



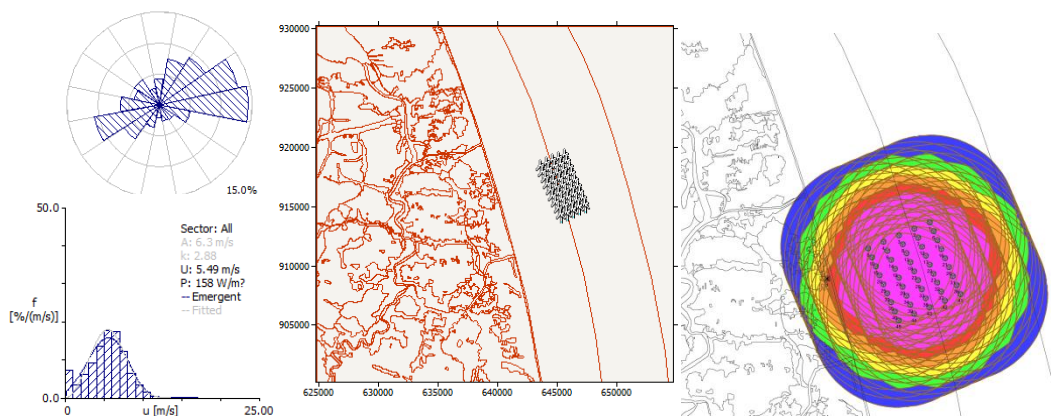
รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล
สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP)

บริเวณ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ประเทศไทย

The Study of the Feasibility of Offshore Wind Farm for Small Power Producers (SPP)
at Pakphanang District, Nakhon Si Thammarat Province, Thailand



โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ

นางสาวทิพวัลย์ ขลิตรัม

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

เมษายน 2558



คำรับรองคุณภาพ

รายงานวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) บริเวณ อ.ปากพ่อง จ.นครศรีธรรมราช ประเทศไทย

ผู้วิจัย ธเนศ ไชยชนะ และทิพวัลย์ ขลิตรัม

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ขอรับรองว่ารายงานวิจัยฉบับนี้ได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว มีความเห็นว่าผลงานวิจัยฉบับนี้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์

- ☐ ดีมาก
- ☐ ดี
- ☒ ปานกลาง
- ☐ พอใช้
- ☐ ควรปรับปรุง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพันธุ์ เขมกุนาศัย)
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
วันที่ 26 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพะนิงของจังหวัดนครศรีธรรมราชในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) สถานีวิจัยพลังงานลมความสูง 120 m ที่ประกอบเครื่องวัดอัตราเร็ว และทิศทางลม ถูกติดตั้งเพื่อตรวจวัดข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี ข้อมูลที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม WAsP 11.0 และ GH WindFarmer 4.1 ผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 50 m 80m 100 m และ 120 m มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 4.87 5.09 และ 5.10 m/s ตามลำดับ กังหันลมรุ่น Vestas V80 (Offshore) ขนาดกำลังการผลิต 2,000 kW ซึ่งมีการจัดเรียงแบบ 7Dx12D ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีได้ดีที่สุด มีค่าอยู่ที่ 77,081 MW/ปี ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม ที่ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้ากำลังการผลิตติดตั้ง 90 MW มีค่าอยู่ในช่วง 5.86-9.78% ไม่มีผลกระทบด้านเสียง การมองเห็น และเงามาถึงบริเวณพื้นดิน เนื่องจากต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งมีค่าสูงกว่าบนฝั่งดังนั้นต้องเพิ่มค่า Adder ให้สูงกว่า 6 บาท/หน่วยไฟฟ้า โครงการจึงจะมีการคุ้มทุน โดยเมื่อเพิ่มค่า Adder ไปเป็น 4-9 บาท/หน่วยไฟฟ้า ระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 5-10 ปี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ
นางสาวทิพวัลย์ ขลิตรัม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	2
สารบัญ	3
สารบัญรูป	5
สารบัญตาราง	7
บทที่ 1 บทนำ	8
1.1 ที่มาของการดำเนินงาน	8
1.2 จุดประสงค์ของการดำเนินงาน	9
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน	9
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 ลม	11
2.2 กลศาสตร์การเคลื่อนที่ของลม	11
2.3 การวัดข้อมูลลม	13
2.4 ลมประจำฤดู และลมประจำถิ่น	15
2.5 พลังงานลมและกำลังลม	16
2.6 กังหันลมผลิตไฟฟ้า	17
2.7 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	17
2.8 ผลกระทบจากการติดตั้งกังหันลม	18
2.9 การพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในต่างประเทศ	19
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	25
3.1 พื้นที่ศึกษาของโครงการ	25
3.2 ส่วนประกอบของสถานีวิจัยพลังงานลม	25
3.3 การเตรียมแผนที่เวกเตอร์ สำหรับโปรแกรม WASP 11.0	28
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลลมสถิติ	31
3.5 การสร้างแผนที่แหล่งพลังงานลม	31
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้	31
3.7 การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมด้วยโปรแกรม WASP 11.0	32
3.8 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่เสียงเท่า (Iso-noise map)	34
3.9 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่โซนที่ได้รับอิทธิพลการมองเห็นของฟาร์มกังหันลม	35
3.10 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่การเคลื่อนไหวของเงา (Shadow flicker)	35
3.11 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis)	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	37
4.1 อัตราเร็วลมและทิศทางลม	37
4.2 การติดตั้งฟาร์มกังหันลมขนาด 90 MW	41
4.3 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี	44
4.4 ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม	44
4.5 ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งฟาร์มกังหันลม	46
4.6 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม	49
บทที่ 5 สรุปผล	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก 1 ทิศทางอัตราเร็วลมและพารามิเตอร์ไวบูลล์	57
ภาคผนวก 2 พิกัดการติดตั้งกังหันลม	61
ภาคผนวก 3 รายละเอียดของกังหันลม	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ผลของแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศต่ออัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่
2.2	ลักษณะการเบี่ยงเบนของทิศทางการเคลื่อนที่เนื่องจากอิทธิพลของแรง Coriolis
2.3	ตัวอย่างเสาวัดอัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ ความสูง 120 เมตร
2.4	ลมมรสุม
2.5	ชนิดของกังหันลม
3.1	เสาหลักโครงสร้างเหล็กแบบ hot dipped galvanized พร้อมฐานราก
3.2	การติดตั้งเครื่องมือวัด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของสถานีวิจัยพลังงานลม
3.3	ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 สีปกติ
3.4	ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 สีธรรมชาติ
3.5	แผนที่ดัชนีความขรุขระ สถานีวิจัยพลังงานลมปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช
3.6	แผนที่ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณโดยรอบสถานีวิจัยพลังงานลมปากพนัง
3.7	ระเบียบวิธีในการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม
3.8	หลักเกณฑ์การวางตำแหน่งกังหันลมในฟาร์มกังหันลม
3.9	ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยโดยโปรแกรม WasP 11.0
4.1	อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 50 เมตร
4.2	อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 80 เมตร
4.3	อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 100 เมตร
4.4	อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 120 เมตร
4.5	อัตราเร็วลมเฉลี่ยปีทั้งปีระดับความสูงต่าง
4.6	ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 120 m
4.7	ฟาร์มกังหันลมของลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx7D
4.8	ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx10D
4.9	ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx12D
4.10	ฟาร์มกังหันลมของลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx7D
4.11	ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx10D
4.12	ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx12D
4.13	ฟาร์มกังหันลมของลมกังหันลมรุ่น Vestas V90 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx7D

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.14	ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V90
	โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx10D
4.15	ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V90
	โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx12D
4.16	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม
	ที่ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 90 MW
4.17	ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 90 MW
4.18	แผนที่เสียงเท่าของฟาร์มกังหันลม
4.19	โซนที่ได้รับอิทธิพลด้านการมองเห็นของฟาร์มกังหันลม
	กรณีกำหนดเงื่อนไขแบบเห็นจำนวนกังหันลม (number of hub visible)
4.20	แสดงแผนที่การเคลื่อนไหวของเงา (shadow flicker)
4.21	การเปลี่ยนแปลงของดัชนีทางการเงินเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของราคา Adder
4.22	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และระยะเวลาคืนทุน (PBP)
	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของราคา Adder

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 ระดับความดังของเสียงเนื่องจากกิจกรรมและแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ	18
2.2 สถานรูปโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล	20
4.1 อัตราเร็วลมรายเดือนที่ความสูงต่างๆ	37
4.2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิจากฟาร์มกังหันลม AEP	44
4.3 ต้นทุนของโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล กำลังผลิตติดตั้ง 90 MW	49
4.4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันขนาด 90 MW	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของการดำเนินงาน

ตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2551-2564 ฉบับแก้ไขครั้งที่ 2 ได้คาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศ พ.ศ.2552-2556 ไว้ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในช่วง พ.ศ.2552-2555 ที่คาดว่าอัตราความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจะขยายตัวต่อเนื่องจากร้อยละ 2.19 ในปี พ.ศ. 2552 สู่ร้อยละ 6.16 ในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งค่าการคาดการณ์ดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานของการคาดการณ์อัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจในประเทศที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจากร้อยละ 2 ในปี พ.ศ. 2552 สู่ร้อยละ 5.5 ในปี พ.ศ. 2556 การคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นนี้ก่อให้เกิดการลงทุนเพิ่มในโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เร็วกว่าความจำเป็น และอาจทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าสำรองในช่วงปี พ.ศ. 2552-2556 อยู่ในระดับสูง ซึ่งสุดท้ายจะส่งผลกระทบต่อประชาชนผ่านทางค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้น

การวางแผนการผลิตและรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ชัดเจนสอดคล้องกับความต้องการพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ด้วยรัฐบาลมีแนวคิดที่จะส่งเสริมการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) และขนาดเล็กมาก (VSPP) โดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา และปริมาณการรับซื้อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนระยะ 15 ปี รวมถึงเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับการผลิตจากพลังงานหมุนเวียนบางประเภทให้สูงขึ้น ซึ่งคาดว่าจะการรับซื้อไฟฟ้าทั้ง 2 โครงการจะเกิดการลงทุนในประเทศกว่าหนึ่งแสนล้านบาท และเกิดการจ้างงานในประเทศมากขึ้น

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ถือเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานที่สะอาด (green energy) และเป็นพลังงานทดแทน (renewable energy) ที่มีความยั่งยืนทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและการทดแทนแบบไม่สิ้นสุด การดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมสามารถทำได้โดยที่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้พลังงานอื่นๆ ทั้งในกระบวนการก่อสร้างและในระยะเปิดดำเนินการหลายๆ พื้นที่ในประเทศไทยได้ดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมตามความเหมาะสมและความสามารถในการให้กำลังลมของแต่ละพื้นที่ โดยที่มีเอกชนหลายรายลงทุนผลิตไฟฟ้าขายจากพลังงานลม โดยมีความคุ้มทุนการลงทุนของธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็ก (small power producer, SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็กมาก (very small power producer, VSPP) โดยในการสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม สามารถทำได้ทั้งบนชายฝั่งและนอกชายฝั่งทะเล โดยทั้ง 2 แบบ มีจำกัดที่แตกต่างกันไป ซึ่งโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมบนนอกชายฝั่งทะเลนั้น ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมในพื้นที่บนชายฝั่งทะเลกับนอกชายฝั่งทะเล การผลิตกระแสไฟฟ้าบนนอกชายฝั่งทะเลมีข้อได้เปรียบดังนี้

- ความแปรปรวนของลม (Wind Turbulence) มีน้อย กังหันลมมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้น และอุปกรณ์เกิดความล้าต่ำ
- ความเค้นเฉือนของลม (Wind Shear) ต่อกังหันลมมีน้อย ทำให้หอกังหันลมสร้างที่ความสูงไม่มากเท่ากับบนชายฝั่ง
- ความเร็วลมมีสูงกว่าบนชายฝั่ง
- พื้นที่ในการก่อสร้างโครงการมีมากกว่า

จากเหตุผลข้างต้นโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งจึงมีความได้เปรียบมากกว่าโรงไฟฟ้ากังหันลมบนพื้นดิน โดยในต่างประเทศได้มีการสร้างและพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง แต่สำหรับประเทศไทยนั้นโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่ง ยังอยู่ในขั้นที่ดำเนินการเก็บข้อมูลและศึกษาความเป็นไปได้ในด้านต่างๆ เช่น พื้นที่ศักยภาพ เทคโนโลยีและความคุ้มค่าในการลงทุน เป็นต้น

อย่างไรก็ตามในการวางแผนพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมในรูปแบบของ SPP ในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนอกชายฝั่งทะเลบริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราชจำเป็นต้องอาศัยการตรวจวัดอัตราเร็วและทิศทางของลมอย่างต่อเนื่องและใช้เวลาในการตรวจวัดเป็นเวลานานเพื่อให้ได้มาของข้อมูลอย่างน้อย 1 ปี ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เพราะการใช้ประโยชน์ของที่ดินนั้นๆ และเพื่อให้ได้ถึงข้อมูลที่ทันสมัยและเป็นปัจจุบันมากที่สุด และเนื่องจากการสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลนั้นเป็นโครงการที่ต้องใช้การลงทุนที่สูงมาก มีความยุ่งยากในการดำเนินการและระยะเวลาในการดำเนินการยาวนานจึงจะสิ้นสุดโครงการ จึงต้องมีการทำการศึกษา วิจัยและค้นคว้าอย่างรอบคอบ เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการที่จะลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราชในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) โดยอาศัยผลการวิเคราะห์ของข้อมูลลมสถิติระยะยาว 1 ปี ของสถานีอำเภอปากพนังจังหวัดนครศรีธรรมราช

1.2 จุดประสงค์ของการดำเนินงาน

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราชในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP)
- 1.2.2 เพื่อประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.2.3 เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นสำหรับฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราช

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

- 1.3.1 การศึกษาจะอาศัยข้อมูลลมสถิติระยะเวลา 12 เดือน ที่ระดับความสูง 120 เมตรจากพื้นดินในปี พ.ศ. 2555 ณ สถานีวิจัยพลังงานลม ท่าพญา อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป WASP 11.0 และ GH WindFarmer 4.1
- 1.3.2 การศึกษาด้านการผลิตไฟฟ้าจะทำการพิจารณากังหันลมจำนวน 3 รุ่น ที่มีขนาด 1.5 2.0 และ 3.0 MW และพิจารณาการจัดวางรูปแบบฟาร์มกังหันลมในรูปแบบ 7DX10D (ระยะห่างทางข้างเป็นจำนวนเท่าของรัศมี D คูณกับ ระยะห่างทางหลังเป็นจำนวนเท่าของรัศมี D) จากนั้นจะพิจารณาใช้กังหันลมรุ่นที่เหมาะสมที่สุดในการประเมินในขั้นตอนต่อไป

- 1.3.3 การศึกษาฟาร์มกังหันลมจะใช้กังหันลมที่ได้จากการพิจารณาเลือกในข้อที่ 1.3.2 โดยจะพิจารณาจัดวางกังหันลมรูปแบบ 5 รูปแบบ คือ 7DX7D, 7DX10D, และ 7DX12D หลังจากนั้นก็จะทำการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบทางด้านเสี่ยง และทัศนียภาพต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 สามารถระบุพื้นที่ที่สามารถก่อสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในรูปแบบของ SPP ในบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.4.2 ทำให้ทราบถึงลักษณะและการจัดวางกังหันลมที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมที่จะติดตั้งในบริเวณนอกชายฝั่งทะเลอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราช
- 1.4.3 ทำให้ทราบข้อมูลทางเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลภายใต้สภาวะบริเวณชายฝั่งทะเล อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช
- 1.4.4 ทำให้ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราชในรูปแบบ SPP
- 1.4.5 เป็นการเพิ่มทางเลือกในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาดสำหรับใช้ภายในประเทศ
- 1.4.6 ทำให้ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกพื้นที่สำหรับการสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลให้แก่หน่วยงานภาครัฐและเอกชน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน และหน่วยงานเอกชนอื่นๆ ที่สนใจลงทุนโครงการขนาดใหญ่

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลม

ลม คือ กระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนความกดอากาศ คือ อากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางลมนั้นๆ พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่าลมเหนือ และลมที่พัดมาจากทิศใต้เรียกว่าลมใต้ โดยเกิดลมมาจากปรากฏการณ์ของอากาศที่มีการเคลื่อนไหว โดยเกิดจากความแตกต่างของความดันอากาศหรือความร้อนสองจุดบนผิวโลก โดยลมจะพัดจากบริเวณที่มีความดันอากาศสูง ไปยังบริเวณที่มีความดันอากาศต่ำ โดยกระแสการไหลของลมจะหยุดเมื่อความดันของสองจุดมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามการไหลของลมจะเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากแรงโคริโอลิส (coriolis acceleration) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโลกเป็นสาเหตุให้การไหลจากศูนย์สูตรไปยังขั้วโลกมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านทิศตะวันออกและการไหลกลับไปยังศูนย์สูตรมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านทิศตะวันตกซึ่งทำให้เกิดลมนั่นเอง

2.2 กลศาสตร์การเคลื่อนที่ของลม

อัตราเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของลมเป็นผลจากการกระทำของแรงสำคัญ 3 แรงคือ แรงเนื่องจากความกดอากาศ (Pressure Gradient Force) แรงเนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก (Coriolis Force) และแรงเสียดทานของพื้นผิวของโลก (Fission Force) ผลจากแรงหลักทั้ง 3 ชนิด เมื่อมีการกระทำร่วมกันจะก่อให้เกิดลมชนิดต่างๆ

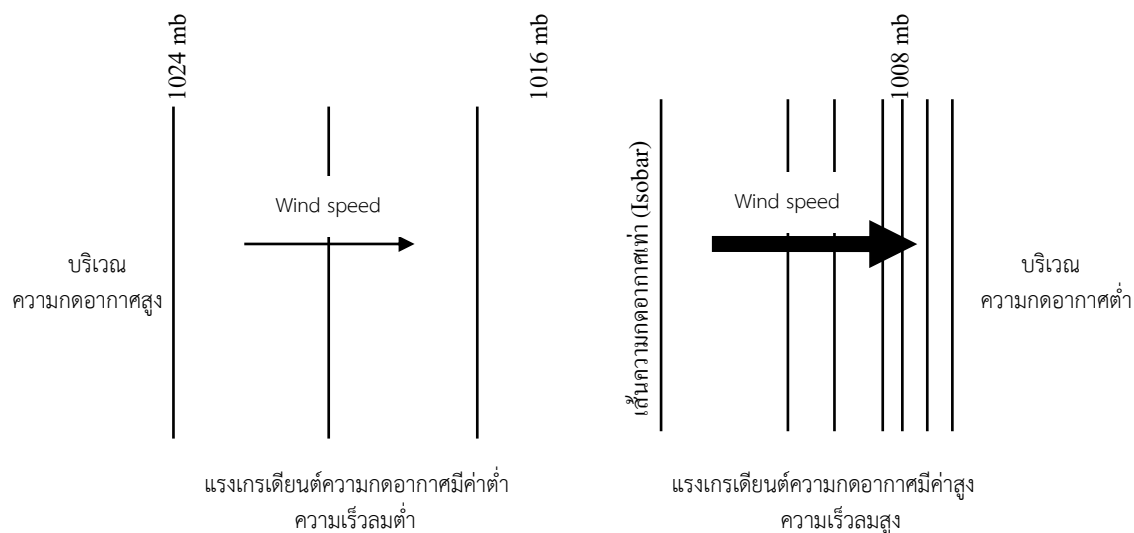
2.2.1 แรงเกรเดียนต์ความกดอากาศ (Pressure Gradient Force)

แรงเกรเดียนต์ความกดอากาศ เป็นแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ โดยทิศทางของแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศจะตั้งฉาก (90°) กับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) ซึ่งแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศมีผลต่ออัตราเร็วลม คือ หากมีความแตกต่างของความกดอากาศมาก (เกรเดียนต์ความกดอากาศสูง) แรงเกรเดียนต์ความกดอากาศจะสูง ดังนั้นลมจะมีอัตราเร็วสูง ขนาดของแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศต่อหนึ่งหน่วยมวล ($F_p, \text{N/kg}$) แสดงดังสมการ

$$F_p = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (2.1)$$

เมื่อ	ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
	Δp	คือ ความแตกต่างของความกดอากาศ ระหว่างเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) (N/m^2), ($1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa} = 100,000 \text{ bar}$),
	Δx	คือ ระยะห่างระหว่างเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) (m)

อัตราเร็วของลมจะแปรผันโดยตรงกับแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศ นั่นคือ เมื่อความแตกต่างระหว่างความกดอากาศระหว่างเส้นความกดอากาศเท่าที่อยู่ใกล้กันมีค่ามาก ก็จะทำให้แรงเกรเดียนต์ความกดอากาศมีค่าสูง ลมในบริเวณนั้นก็จะมีอัตราเร็วสูง และเมื่อระยะห่างระหว่างเส้นความกดอากาศเท่าที่มีค่าน้อยก็จะส่งผลต่ออัตราเร็วของลมในทำนองเดียวกับความแตกต่างระหว่างความกดอากาศระหว่างเส้นความกดอากาศเท่าที่อยู่ใกล้กันมีค่ามาก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมกับความกดอากาศแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลของแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศต่ออัตราเร็วและทิศทางลมลม
(Lutgens. F.K. and Tarbuck E.J. (1979))

2.2.2 แรงเนื่องจากหมุนรอบตัวเองของโลก (Coriolis Force)

แรงเนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเบี่ยงเบนไป ลักษณะการเบี่ยงเบนของทิศทางการเคลื่อนที่เนื่องจากอิทธิพลของแรงคอริโอลิส แสดงดังรูปที่ 2.2 โลกจะหมุนรอบตัวเองในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นในซีกโลกเหนือทิศทางการเคลื่อนที่ของลมจะเบนไปทางขวามือ และในทางซีกโลกใต้ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมจะเบนไปทางซ้ายมือขนาดของแรงคอริโอลิส จะสัมพันธ์กับอัตราเร็วลมและตำแหน่งบนเส้นรุ้ง (Latitude) บนพื้นโลก ซึ่งขนาดของแรงคอริโอลิส ต่อหนึ่งหน่วยมวลสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2 และทิศทางของแรงคอริโอลิส จะมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมเสมอ

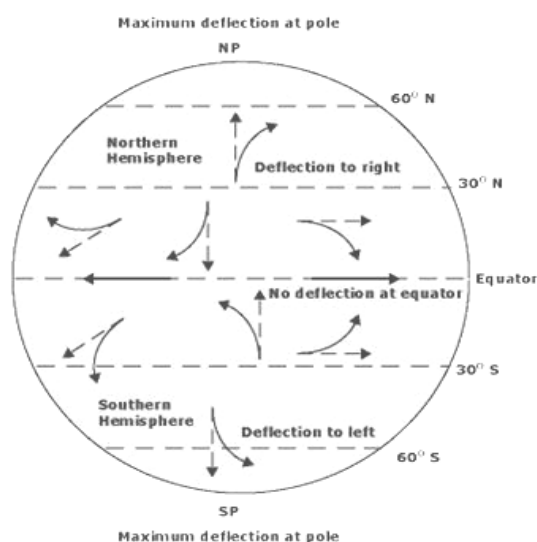
$$F_c = 2V\Omega\sin \Phi \quad (2.2)$$

เมื่อ	F_c	คือ แรงคอริโอลิส ต่อหนึ่งหน่วยมวล (N/kg)
	V	คือ อัตราเร็วลม (m/s)
	Ω	คือ อัตราเร็วเชิงมุมของการหมุนรอบตัวเองของโลก (7.29×10^{-5} rad/s)
	Φ	คือ ตำแหน่งบนเส้นรุ้ง (Latitude, degree)

จากสมการที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าที่เส้นศูนย์สูตร (Equator) แรงคอริโอลิส จะมีค่าเท่ากับ 0 และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเมื่อเข้าสู่ขั้วโลก ทั้งขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ และแรงคอริโอลิส จะมีค่าสูงสุด

ที่ผิวโลก นอกจากขนาดของแรงคอริโอลิส จะขึ้นกับตำแหน่งบนเส้นรุ้งแล้ว ยังพบว่าขนาดของแรงคอริโอลิส จะแปรผันตรงกับอัตราเร็วของลมด้วย ในการพิจารณาขนาดของแรงคอริโอลิส ต้องระวังค่าของตำแหน่งบนเส้นรุ้งที่นำมาใช้ในสมการที่ 2.2 เนื่องจากหน่วยของตำแหน่งบนเส้นรุ้งต้องเป็น degree

การแปลง ตำแหน่งบนเส้นรุ้ง (Latitude) เป็นองศา (degree) สามารถทำได้โดย การเปลี่ยนหน่วย ฟิลิปดา (วินาที) เป็น ลิปดา (นาที) ด้วยการหารด้วย 60 แล้วนำค่าที่ได้ไปบวกกับหน่วย ลิปดา (นาที) จากนั้นเปลี่ยนหน่วย ลิปดา (นาที) เป็นหน่วยองศา ด้วยการหารด้วย 60 แล้วนำค่าที่ได้ไปบวกกับองศา



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเบี่ยงเบนของทิศทางการเคลื่อนที่เนื่องจากอิทธิพลของแรง Coriolis (NSIDC, National Snow and Ice Data Center, USA)

2.2.3 แรงเสียดทานของพื้นผิว (Frictional Force)

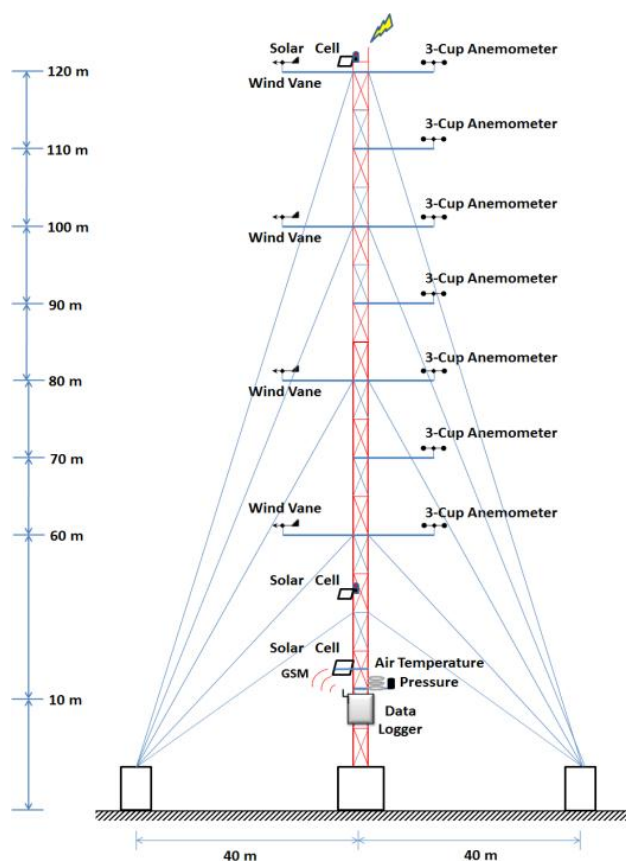
แรงเสียดทานของพื้นผิวของโลก เป็นแรงที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อลมระดับพื้นผิว และประมาณว่าที่ระดับความสูงกว่า 1,000 เมตร จากระดับพื้นดิน จะไม่มีผลกระทบของแรงเสียดทานต่อทิศทางและขนาดของลม ดังนั้นที่ระดับความสูง 1,000 เมตรขึ้นไป แรงที่มีผลต่อทิศทางและขนาดของลมจะเหลือเฉพาะ แรงคอริโอลิส และแรงเกรเดียนต์ความกดอากาศ

ในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศที่ขรุขระ เช่น ภูเขาสูงสลับซับซ้อน พื้นที่ในตัวเมือง จะมีค่าของแรงเสียดทานสูงกว่าพื้นที่ที่มีความราบเรียบ เช่น ทะเล ทะเลทราย หุบหญ้า เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการกำหนดค่าคงที่ของแรงเสียดทาน (Roughness Length) ตามลักษณะภูมิประเทศแบบต่างๆ กัน โดยพื้นที่ที่มีความขรุขระมากจะมีค่าคงที่ความเสียดทานสูง

2.3 การวัดข้อมูลลม

การวัดลมในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลอัตราเร็วและทิศทางลมไว้ ซึ่งเป็นการวัดตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานของแต่ละหน่วยงาน เช่น การวัดลมพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยา ก็จะมีติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร็วลมและทิศทางลมที่ระดับความสูง 10 เมตร เหนือพื้นดิน หรือการวัดอัตราเร็วลมของกองทัพอากาศก็จะทำการวัดที่ระดับความสูงประมาณ 2.5 เมตร

เหนือพื้นดิน เป็นต้น ซึ่งในการวัดลมเพื่อประเมินศักยภาพทางด้านพลังงาน ควรทำการวัดข้อมูลลมที่ระดับความสูงเท่ากับระดับความสูงของกังหันลม แต่เนื่องจากความสูงของกังหันลมแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงนิยมวัดข้อมูลลมที่ระดับความสูงอย่างน้อย 2 ระดับความสูง เหนือพื้นดิน ณ พื้นที่เดียวกัน เพื่อสามารถประเมินหาค่าข้อมูลลมที่ระดับความสูงที่ต้องการได้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเสาวัดอัตราเร็วและทิศทางลม ความสูง 120 เมตร

สำหรับความสูงที่นิยมวัดข้อมูลลมในปัจจุบัน คือ ความสูงตั้งแต่ 20 เมตร ถึง 120 เมตร จากพื้นดิน และทำการวัดอัตราเร็วลมที่ 3 ระดับความสูง เหนือพื้นดิน เช่น 20, 30 และ 40 เมตร สำหรับเสาสูง 40 เมตร หรือ 40, 60 และ 80 เมตร สำหรับเสาสูง 80 เมตร เป็นต้น ส่วนทิศทางของลมจะนิยมวัดที่ระดับความสูง สูงสุดของเสาวัดลม ส่วนข้อมูลอื่นๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ จะนิยมวัดที่ระดับความสูงประมาณ 1-10 เมตร จากพื้นดิน

ปัจจุบันเทคโนโลยีกังหันลมสามารถสร้างกังหันลมที่มีเสาสูงถึง 100 – 200 เมตร จากพื้นดิน ดังนั้นการตรวจวัดข้อมูลลมและอากาศ จึงต้องมีการติดตั้งเสาวัดข้อมูลที่มีความสูงมากขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะกับกังหันลมที่พัฒนาขึ้น เช่น ที่อำเภอปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช และอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้มีการติดตั้งเสาวัดข้อมูลลมที่มีความสูงถึง 120 เมตร ซึ่งดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยทักษิณ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใต้การสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เครื่องมือในการตรวจวัดอัตราเร็วลมในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งเครื่องวัดอัตราเร็วลมที่เสนอในเอกสารนี้ประกอบด้วย

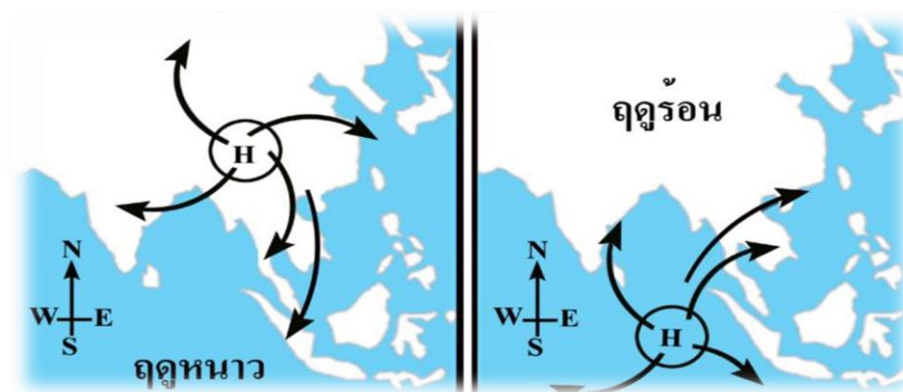
- เครื่องวัดอัตราเร็วลมแบบลูกถ้วย (Cup Anemometer)
- เครื่องวัดอัตราเร็วลมแบบใบพัด (Propeller Anemometer)
- เครื่องวัดอัตราเร็วลมแบบคลื่นเสียง (Sonic Anemometer)
- เครื่องวัดแบบ SODAR (SQund Detection And Ranging)
- เครื่องวัดแบบ LIDAR (LLight Detection And Ranging)

2.4 ลมประจำฤดู และลมประจำถิ่น

ประเทศไทย สามารถแบ่งลมได้เป็น 2 กลุ่มตามระยะเวลา การพัดผ่าน และผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อลมพัดผ่าน คือ ลมประจำฤดู และลมประจำถิ่น

2.4.1 ลมประจำฤดู

ลมมรสุม (Monsoon) มาจากคำในภาษาอาหรับว่า Mausim แปลว่า ฤดู ดังนั้นลมมรสุม คือ ลมประจำฤดู (Seasonal wind) หมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศ ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกันในช่วงของการเปลี่ยนฤดู คือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว



ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

รูปที่ 2.4 ลมมรสุม (Rangsan Apakupakul. (2004))

2.4.2 ลมประจำถิ่น

ลมประจำถิ่นเป็นลมที่มีช่วงเวลาของการเกิดน้อยกว่าลมประจำฤดู โดยอาจจะใช้เวลาในการเกิดเป็นช่วงวัน สัปดาห์ หรือเดือน ทั้งนี้ก็มีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป ตามทิศทาง ภูมิภาค ลักษณะ หรือช่วงเวลาที่เกิด เป็นต้นสำหรับลมประจำถิ่นที่สำคัญของประเทศไทยประกอบด้วย

ลมบก-ลมทะเล (Land and Sea Breezes) *ลมบก (Land Breeze)* เกิดขึ้นในเวลา กลางคืน เมื่อพื้นดินคายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นน้ำ ซึ่งร้อนกว่าจะลอยตัวขึ้น อากาศเหนือพื้นดินซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดเป็นลมพัดจากฝั่งไปสู่ ทะเล ลมบกจะมีความแรงของลม (อัตราเร็วลม) น้อยกว่าลมทะเล สามารถพัดออกสู่ทะเลได้ระยะทาง ถึงประมาณ 8-10 กิโลเมตร *ลมทะเล (Sea Breeze)* ในเวลากลางวันเมื่อพื้นดินได้รับความร้อนจาก ดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ และอากาศเหนือพื้นดินเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวลอยขึ้นสู่

เบื้องบน อากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดลมจากทะเลพัดเข้าหาฝั่งมีระยะทางเข้าสู่ฝั่งได้ไกลถึง 16-48 กิโลเมตร และความแรงของลมจะลดลงเมื่อเข้าถึงฝั่ง

ลมภูเขา-ลมหุบเขา (Mountain and Valley Breezes) *ลมภูเขา (Mountain Breezes)* เกิดขึ้นในเวลากลางคืน พื้นดินตามภูเขาและลาดเขาสามารถคายความร้อนได้ดีกว่าหุบเขา ดังนั้นอากาศบริเวณภูเขาและลาดเขาจึงเย็นกว่า เมื่ออากาศบริเวณหุบเขาจึงเคลื่อนที่ลงมาสู่หุบเขา *ลมหุบเขา (Valley Breeze)* เกิดขึ้นในเวลากลางวัน อากาศตามภูเขาและลาดเขาร้อน เพราะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ ส่วนอากาศที่หุบเขาเบื้องล่างมีความเย็นกว่าจึงไหลเข้าแทนที่ ทำให้มีลมเย็นจากหุบเขาเบื้องล่างพัดไปตามลาดเขาขึ้นสู่เบื้องบน

ลมบ้าหมู (Whirl Wind) ลมชนิดนี้เกิดจากการพาความร้อนอย่างรุนแรง เฉพาะพื้นที่ มักจะเกิดในวันที่มีอุณหภูมิร้อนจัดและท้องฟ้าแจ่มใส ลักษณะการเกิดส่วนมากจะเป็นลมที่พัดเป็นเกลียว หมุนวนวนเข้มนาฬิกา เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 เมตร หากเกิดบนพื้นดินบางพื้นที่เรียกว่าลมฝุ่น (Dust wind) เนื่องจากลมจะหอบเอาฝุ่นลอยขึ้น และในกรณีเกิดในพื้นที่น้ำ ก็จะหอบน้ำขึ้นมาด้วย ซึ่งจะเรียกว่า ลมวงช้าง (Waterspouts)

ลมตะเภา (Tread Wind) ลมตะเภาหรือลมสำเภา เป็นลมที่พัดมาจากทิศใต้ขึ้นสู่ทิศเหนือ ในบริเวณลำน้ำเจ้าพระยา พัดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงของการเปลี่ยนฤดู จากฤดูหนาวเป็นฤดูร้อน ในสมัยโบราณลมนี้ จะช่วยพัดเรือสำเภาซึ่งเข้ามาค้าขายให้แล่นไปตามลำน้ำเจ้าพระยา

ลมว่าว ลมว่าว หรือลมข้าวเบา พัดในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เปลี่ยนฤดูฝนเป็นฤดูหนาว) โดยพัดมาจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ และที่มีชื่อเรียกว่าลมข้าวเบา เพราะพัดในช่วงที่ข้าวเบากำลังออกรวง (ข้าวเบา คือ ข้าว 3 เดือน ข้าวเบาจะออกดอกในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม ข้าวที่เก็บเกี่ยวได้ในระยะเวลาประมาณ 3 เดือน)

2.5 พลังงานลมและกำลังลม

พลังงานจลน์ของกระแสอากาศที่มีมวล m และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.3

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.3)$$

พิจารณาส่วนหมุน (Rotor) ของกังหันลมที่มีพื้นที่ภาคตัดขวาง (Cross Sectional Area) A พลังงานจลน์ของกระแสอากาศที่กังหันลมสามารถนำไปเปลี่ยนรูปได้แสดงดังสมการที่ 2.4

$$E = \frac{1}{2} \rho_a v V^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ	ρ_a	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
	v	คือ	ปริมาตรของก้อนมวลอากาศ (Air Parcel) ที่พัดผ่านส่วนหมุน (ลูกบาศก์เมตร)

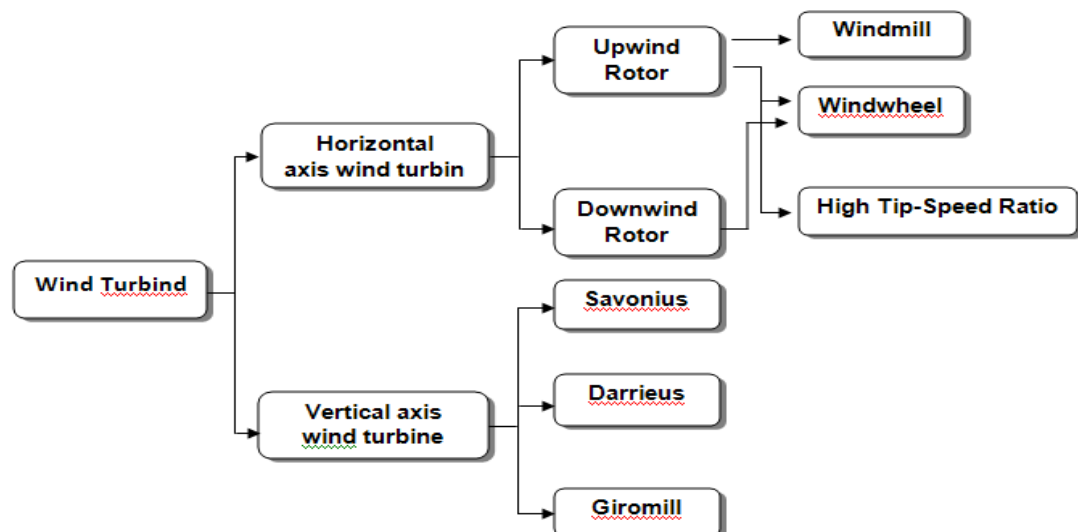
ก่อนมวลอากาศที่พัดผ่านส่วนหมุนต่อหนึ่งหน่วยเวลาซึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวางเท่ากับพื้นที่ภาคตัดขวางของส่วนหมุน (A_T) ดังนั้นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา (E/t) หรือกำลัง (power) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$P = \frac{1}{2} \rho_a A_T V^3 \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังของกระแสลมได้แก่ ความหนาแน่นอากาศ พื้นที่ส่วนหมุนของกังหันลมและความเร็วลม โดยที่อิทธิพลของลมค่อนข้างส่งผลกระทบต่อกำลังลมเนื่องจากมีค่ายกกำลังสาม

2.6 กังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลมสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิด หลักๆ โดยอาศัยแกนหมุน ได้แก่ กังหันลมแกนตั้ง (vertical axis wind turbine) และกังหันลมแกนนอน (horizontal axis wind turbine) ในกรณีของกังหันลมแกนนอนสามารถจำแนกตามลักษณะการปะทะกับกระแสลมได้เป็น 2 ชนิด คือ กังหันต้นกระแสลม (upwind turbine) และกังหันปลายกระแสลม (downwind turbine) ส่วนในกรณีของกังหันลมแกนตั้งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักๆ ได้แก่ savonius darrieus และ giromill แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ชนิดของกังหันลม

2.7 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลมผลิตไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญๆ ดังนี้

1. ส่วนหยุดนิ่ง (stationary part) ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- หอคอย (tower)
 - ห้องเครื่อง (nacelle)
2. ส่วนหมุน (rotating part) ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้
- ใบกังหันลม (wind turbine blade)
 - ศูนย์กลางส่วนหมุน (hub)
- นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบตัวกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator)
- ระบบควบคุมการทำงาน (operating controller)
- เซนเซอร์ตรวจวัดอัตราเร็วและทิศทางของลมสำหรับควบคุมการทำงานของกังหันลม

2.8 ผลกระทบจากการติดตั้งกังหันลม

2.8.1 ผลกระทบทางเสียงเนื่องจากการติดตั้งกังหันลม

โดยปกติแล้วอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนไหวมักจะก่อให้เกิดเสียงดัง ในระดับที่เกิดการรบกวนได้ แม้แต่กังหันลมผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามผู้ผลิตกังหันลมมักจะออกแบบกังหันลมให้ทำงานอย่างเงียบเชียบเมื่อเปรียบเทียบกับเสียงดังจากการจราจรบนท้องถนน เสียงจากอากาศยานและกิจกรรมจากการก่อสร้าง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมดังกล่าวแล้วการทำงานของกังหันลมก่อให้เกิดเสียงดังน้อยกว่ามาก ซึ่งระดับความดังของเสียงจากแหล่งต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับความดังของเสียงเนื่องจากกิจกรรมและแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ

Source/Activity	Indicative noise level dB (A)
Threshold of hearing	0
Rural night-time background	20-40
Quiet bedroom	35
Wind farm at 350 m	35-45
Car at 40 mph at 100 m	55
Busy general office	60
Truck at 30 mph at 100 m	65
Pneumatic drill at 7 m	95
Jet aircraft at 250 m	105
Threshold of pain	140

ที่มา : The Scottish Office, Environment Department, Planning Advice Note, PAN 45, Annex A: Wind Power, A.27. Renewable Energy Technologies, August 1994

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า เสียงจากฟาร์มกังหันลมมีค่าน้อยกว่าเสียงจากการจราจรบนท้องถนน ถึงแม้ว่าอัตราเร็วของลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของระดับเสียงดังที่เกิดขึ้นเนื่องจากจะต้องทำการลดระดับของเสียงพื้น (background

sound) ออกก่อน เช่น เสียงเนื่องจากลมจะแสดงระดับของเสียงดังที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเร็วลมเพิ่มสูงขึ้น เสียงที่เกิดจากกังหันลมจะเกิดจาก 2 ส่วนคือ การที่ใบกังหันเคลื่อนที่ผ่านอากาศ และเสียงจากกล่องเกียร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใน nacelle โดยปกติระดับกำลังของเสียงจากกังหันลมหนึ่งตัว จะมีค่าอยู่ในช่วง 90-100 dB(A) ซึ่งจะทำให้ระดับความดันของเสียงมีค่าประมาณ 50-60 dB(A) ที่ระยะห่าง 40 m จากกังหันลม ณ ระยะห่างประมาณ 500 m ระดับความดันของเสียงจะมีค่าประมาณ 25-35 dB(A) ดังนั้นการวางแผนเกี่ยวกับโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมควรพิจารณาเกี่ยวกับเสียงดังที่จะเกิดขึ้น การประเมินผลกระทบทางเสียงสามารถทำได้โดยการทำนายเสียงดังที่เกิดขึ้นจากกังหันลมและเคลื่อนที่ผ่านบ้านเรือนที่อยู่ในพื้นที่ของโครงการ และทำการเปรียบเทียบกับเสียงจากพื้นหลัง (background) ในกรณีที่ไม่มีโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม นอกจากนี้เสียงดังจากกังหันลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามกังหันลมจะไม่ทำงานถ้าอัตราเร็วลมมีค่าน้อยกว่าอัตราเร็วลมเริ่มต้น (cut-in wind speed) ประมาณ 4-5 m/s ข้อมูลลมส่วนใหญ่มักจะบ่งชี้ว่าอัตราเร็วมีค่าต่ำกว่าอัตราเร็วลมเริ่มต้นประมาณ 30%

2.8.2 ผลกระทบจากเงาของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

จากการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น นอกจากจะเกิดผลกระทบทางด้านเสียงแล้ว สำหรับบางฤดูกาลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงหรือมีแสงแดดมากการเคลื่อนไหวของใบพัดจะทำให้เกิดเงาเงาที่เคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (shadow flicker) เหล่านี้จะก่อให้เกิดความรำคาญแก่ผู้พบเห็นได้ เงา คือ บริเวณมืดหลังวัตถุที่เกิดจากวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสงมาขวางกั้นทางเดินของแสง แบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1. เงามืด คือ เงาในบริเวณที่ไม่มีแสงผ่านไปถึงทำให้บริเวณนั้นมืดสนิท
2. เงามัว คือ เงาบริเวณที่มีแสงบางส่วนผ่านไปถึง และทำให้บริเวณนั้นมืดไม่สนิท

แสงจากดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงในธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานของสิ่งมีชีวิตบนโลก ในแง่ของการมองเห็น แสงอาทิตย์เป็นแสงที่ให้ค่าสเปกตรัมที่ต่อเนื่อง แสงอาทิตย์มีความแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค และแต่ละช่วงเวลา ทั้งในแง่ของแสง สี และความเข้ม การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดเงา

2.8.3 ผลกระทบต่อการมองเห็นเนื่องจากการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า

การมองเห็นของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นยังไม่ได้มีการประเมินผลออกมาอย่างชัดเจน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีความสูงมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ทำให้สามารถมองเห็นได้จากระยะไกล กังหันลมที่ติดตั้งอยู่ตามทุ่งหญ้า สร้างความสวยงาม สร้างจินตนาการ และความคิดต่างๆ ให้กับผู้พบเห็น กังหันลมสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อเทคโนโลยีการบินหรืออากาศยานได้

2.9 การพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในต่างประเทศ

ปัจจุบันมีการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลกันอย่างมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทวีปยุโรปบริเวณทะเลเหนือ สำหรับโครงการที่ได้ดำเนินการติดตั้งไปแล้วจนถึงล่าสุดมีข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2.2 นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาโครงการในประเทศสหรัฐอเมริกาชื่อ Cape Wind Farm (www.capewind.org)

สำหรับในทวีปยุโรป ในระหว่าง ปี ค.ศ.2010 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของยุโรป อยู่ที่ 9,918 MW และในปี ค.ศ.2009 อยู่ที่ 9,295 MW จากทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงการลดลงของพลังงานที่ผลิตได้ในปี ค.ศ.2010 ถึง ร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับ ปี ค.ศ.2009 ซึ่ง จากพลังงานทั้งหมด 9,295 MW มาจากโรงไฟฟ้ากังหันลมบนชายฝั่ง 8,412 MW และจากโรงไฟฟ้ากังหันลมนอกชายฝั่ง 883 ซึ่งหมายความว่าในปี ค.ศ.2010 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ากังหันลมบนชายฝั่งลดลงร้อยละ 13 เมื่อเทียบกับปี ค.ศ.2009 ในขณะที่ กำลังการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้ากังหันลมนอกชายฝั่งมีการขยายตัวร้อยละ 51 ซึ่งคิดเป็น ร้อยละ 9.5 ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น

การพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในเอเชียส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มประเทศมหาอำนาจทางด้านพลังงานลม ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น อินเดีย และเกาหลีใต้ โครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่นได้รับการพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2003 ซึ่งได้ดำเนินการติดตั้งกังหันลมขนาด 600 กิโลวัตต์ ระยะ 1 กิโลเมตร ห่างจากฝั่งเมืองฮอกไกโด

ตารางที่ 2.2 สถานรูปโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล

Country	Location	Distance to Shore (m)	Depth (m)	Turbine Power (MW)	Number of Turbine
UK	Beatrice	25	45	5	2
UK	Blyth	0.8	6-11	2	2
UK	Barrow-in-Fumess	7	21-23	3	30
UK	Burbo	6.4	1-8	3.6	25
UK	North Hoyle	6	10-20	2	30
UK	Scroby Sands	2.3	4-8	2	30
UK	Kentish Flats	8.5	5	3	30
Ireland	Arklow Bank	10	2-3	3.6	7
Netherlands	Q7-WP	23	20-24	2	60
Netherlands	Egmond Ann Zee	10	19-22	3	36
Netherlands	Lely	0.75	5-10	0.5	4
Netherlands	Irene Vornnk	0.02	5	0.6	28
Germany	Ems-Enden	0.04	3	4.5	1
Germany	Breitling	0.5	2	2.5	1
Denmark	Ny Sted	10	5-9.5	2.3	72
Denmark	Samsø	3.5	20	2.3	10
Denmark	Fredenkshavan	0.2	4	3 and 2.3	1 and 2
Denmark	Ronland	0.2	1	2.3 and 2	4 and 4
Denmark	Horns Rev	14-20	6-12	2	80
Denmark	Middel Grunden	3	3-6	2	20
Denmark	Vindeby	1.5	3-5	0.45	11
Denmark	Tuno Knob	6	3-5	0.5	10
Sweden	Yttre Stengrund	5	6-10	2	5
Sweden	Utgrunden	8	7-10	1.425	7
Sweden	Bockstigen	3	6	0.5	5

ที่มา :The feasibility study of the Thai-Gulf offshore wind farm at Phakphanang in Nakhon Si Thammarat, Solar and Wind Energy Research Laboratory (SWERL)

แผนการพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน มีกำลังการผลิตติดตั้ง 102 MW เพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบในปี ค.ศ. 2010 ก่อนงาน 2010 World Expo ปัจจุบันฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลดังกล่าวได้ดำเนินการติดตั้งเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว โดยกังหันลมผลิตไฟฟ้าจำนวน 34 ตัวๆ ละ 3 MW ติดตั้งใกล้สะพาน Dongbai เมืองเซี่ยงไฮ้ โดยมีระยะห่างจากฝั่งทะเล 6-7 กิโลเมตรและระดับน้ำทะเลลึก 8-10 เมตรกังหันลมมีระดับความสูง 90 เมตร โดยโครงการดังกล่าวเป็นของบริษัท Sinovel Co., Ltd. ซึ่งการก่อสร้างเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปลายปี ค.ศ. 2007 และเมื่อไม่นานมานี้ในปี 2011 ประเทศจีน เริ่มก่อสร้างในฟาร์มลมนอกชายฝั่งที่จะมีกำลังการผลิต 1,000 MW เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะเป็นฟาร์มกังหันลมที่ใหญ่ที่สุดในโลก ตั้งอยู่ในอ่าว Bohai ในทะเลเหนือ โรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนี้ในต่างประเทศคาดว่าจะสามารถผลิตพลังงานมากที่สุดเท่าที่ฟาร์มกังหันลมของโลกในปัจจุบันทำได้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ.2531 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้กำหนดแผนงานเชื่อมโยงระบบกังหันลมมาผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ในลักษณะของการใช้งานจริง และเพื่อศึกษาหาประสบการณ์ในการเชื่อมต่อเข้าระบบไปพร้อมๆ กัน โครงการดังกล่าวดำเนินไปด้วยดีตามแผนงาน โดยได้รับความร่วมมือจาก กฟภ. และสามารถพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในต่างประเทศ

การตรวจวัดกระแสลมในอดีตจะอยู่ภายใต้การดำเนินการของกรมอุตุนิยมวิทยา แต่เป็นการตรวจวัดเพื่อวัตถุประสงค์ทางอุตุนิยมวิทยาเท่านั้น ดังนั้นการวัดจึงกระทำที่ระดับ 10 เมตร โดยทำการตรวจวัดวันละ 8 ครั้ง ห่างกันช่วงละสามชั่วโมง แต่การวัดดังกล่าวไม่เที่ยงตรงมากนักสำหรับใช้ประเมินกระแสลมเพื่อพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานลม ซึ่งต้องอาศัยการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาด้วยอัตราเฉลี่ยทุกนาที สิบนาที และทุกหนึ่งชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตามการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมในประเทศไทยได้มีการศึกษากันอย่างเป็นทางการจำนวน 6 ครั้ง สรุปได้ดังนี้

- ปี พ.ศ. 2518 กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ใช้ความเร็วลมเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อแสดงศักยภาพพลังงานลมที่มีกำลังสูงและกำลังปานกลางทั่วประเทศไทย แต่ข้อมูลที่ได้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากจำนวนสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยามีจำนวนจำกัดไม่ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ของประเทศ
- ปี พ.ศ. 2524 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยร่วมมือกับ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในการจัดทำข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 53 สถานี ที่มีการเก็บบันทึกข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2509-2521 และปรับระดับความสูงให้เป็นความสูงมาตรฐานที่ 10 เมตร โดยอาศัยกฎของกำลัง (power law)
- ปี พ.ศ. 2527 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้รับทุนสนับสนุนจาก USAID ในการจัดทำข้อมูลความเร็วลมจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 62 สถานี ที่มีระยะเวลาเก็บข้อมูล 17 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2509-2525 และจัดทำแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมแสดงความเร็วและกำลังลมซึ่งปรับระดับโดยใช้กฎ

