	0.32%	0.41%	0.10%	0.00%	1.15%
SE	0.02%	0.04%	0.08%	0.00%	0.00%	0.15%
SSE	0.01%	0.08%	0.04%	0.00%	0.00%	0.13%
S	0.02%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%
SSW	0.00%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SW	0.01%	0.06%	0.13%	0.01%	0.00%	0.22%
WSW	0.02%	0.18%	0.19%	0.07%	0.09%	0.55%
W	0.01%	0.11%	0.32%	0.10%	0.01%	0.56%
WNW	0.02%	0.16%	0.22%	0.03%	0.00%	0.44%
NW	0.00%	0.03%	0.05%	0.03%	0.01%	0.12%
NNW	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
	0.53%	1.56%	3.52%	2.10%	0.45%	8.15%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	5	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.18	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	4.49	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(มีนาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.06%	0.06%	0.02%	0.00%	0.00%	0.14%
NNE	0.04%	0.23%	0.05%	0.01%	0.00%	0.34%
NE	0.03%	0.13%	0.07%	0.02%	0.00%	0.26%
ENE	0.05%	0.14%	0.39%	0.16%	0.01%	0.74%
E	0.05%	0.16%	0.54%	0.14%	0.01%	0.89%
ESE	0.08%	0.17%	0.16%	0.04%	0.00%	0.45%
SE	0.01%	0.13%	0.06%	0.01%	0.00%	0.21%
SSE	0.18%	0.38%	0.14%	0.02%	0.01%	0.73%
S	0.03%	0.12%	0.16%	0.01%	0.01%	0.33%
SSW	0.08%	0.21%	0.07%	0.00%	0.00%	0.36%
SW	0.07%	0.40%	0.36%	0.02%	0.00%	0.85%
WSW	0.05%	0.34%	1.42%	0.48%	0.17%	2.47%
W	0.01%	0.29%	0.57%	0.14%	0.00%	1.02%
WNW	0.02%	0.06%	0.20%	0.10%	0.00%	0.38%
NW	0.02%	0.05%	0.08%	0.00%	0.00%	0.15%
NNW	0.03%	0.09%	0.04%	0.00%	0.00%	0.16%
	0.80%	2.95%	4.34%	1.15%	0.23%	9.46%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	11	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.67	m/s	Calm (%)	0.02%		
Average Wind Speed	3.69	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(เมษายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.12%
NNE	0.06%	0.11%	0.09%	0.00%	0.00%	0.27%
NE	0.02%	0.13%	0.08%	0.00%	0.00%	0.22%
ENE	0.05%	0.13%	0.23%	0.05%	0.00%	0.47%
E	0.06%	0.28%	0.50%	0.04%	0.00%	0.89%
ESE	0.11%	0.23%	0.25%	0.01%	0.00%	0.60%
SE	0.16%	0.27%	0.24%	0.02%	0.00%	0.69%
SSE	0.00%	0.08%	0.13%	0.01%	0.01%	0.23%
S	0.08%	0.18%	0.12%	0.01%	0.00%	0.39%
SSW	0.03%	0.12%	0.04%	0.00%	0.00%	0.19%
SW	0.03%	0.30%	0.67%	0.22%	0.00%	1.23%
WSW	0.03%	0.29%	1.49%	0.80%	0.26%	2.86%
W	0.04%	0.16%	0.25%	0.05%	0.00%	0.50%
WNW	0.03%	0.13%	0.11%	0.00%	0.00%	0.28%
NW	0.02%	0.09%	0.06%	0.00%	0.00%	0.18%
NNW	0.04%	0.12%	0.02%	0.01%	0.00%	0.19%
	0.78%	2.71%	4.29%	1.22%	0.28%	9.28%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	21	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.00	m/s	Calm (%)	0.05%		
Average Wind Speed	3.78	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(พฤษภาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.05%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.16%
NNE	0.05%	0.09%	0.05%	0.00%	0.00%	0.19%
NE	0.03%	0.18%	0.10%	0.01%	0.00%	0.31%
ENE	0.04%	0.19%	0.33%	0.03%	0.00%	0.59%
E	0.05%	0.18%	0.32%	0.11%	0.00%	0.67%
ESE	0.19%	0.27%	0.17%	0.03%	0.00%	0.67%
SE	0.12%	0.22%	0.14%	0.05%	0.01%	0.53%
SSE	0.18%	0.20%	0.13%	0.11%	0.02%	0.64%
S	0.14%	0.24%	0.11%	0.02%	0.01%	0.52%
SSW	0.11%	0.08%	0.04%	0.01%	0.00%	0.24%
SW	0.04%	0.24%	0.38%	0.04%	0.00%	0.71%
WSW	0.10%	0.59%	1.15%	0.36%	0.16%	2.36%
W	0.12%	0.44%	0.39%	0.01%	0.00%	0.96%
WNW	0.01%	0.11%	0.18%	0.00%	0.00%	0.30%
NW	0.03%	0.06%	0.03%	0.00%	0.00%	0.14%
NNW	0.12%	0.16%	0.04%	0.01%	0.00%	0.33%
	1.40%	3.33%	3.58%	0.80%	0.22%	9.33%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	43	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	12.44	m/s	Calm (%)	0.09%		
Average Wind Speed	3.23	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(มิถุนายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NE	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
ENE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
E	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
ESE	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
SE	0.00%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
SSE	0.03%	0.01%	0.03%	0.00%	0.00%	0.08%
S	0.05%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.12%
SSW	0.04%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.13%
SW	0.04%	0.44%	0.89%	0.10%	0.01%	1.46%
WSW	0.06%	0.72%	2.62%	0.68%	0.07%	4.15%
W	0.03%	0.40%	1.75%	0.32%	0.03%	2.53%
WNW	0.00%	0.07%	0.34%	0.16%	0.02%	0.60%
NW	0.00%	0.05%	0.05%	0.00%	0.01%	0.10%
NNW	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.28%	1.86%	5.78%	1.27%	0.14%	9.32%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	7	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.20	m/s	Calm (%)	0.02%		
Average Wind Speed	4.09	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กรกฎาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ENE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
E	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ESE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
S	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SSW	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SW	0.01%	0.05%	0.51%	0.21%	0.01%	0.79%
WSW	0.03%	0.38%	2.90%	0.91%	0.07%	4.28%
W	0.03%	0.39%	2.20%	0.70%	0.05%	3.37%
WNW	0.00%	0.05%	0.48%	0.44%	0.06%	1.04%
NW	0.00%	0.02%	0.05%	0.04%	0.01%	0.11%
NNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.06%	0.91%	6.15%	2.31%	0.20%	9.63%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	1	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	11.05	m/s	Calm (%)	0.00%		
Average Wind Speed	4.72	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(สิงหาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.04%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.11%
NNE	0.03%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
NE	0.05%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.15%
ENE	0.03%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.13%
E	0.03%	0.04%	0.02%	0.00%	0.00%	0.09%
ESE	0.02%	0.03%	0.02%	0.00%	0.00%	0.07%
SE	0.01%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.11%
SSE	0.02%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.14%
S	0.01%	0.08%	0.07%	0.00%	0.00%	0.17%
SSW	0.06%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.14%
SW	0.03%	0.34%	0.80%	0.24%	0.01%	1.42%
WSW	0.09%	0.59%	2.29%	0.71%	0.09%	3.76%
W	0.09%	0.37%	1.32%	0.09%	0.01%	1.88%
WNW	0.03%	0.19%	0.42%	0.06%	0.02%	0.73%
NW	0.18%	0.17%	0.13%	0.01%	0.00%	0.49%
NNW	0.04%	0.10%	0.03%	0.00%	0.00%	0.16%
	0.77%	2.39%	5.21%	1.13%	0.13%	9.63%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	6	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.02	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	3.75	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(กันยายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.06%	0.12%	0.04%	0.00%	0.00%	0.22%
NNE	0.04%	0.08%	0.03%	0.00%	0.00%	0.15%
NE	0.12%	0.07%	0.01%	0.01%	0.00%	0.20%
ENE	0.07%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.19%
E	0.11%	0.08%	0.04%	0.00%	0.00%	0.23%
ESE	0.05%	0.09%	0.09%	0.00%	0.00%	0.23%
SE	0.03%	0.11%	0.07%	0.05%	0.00%	0.25%
SSE	0.07%	0.10%	0.15%	0.02%	0.00%	0.34%
S	0.09%	0.09%	0.04%	0.02%	0.01%	0.24%
SSW	0.07%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.16%
SW	0.11%	0.33%	0.40%	0.02%	0.00%	0.86%
WSW	0.06%	0.47%	1.09%	0.18%	0.01%	1.81%
W	0.19%	0.40%	0.75%	0.12%	0.01%	1.47%
WNW	0.13%	0.22%	0.26%	0.02%	0.00%	0.63%
NW	0.09%	0.21%	0.21%	0.06%	0.00%	0.57%
NNW	0.31%	0.24%	0.16%	0.04%	0.01%	0.77%
	1.60%	2.78%	3.37%	0.53%	0.06%	8.34%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	53	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.90	m/s	Calm (%)	0.11%		
Average Wind Speed	3.01	m/s	Prevailing Wind Direction			WSW

(ตุลาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.07%	0.13%	0.04%	0.00%	0.00%	0.25%
NNE	0.14%	0.44%	0.14%	0.01%	0.00%	0.72%
NE	0.10%	0.41%	0.45%	0.11%	0.01%	1.08%
ENE	0.08%	0.32%	0.93%	0.59%	0.26%	2.18%
E	0.09%	0.28%	0.97%	0.38%	0.04%	1.76%
ESE	0.14%	0.29%	0.22%	0.01%	0.00%	0.66%
SE	0.09%	0.22%	0.08%	0.00%	0.00%	0.40%
SSE	0.03%	0.09%	0.05%	0.00%	0.00%	0.17%
S	0.12%	0.14%	0.02%	0.00%	0.00%	0.28%
SSW	0.13%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.21%
SW	0.11%	0.05%	0.03%	0.00%	0.00%	0.19%
WSW	0.12%	0.17%	0.19%	0.06%	0.03%	0.56%
W	0.05%	0.18%	0.18%	0.00%	0.00%	0.41%
WNW	0.02%	0.10%	0.07%	0.00%	0.00%	0.19%
NW	0.02%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.12%
NNW	0.09%	0.10%	0.05%	0.00%	0.00%	0.24%
	1.41%	3.07%	3.43%	1.17%	0.34%	9.42%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	33	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.25	m/s	Calm (%)	0.07%		
Average Wind Speed	3.48	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(พฤศจิกายน)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.06%
NNE	0.03%	0.10%	0.38%	0.08%	0.02%	0.60%
NE	0.03%	0.19%	1.26%	0.68%	0.07%	2.22%
ENE	0.00%	0.12%	1.58%	1.54%	0.18%	3.42%
E	0.00%	0.07%	1.08%	0.86%	0.04%	2.05%
ESE	0.02%	0.03%	0.12%	0.02%	0.00%	0.19%
SE	0.02%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.06%
SSE	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.03%
S	0.02%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.08%
SSW	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
SW	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
WSW	0.04%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
W	0.02%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.07%
WNW	0.02%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.10%
NW	0.00%	0.05%	0.16%	0.00%	0.00%	0.21%
NNW	0.00%	0.05%	0.03%	0.00%	0.00%	0.08%
	0.25%	0.88%	4.71%	3.18%	0.30%	9.33%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	5	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.36	m/s	Calm (%)	0.01%		
Average Wind Speed	5.00	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

