



รายงานการวิจัย

(ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง)

(The Wind Energy Potential of Chumphon Province and Near Area)

โดย

ชื่อหัวหน้าโครงการ นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์

ชื่อผู้ร่วม นายนฤบดี ศรีสังข์

นายวชร กาลาสี

นายดิษฐ์พร ดุงโสธานนท์

นายชัยรัตน์ เพชรศิริ

ที่ปรึกษา

เลขหมู่.....

ชื่อที่ปรึกษา นายจรรูวัตร เจริญสุข

เลขทะเบียน.....

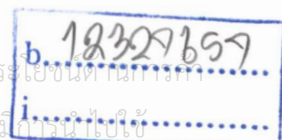
116847

วัน,เดือน,ปี.....

16 ส.ค. 2554

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2550

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร



ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อกัลใกล้เคียง

นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์

รายงานฉบับสมบูรณ์ 2553

บทคัดย่อ

จังหวัดชุมพรเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีพื้นที่ชายฝั่งทะเล ดังนั้นจึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่น่าจะสามารถประยุกต์ใช้พลังงานลมเพื่อเป็นแหล่งพลังงานเสริมให้กับท้องถิ่น นอกจากนี้พลังงานทดแทนรูปแบบอื่น และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของจังหวัดและสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ในการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ โดยนำข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศและสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกจํานวน 10 สถานี ที่ความสูง 10 เมตร ดังนี้ 517201-ชุมพร จ.ชุมพร, 517301-สวี สกษ.จ.ชุมพร, 532201-ระนอง จ.ระนอง, 500201-ประจวบคีรีขันธ์ จ.ประจวบคีรีขันธ์, 500202-หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์, 500301-หนองปลับ สกษ.จ.ประจวบคีรีขันธ์, 551201-สุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี, 551202-สถานีตรวจอากาศสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี, 551203-เกาะสมุย จ.สุราษฎร์ธานี, 551301-สุราษฎร์ธานี สกษ.จ.สุราษฎร์ธานี เป็นข้อมูลระยะเวลา 6 ปี ค.ศ. 2003 – 2008 (พ.ศ. 2546-2551) ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลความเร็วลมและทิศทางราย 3 ชั่วโมง โดยการแยกข้อมูลและแปลงหน่วยที่ต้องการ โดยวิเคราะห์ค่าความเร็วลมทิศทางของลม นามาค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนจากการบันทึกทุก ๆ 3 ชั่วโมง และแต่ละสถานี โดยจัดการให้เป็นไฟล์ INPUT.TXT และทำการแบ่งGrid ขนาด 10x10 กิโลเมตร ลงตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละสถานี ซึ่งจะได้อื่นๆ และขอบเขตวิเคราะห์ พบว่าจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่คืออยู่บริเวณชายฝั่งทะเลฝั่งตะวันออกโดยมีความเร็วลมประมาณ 3.7 เมตร/วินาที ขึ้นไป ที่ความสูง 10 เมตร สามารถผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลมต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เพราะความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน หน่วยงานแรกที่กล่าวถึงคือ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่สนับสนุนด้านเครื่องมือและสถานที่ และ กรมอุดมศึกษาฯ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลความเร็วลมและทิศทางการเคลื่อนที่ของลม ข้าพเจ้าและคณะขอขอบคุณ ณ ที่นี้