ลอการิทึม (logarithmic law) ที่ความสูง 10 เมตร รวมช่วงลมสงบและไม่รวมช่วงลมสงบ รวมทั้งตารางแสดงค่า K-Shape และ C-Scale ของสถานีตรวจวัดต่างๆ

- ปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน โดยกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยโดยอาศัยข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กองทัพอากาศ ศูนย์ศึกษาสมุทรศาสตร์ บริษัท Unocal (Thailand), Ltd. เนื่องจากในการศึกษาที่ผ่านมามีข้อจำกัดด้านปริมาณข้อมูลโดยเฉพาะข้อมูลในทะเล โดยเตรียมข้อมูลความเร็วลมพื้นผิวเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลความถี่ทิศทางความเร็วลม (wind rose) ในรูปของกราฟและสถิติ ซึ่งจากการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมของประเทศไทยทำให้ได้ แผนที่รายเดือนและเฉลี่ยทั้งปีของกำลังลมและอัตราเร็วลมรวมช่วงลมสงบและไม่รวมช่วงลมสงบ และฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์กำลังลม
- ในปี พ.ศ. 2544 ธนาคารโลกได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานลมในเขตพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และได้รายงานผลการศึกษาศักยภาพพลังงานลมที่ระดับความสูง 30 เมตร และที่ระดับความสูง 65 เมตร โดยพบว่าที่ระดับความสูง 65 เมตรลมมีอัตราเร็วสูงกว่า 6.4 เมตร/วินาที ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวได้รับอิทธิพลของลมมรสุม
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ทำการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ในจังหวัดสงขลาและพัทลุงโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้ทำการตรวจวัดอัตราเร็วและทิศทางของลมที่ระดับความสูง 10 เมตร 30 เมตร และ 40 เมตร และใช้โปรแกรม WASP 8.3 สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาว 1 ปี พบว่าบริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสสินธุ์ จ.สงขลา เป็นบริเวณที่มีศักยภาพของพลังงานลมสูงพอสำหรับการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยได้ทำการเสนอการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมแบบฟาร์มกังหันลมขนาด 5 MW

Brian Snyder และ Mark J. Kaiser. (2009) พลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา ในกรณีรูปแบบและโครงสร้างของการพัฒนา ซึ่งตั้งแต่ศตวรรษที่ 21 อุตสาหกรรมพลังงานลมบนชายฝั่งได้มีการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากต้นทุนที่ลดลงของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม และจากการเจริญเติบโตนี้ได้สอดคล้องกับความสนใจในการพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งในทวีปยุโรป รัฐบาลและนักลงทุนได้มีการก่อสร้างฟาร์มกังหันลมขนาดเล็กและขนาดกลุ่มนอกชายฝั่งเพื่อใช้ประโยชน์จากลมที่มีพลังงานมากและมีความคงที่ ในสหรัฐอเมริกา มีนักพัฒนาหลายคนได้มีการวางแผนและขั้นตอนการประเมินผลการพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่ง แต่ยังไม่มีการก่อสร้างฟาร์มกังหันลมที่อยู่ระหว่างการดำเนินการก่อสร้างในการวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์รูปแบบของการพัฒนาในยุโรปและเปรียบเทียบกับสหรัฐอเมริกา ซึ่งพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อทางด้านอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกา

K. C. Tong. (1998) ทำการศึกษาทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งแบบลอยตัว ซึ่งการออกแบบนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของพลังงานลม น้ำมัน และเทคโนโลยีก๊าซวัตถุประสงค์ของโครงการ FLOAT คือการพัฒนากระบวนกังหันลมแบบลอยน้ำให้เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมบนนอกชายฝั่ง ในระหว่างความลึก 100 และ 300 เมตร อีกทั้งด้านเทคนิคและ

เศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลบนพื้นฐานของแนวคิด FLOAT ปัญหาเกี่ยวกับกฎหมายสิ่งแวดล้อม การผลิต และการดำเนินงานติดตั้ง

Khadem Khan และ Hussain Muhtasham. (2006) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของแหล่งพลังงานลมโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของความเร็วลมที่มีการตรวจวัดทุกๆ 3 ชั่วโมง เวลา 10 ปี (1991-2000) ของประเทศบังคลาเทศและได้ทำการวิเคราะห์ความเร็วลมเฉลี่ยรวมทั้งทำการคำนวณความเร็วลมที่ระดับความสูง 30 เมตร 50 เมตร 65 เมตร 75 เมตร และ 90 เมตร โดยอาศัยกฎลอการิทึม (logarithmic law) และใช้โปรแกรม WASP สำหรับการประเมินพลังงานลมโดยพิจารณาอิทธิพลของสิ่งกีดขวาง ความขรุขระ และลักษณะทางภูมิประเทศ โดยผลการศึกษาได้ข้อสรุปว่าควรจะมีการตรวจวัดที่ระดับความสูง 50 เมตร ในพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงสำหรับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ โดยขนาดกังหันลมขนาดความสูง 30 เมตร หรือสูงกว่าจะมีความยั่งยืนมากกว่า โดยบริเวณทางใต้และทางตะวันออกของประเทศบังคลาเทศเป็นบริเวณที่มีศักยภาพของพลังงานลมสูงสำหรับการผลิตไฟฟ้า

Lixuan Hong และ Bernd Möller. (2011) ทำการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลประเทศจีนภายใต้ข้อจำกัดทางเทคนิคเชิงพื้นที่และเศรษฐศาสตร์ ซึ่งได้ทำการสำรวจแหล่งพลังงานลมนอกชายฝั่งในบริเวณเขตเศรษฐกิจพิเศษของประเทศจีน (EEZ) ด้วยความช่วยเหลือของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ซึ่งให้ข้อมูลเทคนิคเชิงพื้นที่และข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์กับทรัพยากรลมนอกชายฝั่ง เส้นโค้งอุปทานเชิงพื้นที่ และการกระจายเชิงพื้นที่ของข้อมูลการผลิต (LPC) มีการพัฒนาที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพที่มีอยู่ของพลังงานลมนอกชายฝั่งและยังสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบของการจำกัดพื้นที่ เป็นกรณีของข้อจำกัดเชิงพื้นที่เกี่ยวกับต้นทุนการผลิต พลังงานลมนอกชายฝั่งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้ยืนยันว่าศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของพลังงานลมนอกชายฝั่งอาจนำไปสู่พลังงานไฟฟ้า ร้อยละ 56 46 และ 42 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในปี ค.ศ.2010 ปี ค.ศ.2020 และปี ค.ศ.2030 ตามลำดับ

Michael J. Dvorak et al. (2010) ทำการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลแคลิฟอร์เนีย ได้รวบรวมผลการสร้างแบบจำลอง mesoscale หลายปี ตรวจสอบบริเวณนอกชายฝั่งทะเลโดยใช้พื้นที่ที่มีความละเอียดสูงเพื่อประเมินแหล่งพลังงานลมนอกชายฝั่งแคลิฟอร์เนีย การเลือกบริเวณฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลจะถูกจำกัดด้วยความลึกของน้ำซึ่งบริเวณที่ตื้นกว่าจะเป็นบริเวณที่ดีกว่า ความลึกที่ยอมรับได้สำหรับฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความลึก ≤ 20 เมตร สำหรับรากฐานแบบขาเดียว ≤ 50 สำหรับรากฐานแบบหลายขา และ ≤ 200 สำหรับรากฐานแบบลอยน้ำ ชายฝั่งแคลิฟอร์เนียถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน สำหรับการวิเคราะห์คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยความเร็วลมสำหรับแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของเดือนตามฤดูกาล

Murakami et al. (2003) ได้ทำการศึกษาพัฒนาระบบทำนายลมสำหรับเลือกพื้นที่ผลิตพลังงานที่เหมาะสม โดยเป้าหมายของการศึกษาคือการพัฒนาแบบจำลองทางด้านคณิตศาสตร์ บนพื้นฐานการคำนวณทางด้านวิศวกรรมลม เพื่อที่จะใช้ในการทำนายค่าที่อาจจะเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานในพื้นที่นั้นๆ โดยจุดมุ่งหมายของการพัฒนาคือระบบการทำนายพื้นที่ผลิตพลังงาน (Local area wind energy prediction system, LAWEPS) ซึ่งในการศึกษานั้นแบ่งการศึกษาได้เป็น 3 ส่วน เริ่มต้นจะใช้แบบจำลองลมและรวมกลุ่มข้อมูล ส่วนที่สองใช้แบบจำลองย่อยประมวลผล รวบรวมและหาค่า ส่วนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตและทดสอบจะใช้ในการคำนวณ ส่วนสุดท้ายของการศึกษาคือการทำนายสมรรถนะของระบบสำหรับทำนายพื้นที่ผลิตพลังงาน (laweps) โดยการทดสอบและ

ตรวจสอบจะพิจารณาเปรียบเทียบกับผลข้อมูลที่ได้จากการวัด และแบบจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) จะแสดงพฤติกรรมทางด้านภูมิอากาศในทางอุทุนิยมวิทยา เพื่อใช้พัฒนาขอบเขตของระบบการถ่ายพลังงานลมในพื้นที่ขนาดใหญ่และเล็ก

N. Barberis Negra et al. (2006) ทำการศึกษาการประเมินผลการสูญเสีย HVDC, HVAC การแก้ปัญหาการขนส่งพลังงานของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล วิเคราะห์การแก้ปัญหาทางด้านเทคนิค เช่น HVDC, HVAC, LCC และ VSC เป็นต้น อีกทั้งค่าความสูญเสียแต่ละเทคนิค การคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างฟาร์มกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้านอกชายฝั่งทะเล กับการจัดระยะห่างจากชายฝั่งทะเล

Oriol Gomis-Bellmunt et al. (2010) ทำการประเมินผลของพลังงานสูงสุดของความถี่พลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลเมื่อเชื่อมต่อกับตัวแปลงชนิดเดียว โดยวิธีการวิเคราะห์ความเร็วลมที่แตกต่างกัน และความถี่ของระบบไฟฟ้า จากกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวแปรความถี่ฟาร์มกังหันลม VF เมื่อนำไปเชื่อมต่อ กับตัวแปลงชนิดเดียวได้รับพลังงาน ร้อยละ 92 ของพลังงานรวมทั้งหมดในแผน PC ต้องการใช้ตัวแปลงหลายๆตัว ซึ่งบ่งบอกถึงข้อเสียในด้าน ค่าใช้จ่าย การบำรุงรักษาและแง่ความเชื่อถือ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความถี่ในรูปแบบ CF แสดงให้เห็นว่าพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าร้อยละ 20

Seguro J. V. และ Lamber T. W. (2000) ได้ทำการศึกษาหาค่าไวบูลล์พารามิเตอร์โดยการแจกแจงความถี่ของข้อมูลความเร็วลมสำหรับการวิเคราะห์พลังงานโดยใช้วิธีการศึกษา 3 วิธี คือวิธีการหาความน่าจะเป็นไปได้มากที่สุด วิธีการประยุกต์ใช้การหาความน่าจะเป็นไปได้มากที่สุดและวิธีการแสดงข้อมูลทางด้านกราฟแสดงผลเป็นรายชั่วโมง จากการทดสอบการหาค่าไวบูลล์พารามิเตอร์และการหาความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จาก 3 วิธีการดังกล่าวพบว่า เมื่อข้อมูลความเร็วลมมีช่วงข้อมูลที่ใช้ในการแจกแจงความถี่ที่มีช่วงน้อยกว่าพบว่าวิธีการหาความน่าจะเป็นไปได้ของข้อมูลมากที่สุดจะมีความแม่นยำมากกว่าวิธีการทางด้านกราฟ และถ้าหากไม่คำนึงถึงช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการแจกแจงความถี่พบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการหาความน่าจะเป็นไปได้มากที่สุดจะมีความแม่นยำมากกว่าการหาด้วยวิธีแสดงผลด้วยกราฟ จากผลการทดสอบดังกล่าววิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์พลังงานคือวิธีการหาความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด ส่วนวิธีแสดงผลทางด้านกราฟนั้นจะมีความแม่นยำน้อยกว่า ซึ่งตัวแปรจากภายนอกจะมีผลมากต่อความแม่นยำของข้อมูลเช่นช่วงของข้อมูลในการแจกแจงความถี่ ความถี่สะสมของข้อมูล ดังนั้นในการคำนวณหาพลังงานด้วยวิธีการทางคอมพิวเตอร์จะเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน เพราะสามารถแสดงผลได้หลายอย่างทั้งด้านข้อมูลแจกแจงและแสดงผลแบบกราฟ

Wang Zhixin et al. (2009) ทำการศึกษาด้านการณพัฒนาและเทคโนโลยีที่สำคัญของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งในต่างประเทศ การเพิ่มประสิทธิภาพนอกชายฝั่งทะเล ประเมินการกระจายตัวของฟาร์มกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีส่งผ่านกระแสไฟฟ้า ระบบปฏิบัติการของฟาร์มกังหันลม MES และฐานกังหันลม การศึกษาการดำเนินการที่สอดคล้องและวิธีการแก้ปัญหา สำหรับการวิจัย พัฒนา และการประยุกต์เทคโนโลยีฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล ทำให้สามารถทราบเทคนิคการออกแบบฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งให้มี

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 พื้นที่ศึกษาของโครงการ

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ที่ระดับความสูง 120 เมตร โดยดำเนินการติดตั้งสถานีวิจัยพลังงานลมในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครศรีธรรมราช ต.ท่าพญา อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ประเทศไทย โดยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลสถิติของลมครบรอบ 12 เดือน จากสถานีวิจัยพลังงานลมตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งตั้งตามแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทย โดยเป็นสถานีวิจัยพลังงานลมในจังหวัดนครศรีธรรมราช

3.2 ส่วนประกอบของสถานีวิจัยพลังงานลม

3.2.1 เสาหลักโครงสามเหลี่ยม

เสาสูงที่ใช้ในการติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราเร็วและทิศทางของลมเป็นเสาหลักโครงสามเหลี่ยม ระยะ 20 นิ้ว แบบ hot dipped galvanized พร้อมฐานราก ขนาด 20 นิ้ว สูง 80 เมตร มีสลิงยึดเพื่อความมั่นคงแข็งแรง 3 ด้าน ทำมุม 120 องศา การติดตั้งเซนเซอร์วัดอัตราเร็วและทิศทางของลม จะทำการติดตั้งที่ระดับความสูง 60 เมตร 70 เมตร และ 80 เมตร โดยมีแขนอะลูมิเนียมยื่นออกไปจากเสาหลักโครงสามเหลี่ยมเป็นระยะ 40 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 เสาหลักโครงสามเหลี่ยมแบบ hot dipped galvanized พร้อมฐานราก

3.2.2 เครื่องวัดอัตราเร็วและทิศทางของลม

ทำการวัดอัตราเร็วและทิศทางลม ทุกๆ 1 นาทีและบันทึกข้อมูลทุกๆ 10 นาที โดยใช้เครื่องวัดประกอบด้วย

เครื่องวัดอัตราเร็ว

เครื่องวัดอัตราเร็วชนิดสามลูกถ้วยรุ่น NRG #40C anemometer เป็นหัววัดที่นำมาใช้วัดอัตราความเร็วลม สร้างขึ้นจากวัสดุชนิด thermoplastic แบบ black

Acrylonitrile-Butadiene-Styrene เพื่อความคงทนต่อการใช้งานในสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลง ดังรายละเอียด

- สามารถวัดความเร็วลมได้ในช่วง 1-96 เมตรต่อวินาที
- ค่าความละเอียดในการวัดความเร็วลมคือ 0.1 เมตรต่อวินาทีในช่วงความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที – 25 เมตรต่อวินาที
- แสดงผลสัญญาณในรูปคลื่น Sine
- ช่วงความถี่ของคลื่นอยู่ในช่วง 0 เฮิรตซ์ - 125 เฮิรตซ์
- ฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงสัญญาณคือ $m/s = (Hz \times 0.765) + 0.35$ และ $miles\ per\ hour = (Hz \times 1.711) + 0.78$ starting threshold ไม่มากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน -55 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส
- มีความทนทานต่อสภาวะอากาศสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 2 – 6 ปี

เครื่องวัดทิศทางลม

เครื่องวัดทิศทางลมรุ่น SP200 เป็นหัววัดที่ นำมาใช้วัดทิศทางลม สร้างขึ้นจากวัสดุชนิด black UV stabilized static-dissipating plastic เพื่อความคงทนต่อการใช้งานในสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงดังรายละเอียด

- สามารถวัดทิศทางลมได้ 360 องศา
- แสดงผลสัญญาณแบบสัญญาณอนาล็อก
- การแปลงสัญญาณแสดงผลเป็นแบบ Radiometric voltage
- ค่าความแม่นยำในการวัดทิศทางลมมีความผิดพลาดมากที่สุดร้อยละ 1
- ใช้ Supply voltage ขนาด 1 โวลต์ -15 โวลต์
- starting threshold ขนาด 1 เมตรต่อวินาที
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน -55 องศาเซลเซียส ถึง 60 องศาเซลเซียส
- มีความทนทานต่อสภาวะอากาศสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 2 – 6 ปี

3.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

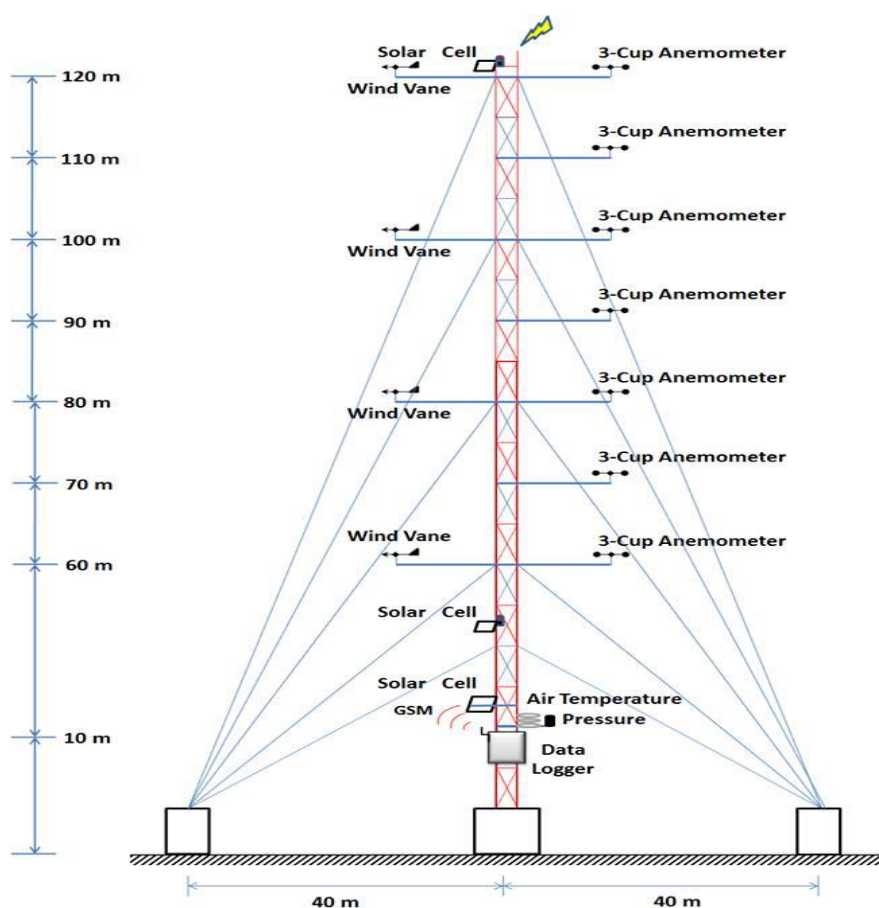
เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รุ่น NRG #110S temperature sensor เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นได้ในชุดเดียวกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40°C ถึง 52.5°C และสามารถวัดความชื้นได้ในช่วงร้อยละ 0-100 RH
- ค่าความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ
 - Offset is $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ maximum
 - Nonlinearity is $\pm 0.33^{\circ}\text{C}$ maximum
 - Total error $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ maximum
- ฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงสัญญาณคือ $\text{Temp} = (\text{Voltage} \times 55.55) - 86.38^{\circ}\text{C}$
- หัววัดประกอบอยู่ใน UV-stabilized thermoplastic พร้อม solar radiation shield
- มีความทนทานต่อสภาวะอากาศสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 10 ปี

3.2.4 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (atmosphere pressure sensor)

เครื่องวัดความดันบรรยากาศรุ่น BP20 barometric pressure sensor เป็นอุปกรณ์วัดความดันบรรยากาศ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- สามารถวัดความดันบรรยากาศในช่วง 15 กิโลพาสคาล ถึง 115 กิโลพาสคาล
- แสดงผลสัญญาณแบบ linear analog voltage
- ฟังก์ชันใช้ในการแปลงสัญญาณคือ absolute pressure in kPa = (voltage x 21.79) + 10.55
- ค่าความผิดพลาดสูงสุดในการวัดความดันบรรยากาศคือ +/- 1.5 kPa
- แสดงผลสัญญาณทุกๆ 15 ms
- ใช้ Supply voltage ขนาด 7 โวลต์ – 35 V
- ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 10 องศาเซลเซียส - 50 °C
- มีความทนทานต่อสภาวะอากาศสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 2 – 6 ปี



รูปที่ 3.2 การติดตั้งเครื่องมือวัด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของสถานีวิจัยพลังงานลม

3.2.5 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ (data acquisition system)

อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของความเร็วลม ทิศทางลม ความดันบรรยากาศตลอดจนอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลรุ่น NOMAD™ 2 WIND DATA LOGGER ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- มีจำนวนช่องสัญญาณขาเข้า แบบ Counter จำนวน 12 ช่อง
- มีจำนวนช่องสัญญาณขาเข้า แบบ Analog จำนวน 8 ช่อง
- ใช้ Supply voltage ขนาด 9 โวลต์ - 12 โวลต์
- มีช่องสำหรับต่อชุด Sensor แบบ RS232C 3 ประเภทคือ local port, remote port และ device port:
- แสดงผลสัญญาณแบบ Linear analog voltage
- บันทึกข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ความดันบรรยากาศ
- สามารถตั้งค่าช่วงเก็บข้อมูลได้ในช่วงตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 18 ชั่วโมง
- สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิไม่น้อยกว่า -40 องศาเซลเซียส - 85 องศาเซลเซียส
- ติดตั้งอยู่ภายในตู้ที่ป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ (weather proof) พร้อมฝาสำหรับเปิด-ปิด และชุดจ็อบยึดสำหรับติดตั้งกับเสา

3.2.6 ระบบไฟฟ้าสำรอง (back-up power system)

ระบบไฟฟ้าสำรองเป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้สำหรับในกรณีที่แบตเตอรี่ในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติหมด ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 9 วัตต์ และอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์

3.3 การเตรียมแผนที่เวกเตอร์โดยใช้ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ สำหรับโปรแกรม WAsP 11.0

3.3.1 การจัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูง

โครงการวิจัยนี้ได้จัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูงบริเวณเขตพื้นที่ของ ต.ท่าพญา อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช สำหรับเป็นข้อมูลอินพุตให้กับโปรแกรม WAsP 11.0 ซึ่งได้ดำเนินการจัดทำแผนที่เส้นชั้นความสูง เส้นละ 30 เมตร มาตราส่วน 1:50,000 โดยอาศัยแบบจำลองความสูงเชิงเลข (digital elevation model, DEM) ขนาด 3×3 km ซึ่งเป็นแผนที่ DEM ของกรมแผนที่ทหาร ชุด L7018 แผนที่เส้นชั้นความสูงขนาดดังกล่าวในรูปของแบบของไฟล์ดิจิทัลจะถูกนำไปรวม (combined) กับข้อมูลดัชนีความขรุขระโดยอาศัยโปรแกรม WAsP Utility 3.0 จะได้แผนที่เวกเตอร์ (vector map) ซึ่งเป็นข้อมูลอินพุตให้กับโปรแกรม WAsP 11.0 สำหรับการสร้างแผนที่ภูมิอากาศของลมในระดับท้องถิ่น (regional wind climate) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมสำหรับการพัฒนาฟาร์มกังหันลมผลิตไฟฟ้าในรูปแบบของ SPP

3.3.2 การจัดทำแผนที่ลักษณะภูมิประเทศแบบ 3 มิติ

สำหรับการจัดทำแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบ 3 มิติ รอบสถานีวิจัยพลังงานลมขนาด 15 กิโลเมตรได้ใช้ข้อมูลแผนที่เชิงเลข มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 โดยอาศัยค่าแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ของกรมแผนที่ทหารแล้วทำการสร้างแผนที่ความสูงต่ำของพื้นที่โดยอาศัยโปรแกรม MicroDEM ในพื้นที่กันชนรอบๆสถานีวิจัยพลังงานลมขนาด 15 km เพื่อแสดงลักษณะสูงต่ำของภูมิประเทศ

3.3.3 การจัดทำแผนที่ขรุขระ

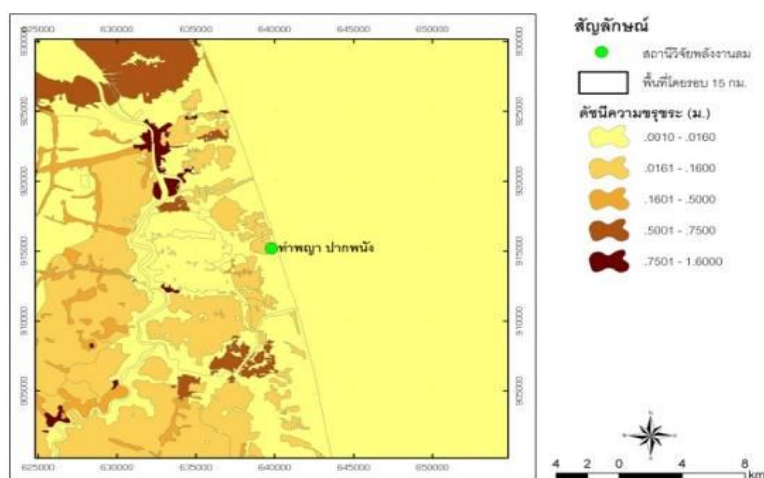
โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการจัดทำแผนที่ดัชนีความขรุขระ ของพื้นที่รอบๆ สถานีวิจัยพลังงานลม ขนาด 15 km โดยอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งแปลผลมาจากภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 ขนาดความแยกชัด 10 m โดยใช้โปรแกรม Erdas Imagine 8.7 และมีตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 ของพื้นที่ศึกษาของโครงการซึ่งเป็นสีปกติ แสดงดังรูปที่ 3.3 และสีธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 3.4 และแผนที่ดัชนีความขรุขระของสถานีวิจัยพลังงานลมแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 สีปกติ