(ธันวาคม)

Wind Speed (m/s)						
Wind Sector	0.3-1.5	1.5-3.0	3.0-5.5	5.5-8.0	8.0-13.9	ALL
N	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
NNE	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
NE	0.08%	0.34%	0.97%	1.00%	0.25%	2.65%
ENE	0.10%	0.64%	1.92%	2.58%	0.94%	6.17%
E	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%
ESE	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
SE	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%
SSE	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
S	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
SSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WSW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
W	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
WNW	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
NW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
NNW	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	0.32%	1.10%	2.90%	3.59%	1.19%	9.10%
No. of Hours Monitored	46272	Hours	No. of Calm	13	Hours	
No. of Day Monitored	321	Days	Missing Data	0	Hours	
Maximum Wind Speed	10.70	m/s	Calm (%)	0.03%		
Average Wind Speed	5.47	m/s	Prevailing Wind Direction			ENE

ภาคผนวก ข. กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของกังหันลมหากประยุกต์ข้อมูลใช้ในการควบคุม

งานวิจัยการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์อากาศเทียบกับอุปกรณ์วัดลมบนกังหันลมในเดือนมกราคม-เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ด้วยระบบ SCADA แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับกังหันลมที่เหลือภายในโครงการจำนวน 26 ต้น จะทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อไป ดังแสดงรายละเอียดของข้อมูลใน ตารางที่ 8-33

ตารางผนวกที่ 8 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 1 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	585	187	561.00	375,778.00	5,473.86	1.46
กุมภาพันธ์	551	369	1,107.00	345,629.00	10,158.20	2.94
มีนาคม	377.85	298.00	894.00	282,860.00	5,629.97	1.99
เมษายน	409.63	292.00	876.00	299,457.00	5,980.60	2.00
พฤษภาคม	268.07	266.00	798.00	183,164.00	3,565.33	1.95
มิถุนายน	544.67	102.00	306.00	392,536.00	2,777.82	0.71
กรกฎาคม	779.65	23.00	69.00	138,674.00	896.60	0.65
สิงหาคม	492.27	83.00	249.00	165,526.00	2,042.92	1.23
กันยายน	266.17	156.00	468.00	97,977.00	2,076.13	2.12
ตุลาคม	355	123	369.00	27,454.00	2,181.96	7.95
พฤศจิกายน	579	49	147.00	230,687.00	1,417.96	0.61
ธันวาคม	619	67	201.00	230,687.00	2,074.57	0.90
รวมทั้งสิ้น			6,045	2,770,429	44,275.91	1.60

ตารางผนวกที่ 9 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 2 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทีก)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	426	194	582.00	309,102.00	4,131.23	1.34
กุมภาพันธ์	432	208	624.00	270,348.00	4,492.18	1.66
มีนาคม	342.75	297.00	891.00	258,918.00	5,089.84	1.97
เมษายน	407.60	288.00	864.00	297,895.00	5,869.44	1.97
พฤษภาคม	262.61	314.00	942.00	197,112.00	4,122.98	2.09
มิถุนายน	562.03	124.00	372.00	406,227.00	3,484.59	0.86
กรกฎาคม	685.60	92.00	276.00	510,426.00	3,153.76	0.62
สิงหาคม	448.61	198.00	594.00	335,000.00	4,441.24	1.33
กันยายน	252.33	224.00	672.00	179,055.00	2,826.10	1.58
ตุลาคม	283	144	432.00	210,893.00	2,038.32	0.97
พฤศจิกายน	637	49	147.00	459,355.00	1,559.96	0.34
ธันวาคม	683	72	216.00	505,323.00	2,458.22	0.49
รวมทั้งสิ้น		2204.00	6,612	3,939,654	43,667.85	1.11

ตารางผนวกที่ 10 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 3 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทีก)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	433	181	543.00	308,600.00	3,919.10	1.27
กุมภาพันธ์	434	218	654.00	275,623.00	4,735.51	1.72
มีนาคม	317.63	274.00	822.00	129,298.00	4,351.53	3.37
เมษายน	364.08	348.00	1,044.00	265,555.00	6,334.99	2.39
พฤษภาคม	247.62	301.00	903.00	184,512.00	3,726.68	2.02
มิถุนายน	496.81	160.00	480.00	358,894.00	3,974.48	1.11
กรกฎาคม	598.54	136.00	408.00	445,688.00	4,070.07	0.91
สิงหาคม	409.03	218.00	654.00	304,492.00	4,458.43	1.46
กันยายน	226.38	218.00	654.00	159,964.00	2,467.54	1.54
ตุลาคม	300	172	516.00	214,968.00	2,578.19	1.20
พฤศจิกายน	669	46	138.00	482,647.00	1,539.05	0.32
ธันวาคม	719	74	222.00	515,680.00	2,661.04	0.52
รวมทั้งสิ้น		2346.00	7,038	3,645,921	44,816.61	1.23