นายปัญญา แดงวิไลลักษณ์ และคณะ

เมษายน 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 การดำเนินงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ความสัมพันธ์ของลมกับความกดอากาศ	7
2.3 พัฒนาการของการใช้พลังงานลม	18
2.4 เปรียบเทียบกัณฑ์ลมความเร็วรอบต่ำและความเร็วรอบสูง	24
2.5 ส่วนประกอบของกัณฑ์ลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า	25
2.6 พลังงานที่ต้องการ	26
2.7 ประสิทธิภาพกัณฑ์ลม	27
2.8 การเลือกสถานที่ติดตั้งกัณฑ์ลม	28
บทที่ 3 ลม	31
3.1 การกำเนิดลม	31
3.2 ลมชั้นบน	36
3.3 ลมกรด	38
3.4 ลมมรสุม	39
3.5 ทิศทางและความเร็วของลม	41
3.6 การกระจายของความเร็วลม	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.7 ศักยภาพของพลังงานลม	45
3.8 ความกดอากาศและการวัดทิศทางและความเร็วของลม	47
บทที่ 4 การรวบรวมข้อมูลและการคัดเลือกข้อมูล	50
4.1 การรวบรวมข้อมูล	50
4.2 การคัดเลือกข้อมูลลมผิวพื้น	52
บทที่ 5 การวิเคราะห์ห้วงลมในทะเลและการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม	57
5.1 วิธีการวิเคราะห์ ความเร็วลมในทะเลและชายฝั่ง	57
5.2 เขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม	58
5.3 การทำแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อกลั๊เคียง 2003-2007	69
5.4 นำข้อมูลความเร็วลม ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมย้อนหลัง 5 ปีมาทำนายแผนที่ พลังงานลมที่จะเกิดขึ้นในปี 2008-2010	80
บทที่ 6 ผลการศึกษาจากแผนที่ศักยภาพพลังงานลม	86
บทที่ 7 ทฤษฎีและการออกแบบกังหันลม	90
7.1 แนวทางออกแบบเบื้องต้น	90
7.2 การออกแบบทางพลศาสตร์	90
7.3 แรงที่กระทำต่อใบพัดของกังหัน	94
7.4 คุณสมบัติของแรงบิดและกำลังงาน	95
7.5 ระบบส่งกำลัง	96
7.6 การคำนวณหาขนาดของแอร์ฟอยล์และขนาดของกังหันลม	96
7.7 การคำนวณ	99
7.8 การคำนวณแรงที่กระทำที่แอร์ฟอยล์	101
7.9 การคำนวณหาอัตราเฟืองทด	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
7.10 โครงสร้าง	105
7.11 การคำนวณแรงที่กระทำต่อกังหัน	107
7.12 การคำนวณและการพันขดลวดอาเมเจอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม 3 เฟส	107
บทที่ 8 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทดลองของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	110
8.1 ส่วนประกอบของกังหันลม	110
8.2 การทำใบพัด Fiber glass	114
8.3 การทำ Genertor	114
8.4 การทำหางเสือ	115
8.5 ขั้นตอนการทดลอง	115
บทที่ 9 สรุปและวิจารณ์การทดลอง	118
บรรณานุกรม	124
ภาคผนวก	126
ก ผลการทดสอบ	126
ข แบบกังหันลม	136
ค แผนที่ศักยภาพลมจังหวัดชุมพรข้อมูลจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน	142

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในสถานะที่พลังงานเป็นสิ่งที่ขาดแคลน เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นแต่ในทางกลับกันทรัพยากรที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานอันได้แก่ ถ่านหิน, น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ กลับมีปริมาณที่ลดลงจึงทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนพลังงานขึ้น ซึ่งผลที่ตามมาคือ มูลค่าของพลังงานที่สูงขึ้น จากปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้หลายๆ ประเทศทั่วโลกมีความตื่นตัวในการหาแหล่งพลังงานในรูปแบบอื่นที่จะนำมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานเดิม (เชื้อเพลิงฟอสซิล) ซึ่งแหล่งพลังงานแหล่งใหม่ี่ต้องเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด แต่ที่สำคัญต้องเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ พลังงานทดแทน (Renewable energy) จึงนับเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานแหล่งใหม่

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนในหลายรูปแบบ เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องการขาดแคลนพลังงาน ซึ่งพลังงานลมก็เป็นพลังงานทดแทนอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยพลังงานจากลมจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นด้วยกังหันลม และพลังงานที่ได้จะถูกนำไปใช้งานในหลายๆลักษณะด้วยกัน เช่น ใช้ในการสูบน้ำในนาข้าว, ใช้ในการทำเกลือ และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ได้มีการสร้างกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับกิโลวัตต์ เช่น ที่ควนพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมได้ 170 kw และมีการทดสอบติดตั้งกังหันลมในหลายๆรูปแบบเพื่อนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าตามจังหวัดที่มีพื้นที่ชายฝั่งทะเล

จังหวัดชุมพรเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคใต้ที่มีพื้นที่ชายฝั่งทะเล ดังนั้นจึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่น่าจะสามารถประยุกต์ใช้พลังงานลมเพื่อเป็นแหล่งพลังงานเสริมให้กับท้องถิ่น นอกจากพลังงานทดแทนรูปแบบอื่น และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของจังหวัดและสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ในการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ นอกจากนี้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เป็นสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ มีหน้าที่ให้บริการวิชาการสู่สังคมโดยมุ่งเน้นทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีพื้นที่ที่ใกล้กับชายฝั่งทะเลจึงเหมาะที่จะเป็นศูนย์กลางในการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลังงานลมของจังหวัดชุมพรในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงประเภท Fossil มีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังมีราคาเพิ่มสูงขึ้น และก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการค้นคว้าหาพลังงานในรูปแบบอื่นๆ มาใช้เป็นพลังงานทางเลือก เพื่อตอบสนองความต้องการด้านพลังงาน ซึ่งหนึ่งในพลังงานทางเลือกนั้นคือ “พลังงานลม” จากการสำรวจพบว่า ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีอาณาบริเวณที่ติดต่อกับทะเล อีกทั้งยังมีแนวลมมรสุมพัดตลอดทั้งปี แต่พลังงานลมเป็นพลังงานที่ไม่มีแน่นอน ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ และภูมิประเทศ เช่น ในจังหวัดชุมพร จะมีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4 m/s จึงมีการศึกษา และวิจัยเพื่อนำเอาพลังงานธรรมชาตินี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การนำพลังงานลมมาใช้ขึ้นนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนพลังงานลมมาเป็นพลังงานที่เราต้องการ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาจะนิยมนำพลังงานลมมาทำให้กลายเป็นพลังงานกล เช่น การใช้กังหันลมเพื่อวิดน้ำเข้านาเกลือ หรือนำไปขับปั๊มน้ำ ซึ่งกังหันประเภทนี้เป็นกังหันความเร็วรอบต่ำ สำหรับในกรณีกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นจะเป็นกังหันลมความเร็วรอบสูง ณ ปัจจุบันได้มีการสร้างกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจำหน่ายเป็นจำนวนมาก แต่กังหันเหล่านี้เป็นกังหันลมที่ต้องใช้ความเร็วลมสูงในการผลิตกระแสไฟฟ้า จึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างกังหันลมที่ใช้ความเร็วลมต่ำขึ้น

จากการศึกษาพบว่า สิ่งที่มีผลต่อการออกตัวและการหมุนของกังหันลมคือ รูปแบบของใบพัด และองศาของหน้าใบพัดในการรับลม จึงได้มุ่งเน้นศึกษาใน 2 กรณีนี้เป็นพิเศษ โดยได้เลือกใช้ใบพัดกังหันแบบ NACA 4412 จำนวน 3 ใบ แต่ละใบมีความยาวใบพัด 1.25 เมตร ทำจากวัสดุ “Fiber glass” เนื่องจากมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของฝนกรด และความเค็มของลมทะเล ในการสร้างใบพัดนั้นได้คำนึงถึง “โมเมนต์ความเฉื่อย” ที่เกิดขึ้น ถ้าหากโมเมนต์ความเฉื่อยมากจะส่งผลให้ใบพัดออกตัวได้ยาก แต่ถ้าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยจะทำให้ใบพัดไม่หมุนที่ความเร็วลมต่ำ จึงควรศึกษาให้ดีในเรื่องนี้ เพื่อทำให้กังหันมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงการย่อยที่ 1 : การศึกษาการกระจายตัวของความเร็วลม โดยใช้ Weibull distribution

เพื่อศึกษาให้ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของความเร็วลม และความเร็วของลมในแต่ละพื้นที่ว่ามีมากหรือน้อยเพียงไร โดยใช้วิธี Weibull distribution เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้มาจัดทำเป็นแผนที่แสดงการกระจายตัวของความเร็วลมในจังหวัดชุมพรและบริเวณใกล้เคียง