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT5 สีธรรมชาติ



รูปที่ 3.5 แผนที่ดัชนีความขรุขระ สถานีวิจัยพลังงานลมปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช

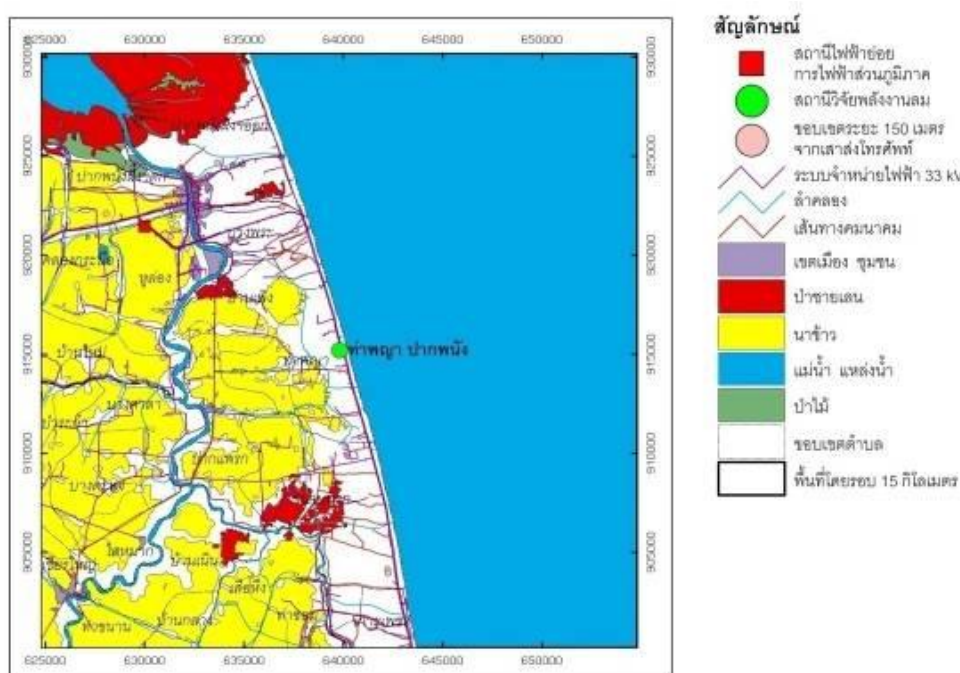
3.3.4 แผนที่ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ที่ดิน

นอกจากนี้ยังได้จัดทำแผนที่ข้อจำกัด (constraint) การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกพื้นที่สำหรับการพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมต่อไป โดยอาศัยข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์จำนวนชั้นข้อมูล 17 ชั้นข้อมูล เพื่อจัดทำแผนที่ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ที่ดินดังต่อไปนี้

- ชั้นข้อมูลที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งสนามบิน
- ชั้นข้อมูลที่ 2 ตำแหน่งสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- ชั้นข้อมูลที่ 3 ตำแหน่งสถานีไฟฟ้าย่อย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

- ชั้นข้อมูลที่ 4 ตำแหน่งสถานีวิจัยพลังงานลม
- ชั้นข้อมูลที่ 5 ขอบเขตระยะ 150 เมตร จากตำแหน่งเสาสัญญาณโทรศัพท์
- ชั้นข้อมูลที่ 6 ขอบเขตระยะ 3 กิโลเมตร จากตำแหน่งสนามบิน
- ชั้นข้อมูลที่ 7 ระบบจำหน่าย 33 กิโลโวลต์
- ชั้นข้อมูลที่ 8 แนวลำคลอง
- ชั้นข้อมูลที่ 9 เส้นทางคมนาคม
- ชั้นข้อมูลที่ 10 เขตเมืองและชุมชน
- ชั้นข้อมูลที่ 11 ป่าชายเลน
- ชั้นข้อมูลที่ 12 พื้นที่นาข้าว
- ชั้นข้อมูลที่ 13 สวนปาล์มน้ำมัน
- ชั้นข้อมูลที่ 14 สวนยางพารา
- ชั้นข้อมูลที่ 15 แม่น้ำ/แหล่งน้ำ
- ชั้นข้อมูลที่ 16 พื้นที่ป่าไม้
- ชั้นข้อมูลที่ 17 ขอบเขตการปกครอง

แผนที่ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับบริเวณโดยรอบขนาด 15 km จากสถานีวิจัยพลังงานลมทั้ง 18 สถานีแสดงดังภาพที่ 3.6 ซึ่งในการพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลหลายๆ ส่วนประกอบกัน ได้แก่ ศักยภาพของพลังงานลมและความเหมาะสมของพื้นที่ในการติดตั้งกังหันลมสำหรับการผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปลักษณะทางกายภาพของบริเวณโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมควรเป็นพื้นที่โล่ง ไม่มีแนวบังลม และควรเป็นพื้นที่ที่มีความสูงชันไม่มาก นอกจากนี้ควรเป็นพื้นที่ที่มีระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานรองรับได้แก่ถนนและระบบจำหน่าย 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การจัดทำแผนที่ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการเลือกพื้นที่สำหรับการพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมต่อไป



รูปที่ 3.6 แผนที่ข้อจำกัดการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณโดยรอบสถานีวิจัยพลังงานลมปากพนัง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลลมสถิติ

3.4.1 จัดเตรียมข้อมูลลมสถิติราย 10 นาทีของปี พ.ศ. 2555 ณ ความสูง 50 80 100 และ 120 m

3.4.2 วิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงเฉือนลมเฉลี่ยรายเดือน

3.4.3 ทำการประมาณค่าอัตราเร็วเฉลี่ยนอกช่วงไปที่ระดับความสูง 120 เมตร

3.4.4 วิเคราะห์การแจกแจงไวส์บูลล์ของลมสถิติบริเวณ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช

3.5 การสร้างแผนที่แหล่งพลังงานลม

- สร้างแผนที่แหล่งลมครอบคลุมพื้นที่นอกชายฝั่งทะเลบริเวณ ต.ท่าพญา อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช โดยใช้โปรแกรม WAsP 11.0 ในการวิเคราะห์นั้นต้องใช้ข้อมูลอินพุทของอัตราเร็วและทิศทางของลมระยะยาว (OWC) เพื่อสร้างแผนที่ลม (wind atlas) โดยการนำเข้าข้อมูลแผนที่เวกเตอร์ ซึ่งเป็นผลการรวมแผนที่เส้นชั้นความสูง (contour map) เข้ากับแผนที่ดัชนีความขรุขระ (roughness index map) โดยใช้โปรแกรม WAsP utility 3.0 หลังจากนั้นจึงทำการอินพุทข้อมูลพิกัดสถานที่ติดตั้งกังหันลมสำหรับการผลิตไฟฟ้า แล้วทำการเลือกเส้นโค้งกำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ในงานนี้วิจัยเลือกกังหันลมทั้งหมด 3 รุ่น ซึ่งมีกำลังการผลิตขนาด 1.5 2.0 และ 3.0 MW และทำการสร้างกริด (resource grid) เพื่อการคำนวณ Resource grid จะช่วยให้เราจัดการเกี่ยวกับการกำหนดโดเมนสำหรับการคำนวณภูมิอากาศของลม โดยมีจุดอยู่ในตำแหน่งของแถวและสดมภ์สำหรับการระบุตำแหน่งและระยะห่างระหว่างจุด จุดแต่ละจุดจะแทนตำแหน่งของกังหันลม โดยมีระดับความสูงเหนือพื้นดิน (Above Ground Level, A.G.L) ที่เท่ากัน หลังจากระบุตำแหน่งของกังหันลมเข้าไปในกริดแล้วโปรแกรม WasP 9.0 จะทำการคำนวณข้อมูลดังต่อไปนี้
 - ความสูง (Elevation)
 - อัตราเร็วลมเฉลี่ย (mean wind speed)
 - ความหนาแน่นเฉลี่ย (mean power density)
 - พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (Annual Energy Production)
- นำเข้าแผนที่แหล่งลม (wind resource mapping) เหนือบริเวณ ต.ท่าพญา อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ในโปรแกรม GH WindFarmer 4.1 เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้

ในการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมนั้นได้พิจารณาพารามิเตอร์ 2 ตัว ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (Annual Energy Production: AEP) และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยอาศัยค่า Capacity Factor: C.F.

- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (Annual Energy Production) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม GH WindFarmer 4.1 ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยค่ากำลังการผลิตติดตั้ง (rated capacity) ของกังหันลม โดยในโครงการวิจัยนี้ได้อาศัยกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ที่มีกำลังการผลิตขนาด 1.5 2.0 และ 3.0 MW สำหรับการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี

- ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่า Capacity Factor ค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมพิจารณาจากสมการที่ 3.1

$$(C.F.) = AEP / (8,760 \times \text{rated capacity of Wind Turbine Generator}) \quad (3.1)$$

ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานลมในกรณีที่ยังไม่มี การติดตั้งกังหันลมได้

3.7 การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมด้วยโปรแกรม WAsP 11.0

ในการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป WAsP: The Wind Atlas Analysis and Application Program สำหรับการทำนายภูมิอากาศลมจะอาศัยพื้นฐานของ ข้อมูลลมที่วัดจากสถานีวิจัยพลังงานลมจากแต่ละสถานี ซึ่ง WAsP เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการประมาณค่านอกช่วงของข้อมูลทางสถิติของภูมิอากาศของลมทั้งในแนวนอนและในแนวตั้ง โดยในตัวโปรแกรมประกอบไปด้วยแบบจำลองทางกายภาพ (physical models) สำหรับการอธิบายพฤติกรรมการไหลของลมเหนือภูมิประเทศที่มีลักษณะแตกต่างกันโดยมีระเบียบวิธีแสดงดังภาพที่ 3.15 การวิเคราะห์ข้อมูลลมเป็นการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series) ของการตรวจวัดลมเพื่อแสดงข้อมูลทางสถิติของข้อมูลลมที่ได้จากการตรวจวัด ณ สถานีนั้นๆ โดยผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของภูมิอากาศลม (Observed Wind Climate, OWC) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะแสดงการกระจายทิศทางของลมในรูปของผังลม (Wind Rose) และการกระจายตัวของลมในแต่ละส่วน (sector-wise wind speed distribution)

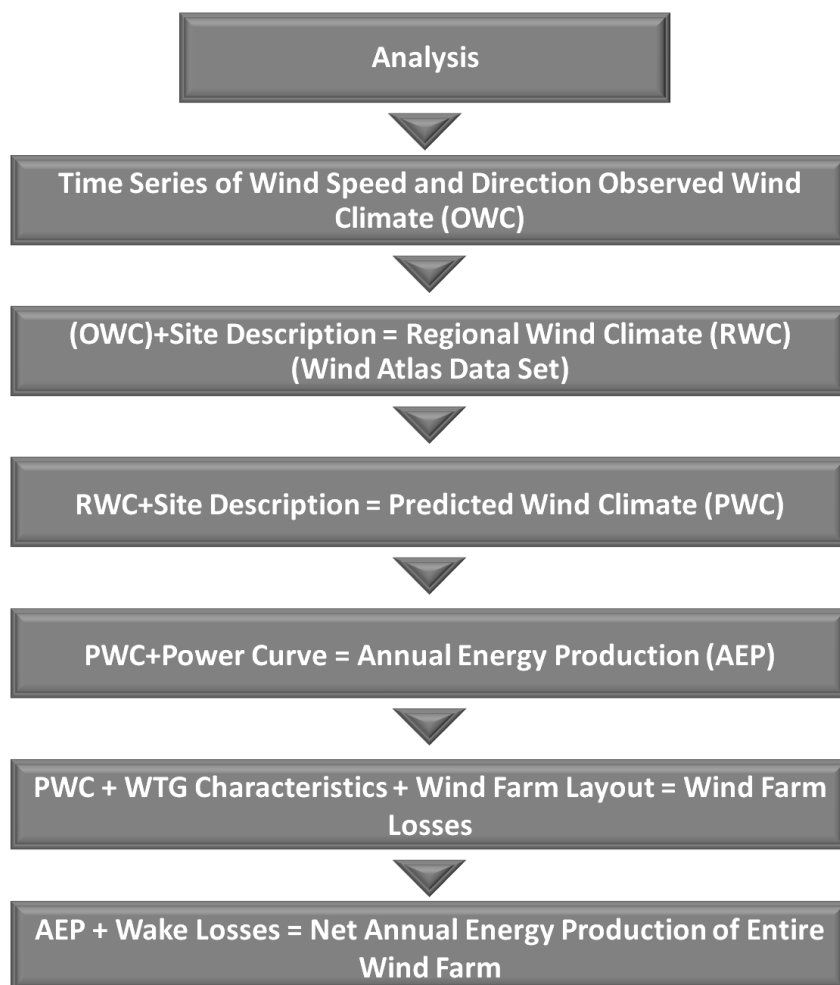
3.7.1 การวิเคราะห์ (analysis)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป WAsP 11.0 จำเป็นต้องพัฒนาพื้นที่ทำงาน (workspace) ในโปรแกรมซึ่งมีแนวคิดของการทำงานเป็นแบบลำดับขั้น (hierarchy process) โดยในการวิเคราะห์นั้นต้องใช้ข้อมูลอินพุตของอัตราเร็วและทิศทางของลมระยะยาว (OWC) เพื่อสร้างแผนที่ลม (wind atlas) โดยนำเข้าข้อมูลแผนที่เวกเตอร์ (vector map) ซึ่งเป็นผลการรวมแผนที่เส้นชั้นความสูง (contour map) เข้ากับแผนที่ดัชนีความขรุขระ (roughness index map) โดยใช้โปรแกรม WAsP Utility 3.0 หลังจากนั้นจึงทำการอินพุตข้อมูลพิกัดสถานีตรวจวัดลม เพื่อแสดงตำแหน่งสถานีวิจัยพลังงานลม (met station) ต่อจากนั้นเป็นการอินพุตพิกัดของสถานที่ติดตั้งกังหันลมสำหรับการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกกังหันลมขนาดกำลังการผลิต 1.5 MW 2.0 MW และ 3.0 MW และทำการสร้างกริด (resource grid) เพื่อการคำนวณ

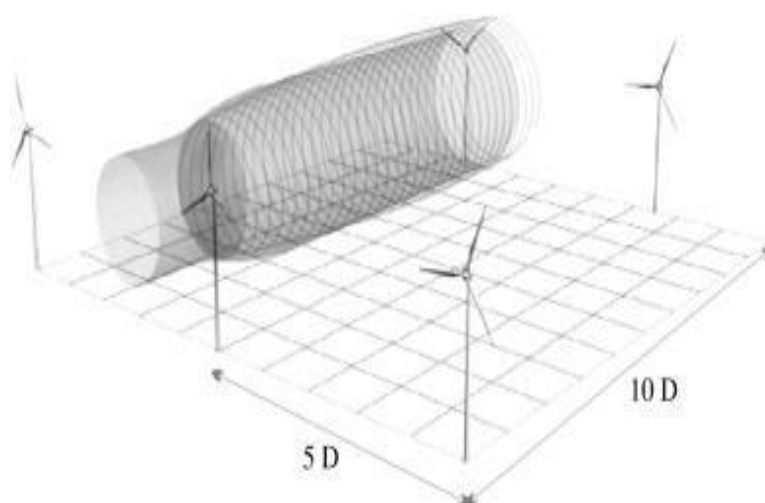
3.7.2 การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Estimation of Wind Power)

ในการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมได้อาศัยการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากฟาร์มกังหันลม โดยในการพิจารณาการวางตำแหน่งของฟาร์มกังหันลมได้ใช้หลักเกณฑ์การวางตำแหน่ง

7DX10D, 7DX12D, 10DX10D. 10DX12D และ 12DX12D ซึ่งมีรายละเอียดการวางกังหันลม ตัวอย่างเป็นลักษณะแบบฟาร์มกังหันลมแสดงดังรูปที่ 3.8

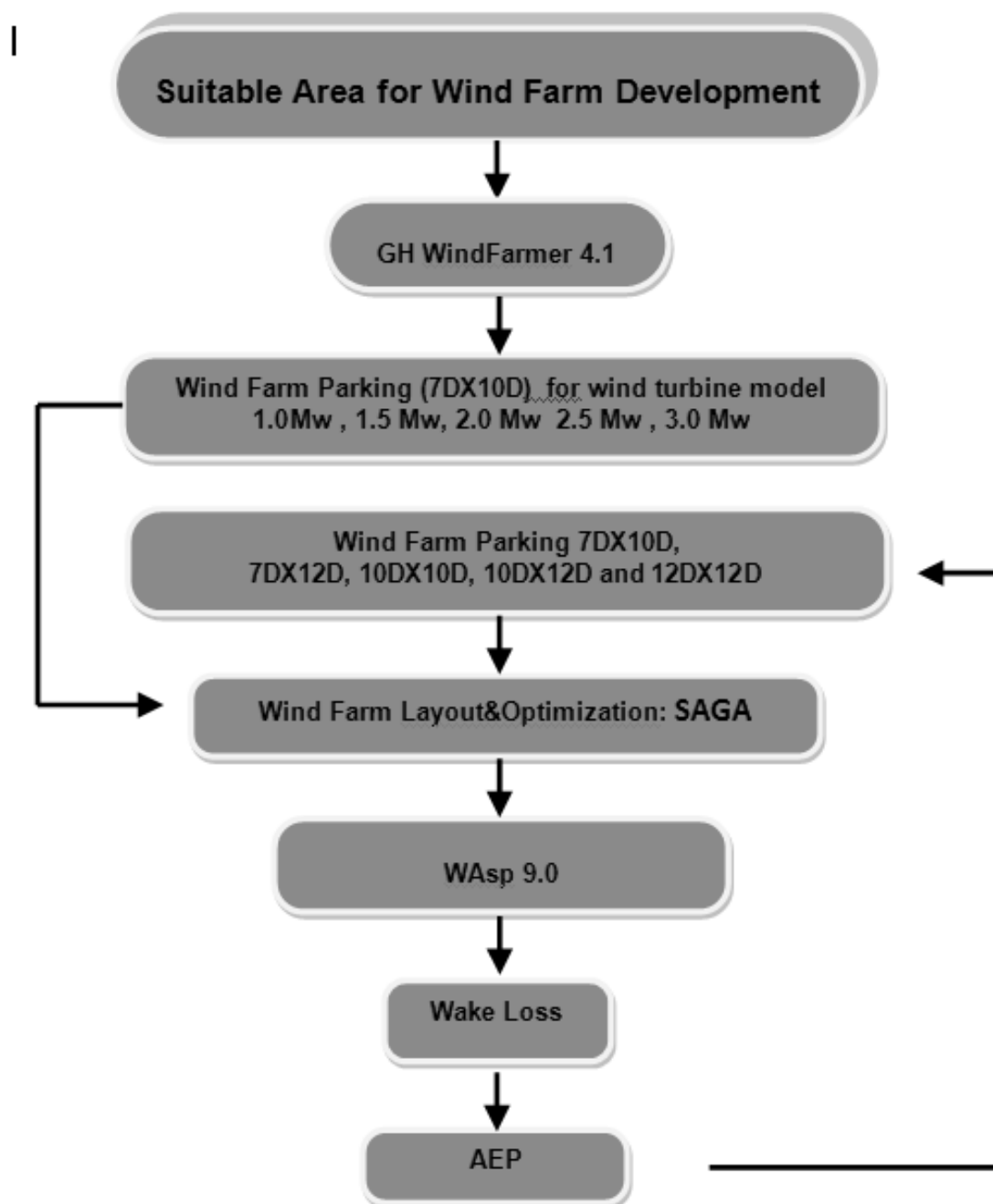


รูปที่ 3.7 ระเบียบวิธีในการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม



รูปที่ 3.8 หลักเกณฑ์การวางตำแหน่งกังหันลมในฟาร์มกังหันลม

ซึ่งในการดำเนินขั้นตอนการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้านั้น มีลำดับขั้นตอนแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยโดยโปรแกรมWasP 11.0

3.8 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่เสียงเท่า (Iso-noise map)

ทำการวิเคราะห์และสร้างแผนที่เสียงเท่า (Iso-noise map) ด้วยโปรแกรม GH WindFarmer 4.1

3.9 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่โซนที่ได้รับอิทธิพลการมองเห็นของฟาร์มกังหันลม

วิเคราะห์และสร้างแผนที่โซนที่ได้รับอิทธิพลการมองเห็น (Zone of Visual Influence) ของฟาร์มกังหันลมด้วยโปรแกรม GH WindFarmer 4.1

3.10 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่การเคลื่อนไหวของเงา (Shadow flicker)

วิเคราะห์และสร้างแผนที่การเคลื่อนไหวของเงา (Shadow flicker) ด้วยโปรแกรม GH WindFarmer 4.1

3.11 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis)

3.11.1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Cost of Energy: CoE)

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมได้พิจารณาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/กิโลวัตต์) ซึ่งผลการคำนวณนี้จะใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาบริเวณหรือสถานที่สำหรับการพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมในบริเวณพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทยต่อไป โดยต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยสามารถพิจารณาได้จากต้นทุนมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมตลอดอายุของโครงการ ซึ่งมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$PVC = I + C_{omr} \left[\frac{1+i}{r-i} \right] \times \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^t \right] - S \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^t \quad (3.2)$$

เมื่อ

PVC	คือ	ต้นทุนมูลค่าปัจจุบัน (present value cost)
I	คือ	ต้นทุนเงินลงทุน (initial cost)
C_{omr}	คือ	ต้นทุนการบำรุงรักษาและทดแทนอุปกรณ์ที่เสื่อมสภาพ (operating, maintenance)
i	คือ	อัตราเงินเฟ้อ (inflation rate)
r	คือ	อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง (real interest rate)

ดังนั้นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยจึงคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$CoE = \frac{PVC \text{ (Baht)}}{AEP \times 20 \text{ (kWh)}} \text{ (Baht/kWh)} \quad (3.3)$$

3.11.2 ดัชนีทางการเงินของโครงการ

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value; NPV)
- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (benefit cost ratio; BCR)
- อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return; IRR)

- ระยะเวลาคืนทุน (payback period; PBP)

มีเงื่อนไขในการพิจารณาดัชนีทางการเงินของโครงการ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ดังต่อไปนี้

- เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็ก (SPP)
- เป็นโครงการที่จัดทำกลไกการพัฒนาที่สะอาด (clean development mechanism; CDM)

ในการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยนั้นได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุน (cost analysis) ดังต่อไปนี้

- ที่ดิน โดยอาศัยข้อมูลบัญชีกำหนดราคาประเมินทุนทรัพย์รอบบัญชี พ.ศ. 2551-2554
- กังหันลมและการติดตั้ง
- การบำรุงรักษา
- อุปกรณ์ทดแทน
- การเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 33 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระยะทางของสายจำหน่ายในกรณีของการขยายเขตได้จากการประมาณโดยอาศัยข้อมูล GIS ของ กฟภ.
- ค่าดำเนินการในการจัดทำกลไกการพัฒนาที่สะอาด

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 อัตราเร็วลมและทิศทางลม

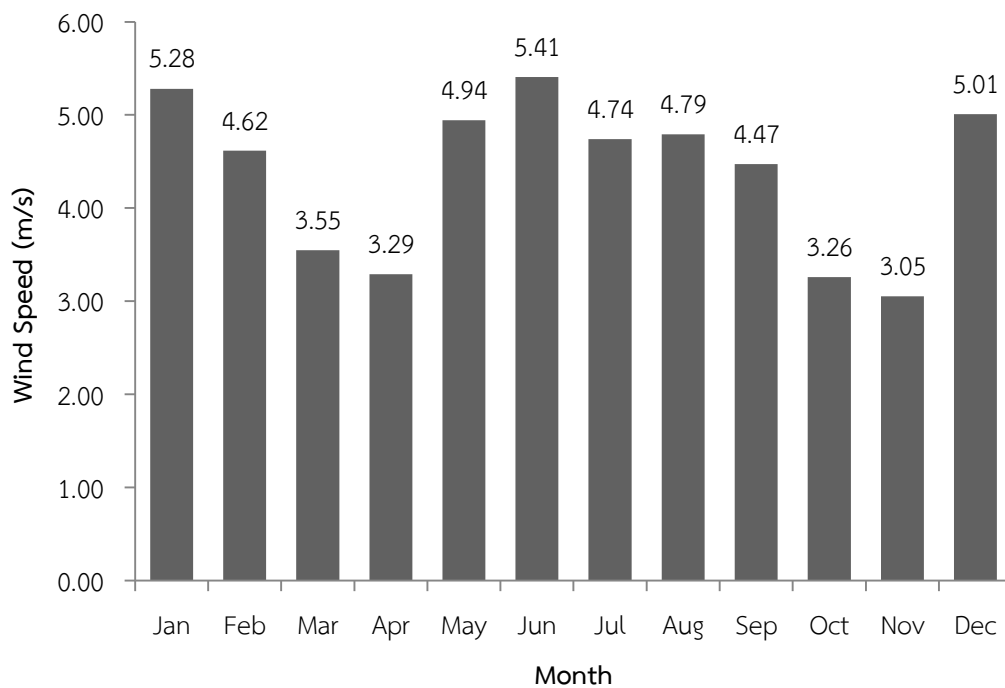
อัตราเร็วลมที่ทุกระดับความสูงจะมีค่าสูงใน 2 ช่วงของปี คือช่วงเดือน ธันวาคม-มกราคม และ ช่วงระหว่างเดือน พฤษภาคม-กรกฎาคม ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 – 4.5 โดยพบว่า อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 50 m 80m 100 m และ 120 m มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 4.87 5.09 และ 5.10 m/s ตามลำดับ ซึ่งที่ความสูงมากขึ้นอัตราเร็วลมเฉลี่ยก็มีค่ามากขึ้น เป็นไปตามกฎการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมเมื่อความสูงเปลี่ยนแปลง

สำหรับทิศทางของลมพบว่าส่วนมากลมจะเคลื่อนที่ในทิศทาง ตะวันออกเฉียงเหนือ และ ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นทิศทางตามทิศของลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย และมีบางส่วนที่มีทิศทางจากทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ซึ่งเป็นทิศของลมบก ลมทะเล ดังแสดงทิศทางของลมที่ความสูง 120 m ในรูปที่ 4.6