ตารางผนวกที่ 11 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 4 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	330	198	594.00	238,634.00	3,264.53	1.37
กุมภาพันธ์	357	207	621.00	227,890.00	3,698.57	1.62
มีนาคม	222.98	381.00	1,143.00	169,703.00	4,247.77	2.50
เมษายน	255.20	379.00	1,137.00	187,445.00	4,836.04	2.58
พฤษภาคม	186.88	339.00	1,017.00	141,173.00	3,167.62	2.24
มิถุนายน	420.22	126.00	378.00	303,602.00	2,647.39	0.87
กรกฎาคม	519.70	35.00	105.00	386,454.00	909.48	0.24
สิงหาคม	359.77	113.00	339.00	267,032.00	2,032.70	0.76
กันยายน	195.31	226.00	678.00	137,799.00	2,207.00	1.60
ตุลาคม	246	162	486.00	183,570.00	1,995.84	1.09
พฤศจิกายน	512	53	159.00	369,347.00	1,356.96	0.37
ธันวาคม	567	76	228.00	417,483.00	2,156.27	0.52
รวมทั้งสิ้น		2295.00	6,885	3,030,132	32,520.16	1.07

ตารางผนวกที่ 12 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 5 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	428	177	531.00	308,754.00	3,789.92	1.23
กุมภาพันธ์	449	200	600.00	285,101.00	4,488.80	1.57
มีนาคม	345.60	340.00	1,020.00	257,887.00	5,875.20	2.28
เมษายน	380.26	311.00	933.00	277,172.00	5,913.04	2.13
พฤษภาคม	248.96	304.00	912.00	185,916.00	3,784.19	2.04
มิถุนายน	518.59	104.00	312.00	373,010.00	2,696.67	0.72
กรกฎาคม	632.80	38.00	114.00	463,369.00	1,202.32	0.26
สิงหาคม	454.19	112.00	336.00	335,772.00	2,543.46	0.76
กันยายน	240.03	181.00	543.00	168,830.00	2,172.27	1.29
ตุลาคม	266	160	480.00	197,325.00	2,125.20	1.08
พฤศจิกายน	579	56	168.00	418,067.00	1,622.43	0.39
ธันวาคม	631	73	219.00	465,192.00	2,302.68	0.49
รวมทั้งสิ้น		2056.00	6,168	3,736,395	38,516.19	1.03

ตารางผนวกที่ 13 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 6 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	421	138	414.00	516,345.00	2,905.11	0.56
กุมภาพันธ์	423	199	597.00	269,956.00	4,210.04	1.56
มีนาคม	280.00	330.00	990.00	210,658.00	4,620.00	2.19
เมษายน	253.67	319.00	957.00	186,637.00	4,046.04	2.17
พฤษภาคม	174.94	267.00	801.00	549,805.00	2,335.51	0.42
มิถุนายน	367.45	203.00	609.00	266,151.00	3,729.62	1.40
กรกฎาคม	515.74	485.00	1,455.00	383,013.00	12,506.70	3.27
สิงหาคม	265.50	110.00	330.00	197,461.00	1,460.25	0.74
กันยายน	117.05	159.00	477.00	125,140.00	930.55	0.74
ตุลาคม	305	136	408.00	226,025.00	2,076.04	0.92
พฤศจิกายน	671	47	141.00	483,301.00	1,575.89	0.33
ธันวาคม	766	82	246.00	557,744.00	3,138.63	0.56
รวมทั้งสิ้น		2475.00	7,425	3,972,236	43,534.37	1.10

ตารางผนวกที่ 14 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 7 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	566	143	429.00	408,527.00	4,048.54	0.99
กุมภาพันธ์	565	157	471.00	359,414.00	4,432.58	1.23
มีนาคม	402.50	313.00	939.00	299,751.00	6,299.13	2.10
เมษายน	438.11	289.00	867.00	319,494.00	6,330.69	1.98
พฤษภาคม	284.71	268.00	804.00	212,385.00	3,815.11	1.80
มิถุนายน	604.34	107.00	321.00	436,372.00	3,233.22	0.74
กรกฎาคม	746.61	65.00	195.00	555,429.00	2,426.48	0.44
สิงหาคม	495.32	194.00	582.00	367,406.00	4,804.60	1.31
กันยายน	254.88	178.00	534.00	179,809.00	2,268.43	1.26
ตุลาคม	392	111	333.00	290,289.00	2,176.77	0.75
พฤศจิกายน	767	35	105.00	553,456.00	1,342.99	0.24
ธันวาคม	843	58	174.00	622,498.00	2,443.28	0.39
รวมทั้งสิ้น		1918.00	5,754	4,604,830	43,621.82	0.95

ตารางผนวกที่ 15 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 8 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทีก)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	336	215	645.00	238,156.00	3,615.44	1.52
กุมภาพันธ์	341	247	741.00	217,932.00	4,212.59	1.93
มีนาคม	295.99	373.00	1,119.00	220,452.00	5,520.21	2.50
เมษายน	361.35	314.00	942.00	263,762.00	5,673.20	2.15
พฤษภาคม	242.47	337.00	1,011.00	181,031.00	4,085.62	2.26
มิถุนายน	499.69	175.00	525.00	361,002.00	4,372.29	1.21
กรกฎาคม	591.82	112.00	336.00	439,053.00	3,314.19	0.75
สิงหาคม	435.54	116.00	348.00	322,634.00	2,526.13	0.78
กันยายน	226.56	158.00	474.00	158,631.00	1,789.82	1.13
ตุลาคม	231	163	489.00	173,370.00	1,880.86	1.08
พฤศจิกายน	451	58	174.00	325,538.00	1,308.63	0.40
ธันวาคม	530	98	294.00	391,516.00	2,597.93	0.66
รวมทั้งสิ้น		2366.00	7,098	3,293,077	40,896.90	1.24