โครงการย่อยที่ 2 : การศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการนำพลังงานลมมาใช้งาน

เพื่อศึกษาให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการประยุกต์นำพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยปัจจัยต่างๆจะถูกใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินความเหมาะสมต่อไป

โครงการย่อยที่ 3 : การประเมินความเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

เพื่อประเมินความเหมาะสมในการที่จะประยุกต์นำพลังงานลมมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน โดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการนำพลังงานลมมาใช้ ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินจะติดในแง่ของการเป็นแหล่งพลังงานเสริมเท่านั้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนนั้นๆ ว่ามีความเหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานหรือไม่ ดังเช่นจังหวัดชุมพรและบริเวณใกล้เคียง ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยชายฝั่งทะเลและเกาะ ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถประยุกต์นำพลังงานลมมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ ดังนั้นจึงควรจะมีการประเมินหาศักยภาพของพลังงานลมในพื้นที่จังหวัดชุมพรและบริเวณใกล้เคียงว่ามีความเหมาะสม มากน้อยเพียงไรต่อการนำพลังงานลมไปใช้งาน โดยเริ่มจากการสำรวจการกระจายตัวของความเร็วลมในแต่ละพื้นที่ แล้วนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน(จัดทำเป็นแผนที่) หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อพลังงานลม ไปใช้ แล้วจึงประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานว่ามีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานหรือไม่

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

สำรวจข้อมูล, ทำการจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกต่อการนำมาใช้ และนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาประเมินหาความเหมาะสม แล้วทำการออกแบบกังหันลมโดยใบพัดกังหันเป็นแบบ Airfoil ชนิด 3 ใบ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Generator เปรียบเทียบกำลังการผลิตที่มุม 10° , 15° , 20° และ 25° ตามลำดับ และความเร็วลมต่างๆ

1.5 การดำเนินงาน

1. การศึกษาการกระจายตัวของความเร็วลมโดยใช้ Weibull distribution เป็นการใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการทำนายหรือคาดคะเนแนวโน้มการกระจายตัวของความเร็วลม โดยการแทนค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องลงในสมการ เช่น ข้อมูลความเร็วของลมที่ตรวจวัดได้ เป็นต้น นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะมีการจัดเก็บข้อมูลที่วิเคราะห์ออกมาได้ให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกต่อการนำไปใช้งานในอนาคต โดยอาจจะทำเป็นแผนผังแสดงความเร็วลมในแต่ละพื้นที่

2. การศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการนำพลังงานลมมาใช้ งาน เช่น ในเรื่องของสภาพความเหมาะสมของภูมิประเทศ, ความคุ้มค่าในการลงทุน และมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงผลกระทบที่จะมีต่อทัศนียภาพ

3. การประเมินความเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน โดยจะเป็นการวิเคราะห์ในลักษณะของการนำพลังงานลมมาเป็นแหล่งพลังงานเสริมร่วมกับแหล่งพลังงานแหล่งอื่นเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น และเตรียมความพร้อมสำหรับพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานหลักให้กับท้องถิ่น โดยจะพยายามใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลให้น้อยที่สุด

การศึกษา วิเคราะห์และเก็บข้อมูล ดำเนินการ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ต่าบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนคลองกรุง เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร, และอาจจะมีการขอความร่วมมือจากบริษัท กฟผ. จำกัด (มหาชน), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรมอุตุนิยมวิทยา และสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ ในเรื่องการเก็บรวบรวมข้อมูล, การวิเคราะห์ผล และข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปเป็นจำนวนมาก ยังผลให้พลังงานดังกล่าวลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด จึงได้มีการศึกษา, ค้นคว้า และพัฒนา พลังงานหมุนเวียนเพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงาน หรือเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไป ซึ่งในปัจจุบันพลังงานลมได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการเพิ่มศักยภาพของอุปกรณ์รับพลังงาน และรูปแบบการนำไปใช้ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองอุปสงค์ของประชากรที่มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานลมเป็นพลังงานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่างๆ ได้ง่าย, ไม่มีความซับซ้อน, เป็นพลังงานที่ได้เปล่า และไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาและพัฒนาจะเป็นการเพิ่มแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลมต่ำซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ

ไทย

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่ง ที่ได้รับจากผลโดยอ้อมของพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในภาคตัดขวางของโลกทั้งหมดประมาณ 178×10^{15} วัตต์ มีเพียง 0.02 % เท่านั้นที่ก่อให้เกิดพลังงานลม ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานลมก็คือกังหัน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญชัย (2524) ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์พลังงานลมในรูปของ การกระจายความถี่ของความเร็วลม, ความยาวนานของความเร็วลม, การกระจายความถี่ และความยาวนานของพลังงานลม โดยในการวิเคราะห์จะแยกช่วงเวลาที่ลมสงบออก (ความเร็วลมเป็นศูนย์) ซึ่งผลของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์ในแง่ของพลังงานลมมากกว่า การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเดิมของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้รวมเวลาที่ลมสงบเข้าไปในการวิเคราะห์ด้วย

Dr. Excell (1981) ได้นำเสนอผลงานในรูปของตัวแปร 2 ตัว ของสมการคณิตศาสตร์ Weibull Distribution คือ

$$F(V) = (K/C) (V/C)^{(K-1)} \exp\{-(V/C)^K\}$$

ตัวแปรทั้ง 2 คือ C และ K โดยสมการนี้ได้รับการยอมรับว่าใกล้เคียงกับการกระจายความถี่ของความเร็วลมมาก ซึ่งสมการนี้เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ทางด้าน Mathematical Model ของการวิเคราะห์ระบบกังหันลม

Meier และ Merson (1980) ได้จำแนกระดับความเร็วเฉลี่ยที่ความสูง 10 เมตร จากพื้นดินที่เหมาะสม สำหรับการใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ 4-5 เมตรต่อวินาที, ระดับปานกลาง 5-7 เมตรต่อวินาที และ ระดับสูง ตั้งแต่ 7 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป สำหรับกังหันสูบน้ำที่ใช้ในประเทศไทยสามารถใช้งานได้กับความเร็วลมเฉลี่ยต่ำถึง 3 เมตรต่อวินาที หากความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่านี้พลังงานที่ได้จะน้อยจนไม่นำนำมาใช้ประโยชน์ได้

Frank R. ELDRIDGE (1975) ได้แบ่งประเภทของการจำแนกชนิดของกังหันออกเป็น 2 วิธีคือ

- จำแนกตามลักษณะการวางตัวของแกนหมุน แบบแกนตั้ง หรือแกนนอน กล่าวคือ กังหันลมแบบแกนนอน หมายถึงกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของกระแสลม ส่วนกังหันลมแบบแกนตั้ง หมายถึงกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลม และตั้งฉากกับผิวโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำแนกตามลักษณะของแรงขับที่กระแสมกระทำต่อใบกังหัน กล่าวคือการขับด้วยแรงยก (Lift Force) และการขับด้วยแรงดูด หรือแรงหน่วง (Drag Force)

Fellow Engineers Consultants Co.,Ltd, Alternative Energy Institute (USA), KEMA International (2545) จากผลการศึกษาพบว่าแหล่งศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยที่ดีโดยมีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีระดับ 3 (Class 3) หรือมีความเร็วลม 6.4 เมตร/วินาทีขึ้นไป ที่ความสูง 50 เมตร อยู่ที่ภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก เริ่มตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา และปัตตานี และที่อุทยานแห่งชาติคอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน ถึงปลายเดือนมีนาคม นอกจากนี้ยังพบว่ามีแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีอีกส่วนหนึ่งอยู่บริเวณเทือกเขาด้านทิศตะวันตกตั้งแต่ภาคใต้ตอนบนจรดภาคเหนือตอนล่าง ในจังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรี ตาก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม แหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ในบริเวณเทือกเขาในอุทยานแห่งชาติแก่งกรุง จังหวัดสุราษฎร์ธานี อุทยานแห่งชาติเขาหลวง และเข้าร่วมเย็น จังหวัดนครศรีธรรมราช ในอุทยานแห่งชาติศรีพังงา จังหวัดพังงา พนมเบญจา จังหวัดกระบี่ ส่วนแหล่งที่มีศักยภาพรองลงมา โดยมีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีตั้งแต่ระดับ 1.3 ถึง 2 (Class 1.3-Class 2) หรือมีความเร็วลม 4.4 เมตร/วินาทีขึ้นไป ที่ความสูง 50 เมตร พบว่าอยู่ที่ภาคใต้ตอนบนบริเวณอ่าวไทยชายฝั่งตะวันตก ตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร จรดจังหวัดสุราษฎร์ธานี และบริเวณเทือกเขาในภาคเหนือ คือ จังหวัดเชียงใหม่ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ จังหวัดเพชรบูรณ์ และเลย ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และ พบว่าอยู่ที่ภาคใต้ฝั่งตะวันตก ตั้งแต่จังหวัดพังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง จรด สตูล และในอ่าวไทยชายฝั่งตะวันออก คือ จังหวัดระยอง และชลบุรี ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้