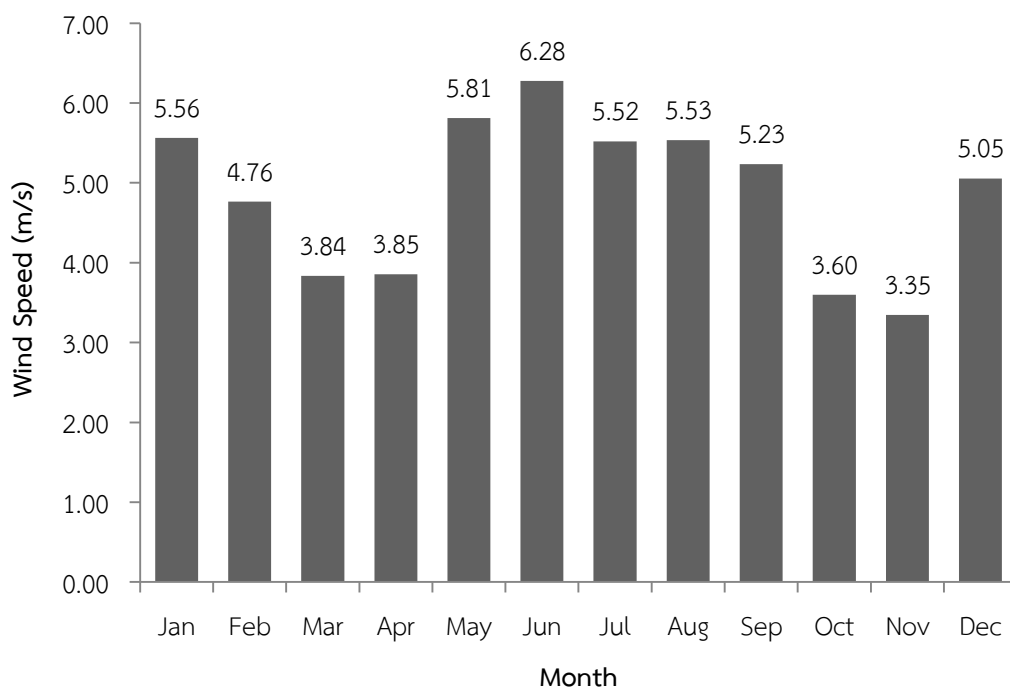
ตารางที่ 4.1 อัตราเร็วลมรายเดือนที่ความสูงต่างๆ (ตรวจวัด)

Month	Monthly Wind Speed (m/s)			
	50m	80m	100 m	120 m
January	5.28	5.56	5.64	5.59
February	4.62	4.76	4.96	4.7
March	3.55	3.84	3.99	3.75
April	3.29	3.85	4.04	3.9
May	4.94	5.81	6.28	6.48
June	5.41	6.28	6.71	6.97
July	4.74	5.52	5.87	6.07
August	4.79	5.53	5.91	6.09
September	4.47	5.23	5.66	5.86
October	3.26	3.6	3.7	3.56
November	3.05	3.35	3.37	3.22
December	5.01	5.05	4.98	4.97
Average	4.37	4.87	5.09	5.10

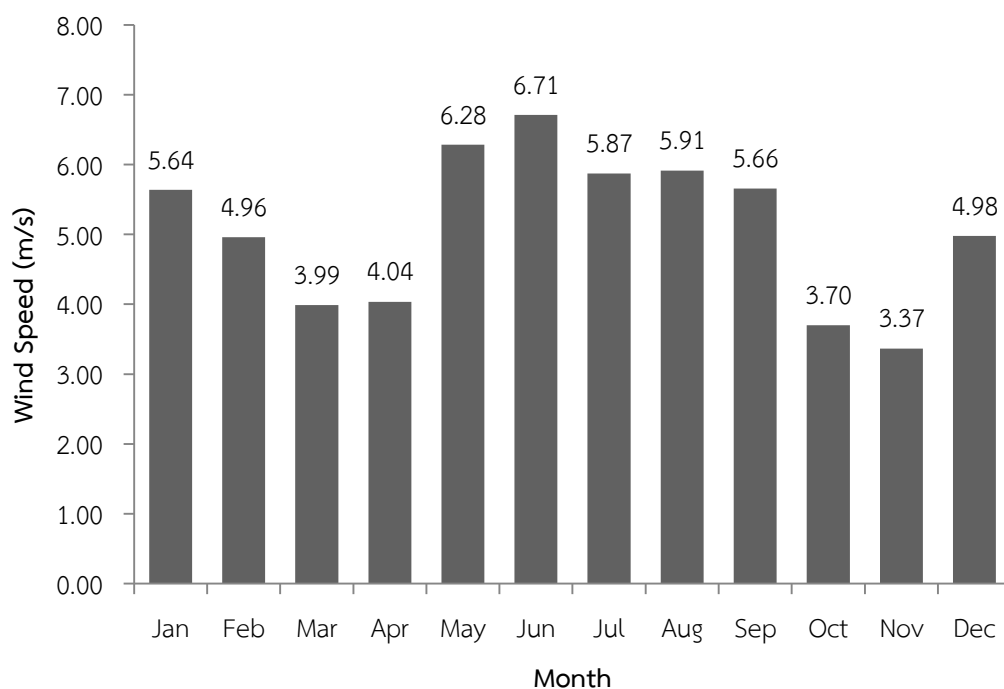
หมายเหตุ; ข้อมูลเฉลี่ยจากการวัดทุกๆ 1 วินาที



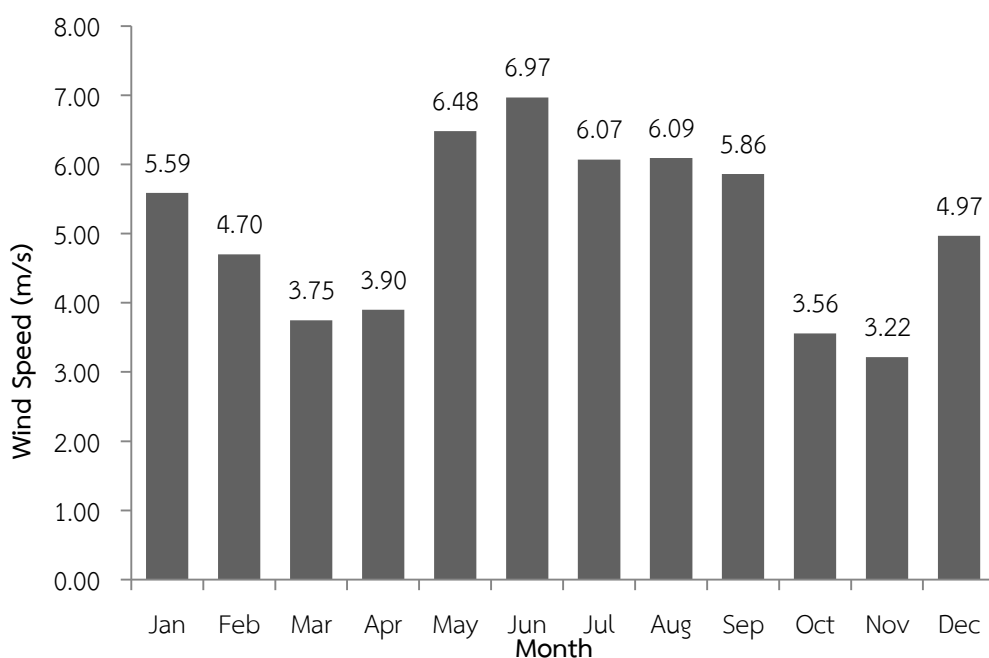
รูปที่ 4.1 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 50 เมตร



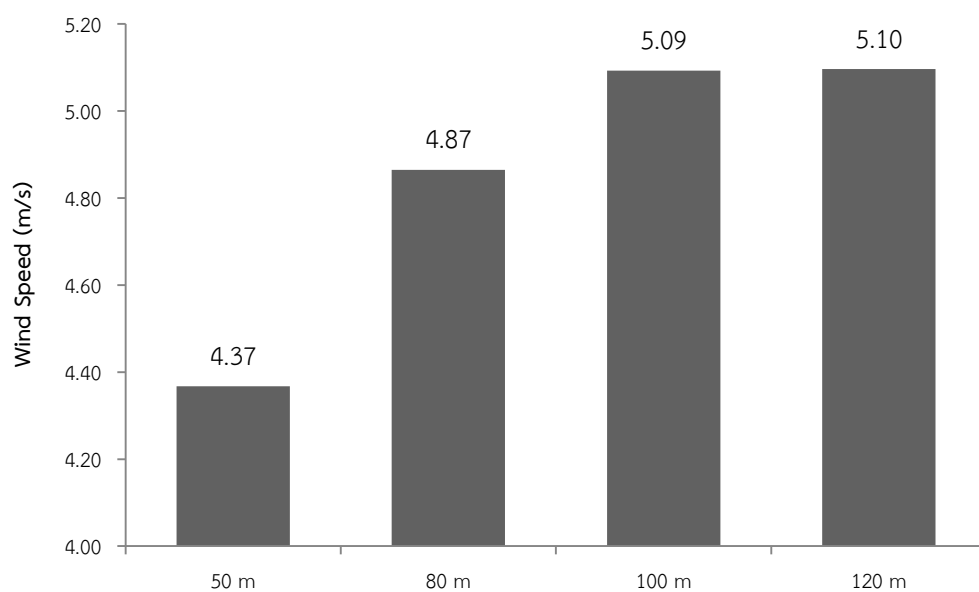
รูปที่ 4.2 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 80 เมตร



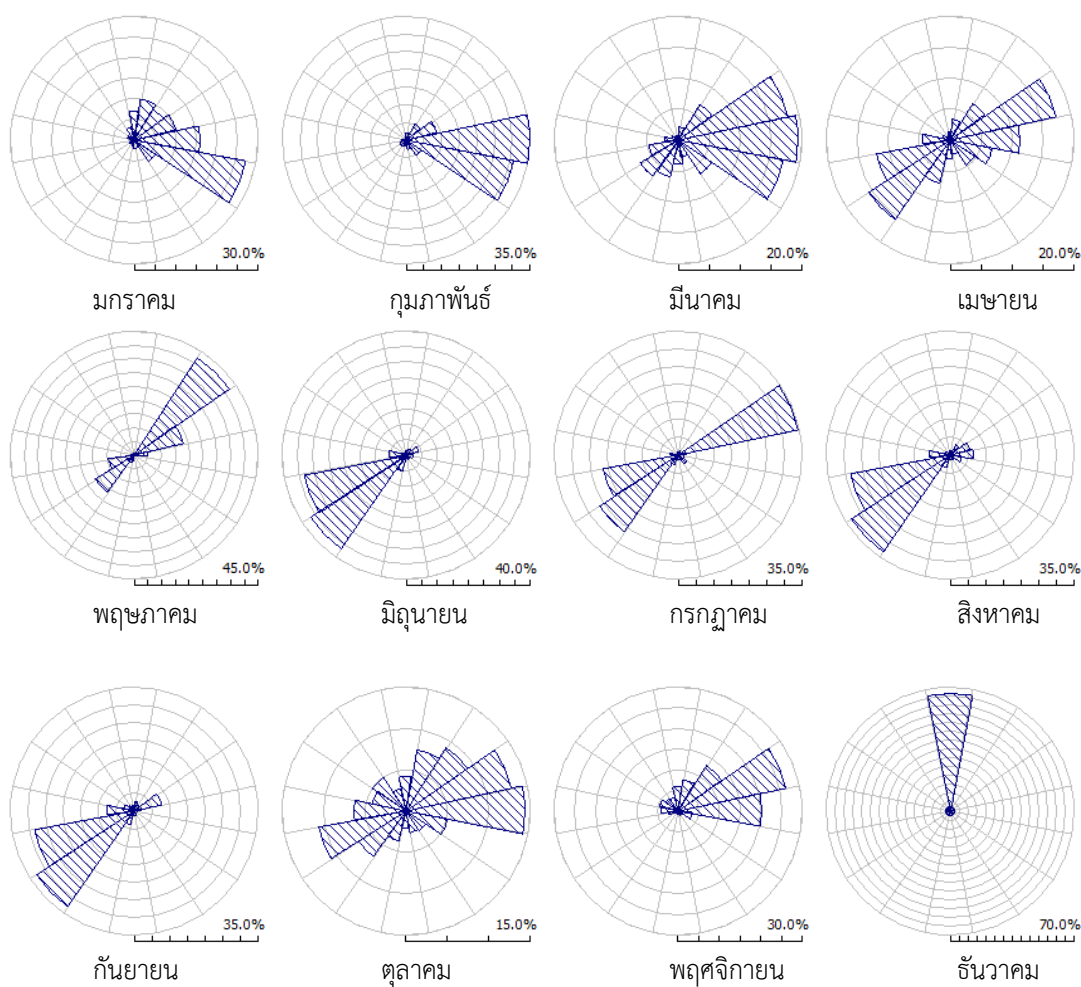
รูปที่ 4.3 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 100 เมตร



รูปที่ 4.4 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 120 เมตร



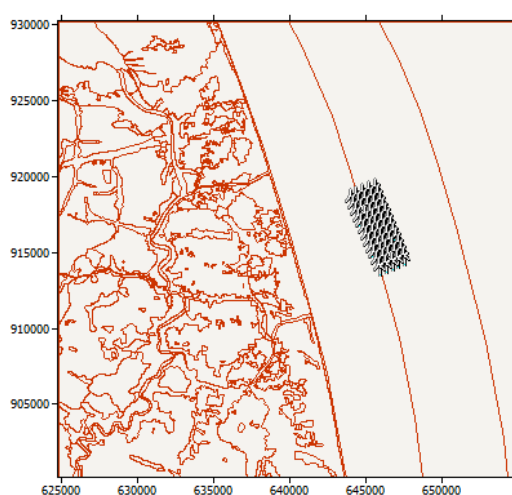
รูปที่ 4.5 อัตราเร็วลมเฉลี่ยปีในระดับความสูงต่าง



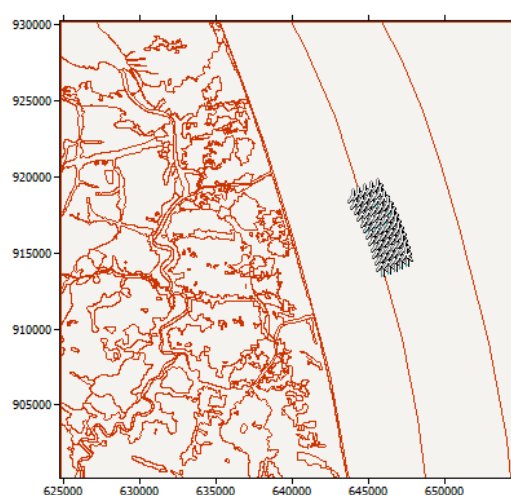
รูปที่ 4.6 ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 120 m

4.2 การติดตั้งฟาร์มกังหันลมขนาด 90 MW

จากการพัฒนาโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมที่ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิต 90 MW บนพื้นที่นอกชายฝั่ง บริเวณอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งห่างจากชายฝั่งทะเลออกไปในช่วงระยะ 5 ถึง 15 กิโลเมตร โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WAsP 11.0 และ GH WindFarmer 4.1 โดยเลือกกังหันลมรุ่น Vestas V63 ขนาดกำลังการผลิต 1,500 kW , Vestas V80 (Offshore) ขนาดกำลังการผลิต 2,000 kW และ Vestas V90 ขนาดกำลังการผลิต 3,000 kW ทำการจัดเรียงฟาร์มกังหันลมในรูปแบบ 7Dx7D , 7Dx10D และ 7Dx12D ตามลำดับซึ่งในการจัดเรียง จะทำการจัดเรียงทั้งแบบแนวเส้นตรง และแบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.15 โดยพิกัดตำแหน่งของการติดตั้งกังหันลมทั้ง 2 รูปแบบแสดงในภาคผนวก

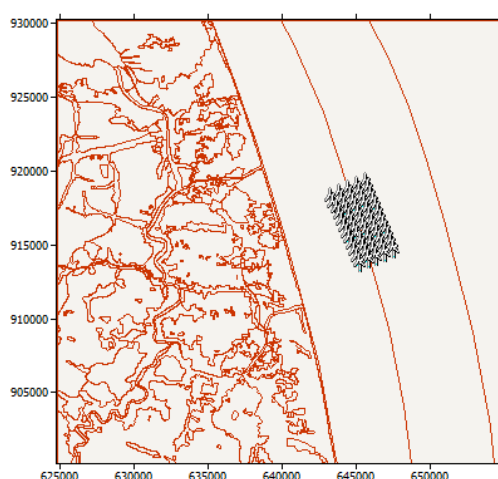


แบบแนวเส้นตรง

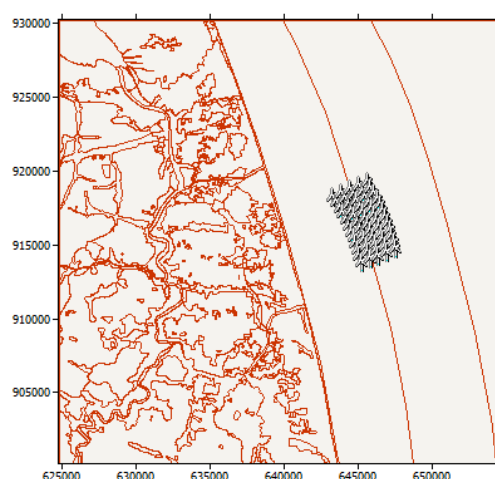


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.7 ฟาร์มกังหันลมของลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx7D

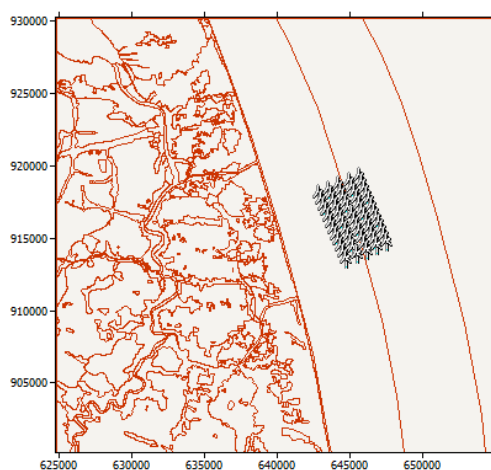


แบบแนวเส้นตรง

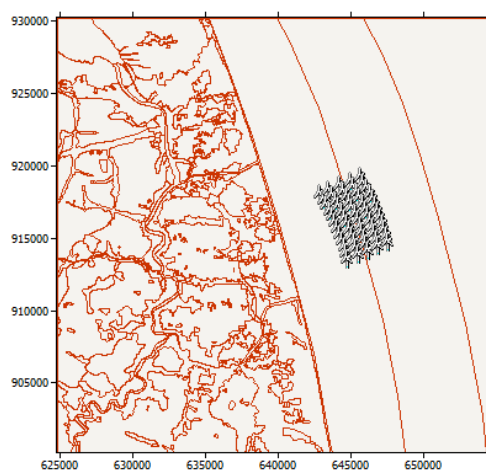


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.8 ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx10D

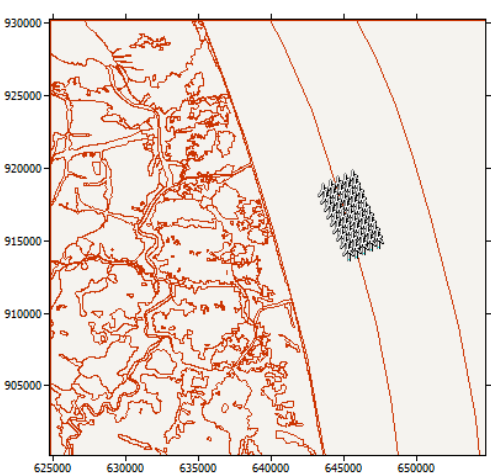


แบบแนวเส้นตรง

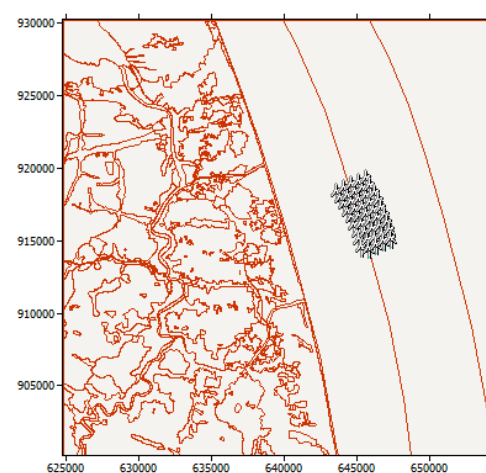


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.9 ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx12D

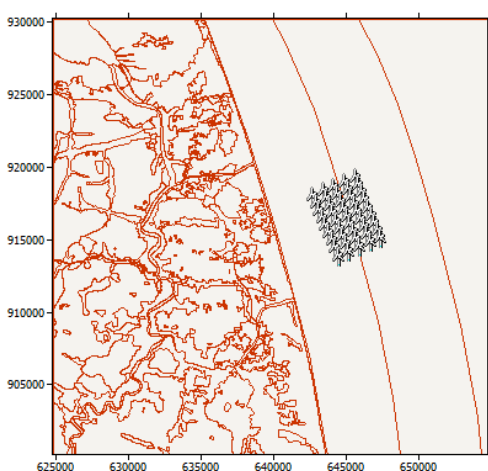


แบบแนวเส้นตรง

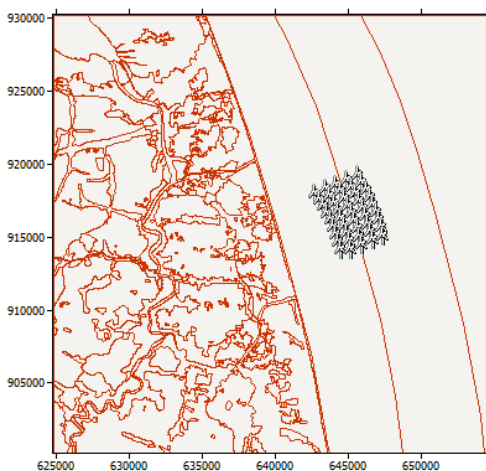


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.10 ฟาร์มกังหันของลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx7D

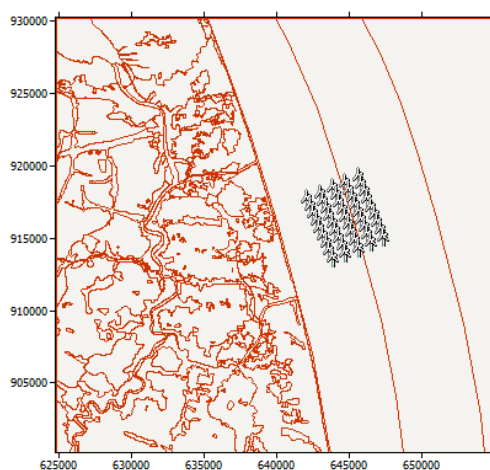


แบบแนวเส้นตรง

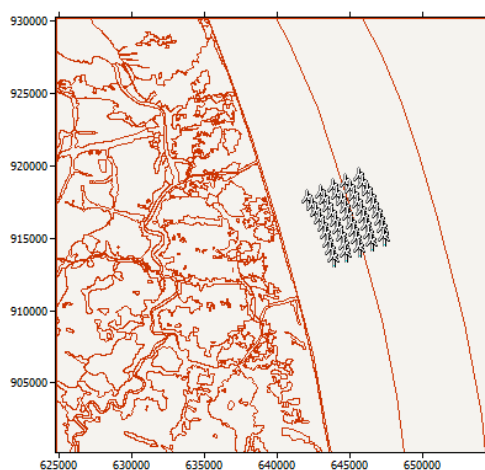


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.11 ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx10D

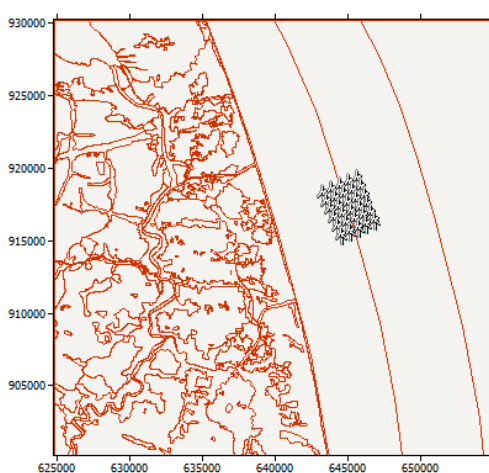


แบบแนวเส้นตรง

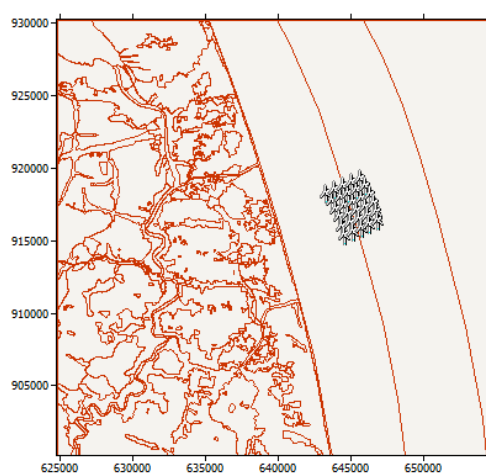


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.12 ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx12D

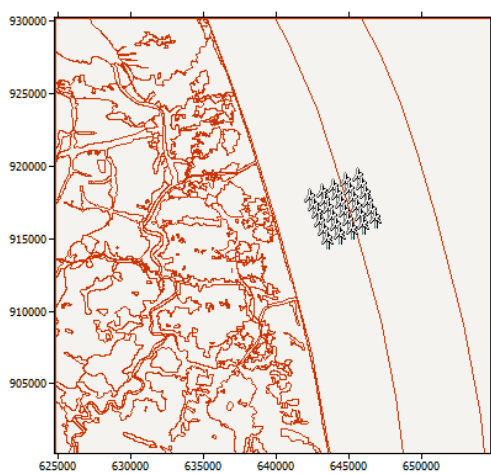


แบบแนวเส้นตรง

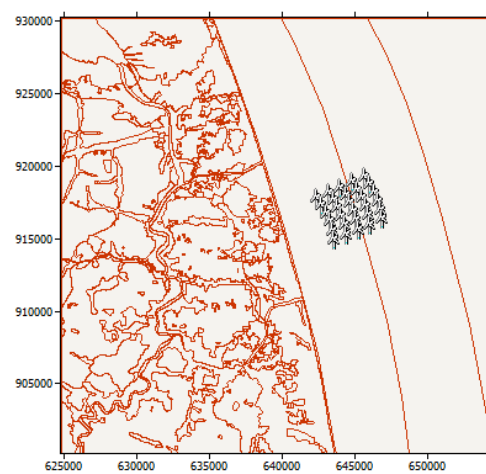


แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.13 ฟาร์มกังหันลมของกังหันลมรุ่น Vestas V90 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx7D

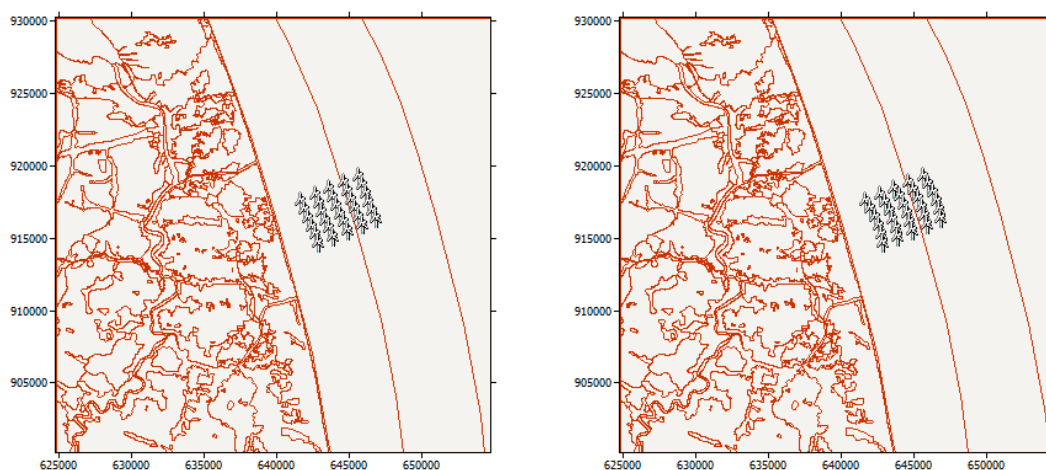


แบบแนวเส้นตรง



แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.14 ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V90 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx10D