ตารางผนวกที่ 16 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 9 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาทีก)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	323	230	690.00	235,600.00	3,714.73	1.58
กุมภาพันธ์	324	251	753.00	208,658.00	4,064.57	1.95
มีนาคม	328.16	343.00	1,029.00	246,016.00	5,627.94	2.29
เมษายน	376.83	319.00	957.00	276,443.00	6,010.44	2.17
พฤษภาคม	257.85	316.00	948.00	193,695.00	4,074.03	2.10
มิถุนายน	483.72	187.00	561.00	350,536.00	4,522.78	1.29
กรกฎาคม	588.96	116.00	348.00	438,294.00	3,415.97	0.78
สิงหาคม	432.37	107.00	321.00	320,308.00	2,313.18	0.72
กันยายน	220.55	157.00	471.00	156,391.00	1,731.32	1.11
ตุลาคม	231	154	462.00	173,370.00	1,777.01	1.02
พฤศจิกายน	404	48	144.00	291,533.00	968.45	0.33
ธันวาคม	480	81	243.00	356,419.00	1,945.13	0.55
รวมทั้งสิ้น		2309.00	6,927	3,247,263	40,165.55	1.24

ตารางผนวกที่ 17 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 10 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาท)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	723	131	393.00	520,870.00	4,738.01	0.91
กุมภาพันธ์	669	71	213.00	423,719.00	2,374.99	0.56
มีนาคม	351.76	208.00	624.00	258,690.00	3,658.30	1.41
เมษายน	319.32	344.00	1,032.00	232,709.00	5,492.30	2.36
พฤษภาคม	219.53	318.00	954.00	166,644.00	3,490.53	2.09
มิถุนายน	400.61	113.00	339.00	289,757.00	2,263.45	0.78
กรกฎาคม	554.65	12.00	36.00	412,304.00	332.79	0.08
สิงหาคม	314.29	73.00	219.00	233,855.00	1,147.16	0.49
กันยายน	204.21	135.00	405.00	143,105.00	1,378.42	0.96
ตุลาคม	430	127	381.00	318,487.00	2,728.09	0.86
พฤศจิกายน	906	40	120.00	651,171.00	1,811.40	0.28
ธันวาคม	946	81	243.00	565,593.00	3,830.61	0.68
รวมทั้งสิ้น		1653.00	4,959	4,216,904	33,246.04	0.79

ตารางผนวกที่ 18 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 11 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาท)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	561	133	399.00	404,060.00	3,733.70	0.92
กุมภาพันธ์	545	154	462.00	346,960.00	4,195.98	1.21
มีนาคม	290.53	287.00	861.00	218,218.00	4,169.06	1.91
เมษายน	328.95	276.00	828.00	241,133.00	4,539.56	1.88
พฤษภาคม	231.21	287.00	861.00	173,486.00	3,317.81	1.91
มิถุนายน	475.34	142.00	426.00	344,013.00	3,374.90	0.98
กรกฎาคม	593.96	76.00	228.00	442,321.00	2,257.05	0.51
สิงหาคม	374.87	204.00	612.00	279,983.00	3,823.72	1.37
กันยายน	219.92	149.00	447.00	153,485.00	1,638.40	1.07
ตุลาคม	338	110	330.00	251,069.00	1,859.39	0.74
พฤศจิกายน	682	38	114.00	491,596.00	1,295.02	0.26
ธันวาคม	798	63	189.00	588,094.00	2,512.25	0.43
รวมทั้งสิ้น		1919.00	5,757	3,934,418	36,716.83	0.93

ตารางผนวกที่ 19 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 12 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	493	97	291.00	273,225.00	2,391.22	0.88
กุมภาพันธ์	479	81	243.00	292,813.00	1,940.97	0.66
มีนาคม	425.78	251.00	753.00	316,647.00	5,343.52	1.69
เมษายน	409.62	255.00	765.00	299,457.00	5,222.71	1.74
พฤษภาคม	335.19	234.00	702.00	248,561.00	3,921.78	1.58
มิถุนายน	738.57	37.00	111.00	532,896.00	1,366.35	0.26
กรกฎาคม	943.83	26.00	78.00	702,104.00	1,226.97	0.17
สิงหาคม	616.28	80.00	240.00	454,782.00	2,465.12	0.54
กันยายน	327.80	116.00	348.00	227,172.00	1,901.24	0.84
ตุลาคม	368	111	333.00	272,824.00	2,041.54	0.75
พฤศจิกายน	738	34	102.00	532,523.00	1,255.24	0.24
ธันวาคม	826	52	156.00	609,220.00	2,147.86	0.35
รวมทั้งสิ้น		1374.00	4,122	4,762,224	31,224.51	0.66

ตารางผนวกที่ 20 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 13 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	649	125	375.00	463,538.00	4,054.69	0.87
กุมภาพันธ์	608	121	363.00	386,651.00	3,679.04	0.95
มีนาคม	422.87	298.00	894.00	314,348.00	6,300.80	2.00
เมษายน	457.58	275.00	825.00	333,428.00	6,291.77	1.89
พฤษภาคม	310.07	237.00	711.00	230,717.00	3,674.32	1.59
มิถุนายน	731.40	92.00	276.00	527,733.00	3,364.44	0.64
กรกฎาคม	946.38	31.00	93.00	663,719.00	1,466.88	0.22
สิงหาคม	591.66	154.00	462.00	440,013.00	4,555.80	1.04
กันยายน	295.49	149.00	447.00	205,572.00	2,201.40	1.07
ตุลาคม	370	122	366.00	284,764.00	2,255.43	0.79
พฤศจิกายน	797	33	99.00	574,437.00	1,314.35	0.23
ธันวาคม	893	59	177.00	659,590.00	2,633.18	0.40
รวมทั้งสิ้น		1696.00	5,088	5,084,510	41,792.10	0.82