ในช่วงปี ค.ศ. 1941 – 1945 สหรัฐอเมริกา ได้มีการสร้างกังหันลมขนาดใหญ่ที่ Vermont เป็นแบบ 2 ใบพัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 53 เมตร กำลังการผลิต 1.25 เมกกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 13.4 เมตรต่อวินาที เริ่มใช้งานในเดือนมีนาคม 1945 หลังจากนั้น 23 วัน ใบพัดเกิดหัก และได้เลิกใช้งานไปเนื่องจากความไม่คุ้มต่อค่าใช้จ่าย

ราวกลางปี ค.ศ. 1950 บริษัท เอ็นฟิลด์เคเบิ้ล แห่งอังกฤษ ได้สร้างกังหันลมระบบส่งกำลัง Pneumatic ขนาด 0.1 เมกกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 13.4 เมตรต่อวินาที โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 เมตร ใบพัดมีลักษณะกลวงทำหน้าที่เป็นเครื่องดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง ดูดอากาศผ่านกังหันที่ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องหอดูดกลวง แต่ปรากฏว่าประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันแบบธรรมดาจึงไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดนมาร์ค ได้มีการสร้างกั้นหันลมในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นกั้นหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 70 – 90 กิโลวัตต์ จำนวน 18 ตัว และต่อมาในปี ค.ศ. 1957 ได้สร้างกั้นหันลมแบบ 3 ใบพัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 เมตร กำลังการผลิต 0.2 เมกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที แต่เลิกใช้งานไปเมื่อปี ค.ศ. 1968

2.2 ความสัมพันธ์ของลมกับความกดอากาศ

2.2.1 กลศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของลม

ความแตกต่างของความดันทำให้เกิดแรงผลักดันให้อากาศเคลื่อนที่จากความกดอากาศไปยังความกดอากาศต่ำ สมสามารถเคลื่อนที่ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนแต่มักจะเคลื่อนที่ในแนวนอนมากกว่า หากให้ P คือความดันในแนวนอนที่อากาศอยู่ด้านหนึ่ง (หน่วย N/m^2) และ $P + \Delta P$ คือความดันที่อากาศอยู่อีกด้านหนึ่ง แรงที่ผลักดันให้อากาศเคลื่อนไหวคือ โดยสมการเขียนสมการกลศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของลมในแนวนอนได้ดังนี้ คือ

$$F = - \left(\frac{1}{\rho} \right) \left(\frac{\Delta P_x}{\Delta X} \right) \quad \text{-----} \quad (2.1)$$

โดยที่ F_x คือ แรงต่อหน่วยที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ (Pressure Gradient Force), N/kg
 ΔX คือ ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวนอน, m
 ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ, kg/m^3