แบบแนวเส้นตรง

แบบโค้งรับขนานกับชายฝั่ง

รูปที่ 4.15 ฟาร์มกังหันลมกังหันลมรุ่น Vestas V90 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การจัดวางแบบ 7Dx12D

4.3 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี

ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีในกรณีของการติดตั้งกังหันลมขนาด 90 MW พบว่าการจัดเรียงแบบ Matrix และแบบ Curve ให้ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อทำการจัดวางกังหันลมให้ระยะห่างระหว่างแถวมากขึ้นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการบังลมของกังหันแต่ละตัวน้อยลง (การสูญเสียเนื่องจากความปั่นป่วนน้อยลง) และกังหันลมรุ่น Vestas V80 ได้ค่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.16

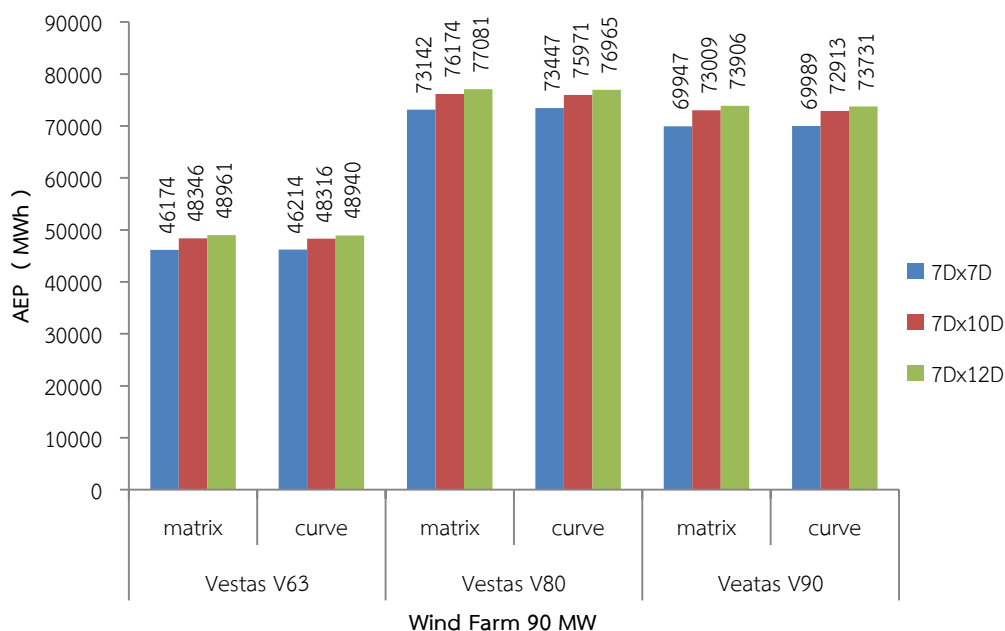
ตารางที่ 4.2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิจากฟาร์มกังหันลม AEP

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีสุทธิ (AEP, MWh/Y)						
ระยะ การจัด วาง	Vestas V63		Vestas V80		Vestas V90	
	แบบแนว เส้นตรง (Matrix)	แบบโค้งรับ ขนาน กับชายฝั่ง (Curve)	แบบแนว เส้นตรง (Matrix)	แบบโค้งรับ ขนาน กับชายฝั่ง (Curve)	แบบแนว เส้นตรง (Matrix)	แบบโค้งรับ ขนาน กับชายฝั่ง (Curve)
7Dx7D	46,174	46,214	73,142	73,447	69,947	69,989
7Dx10D	48,346	48,316	76,174	75,971	73,009	72,913
7Dx12D	48,961	48,940	77,081	76,965	73,906	73,731

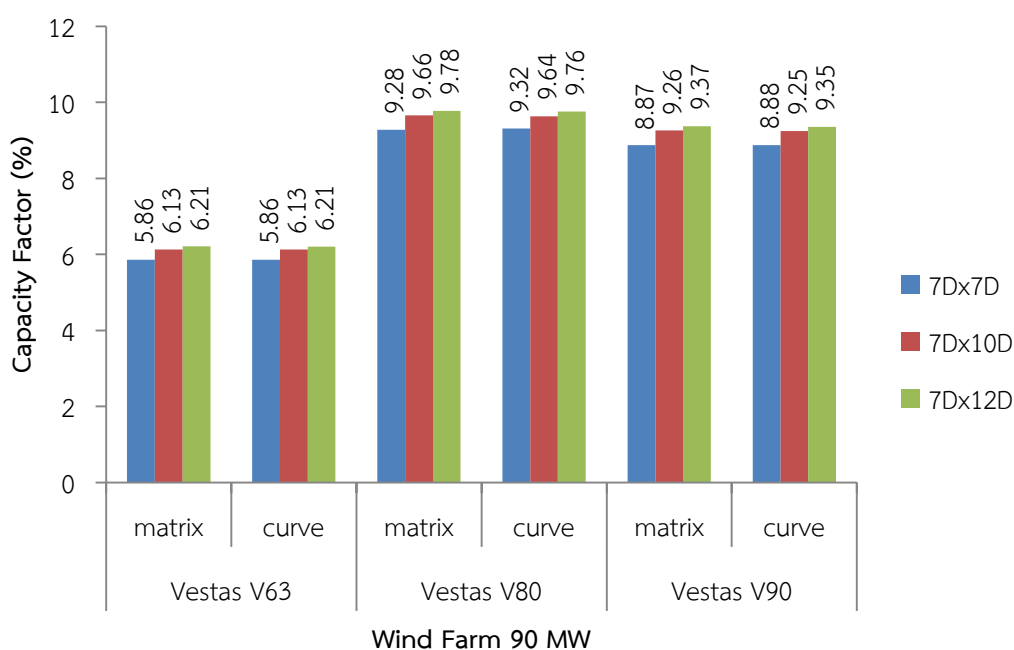
4.4 ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม

ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมพิจารณาจาก C.F. ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายปีที่ผลิตได้สุทธิของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ทั้งปี โดยที่โรงไฟฟ้าพลังงานลมที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีค่าประสิทธิภาพสูงและสามารถป้อนไฟฟ้าที่

ผลิตได้จากพลังงานลมเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มากกว่าและจะส่งผลต่อการวิเคราะห์โครงการหรือดัชนีทางด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งจะได้อภิปรายอย่างละเอียดในหัวข้อต่อไป ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า C.F. ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม ที่ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้ากำลังการผลิตติดตั้ง 90 MW โดยใช้การจัดวางแบบ 7Dx7D , 7Dx10D และ 7Dx12D มีค่าอยู่ในช่วง 5.86-9.78% ดังแสดงรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม ที่ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 90 MW



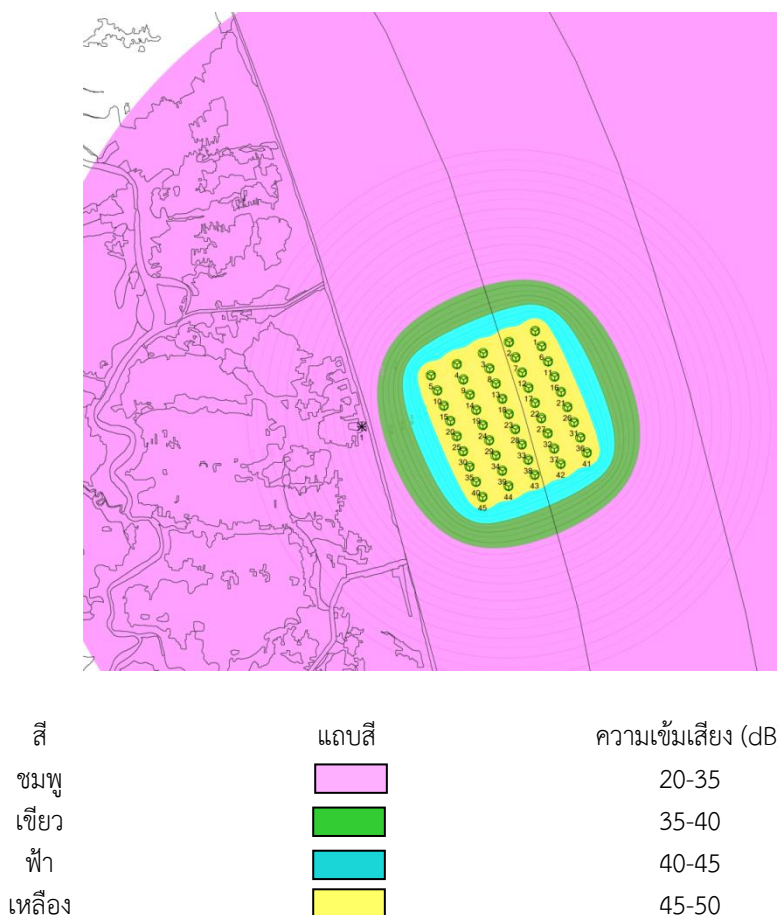
รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 90 MW

4.5 ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งฟาร์มกังหันลม

จากการหารูปแบบของฟาร์มกังหันลมที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งฟาร์มกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดกำลังผลิตขนาด 90 MW (หัวข้อที่ 4.4) สรุปได้ว่า กังหันลมรุ่น Vestas V80 (offshore) ขนาดกำลังผลิต 2,000 kW มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุดและการจัดวางรูปแบบของฟาร์มกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าที่ดีที่สุดคือ การจัดวางแบบ 7Dx12D ในแนวตรง ซึ่งจะต้องทำการติดตั้งกังหันลม รุ่น Vestas V80 (offshore) จำนวน 45 ตัว บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอปากน้ำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ขนาดกำลังผลิต 90 MW นั้น จำเป็นต้องมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (IEE) ก่อนทุกโครงการ โดยโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมส่วนใหญ่จะมีประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อม คือ เรื่องมลพิษทางเสียง (noise emission) และผลกระทบทางสายตา (visual impact) และผลกระทบต่อภูมิสถาปัตยกรรม (landscape) ในพื้นที่ของโครงการ ซึ่งจากการทำการวิเคราะห์และสร้างแผนที่เสียงเท่า (iso-noise map) ด้วยโปรแกรม GH WindFarmer 4.1

4.5.1 ผลกระทบด้านเสียง

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบทางเสียงพบว่า เสียงที่เกิดจากการติดตั้งกังหันลมทั้ง 45 ตัว มีความความเข้มเสียงอยู่ในช่วง 20-50 เดซิเบล โดยพื้นที่ที่ห่างจากกังหันลมจะมีความเข้มเสียงน้อยลง ส่วนบริเวณใดที่อยู่ใกล้กับกังหันลมก็จะมีเสียงมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.18

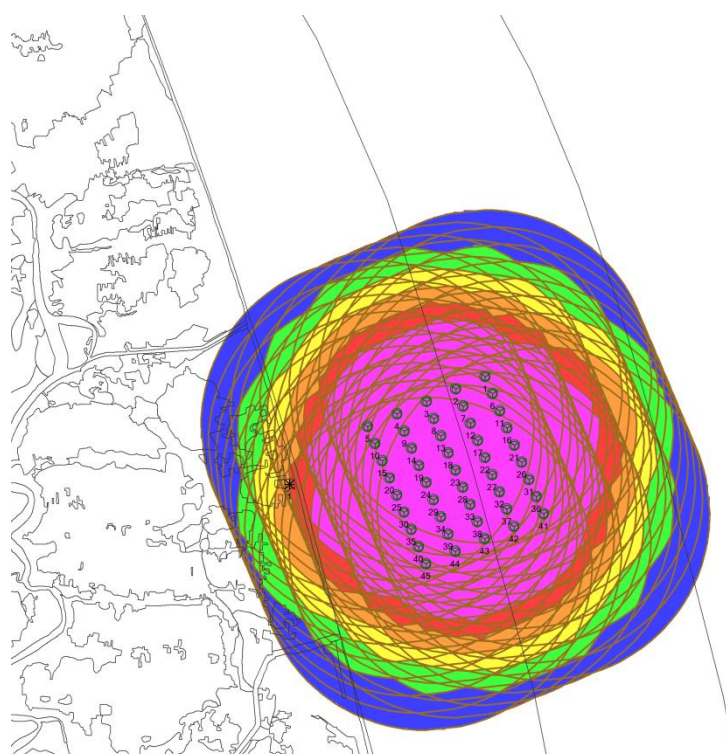


รูปที่ 4.18 แผนที่เสียงเท่าของฟาร์มกังหันลม

4.5.2 ผลกระทบด้านการมองเห็น

ผลการวิเคราะห์และสร้างแผนที่โซนที่ได้รับอิทธิพลด้านการมองเห็น (zone of visual influence) ของฟาร์มกังหันลม เป็นการวิเคราะห์การมองเห็นกังหันลมบริเวณโดยรอบ 5 km จากจุดศูนย์กลางของฟาร์มกังหันลม ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์แผนที่โซนที่ได้รับอิทธิพล (zone of visual influence) คือ กรณี การมองเห็นจำนวนกังหันลม (number of hub visible)

ผลการวิเคราะห์จะเป็นจำนวนกังหันลมที่สามารถมองเห็นได้ตามจุดต่างๆ ที่ได้ติดตั้งกังหันลม ซึ่งผล แสดงดังรูปที่ 4.19 โดยสีขาว แสดงว่าไม่มองเห็นกังหันลม สีน้ำเงิน มองเห็นกังหันลมจำนวน 1-5 ตัว และสีเขียว สีเหลือง สีส้ม สีแดง สีม่วง มองเห็นกังหันลมจำนวน 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 ตัว และ 26-45 ตัว ตามลำดับ



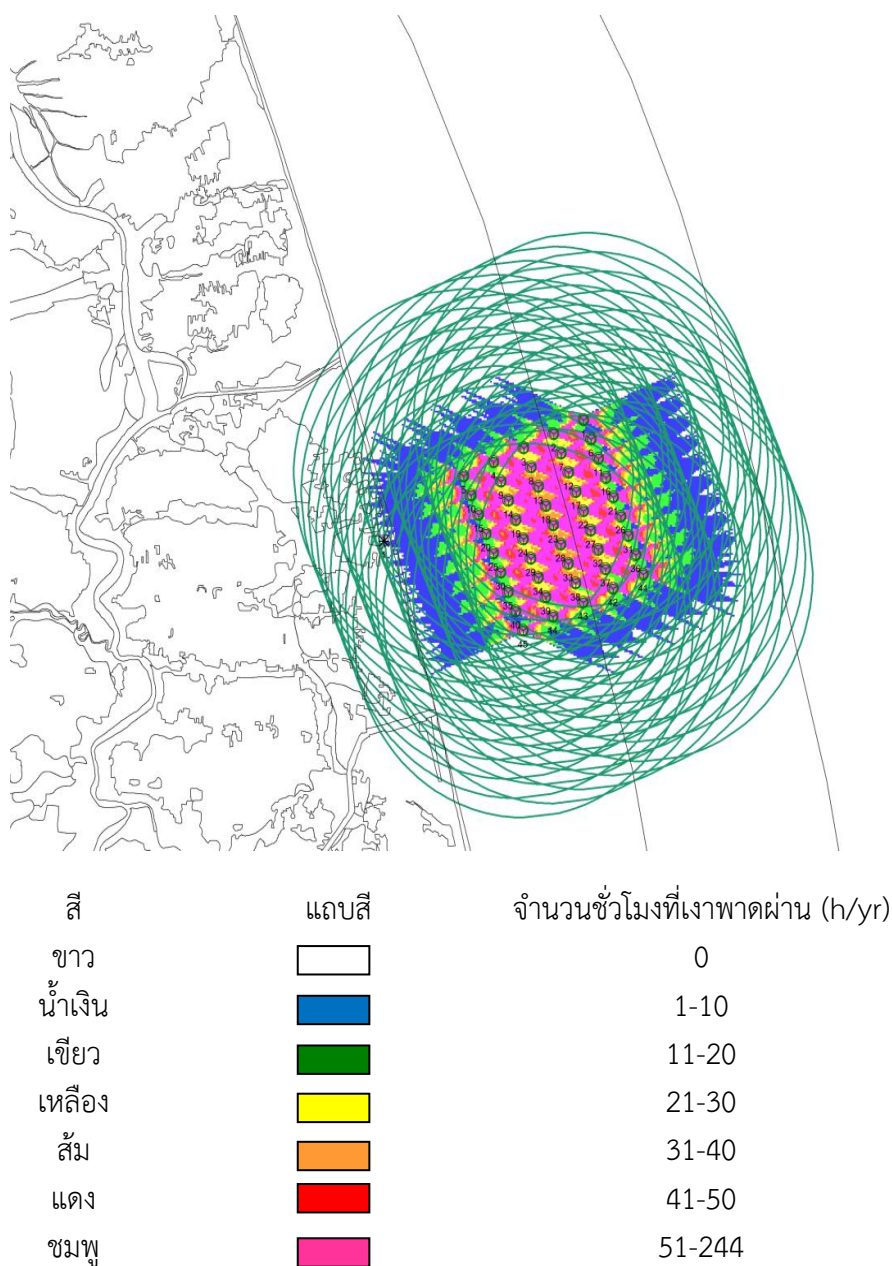
สี	แถบสี	จำนวนกังหันลมที่มองเห็น(ตัว)
ขาว		0
น้ำเงิน		1-5
เขียว		6-10
เหลือง		11-15
ส้ม		16-20
แดง		21-25
ชมพู		26-45

รูปที่ 4.19 โซนที่ได้รับอิทธิพลด้านการมองเห็นของฟาร์มกังหันลม กรณีกำหนดเงื่อนไขแบบเห็นจำนวนกังหันลม (number of hub visible)

4.5.3 ผลกระทบการเคลื่อนไหวของเงา

เป็นการวิเคราะห์และสร้างแผนที่การเคลื่อนไหวของเงา (Shadow Flicker) แสดงดังรูปที่ 4.20 ซึ่งแสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่เกิดเงาพาดผ่านภายในระยะเวลา 1 ปี

ผลการวิเคราะห์ได้ว่า แถบสีขาว หมายถึง ไม่มีเงาเกิดขึ้นสีน้ำเงิน มีเงาพาดผ่านเป็นระยะเวลา 1-10 ชั่วโมงต่อปี สีเขียวมีเงาพาดผ่านเป็นระยะเวลา 11-20 ชั่วโมงต่อปี สีเหลือง มีเงาพาดผ่านเป็นระยะเวลา 21-30 ชั่วโมงต่อปี สีส้ม มีเงาพาดผ่านเป็นระยะเวลา 31-40 ชั่วโมงต่อปี สีแดง มีเงาพาดผ่านเป็นระยะเวลา 41-50 ชั่วโมงต่อปี สีม่วง มีเงาพาดผ่านเป็นระยะเวลา 51-244 ชั่วโมงต่อปี



รูปที่ 4.20 แสดงแผนที่การเคลื่อนไหวของเงา (shadow flicker)

4.6 ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม

จากการวิเคราะห์และจัดทำต้นทุนในการดำเนินการโครงการพร้อมทั้งงบประมาณเงินลงทุน และค่าใช้จ่ายของฟาร์มกังหันลมผลิตไฟฟ้า ที่มีกำลังผลิตต่อต้น 2 เมกกะวัตต์ จำนวน 45 ต้น รวม กำลังผลิตติดตั้งรวมทั้งสิ้น 90 MW บริเวณนอกชายฝั่งอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis) โดยแบ่งออกเป็น ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) หรือเงินลงทุนในระยะเริ่มแรกของโครงการ และต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ซึ่งจะเป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการและการบำรุงรักษา ผลการวิเคราะห์พบว่าต้นทุนในการดำเนินการโครงการ 10,800 ล้านบาท คิดเป็นต้นทุนต่อMWเท่ากับ 120 ล้านบาทต่อMWโดยมีค่าใช้จ่ายต่างๆในการลงทุน แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนของโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล กำลังผลิตติดตั้ง 90 MW

รายการ	งบประมาณ(ล้านบาท)	สัดส่วน
1.กังหันลมผลิตไฟฟ้า	6,930.36	64.17
2.ฐานราก	1,728.00	16.00
3.การเชื่อมต่อกับระบบกริด	1,178.28	10.91
4.อื่นๆ	963.36	8.92
5.รวม	10,800.00	100.00
ต้นทุนต่อMW	120.00	

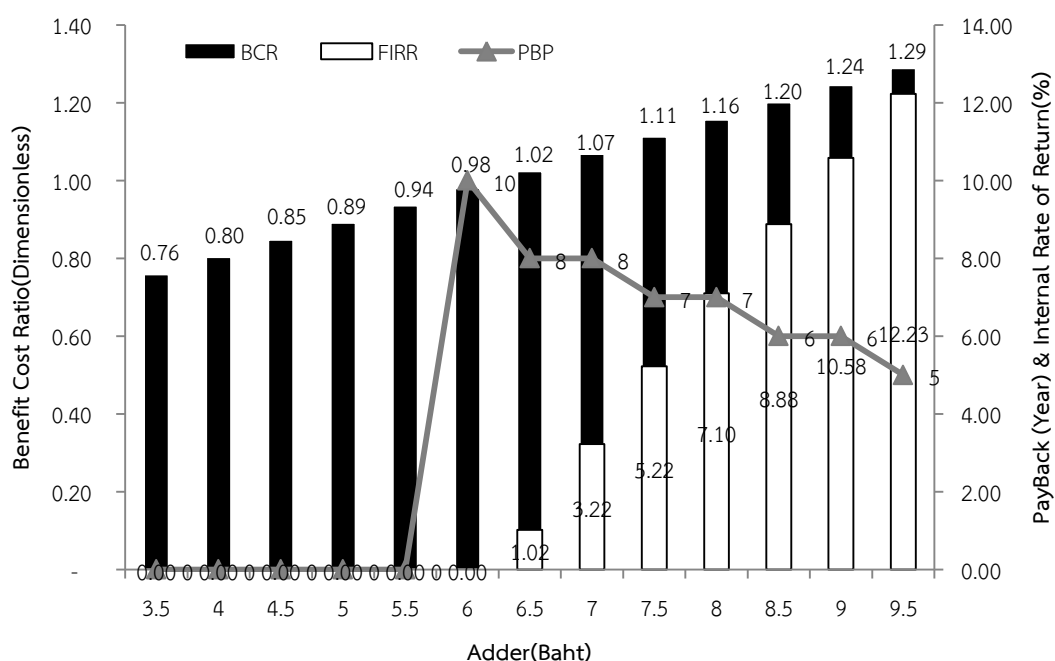
ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีจากโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมของรูปแบบการจัดวางที่ดีที่สุด ถูกนำไปวิเคราะห์ดัชนีทางการเงินเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการไฟฟ้าพลังลม โดยอ้างอิงจากประกาศของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรายเล็กมาก โดยทำการวิเคราะห์ดัชนีทางการเงิน BCR NPV FIRR และ PBP ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมและใช้หลักเกณฑ์การวิเคราะห์โครงการเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้ $BCR > 1$, $NPV > 0$ $FIRR > 10\%$ และ $PBP < 20$ ปี ผลการวิเคราะห์ดัชนีทางการเงินของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.4 ซึ่งได้แก่ BCR NPV FIRR และ PBP เมื่อพิจารณาค่า BCR ที่มีค่ามากกว่า 1 แปลความหมายได้ว่าผลตอบแทนที่มีค่ามากกว่าต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม สำหรับค่า NPV ที่มีค่ามากกว่า 0 หรือมีค่าเป็นบวกแปลความหมายได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีมูลค่าต่อการลงทุนหรือหากมีค่าเป็นลบก็จะสูญเสียมูลค่าต่อการลงทุน สำหรับค่า FIRR ที่มีค่ามากกว่าผลบวกของดอกเบี้ยเงินกู้กับร้อยละ 1 ของเงินกู้ แปลความหมายได้ว่า อัตราผลตอบแทนภายในที่สูงกว่าดอกเบี้ยเงินกู้บวกกับร้อยละ 1 ของเงินกู้ ซึ่งหากค่า FIRR มีค่ามากกว่าจะส่งผลเชิงบวกต่อโครงการเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่า PBP หรือระยะเวลาคืนทุน หากมีระยะเวลาคืนทุนที่น้อยก็จะส่งผลเชิงบวกต่อโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม โดยผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมที่ได้รับการพัฒนาบนพื้นที่ในเขตของจังหวัดนครศรีธรรมราชในภาคใต้ของประเทศไทย มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 6-10 ปี ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม

เนื่องจากต้นทุนของโครงการมีค่าสูงมากจึงพิจารณาเพิ่มค่า Adder ให้มีค่าเพิ่มให้เทียบเท่ากับค่า Adder ของแสงแดดขึ้นเพื่อหาแนวทางที่ดีขึ้นที่ทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุนมากขึ้นในอนาคตโดย

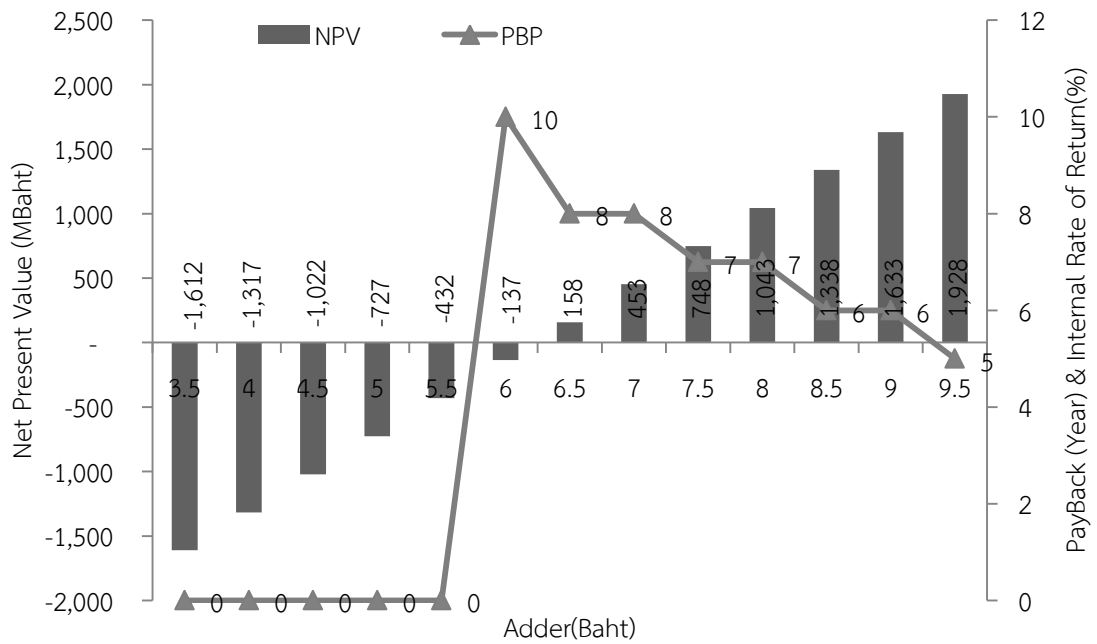
เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 จนถึง 9.5 บาท พบว่ามีแนวโน้มไปในทางที่ดีขึ้นสำหรับการตัดสินใจในการลงทุน จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีขึ้นที่จะทำให้มีความน่าสนใจในการลงทุนการสร้างโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมกรณีเพิ่มค่า Adder จะพบว่าที่ Adder 9.0 มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 6 ปี