ตารางผนวกที่ 21 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 14 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	742	123	369.00	529,223.00	4,560.39	0.86
กุมภาพันธ์	715	137	411.00	445,399.00	4,897.88	1.10
มีนาคม	438.17	288.00	864.00	324,414.00	6,309.72	1.94
เมษายน	487.21	256.00	768.00	353,507.00	6,236.32	1.76
พฤษภาคม	334.16	227.00	681.00	238,544.00	3,792.73	1.59
มิถุนายน	674.93	96.00	288.00	487,248.00	3,239.68	0.66
กรกฎาคม	818.38	63.00	189.00	609,583.00	2,577.89	0.42
สิงหาคม	575.28	78.00	234.00	426,049.00	2,243.59	0.53
กันยายน	287.65	126.00	378.00	199,986.00	1,812.19	0.91
ตุลาคม	433	131	393.00	319,734.00	2,833.58	0.89
พฤศจิกายน	846	37	111.00	616,067.00	1,564.63	0.25
ธันวาคม	953	62	186.00	704,519.00	2,955.42	0.42
รวมทั้งสิ้น		1624.00	4,872	5,254,273	43,024.01	0.82

ตารางผนวกที่ 22 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 15 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	721	166	498.00	522,267.00	5,981.83	1.15
กุมภาพันธ์	634	181	543.00	401,600.00	5,742.00	1.43
มีนาคม	343.85	329.00	987.00	257,175.00	5,656.37	2.20
เมษายน	318.57	276.00	828.00	233,929.00	4,396.26	1.88
พฤษภาคม	221.86	298.00	894.00	167,181.00	3,305.73	1.98
มิถุนายน	474.45	149.00	447.00	325,510.00	3,534.65	1.09
กรกฎาคม	597.15	69.00	207.00	444,539.00	2,060.15	0.46
สิงหาคม	347.13	199.00	597.00	259,455.00	3,453.92	1.33
กันยายน	206.96	191.00	573.00	147,710.00	1,976.45	1.34
ตุลาคม	429	126	378.00	318,266.00	2,703.00	0.85
พฤศจิกายน	904	39	117.00	651,842.00	1,762.89	0.27
ธันวาคม	981	67	201.00	722,605.00	3,285.50	0.45
รวมทั้งสิ้น		2090.00	6,270	4,452,079	43,858.74	0.99

ตารางผนวกที่ 23 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 16 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	678	126	378.00	479,088.00	4,271.07	0.89
กุมภาพันธ์	626	143	429.00	398,413.00	4,475.07	1.12
มีนาคม	481.45	316.00	948.00	338,651.05	7,606.90	2.25
เมษายน	459.18	263.00	789.00	334,625.00	6,038.23	1.80
พฤษภาคม	315.98	238.00	714.00	235,249.00	3,760.11	1.60
มิถุนายน	672.83	97.00	291.00	485,699.00	3,263.24	0.67
กรกฎาคม	878.86	37.00	111.00	653,749.00	1,625.90	0.25
สิงหาคม	554.33	154.00	462.00	410,475.00	4,268.31	1.04
กันยายน	276.66	138.00	414.00	193,227.00	1,908.98	0.99
ตุลาคม	471	123	369.00	348,745.00	2,899.42	0.83
พฤศจิกายน	952	33	99.00	686,181.00	1,570.21	0.23
ธันวาคม	1019	59	177.00	752,776.00	3,006.63	0.40
รวมทั้งสิ้น		1727.00	5,181	5,316,878	44,694.06	0.84

ตารางผนวกที่ 24 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 17 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	475	175	525.00	342,675.00	4,152.14	1.21
กุมภาพันธ์	441	210	630.00	281,691.00	4,626.72	1.64
มีนาคม	360.39	371.00	1,113.00	268,128.00	6,685.23	2.49
เมษายน	364.21	324.00	972.00	266,151.00	5,900.20	2.22
พฤษภาคม	262.14	341.00	1,023.00	195,425.00	4,469.49	2.29
มิถุนายน	533.37	186.00	558.00	375,639.00	4,960.34	1.32
กรกฎาคม	670.06	90.00	270.00	482,693.00	3,015.27	0.62
สิงหาคม	409.22	230.00	690.00	304,883.00	4,706.03	1.54
กันยายน	219.32	235.00	705.00	153,956.00	2,577.01	1.67
ตุลาคม	317	154	462.00	234,972.00	2,439.36	1.04
พฤศจิกายน	678	44	132.00	488,937.00	1,492.26	0.31
ธันวาคม	750	83	249.00	553,759.00	3,112.62	0.56
รวมทั้งสิ้น		2443.00	7,329	3,948,909	48,136.68	1.22

ตารางผนวกที่ 25 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 18 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	403	199	597.00	296,335.00	4,006.31	1.35
กุมภาพันธ์	428	204	612.00	272,273.00	4,361.25	1.60
มีนาคม	392.12	339.00	1,017.00	290,903.00	6,646.41	2.28
เมษายน	444.46	275.00	825.00	322,164.00	6,111.35	1.90
พฤษภาคม	318.38	332.00	996.00	235,953.00	5,285.06	2.24
มิถุนายน	539.42	146.00	438.00	391,305.00	3,937.73	1.01
กรกฎาคม	699.34	98.00	294.00	518,933.00	3,426.75	0.66
สิงหาคม	468.91	106.00	318.00	344,323.00	2,485.22	0.72
กันยายน	247.04	156.00	468.00	181,755.00	1,926.93	1.06
ตุลาคม	290	138	414.00	214,904.00	1,998.03	0.93
พฤศจิกายน	550	44	132.00	396,219.00	1,208.95	0.31
ธันวาคม	585	79	237.00	431,094.00	2,311.05	0.54
รวมทั้งสิ้น		2116.00	6,348	3,896,161	43,705.04	1.12

ตารางผนวกที่ 26 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 19 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	497	176	528.00	358,199.00	4,375.89	1.22
กุมภาพันธ์	455	226	678.00	289,400.00	5,136.19	1.77
มีนาคม	396.79	348.00	1,044.00	294,268.00	6,904.15	2.35
เมษายน	463.83	288.00	864.00	327,579.00	6,679.15	2.04
พฤษภาคม	317.73	319.00	957.00	234,941.00	5,067.79	2.16
มิถุนายน	580.48	169.00	507.00	420,854.00	4,905.06	1.17
กรกฎาคม	715.56	82.00	246.00	530,928.00	2,933.80	0.55
สิงหาคม	485.47	145.00	435.00	359,646.00	3,519.66	0.98
กันยายน	254.15	160.00	480.00	186,991.00	2,033.20	1.09
ตุลาคม	324	157	471.00	240,319.00	2,544.58	1.06
พฤศจิกายน	693	43	129.00	499,495.00	1,489.65	0.30
ธันวาคม	768	71	213.00	565,234.00	2,725.19	0.48
รวมทั้งสิ้น		2184.00	6,552	4,307,854	48,314.30	1.12

ตารางผนวกที่ 27 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 20 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาท)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	433	176	528.00	319,385.00	3,811.98	1.19
กุมภาพันธ์	446	200	600.00	293,610.00	4,459.50	1.52
มีนาคม	323.50	377.00	1,131.00	243,533.00	6,097.98	2.50
เมษายน	321.00	327.00	981.00	235,130.00	5,248.35	2.23
พฤษภาคม	240.76	326.00	978.00	182,860.00	3,924.39	2.15
มิถุนายน	397.09	200.00	600.00	287,199.00	3,970.90	1.38
กรกฎาคม	559.35	98.00	294.00	416,426.00	2,740.82	0.66
สิงหาคม	296.48	158.00	474.00	220,102.00	2,342.19	1.06
กันยายน	214.48	141.00	423.00	149,733.00	1,512.08	1.01
ตุลาคม	294	124	372.00	219,352.00	1,824.66	0.83
พฤศจิกายน	598	36	108.00	431,195.00	1,076.80	0.25
ธันวาคม	672	70	210.00	499,343.00	2,351.93	0.47
รวมทั้งสิ้น		2233.00	6,699	3,497,868	39,361.57	1.13

ตารางผนวกที่ 28 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 27 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาท)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	374	201	603.00	268,845.00	3,759.06	1.40
กุมภาพันธ์	422	195	585.00	259,798.00	4,115.86	1.58
มีนาคม	362.65	347.00	1,041.00	259,841.00	6,291.95	2.42
เมษายน	418.07	299.00	897.00	283,156.00	6,250.08	2.21
พฤษภาคม	261.40	313.00	939.00	190,331.00	4,090.94	2.15
มิถุนายน	566.15	88.00	264.00	408,835.00	2,491.04	0.61
กรกฎาคม	815.50	13.00	39.00	606,589.00	530.07	0.09
สิงหาคม	486.22	89.00	267.00	363,669.00	2,163.68	0.59
กันยายน	298.28	127.00	381.00	190,265.00	1,894.08	1.00
ตุลาคม	271	139	417.00	202,575.00	1,880.47	0.93
พฤศจิกายน	536	40	120.00	386,783.00	1,072.23	0.28
ธันวาคม	619	65	195.00	455,201.00	2,010.76	0.44
รวมทั้งสิ้น		1916.00	5,748	3,875,888	36,550.23	0.94

ตารางผนวกที่ 29 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 28 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาท)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	450	200	600.00	324,534.00	4,504.05	1.39
กุมภาพันธ์	419	242	726.00	259,056.00	5,073.32	1.96
มีนาคม	257.51	454.00	1,362.00	182,354.00	5,845.37	3.21
เมษายน	220.52	519.00	1,557.00	163,719.00	5,722.36	3.50
พฤษภาคม	203.75	394.00	1,182.00	155,889.00	4,013.84	2.57
มิถุนายน	329.72	137.00	411.00	239,429.00	2,258.58	0.94
กรกฎาคม	487.90	38.00	114.00	363,375.00	927.01	0.26
สิงหาคม	289.46	121.00	363.00	217,124.00	1,751.26	0.81
กันยายน	198.66	160.00	480.00	129,593.00	1,589.24	1.23
ตุลาคม	264	178	534.00	198,060.00	2,352.56	1.19
พฤศจิกายน	609	83	249.00	439,091.00	2,528.50	0.58
ธันวาคม	623	167	501.00	457,722.00	5,202.14	1.14
รวมทั้งสิ้น		2693.00	8,079	3,129,946	41,768.24	1.33

ตารางผนวกที่ 30 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 29 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาท)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	499	185	555.00	357,670.00	4,613.89	1.29
กุมภาพันธ์	441	219	657.00	272,263.00	4,834.06	1.78
มีนาคม	383.11	350.00	1,050.00	270,425.00	6,704.48	2.48
เมษายน	485.37	284.00	852.00	353,689.00	6,892.21	1.95
พฤษภาคม	314.26	234.00	702.00	234,196.00	3,676.87	1.57
มิถุนายน	635.86	65.00	195.00	459,599.00	2,066.55	0.45
กรกฎาคม	879.53	10.00	30.00	654,555.00	439.77	0.07
สิงหาคม	535.07	22.00	66.00	396,873.00	588.58	0.15
กันยายน	298.77	133.00	399.00	205,367.00	1,986.80	0.97
ตุลาคม	346	123	369.00	257,470.00	2,129.01	0.83
พฤศจิกายน	719	38	114.00	518,467.00	1,366.15	0.26
ธันวาคม	787	71	213.00	580,889.00	2,793.02	0.48
รวมทั้งสิ้น		1734.00	5,202	4,561,463	38,091.38	0.84