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันขนาด 90 MW

Adder (Baht)	Benefit Cost Ratio (BCR)	Net Present Value (NPV, M-Baht)	Internal Rate of Return (FIRR)	Pay Back Period (PBP, Year)
3.5	0.76	-1,612	0.00	>20
4.0	0.80	-1,317	0.00	>20
4.5	0.85	-1,022	0.00	>20
5.0	0.89	-727	0.00	>20
5.5	0.94	-432	0.00	>20
6.0	0.98	-137	0.00	10
6.5	1.02	158	1.02	8
7.0	1.07	453	3.22	8
7.5	1.11	748	5.22	7
8.0	1.16	1,043	7.10	7
8.5	1.20	1,338	8.88	6
9.0	1.24	1,633	10.58	6
9.5	1.29	1,928	12.23	5



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีทางการเงินเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของราคา Adder



รูปที่ 4.22 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และระยะเวลาคืนทุน (PBP)
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของราคา Adder

บทที่ 5

สรุปผล

การศึกษาของโครงการนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอำเภอปากพนังของจังหวัดนครศรีธรรมราชในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) โดยอาศัยข้อมูลสถิติลมที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดลม ต.ท่าพญา อ.ปากพนัง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 50 m 80m 100 m และ 120 m มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 4.87 5.09 และ 5.10 m/s ตามลำดับ โดยเมื่อความสูงมากขึ้นอัตราเร็วลมเฉลี่ยก็มีค่ามากขึ้น เป็นไปตามกฎการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมเมื่อความสูงเปลี่ยนแปลง
2. ทิศทางของลมพบว่าส่วนมากลมจะเปลี่ยนที่ในทิศทาง ตะวันออกเฉียงเหนือ และ ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นทิศทางตามทิศของลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย และมีส่วนที่มีทิศทางจากทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ซึ่งเป็นทิศของลมบก ลมทะเล
3. กังหันลมรุ่น Vestas V80 (Offshore) ขนาดกำลังการผลิต 2,000 kW ซึ่งมีการจัดเรียงแบบ 7Dx12D ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีได้ดีที่สุด มีค่าอยู่ที่ 77,081 MW/ปี
4. ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม ที่ติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้ากำลังการผลิตติดตั้ง 90 MW มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.86-9.78
5. เสียงจากกังหันลมในแต่ละตัวนั้นมีความความเข้มเสียงอยู่ในช่วง 20-50 เดซิเบล และเสียงที่เกิดจากการติดตั้งกังหันลมทั้ง 45 ตัวนี้ จะมีความเข้มเสียงที่แตกต่างกันโดยพื้นที่ที่ห่างจากกังหันลมจะมีความเข้มเสียงน้อยลง ส่วนบริเวณใดที่อยู่ใกล้กับกังหันลมก็จะมี ความเข้มเสียงมากขึ้น
6. จำนวนตัวของการมองเห็นกังหันลมและเงาพาดผ่านของกังหันลมขึ้นกับระยะห่าง ตำแหน่งของผู้สังเกต และช่วงเวลาในแต่ละวัน
7. เนื่องจากต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งมีค่าสูงกว่าบนฝั่งดังนั้นต้องเพิ่ม ค่า Adder ให้สูงกว่า 6 บาท/หน่วยไฟฟ้า โครงการถึงจะมีการคุ้มทุน โดยเมื่อเพิ่มค่า Adder ไปเป็น 4-9 ระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 5-10 ปี

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2549). การศึกษาศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะ
แหล่ง. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี.
สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2553, จาก <http://www.epe.or.th/home.php>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). โครงการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพ
พลังงานลมสำหรับประเทศไทย. นครปฐม : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2518). แผนที่แหล่งศักยภาพพลังงานลมสำหรับประเทศไทย.
กรุงเทพฯ : เซ็นทรัลการพิมพ์.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย. กรุงเทพฯ :
เซ็นทรัลการพิมพ์.
- เสริม จันทรฉาย, จรุงแสง ลักษณะบุณส่ง, Norbert Karlthoff, Inge Bischoff-Gauss, อิศระ มะศิริ,
จินดา แก้วเขียว, ทศนวรรณ ศูนย์กลาง และ วรภาส พรหมเสน. (2553). โครงการพัฒนา
ปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมสำหรับประเทศไทย. นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2551). การศึกษาศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยด้วย
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านอุตุนิยมวิทยา 3 มิติ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2550). การประเมินศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่
ตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2550). การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมใน
เขตภาคเหนือตอนบน. เชียงใหม่ : ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2551). การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหัน
ลมตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2552). ข้อมูลพลังงาน [ข้อมูลพลังงาน]. สืบค้นเมื่อ 12
ธันวาคม 2553, จาก <http://www.eppo.go.th/info/index.html>
- Acker, T. L., Williams, S. K. E., Duque, Brummels, P. N. and Buechler, G. J. (2007).
“Wind resource assessment in the State of Arizona : Inventory capacity
factor and cost,” Renewable Energy. 32, 1453-1466.
- Al-abbadi, N. M. (2005). “Wind resource assessment for five location in Saudi Arabia,”
Renewable Energy. 30, 1489-1499.
- Alawaji, S. H., Eugenio, N. N. and Elani, U.A. (1996). “Wind energy resource
assessment in Saudi Arabai Part II: Data collection and analysis,” Renewable
Energy. 9, 818-821.
- Brian Snyder and Mark J. Kaiser. (2009). “A comparison of offshore wind power
development in Europe and the U.S.: Patterns and drivers of development”.
Applied Energy. 86(10), 1845-1856.

- Christiansen, M. B., Koch W., Horstmann, J., Hasager, C. B. and Nielsen, M. (2006). "Wind resource assessment from C-band SAR," Remote Sensing of Environment. 105, 68-81.
- Elamouri, M. and Amar, F. B. (2008). "Wind Energy potential in Tunisia," Renewable Energy. 33, 758-768.
- Elhadidy, M. A. and Shaahid, S. M. (2007). "Wind resource assessment of southern coastal region of Saudi Arabia," Desalination. 209, 199-208.
- EMU. (2001). Wind Power : Cape Verde – background. : UNI-C. Retrieved December 10, 2010, from <http://galathea3.emu.dk>
- Exell, R. H. B. (1985). "The wind energy potential of Thailand," Solar Energy. 35, 3-13.
- Exell, R. H. B. Sorapipatana, C. and Sukawat D. (1989). "The relation between wind speeds at the surface and above the boundary layer in Thailand and India," Solar Energy. 42, Fernando, K. S., Lysen, E. H., Pieterse, N. and Wieringa, J. (1992). "Wind resource assessment in Sri Lanka," Journal of Engineering and Industrial Aerodynamics. 39, 1-3.
- Jonson, G. L. (2001). Wind Energy Systems. Manhattan: Kansas State University. Retrieved December 16, 2010, from <http://eece.ksu.edu>
- Global Wind Energy Council. (2010). Global Wind Outlook 2010. Brussels: Global Wind Energy Council. Retrieved January 10, 2011, from <http://www.gwec.net>
- Gokcek, M., Bayulken, A. and Bekdemir, S. (2007). "Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey," Renewable Energy. 32, 1739-1752.
- Herbert, G. M. J., Iniyar, S., Sreevalan, E. and Rajapandian, S. (2007) "A Review of Wind Energy Technologies," Renewable & Sustainable Energy Reviews. 11, 1117-1145.
- Hoogwijk, M., Vries, D. and Turkenburg, W. (2004) "Assessment of the Global and Regional Geographical Technical and Economic Potential of Onshore Wind Energy," Energy Economic. 26, 889-919
- Hrayshat, E. S. (2007). "Wind Resource Assessment of Jordanian Southern Region," Renewable Energy. 32, 1948-1960.
- Huskey, A. and Meadors, M. (2001). Wind Turbine Generator System Acoustic Noise Test Report. CoLorado : NREL. Retrieved December 16, 2009, from <http://www.nrel.gov/wind/pdfs/34383.pdf>
- Junfeng, L. (1997) "Renewable energy development in China : Resource assessment, techonlogy status and greenhouse gas Mitigation Potential," Applied Energy. 56, 381-394.
- K. C. Tong. (1998), "Technical and economic aspects of a floating offshore wind farm", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76 , 399-410.

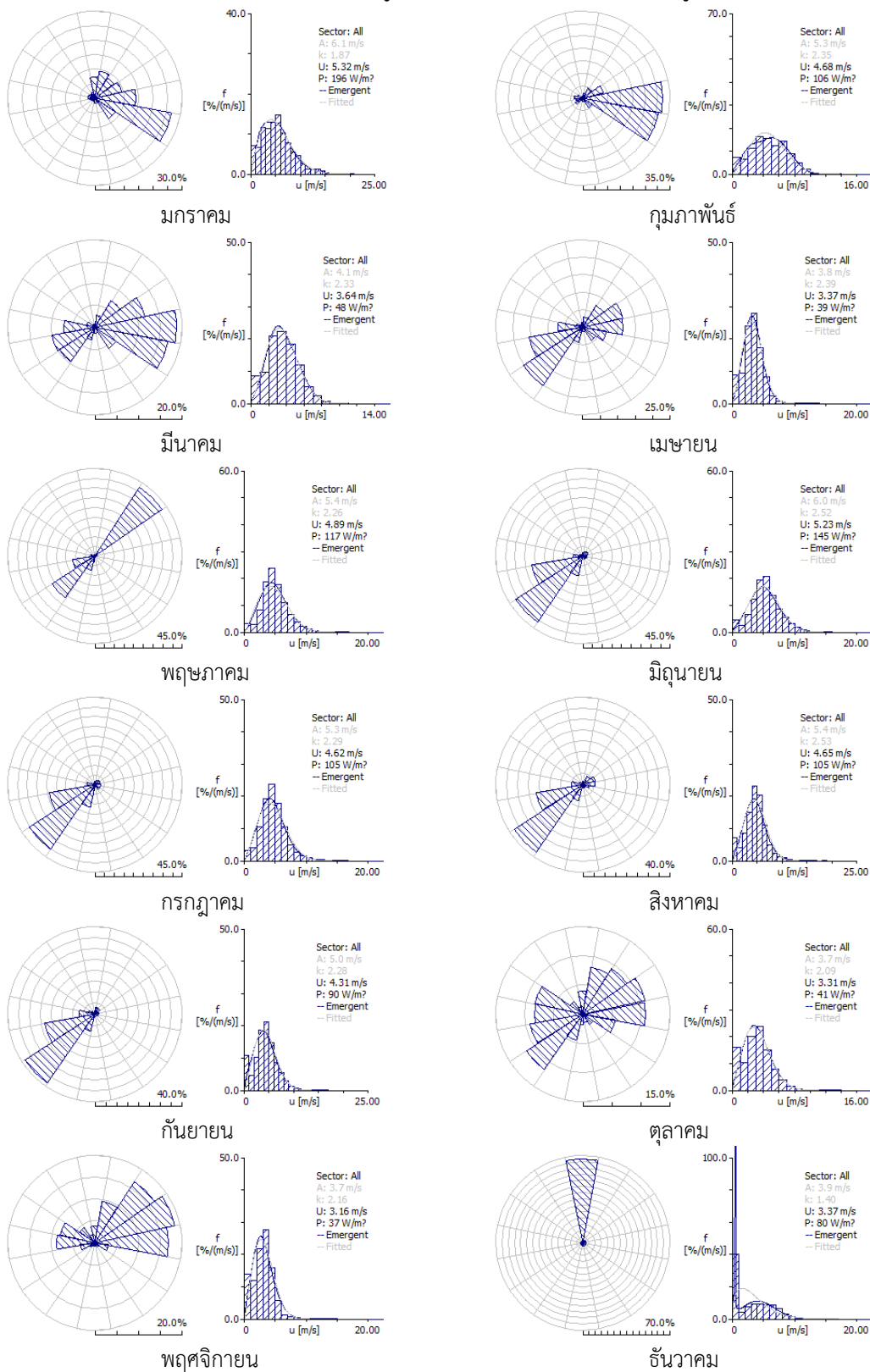
- Khadem, S.K. and Hussain, M. (2006). "A pre-feasibility study of wind resource in Katubdia Island, Bangladesh," *Renewable Energy*. 31, 2329-2341.
- Lutgens. F.K. and Tarbuck E.J. (1979). *The Atmosphere: an introduction to meteorology*. New Jersey: PRENTICE-HALL
- Li, M. and Li, X. (2005). "Investigation of Wind Characteristics and Assessment of Wind Energy Potential for Waterloo Region, Canada," *Energy Conversion & Management*. 46, 3014-3033.
- Lixuan Hong and Bernd Möller. (2011). "Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints". *Energy*, 36(7), 4482-4491.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., and Rogers, A. L. (2002). *Wind Energy Explained*. West Sussex: Jon Wiley & Sons Ltd.
- Michael J. Dvorak, Cristina L. Archer and Mark Z. Jacobson.(2010). "California offshore wind energy potential". *Renewable Energy*, 35(6), 1244-1254.
- Migliore, P., Dam, V. J. and Huskey, A. (2004). "Acoustic tests of small wind turbines," In 2004 Wind Energy symposium. (1-14). January 5-8, 2004, Nevada. Colorado: NREL.
- Migoya, E., Crespo, A., Jimenez, A., Garcia, J. and Manuel, F. (2007) "Wind rnergy resource assessment in Madrid Region," *Renewable Energy*. 32, 1467-1483.
- Murakami Shuzo , Mochida Akashi and Kato Shinsuke . (2003). "Development of local area wind prediction system for selecting suitable site for windmill". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91(12-15), 1759-1776.
- N. Barberis Negra , J. Todorovic and T. Ackermann. (2006). "Loss evaluation of HVAC and HVDC transmission solutions for large offshore wind farms" . *Electric Power Systems Research*, 76(11), 916-927 .
- Nguyen, K. Q. (2007) "Wind energy in Vietnam: Resource Assessment, Development Status and Future Implication," *Energy Policy*. 35, 1405-1413.
- NSIDC, National Snow and Ice Data Center, USA,
- Oriol Gomis-Bellmunt , Adrià Junyent-Ferré , Andreas Sumper and Samuel Galceran-Arellano. (2010). "Maximum generation power evaluation of variable frequency offshore wind farms when connected to a single power converter. *Applied Energy*, 87(10), 3103-3109.
- Renewable UK. (2010). *Noise from Wind Turbine-The Facts*. Retrieved December 12, 2010, from <http://www.bwea.com/ref/noise.html>
- Rangsan Apakupakul. (2004). *Introduction to Meteorology*. Chulalongkorn University Press. ISBN 974-13-2752-8, Thailand. (THAI VERSION)

- Sathyajith, M. (2003). Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics. New York: Springer.
- Seguro J. V. and Lamber T. W. (2000). “ Modern Estimation of the Parameter of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Analysis” . Journal of Wind Engineering and Industry Aerodynamic ,85 , 75-84 .
- Sgdelestaing pagesperso-orange. (2002). Wind power avignonet LAURAGAIS. Retrieved December 12, 2010 from <http://sgdelestaing.pagesperso-orange.fr>
- Sorapipatana, C. and Excel, H.R.B. (1989) “Mesoscale mapping of daily insolation over southeast Asia from satellite data,” Solar & Wind Technology. 6, 59-66.
- Renewable Nonconventional Energy Project (1984), Solar and Wind Energy Resource Assessment for Thailand. (USAID project no. 493-0304). Bangkok: The National Energy Administration funding from the U.S. Agency International Development
- The Scottish Office, Environment Department, Planning Advice Note, PAN 45, Annes. (1994). A: Wind Power, A.27. Renewable Energy Technologies. August 1994
- Waewsak, J., Chancham, C., Ravangvong, S., Mani M., Nankongnab, N., Tirawanichakul, Y., Tirawanichakul, S., Thepaya, T., and Matan, N. (2007) “Onshore Wind Power in Southern Thailand: A Preliminary Study,” 33rd Congress on Science and Technology of Thailand. (pp. 303). October 18-20, 2007, Nakhon Si Thammarat, Thailand. : The Science Society of Thailand.
- Wang Zhixin , Jiang Chuanwen , Ai Qian and Wang Chengmin . (2009) . “The key technology of offshore wind farm and its new development in China” . Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(1) , 216-222 .

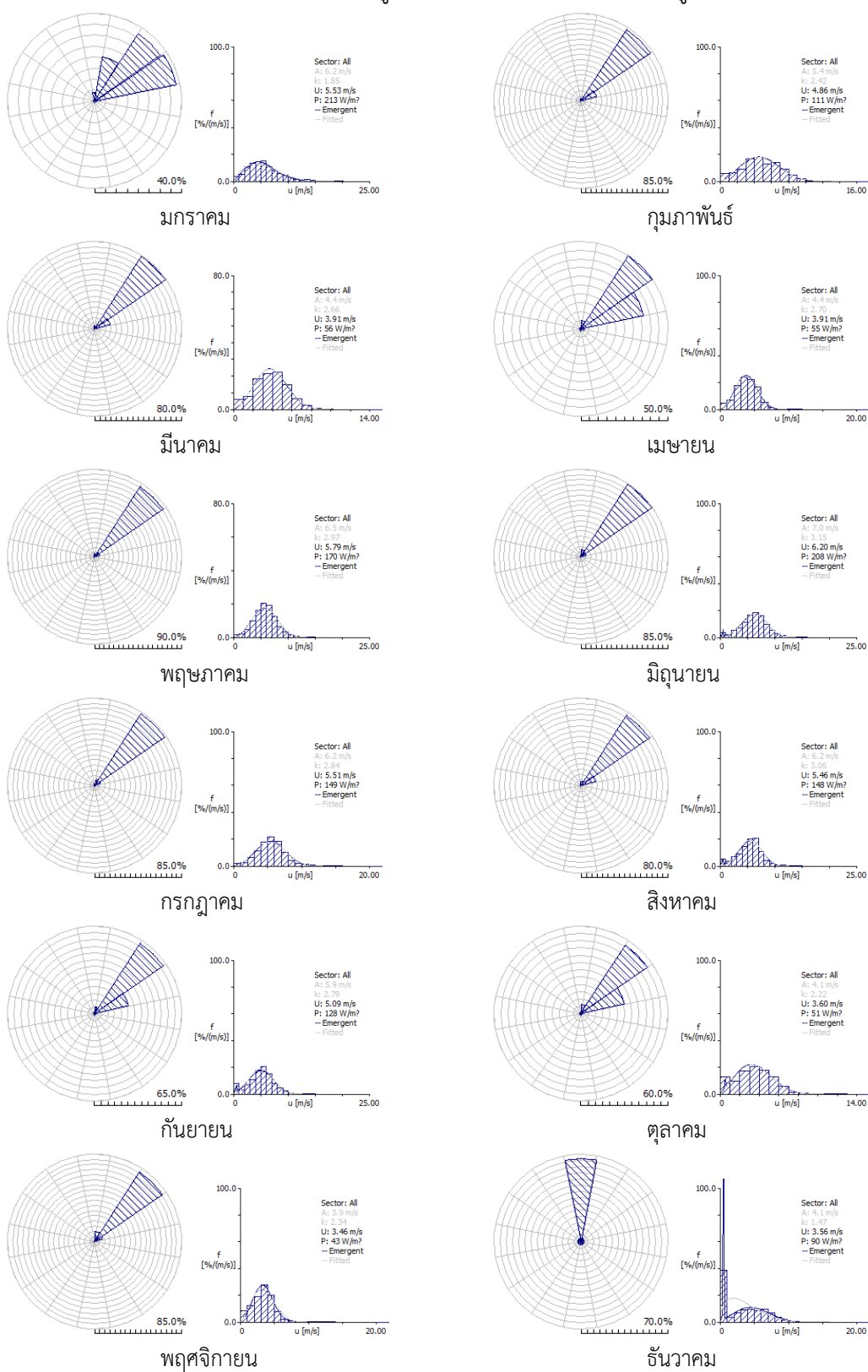
ภาคผนวก

ภาคผนวก 1 ทิศทางอัตราเร็วลมและพารามิเตอร์ไวบูลล์

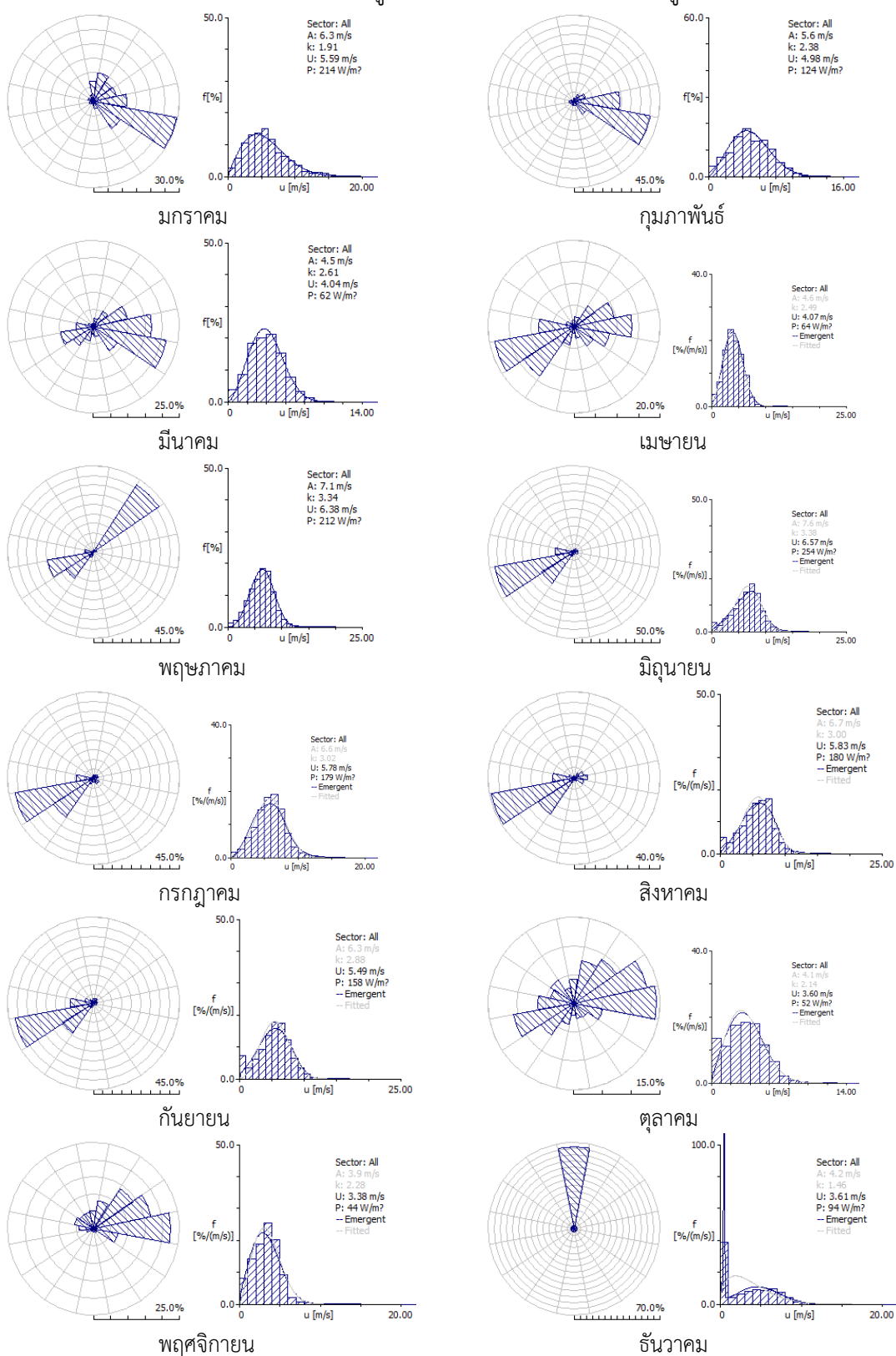
1. ทิศทางอัตราเร็วลมและพารามิเตอร์ไวบูลล์เฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 50 m



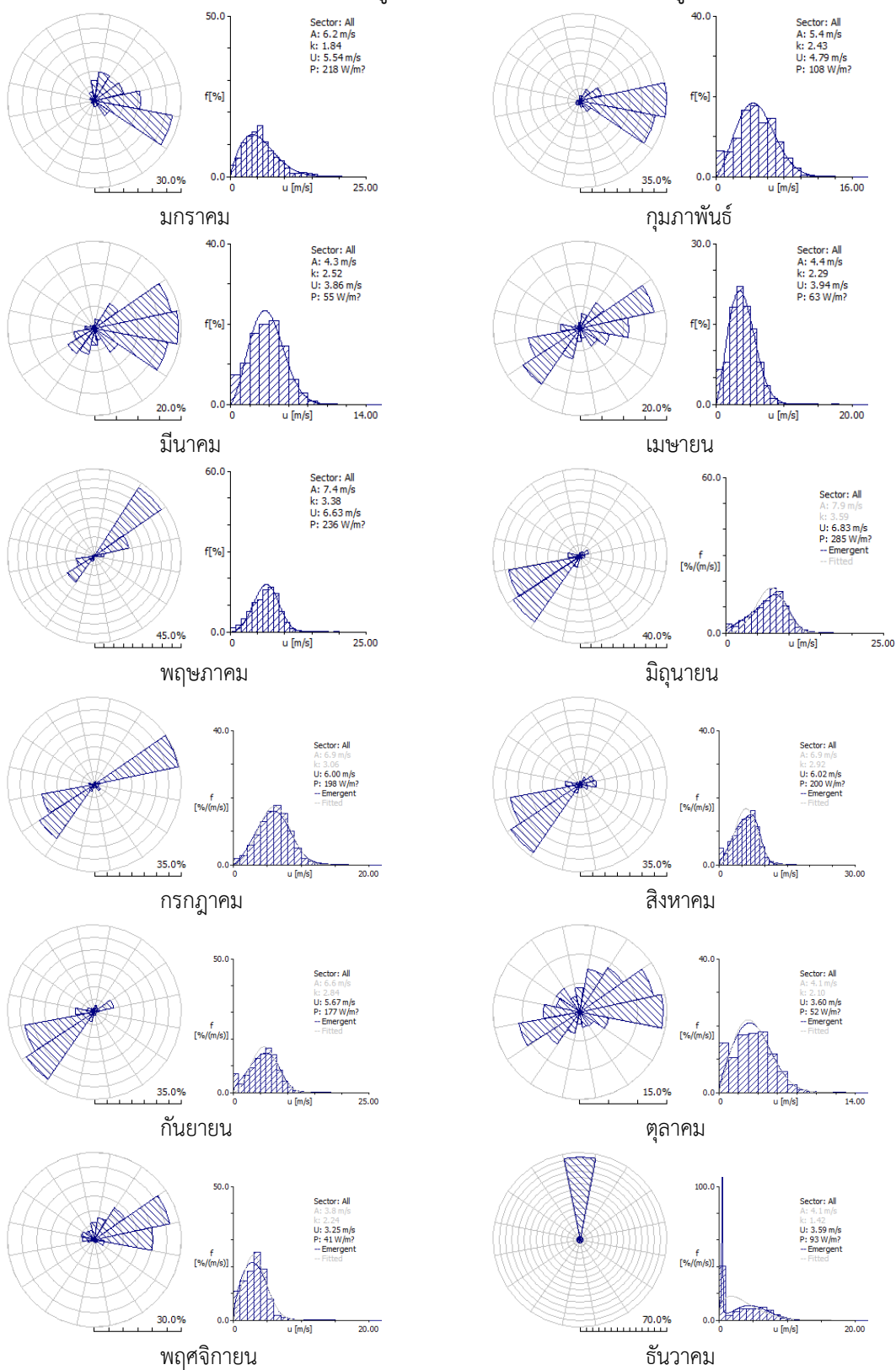
2. ทิศทางอัตราเร็วลมและพารามิเตอร์ไวบูลล์เฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 80 m