ตารางผนวกที่ 31 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 30 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	369	211	633.00	259,823.00	3,893.35	1.50
กุมภาพันธ์	397	239	717.00	242,259.00	4,747.09	1.96
มีนาคม	320.07	392.00	1,176.00	235,345.00	6,273.37	2.67
เมษายน	393.49	315.00	945.00	288,324.00	6,197.47	2.15
พฤษภาคม	269.79	362.00	1,086.00	202,515.00	4,883.20	2.41
มิถุนายน	492.54	108.00	324.00	355,998.00	2,659.72	0.75
กรกฎาคม	670.82	27.00	81.00	498,918.00	905.61	0.18
สิงหาคม	413.85	89.00	267.00	308,058.00	1,841.63	0.60
กันยายน	239.12	145.00	435.00	163,334.00	1,733.62	1.06
ตุลาคม	261	139	417.00	195,262.00	1,812.70	0.93
พฤศจิกายน	489	43	129.00	352,755.00	1,050.51	0.30
ธันวาคม	540	82	246.00	398,701.00	2,212.57	0.55
รวมทั้งสิ้น		2152.00	6,456	3,501,292	38,210.83	1.09

ตารางผนวกที่ 32 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 31 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	326	220	660.00	247,469.00	3,586.00	1.45
กุมภาพันธ์	387	230	690.00	239,905.00	4,450.50	1.86
มีนาคม	319.00	368.00	1,104.00	233,799.00	5,869.60	2.51
เมษายน	398.00	364.00	1,092.00	341,335.00	7,243.60	2.12
พฤษภาคม	294.00	372.00	1,116.00	231,842.00	5,468.40	2.36
มิถุนายน	431.00	138.00	414.00	458,053.00	2,973.90	0.65
กรกฎาคม	629.00	31.00	93.00	653,009.00	974.95	0.15
สิงหาคม	398.66	80.00	240.00	279,823.00	1,594.64	0.57
กันยายน	232.31	148.00	444.00	138,652.00	1,719.09	1.24
ตุลาคม	207	126	378.00	148,091.00	1,303.28	0.88
พฤศจิกายน	618	41	123.00	437,553.00	1,266.02	0.29
ธันวาคม	613	81	243.00	415,739.00	2,481.35	0.60
รวมทั้งสิ้น		2199.00	6,597	3,825,270	38,931.34	1.02

ตารางผนวกที่ 33 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมหมายเลข 32 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2560

เดือน	กำลังการผลิตเฉลี่ย (กิโลวัตต์)	จำนวนรอบการทำงาน	เวลาการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (นาฬิกา)	กำลังผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	กำลังผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (%)
มกราคม	476	187	561.00	256,491.00	4,448.72	1.73
กุมภาพันธ์	420	220	660.00	257,444.00	4,625.13	1.80
มีนาคม	351.11	399.00	1,197.00	258,295.00	7,004.70	2.71
เมษายน	440.37	315.00	945.00	270,802.00	6,935.78	2.56
พฤษภาคม	302.26	351.00	1,053.00	187,977.00	5,304.70	2.82
มิถุนายน	579.86	173.00	519.00	407,289.00	5,015.80	1.23
กรกฎาคม	792.53	60.00	180.00	605,043.00	2,377.59	0.39
สิงหาคม	374.76	143.00	429.00	262,486.00	2,679.53	1.02
กันยายน	229.65	181.00	543.00	133,177.00	2,078.33	1.56
ตุลาคม	324	158	474.00	241,850.00	2,559.52	1.06
พฤศจิกายน	673	48	144.00	477,816.00	1,614.38	0.34
ธันวาคม	732	73	219.00	506,476.00	2,673.30	0.53
รวมทั้งสิ้น		2308.00	6,924	3,865,146	47,317.50	1.22

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายจำลอง มะละเขต
เกิดเมื่อ	7 เมษายน 2531
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร
ประวัติการทำงาน	• งานจัดหาวัสดุอุปกรณ์ระบบไฟฟ้า โครงการรถไฟฟ้าสายสรสั่ม สัญญา 3 พ.ศ.2562 • ออกแบบงานระบบไฟฟ้าโครงการก่อสร้างสายส่ง24กิโลโวลต์ BPU จังหวัดราชบุรี พ.ศ.25560 • ออกแบบงานระบบไฟฟ้าโครงการก่อสร้างสายส่ง24&115กิโลโวลต์ ภายในนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ พ.ศ 2558 – 25562 • ออกแบบงานระบบไฟฟ้าโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์เสริมสร้างพลังงาน จังหวัดลพบุรีพ.ศ 2556 – 2557 • ออกแบบงานระบบไฟฟ้าโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์โซลาร์โก จังหวัดนครปฐม พ.ศ 2555 – 2556 • ออกแบบงานระบบไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์วังเพลิง จังหวัดลพบุรี พ.ศ 2553 – 2555
ผลงานวิชาการ	• จำลอง มะละเขต, สมถวิล ชันเขตต์, วีรพล จิรจิต, จอมภพ แว ศักดิ์, ธเนศ ไชยชนะ และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2560).ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับสถานีพยากรณ์อากาศที่ใช้ประมวลสัญญาณเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม • จำลอง มะละเขต, สมถวิล ชันเขตต์, วีรพล จิรจิต, จอมภพ แว ศักดิ์,ธเนศ ไชยชนะ และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2560). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมด้วยการประมวลสัญญาณจากสถานีพยากรณ์อากาศรอบกังหันลมเพื่อควบคุมการผลิตไฟฟ้า