3. ทิศทางอัตราเร็วลมและพารามิเตอร์ไวบูลล์เฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 100 m



4. ทิศทางอัตราเร็วลมและพารามิเตอร์ไวบูลล์เฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 120 m



ภาคผนวก 2 พิกัดการติดตั้งกังหันลม

Turbine Objects ของลมกังหันลมรุ่น Vestas V63 (1500 kW), Hub Height 60m

No	(7Dx7D)				(7Dx10D)				(7Dx12D)			
	จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง		จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง		จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง	
	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY
1	645773	918690	644149	918001	645773	918690	643453	917705	645773	918690	642989	917508
2	645367	918518	644381	917623	645193	918444	643685	917328	645077	918395	643221	917131
3	644961	918345	644602	917239	644613	918198	643906	916944	644381	918099	643442	916747
4	644555	918173	644811	916849	644033	917952	644115	916553	643685	917804	643651	916356
5	644149	918001	645008	916452	643453	917705	644312	916157	642989	917508	643848	915960
6	645945	918284	645193	916050	645945	918284	644497	915754	645945	918284	644033	915557
7	645539	918112	645366	915642	645365	918038	644670	915346	645249	917989	644206	915149
8	645133	917939	645527	915229	644786	917792	644831	914934	644554	917693	644367	914737
9	644728	917767	645675	914812	644206	917546	644979	914516	643858	917398	644515	914319
10	644322	917595	645811	914390	643626	917299	645115	914095	643162	917103	644651	913898
11	646118	917878	645934	913964	646118	917878	645238	913669	646118	917878	644774	913472
12	645712	917706	646045	913535	645538	917632	645349	913240	645422	917583	644885	913043
13	645306	917534	644555	918173	644958	917386	644033	917952	644726	917287	643585	917804
14	644900	917361	644787	917796	644378	917140	644265	917574	644030	916992	643826	917428
15	644494	917189	645008	917412	643798	916894	644486	917190	643334	916697	644055	917044
16	646290	917472	645217	917021	646290	917472	644695	916799	646290	917472	644273	916654
17	645884	917300	645414	916624	645710	917226	644892	916403	645594	917177	644479	916258
18	645478	917128	645599	916222	645130	916980	645077	916000	644898	916881	644673	915856
19	645072	916955	645772	915814	644550	916734	645250	915592	644202	916586	644855	915448
20	644666	916783	645933	915401	643970	916488	645411	915180	643506	916291	645025	915035
21	646462	917066	646081	914984	646462	917066	645559	914762	646462	917066	645183	914617
22	646056	916894	646217	914562	645882	916820	645695	914341	645766	916771	645328	914195
23	645650	916722	646340	914137	645302	916574	645818	913915	645070	916475	645461	913769
24	645244	916549	646451	913708	644723	916328	645929	913486	644375	916180	645581	913338
25	644839	916377	644961	918345	644143	916082	644613	918198	643679	915885	644381	918099
26	646635	916660	645193	917968	646635	916660	644845	917820	646635	916660	644613	917722
27	646229	916488	645414	917584	646055	916414	645066	917436	645939	916365	644834	917338
28	645823	916316	645623	917193	645475	916168	645275	917046	645243	916070	645043	916947
29	645417	916143	645820	916797	644895	915922	645472	916649	644547	915774	645240	916550
30	645011	915971	646005	916394	644315	915676	645657	916246	643851	915479	645425	916148
31	646807	916254	646178	915986	646807	916254	645830	915839	646807	916254	645598	915740
32	646401	916082	646339	915574	646227	916008	645991	915426	646111	915959	645759	915327
33	645995	915910	646487	915156	645647	915762	646139	915009	645415	915664	645907	914910
34	645589	915737	646623	914735	645067	915516	646275	914587	644719	915368	646043	914488
35	645183	915565	646746	914309	644487	915270	646398	914161	644023	915073	646166	914063
36	646979	915848	646857	913880	646979	915848	646509	913732	646979	915848	646277	913634
37	646573	915676	645367	918518	646399	915602	645193	918444	646283	915553	645077	918395
38	646167	915504	645599	918140	645819	915356	645425	918066	645587	915258	645309	918017
39	645761	915331	645820	917756	645239	915110	645646	917682	644892	914962	645530	917633
40	645355	915159	646029	917365	644660	914864	645855	917292	644196	914667	645739	917242
41	647152	915442	646226	916969	647152	915442	646052	916895	647152	915442	645936	916846
42	646746	915270	646411	916566	646572	915196	646237	916493	646456	915147	646121	916443
43	646340	915098	646584	916159	645992	914950	646410	916085	645760	914852	646294	916036
44	645934	914926	646745	915746	645412	914704	646571	915672	645064	914556	646455	915623

45	645528	914753	646893	915328	644832	914458	646719	915255	644368	914261	646603	915205
46	647324	915037	647029	914907	647324	915037	646855	914833	647324	915037	646739	914784
47	646918	914864	647152	914481	646744	914790	646978	914408	646628	914741	646862	914358
48	646512	914692	647263	914052	646164	914544	647089	913979	645932	914446	646973	913929
49	646106	914520	645773	918690	645584	914298	645773	918690	645236	914150	645773	918690
50	645700	914347	646005	918313	645004	914052	646005	918313	644540	913855	646005	918313
51	647496	914631	646225	917928	647496	914631	646225	917928	647496	914631	646225	917928
52	647090	914458	646434	917538	646916	914384	646434	917538	646800	914335	646434	917538
53	646684	914286	646632	917141	646336	914138	646632	917141	646104	914040	646632	917141
54	646278	914114	646817	916739	645756	913892	646817	916739	645408	913744	646817	916739
55	645872	913941	646990	916331	645176	913646	646990	916331	644713	913449	646990	916331
56	647668	914225	647151	915918	647668	914225	647151	915918	647668	914225	647151	915918
57	647263	914052	647299	915501	647089	913979	647299	915501	646973	913929	647299	915501
58	646857	913880	647435	915079	646509	913732	647435	915079	646277	913634	647435	915079
59	646451	913708	647558	914654	645929	913486	647558	914654	645581	913338	647558	914654
60	646045	913535	647668	914225	645349	913240	647668	914225	644885	913043	647668	914225

Turbine Objects ของลมกังหันลมรุ่น Vestas V80 (2000 kW), Hub Height 67m

No	(7Dx7D)				(7Dx10D)				(7Dx12D)			
	จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง		จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง		จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง	
	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY
1	645773	918690	643711	917815	645773	918690	642827	917440	645773	918690	642238	917190
2	645258	918471	644008	917373	645037	918377	643124	917004	644889	918315	642536	916712
3	644742	918252	644283	916918	644300	918065	643399	916554	644006	917940	642812	916221
4	644227	918034	644537	916450	643564	917752	643653	916092	643122	917565	643066	915719
5	643711	917815	644768	915971	642827	917440	643884	915618	642238	917190	643298	915206
6	645992	918175	644977	915481	645992	918175	644093	915133	645992	918175	643506	914683
7	645476	917956	645162	914982	645255	917862	644278	914640	645108	917799	643691	914151
8	644961	917737	645324	914475	644519	917549	644440	914138	644224	917424	643852	913612
9	644445	917518	645462	913961	643783	917237	644578	913629	643341	917049	643989	913066
10	643930	917299	644227	918034	643046	916924	643564	917752	642457	916674	643122	917565
11	646211	917659	644524	917556	646211	917659	643862	917275	646211	917659	643420	917087
12	645695	917440	644800	917065	645474	917346	644138	916784	645327	917284	643696	916596
13	645180	917221	645055	916563	644738	917034	644392	916282	644443	916909	643950	916094
14	644664	917003	645286	916050	644001	916721	644623	915769	643560	916534	644181	915581
15	644149	916784	645494	915527	643265	916409	644832	915246	642676	916159	644390	915058
16	646429	917144	645679	914995	646429	917144	645016	914714	646429	917144	644574	914526
17	645914	916925	645840	914456	645693	916831	645177	914174	645546	916768	644736	913987
18	645398	916706	645977	913910	644957	916518	645314	913628	644662	916393	644872	913441
19	644883	916487	644742	918252	644220	916206	644300	918065	643778	916018	644006	917940
20	644368	916268	645040	917775	643484	915893	644598	917587	642895	915643	644303	917462
21	646648	916628	645316	917284	646648	916628	644874	917097	646648	916628	644580	916972
22	646133	916409	645570	916782	645912	916316	645128	916594	645765	916253	644834	916469
23	645617	916190	645801	916269	645175	916003	645360	916081	644881	915878	645065	915956
24	645102	915972	646010	915746	644439	915690	645568	915558	643997	915503	645273	915433
25	644586	915753	646195	915214	643703	915378	645753	915026	643114	915128	645458	914901
26	646867	916113	646356	914675	646867	916113	645914	914487	646867	916113	645619	914362
27	646352	915894	646493	914129	646131	915800	646051	913941	645983	915738	645756	913816
28	645836	915675	645258	918471	645394	915487	645037	918377	645100	915362	644889	918315
29	645321	915456	645555	917993	644658	915175	645334	917900	644216	914987	645187	917837

30	644805	915237	645831	917503	643921	914862	645611	917409	643332	914612	645463	917347
31	647086	915597	646085	917001	647086	915597	645865	916907	647086	915597	645717	916844
32	646570	915378	646317	916487	646349	915285	646096	916394	646202	915222	645949	916331
33	646055	915160	646525	915964	645613	914972	646304	915871	645319	914847	646157	915808
34	645539	914941	646710	915433	644877	914659	646489	915339	644435	914472	646342	915277
35	645024	914722	646871	914893	644140	914347	646650	914800	643551	914097	646503	914737
36	647305	915082	647008	914347	647305	915082	646787	914254	647305	915082	646640	914191
37	646789	914863	645773	918690	646568	914769	645773	918690	646421	914707	645773	918690
38	646274	914644	646071	918212	645832	914456	646071	918212	645537	914331	646071	918212
39	645758	914425	646347	917722	645095	914144	646347	917722	644654	913956	646347	917722
40	645243	914206	646601	917219	644359	913831	646601	917219	643770	913581	646601	917219
41	647524	914566	646832	916706	647524	914566	646832	916706	647524	914566	646832	916706
42	647008	914347	647041	916183	646787	914254	647041	916183	646640	914191	647041	916183
43	646493	914129	647226	915652	646051	913941	647226	915652	645756	913816	647226	915652
44	645977	913910	647387	915112	645314	913628	647387	915112	644872	913441	647387	915112
45	645462	913691	647524	914566	644578	913316	647524	914566	643989	913066	647524	914566

Turbine Objects ของกังหันลมรุ่น Vestas V90 (3000 kW), Hub Height 80

No	(7Dx7D)				(7Dx10D)				(7Dx12D)			
	จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง		จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง		จัดวางแบบแนวตรง		จัดวางแบบแนวโค้ง	
	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY	UTMX	UTMY
1	645773	918690	643453	917705	645773	918690	642459	917283	645773	918690	641796	917002
2	645193	918444	643815	917181	644945	918338	642820	916759	644779	918268	642158	916478
3	644613	918198	644121	916624	644116	917987	643127	916202	643785	917846	642464	915920
4	644033	917952	644370	916038	643288	917635	643376	915616	642791	917424	642713	915334
5	643453	917705	644558	915430	642459	917283	643564	915008	641796	917002	642901	914726
6	646019	918110	644684	914806	646019	918110	643690	914384	646019	918110	643027	914102
7	645439	917864	644033	917952	645191	917758	643288	917635	645025	917688	642791	917427
8	644859	917618	644395	917427	644362	917407	643649	917111	644031	917266	643152	916902
9	644279	917372	644701	916870	643534	917055	643955	916553	643037	916844	643458	916344
10	643700	917125	644950	916284	642705	916703	644204	915967	642043	916422	643707	915757
11	646265	917530	645138	915676	646265	917530	644392	915359	646265	917530	643895	915149
12	645685	917284	645264	915052	645437	917179	644518	914735	645271	917108	644021	914524
13	645106	917038	644613	918198	644608	916827	644116	917987	644277	916686	643785	917846
14	644526	916792	644974	917674	643780	916475	644477	917463	643283	916264	644146	917322
15	643946	916546	645281	917116	642952	916124	644784	916905	642289	915842	644452	916764
16	646512	916950	645530	916530	646512	916950	645033	916319	646512	916950	644701	916178
17	645932	916704	645718	915922	645683	916599	645221	915711	645517	916528	644889	915570
18	645352	916458	645844	915298	644855	916247	645347	915087	644523	916106	645016	914946
19	644772	916212	645193	918444	644026	915895	644950	918338	643529	915684	644779	918268
20	644192	915966	645554	917920	643198	915544	645310	917814	642535	915262	645140	917744
21	646758	916370	645861	917362	646758	916370	645615	917256	646758	916370	645447	917186
22	646178	916124	646110	916776	645929	916019	645863	916670	645764	915948	645695	916600
23	645598	915878	646298	916168	645101	915667	646050	916063	644769	915526	645884	915992
24	645018	915632	646424	915544	644272	915315	646175	915439	643775	915104	646010	915368
25	644438	915386	645773	918690	643444	914964	645773	918690	642781	914682	645773	918690
26	647004	915790	646134	918166	647004	915790	646134	918166	647004	915790	646134	918166
27	646424	915544	646441	917608	646175	915439	646441	917608	646010	915368	646441	917608
28	645844	915298	646689	917022	645347	915087	646689	917022	645016	914946	646689	917022
29	645264	915052	646878	916414	644518	914735	646878	916414	644021	914524	646878	916414
30	644684	914806	647004	915790	643690	914384	647004	915790	643027	914102	647004	915790

ภาคผนวก 3 รายละเอียดของกังหันลม

Vestas V 63 (Turbine)**Power**

Rated power:	1.500,0 kW
Cut-in wind speed:	4,0 m/s
Rated wind speed:	16,0 m/s
Cut-out wind speed:	25,0 m/s
Survival wind speed:	70,0 m/s
Wind zone (DIBt):	-
Wind class (IEC):	-

Rotor

Diameter:	63,6 m
Swept area:	3.176,9 m ²
Number of blades:	3
Rotor speed, max:	22,9 U/min
Tipspeed:	76,3 m/s
Type:	30,0
Material:	GRE
Manufacturer:	Vestas
Power density 1:	472,2 W/m ²
Power density 2:	2,1 m ² /kW

Gear box

Type:	spur/planetary
Stages:	3,0
Ratio:	0.091666667
Manufacturer:	Hansen

Generator

Type:	Asynchronous
Number:	1,0
Speed, max:	1.650,0 U/min
Voltage:	690,0 V
Grid connection:	Thyristor
Grid frequency:	50,0 Hz
Hersteller:	Weier

Tower

Hub height:	60,0 m
Type:	Steel tube
Shape:	conical
Corrosion protection:	painted
Manufacturer:	Welco

Weight

Single blade:	3,6 t
Hub:	9,4 t
Rotor:	20,3 t
Nacelle:	52,2 t
Tower, max:	76,0 t
Total weight:	151,6 t



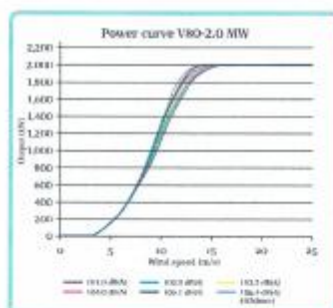


Top of its class

- The V80-2.0 MW is a variant to the proven variable speed V80-1.8 MW wind turbine, installed in the North American market since 2001.
- More than 2,900 units have been installed world wide with a total of over 7 years of operational history.
- Designed to maximize energy capture for high wind regimes (IEC, IJ) and produce more energy output than the V80-1.8 MW.

Features include

- Primary bed frame structure made from casting to optimize load transfer to tower, and increase overall frame stiffness.
- Improved main bearing housing design for increased structural stiffness.
- Standard VVVF Low Voltage Ride Through capability to provide continuous operation through grid faults.
- Complete variable speed capability with VCISS™ (Variable Converter Unity System) technology.
- Proven service platform as standard.



The figure above illustrates the power curves at different air densities for the V80-2.0 MW turbine.

This document is intended to provide general information about this wind turbine's features and general specifications and does not constitute a warranty or representation as to actual turbine performance.

Vestas - American Wind Technology, Inc.
1881 SW Naito Parkway
Portland, OR 97201
USA
Tel: +1 503 327 2000
Fax: +1 503 327 2001
vestas-america@vestas.com
www.vestas.com

To see a complete list of our sales and service units, visit www.vestas.com

Rotor

Diameter:	80 m
Area swept:	5,027 m ²
Nominal revolutions:	15.7 rpm
Operational interval:	0.0 to 19 rpm
Number of blades:	3
Power regulation:	OptiTip [®] pitch and variable speed
Air brake:	Full blade feathering with 3 pitch cylinders

Tower

Standard hub heights: 67 meter and 80 meter

Operational data

IEC Class:	IEC IA
Rated power:	2,000 kW
Cut-in wind speed:	4 m/s
Nominal wind speed:	11.5 m/s
Cut-out wind speed:	25 m/s
Temperature:	-20°C to +40°C

Generator

Type:	4-pole asynchronous with variable speed
Nominal output:	2,000 kW
Optimised d.c.:	60 Hz 690 V

Gearbox

Type:	3-stage planetary/helical
-------	---------------------------

Control

Type:	Microprocessor-based monitoring of all the turbine functions with the option of remote monitoring. Output regulation and optimisation via variable speed and OptiTip [®] pitch regulation.
-------	---

Weight

Nacelle:	58 t
Rotor:	18 t
Towers:	
67 m:	120 t
80 m:	160 t

t = metric tonnes

V90-3.0 MW

An efficient way to more power

Vestas[®]
No. 1 in Modern Energy



Innovation in blade technology

3x44 metres of leading edge

In our quest to boost the efficiency of the V90, we made sweeping improvements to two aspects of our turbine blades: their material composition and their structure.

We at Vestas have long enjoyed a reputation for making some of the lightest blades on the market, and with the V90 we have once again raised the bar. We began by introducing several new lightweight materials, most notably carbon fibre for the load-bearing spars. Not only is carbon fibre intrinsically lighter than the fibre glass it replaces, but its strength and rigidity also reduce the quantity of material needed – thus cutting overall weight even further. So that even though the V90 has a swept area that is 27 per cent more than the V80, the new blades actually weigh about the same.

The new profile of the V90 blades also represents a significant aerodynamic advance. In collaboration with Risø National Laboratory in Denmark, Vestas engineers worked on optimising the relationship between the overall load impact on the turbine and the volume of energy generated annually. Their final blade design features an entirely new plane shape and a curved back edge.

The resulting airflow improves energy production, while making the blade profile less sensitive to dirt on the leading edge and maintaining a favourable geometrical relationship between successive airflow thicknesses. This translates into an increase in output combined with a decrease in load transfers – as well as improvements on the bottom line.

Reduced need for service and maintenance

A series of improvements to the V90 have made service and maintenance calls less demanding – and less frequent. Turbine access has been simplified and working areas expanded, while the arrangement of tower and nacelle components has been optimised to facilitate service procedures.

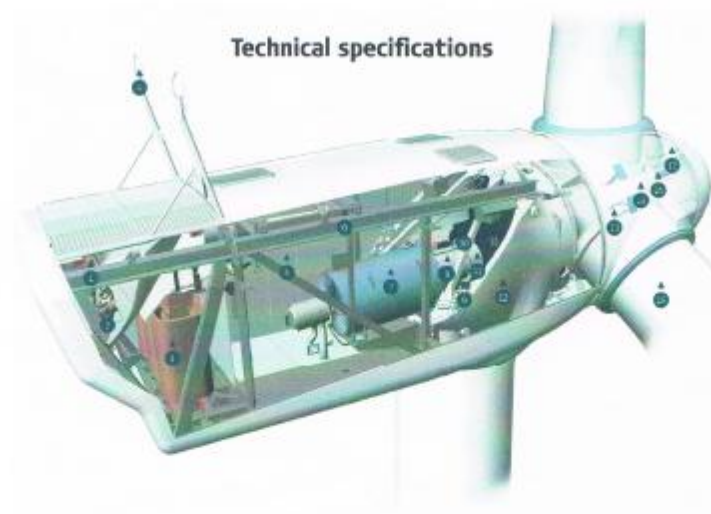
Moreover, a variety of new features, ranging from automatic blade-bearing lubrication to an oil-lubricated yaw system, have made it possible to reduce the number of preventive maintenance visits to one a year. This means considerable savings in turbine downtime and personnel costs, and is a particularly welcome development in the context of hard-to-reach offshore installations.

Proven Performance

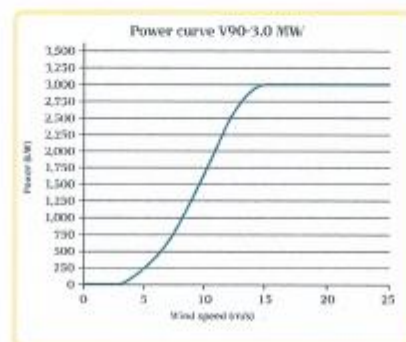
Wind power plants require substantial investments, and the process can be very complex. To assist in the evaluation and purchasing process, Vestas has identified three factors that are critical to wind turbine quality: energy production, power quality and sound level.

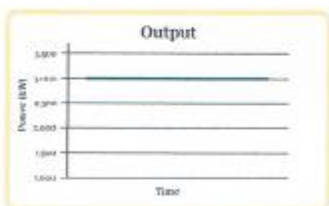
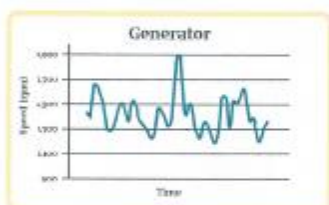
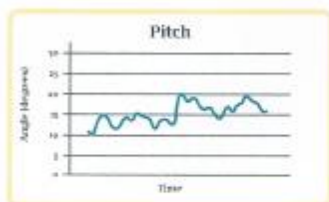
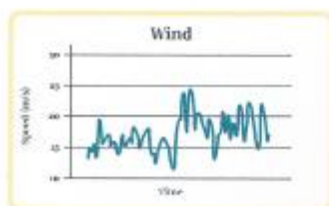
We spend months testing and documenting these performance areas for all Vestas turbines. When we are finally satisfied, we ask an independent testing organisation to verify the results – a practice we call Proven Performance. At Vestas we do not just talk about quality. We prove it.





- | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 Oil cooler | 10 Service crane | 19 Mechanical disc brake | 26 Pitch cylinder |
| 2 Water cooler for generator | 11 OptiSpeed® generator | 20 Machine translation | 27 Hub controller |
| 3 High voltage transformer | 12 Composite disc coupling | 21 Blade bearing | |
| 4 Ultrasonic wind sensors | 13 Yaw gears | 22 Blade hub | |
| 5 V30-Top controller with converter | 14 Gearbox | 23 Blade | |





OptiSpeed® allows the rotor speed to vary within a range of approximately 60 per cent on either side of nominal rpm. Thus with OptiSpeed®, the rotor speed can vary by as much as 30 per cent above and below synchronous speed. This maximum full permanent fluctuation in the output to the grid supply and the loads on the grid parts of the construction.

*OptiSpeed® is not available in the USA and Canada.

Rotor

Diameter: 90 m
Area swept: 6,362 m²
Nominal revolutions: 16.1 rpm
Operational interval: 16.6-18.4 rpm
Number of blades: 3
Power regulation: Pitch/OptiSpeed®
Air brake: Full blade pitch by three separate hydraulic pitch cylinders.

Tower

Hub height: 80 m, 105 m

Operational data

Cut-in wind speed: 4 m/s
Nominal wind speed: 13 m/s
Cut-out wind speed: 25 m/s

Generator

Type: Asynchronous with OptiSpeed®
Rated output: 3,000 kW
Operational data: 50 Hz
1,000 V

Gearbox

Type: Two planetary and one helical stage

Control

Type: Microprocessor-based control of all the turbine functions with the option of remote monitoring. Output regulation and optimisation via OptiSpeed® and OptiTip® pitch regulation.

Weight

Nacelle: 70 t
Rotor: 41 t

Monitors:
Hub height: IEC IA IEC IIA DIB II DIB III
80 m 160 t - - 160 t
105 m - 285 t 235 t -

t = metric tonnes.

DIB monitors are only approved for Germany.

All specifications subject to change without notice.

An efficient way to more power



When Vestas set out to establish a new benchmark for efficiency with its development of the V90-3.0 MW turbine, high priority was given to keeping weight down. That is because wind turbines are heavy, and the heavier the turbine, the greater the costs – for production, material, transport and installation.

Our engineers therefore rethought every aspect of turbine design – from foundations to blade tip – seeking ways to minimise the cost per kWh over the design lifetime of the V90. The result is a showcase of innovative engineering – particularly as regards weight saved. In fact, despite a larger rotor and generator, the new V90 actually weighs less than the V80-2.0 MW.

The biggest reduction has come from strengthening the tower. To increase fatigue strength, we have pioneered the use of magnets to fasten internal components to the tower walls. In addition, using a

stronger steel means less is needed. The decreased weight lets us construct the new towers in fewer sections, with significant savings in material, transport and installation costs.

The most radical redesign centred on the new nacelle. Even though the 3 MW generator is 50 per cent larger than the corresponding generator in the 2 MW wind turbine, we kept overall nacelle weight almost the same. We did this by integrating the hub bedplate directly into the gearbox, eliminating the main shaft and thus shortening nacelle length. The result is a nacelle that can generate much more power without any appreciable increase in size, weight or tower load.

Together with new low-weight blades, these breakthroughs have made the V90 remarkably light for a turbine of its size – and remarkably efficient for a turbine of any dimension.