ยกตัวอย่างจากแผนที่พยากรณ์อากาศซึ่งพบว่า เกิดความแตกต่างของความกดอากาศของอากาศสองตำแหน่งเท่ากับ $800 N/m$ ($8 mb$) อากาศสองตำแหน่งอยู่ในละติจูดเดียวกันแต่ห่างกัน $700 km$. ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นอากาศเท่ากับ $1.225 kg/m^3$ จากสมการที่ 2.1 สามารถหาแรงที่กระทำเป็นแนวตั้งฉากเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) ได้เท่ากับ $F_x = 0.933 \times 10^{-3} N/kg$ และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton) อากาศจะมีอัตราเร่งเท่ากับ $0.933 \times 10^{-3} m/s^2$ ถ้าอากาศเคลื่อนที่ใน 1 วัน จะเกิดความเร็วลมที่อากาศชั้นบนเท่ากับ $80.6 m/s$

สำหรับสมการกลศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้ง สามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$\Delta P_z = - \rho g \Delta Z \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

โดยที่ P คือ ความดันที่เกิดจากมวลอากาศ
 ΔZ คือ ระยะทางเคลื่อนที่ในแนวตั้ง
 g คือ ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้งจะถูกต้านและทำให้สมดุลโดยแรงโน้มถ่วงเสมอ ยกเว้นลมที่ผิวพื้นจะมีความสัมพันธ์กับระดับความสูงของภูมิประเทศ (Topography) ซึ่งลมจะไม่มีสภาพสมดุลและเคลื่อนที่ในแนวตั้งตามอิทธิพลความคงตัวของความร้อน (Thermal Stability)

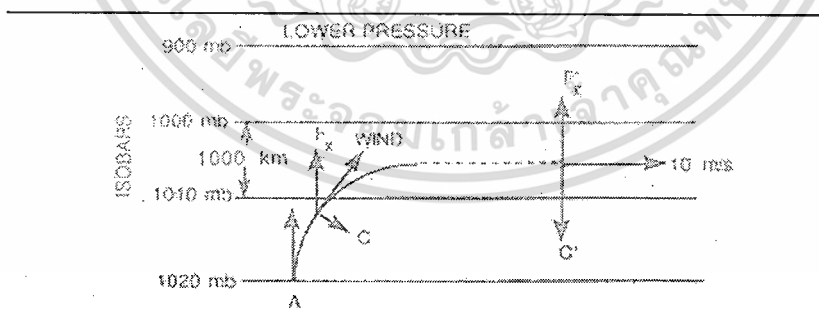
2.2.2 GEOSTROPHIC WIND

ลมจะถูกต้านทานจากแรงอื่นๆ เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลเสมอ แรงอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมุนของโลกหรือแรงคอริโอลิส (Coriolis) ซึ่งสามารถเขียนสมการแรงของคอริโอลิส (Coriolis) ได้ดังนี้

$$C = 2\Omega V \sin \phi \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

- โดยที่ C คือแรงคอริโอลิส (Coriolis)
- Ω คือ Angular angle (เท่ากับ 7.29×10^{-5} rad/s)
- V คือ ความเร็วลม, m/s
- ϕ คือ Latitude, degree

แรงดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ซีกโลกทางเหนือและที่ซีกโลกทางใต้แต่ที่เส้นศูนย์สูตรแรงคอริโอลิส (Coriolis) จะเป็นศูนย์ลมจะเกิดจากความแตกต่างของแรงอากาศ โดยมีแรงต้านจากแรงฝืด (Friction) เท่านั้น ลมจะเกิดจากความกดอากาศสูงไหลมายังความกดอากาศต่ำและการไหลของลมจะทำให้ความดันอากาศตกลงจนกลายเป็นศูนย์ ดังนั้นศูนย์กลางของความกดอากาศทั้งสูงและต่ำจะไม่เกิดใกล้เส้นศูนย์สูตร



รูปที่ 2-1 การเกิด Geostrophic Wind

ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรถ้าเกิดความแตกต่างของความกดอากาศลมจะไหลเป็นเส้นโค้ง (รูปที่ 2-1) ซึ่งอธิบายได้ คืออากาศที่ถูกผลักโดยแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดันพยายามเคลื่อนที่ตั้งฉากกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) ซึ่งถือว่าเป็นเส้นระดับแนวนอนที่มีความกดอากาศคงที่เมื่ออากาศเคลื่อนที่แรงคอริโอลิส (Coriolis) จะพยายามตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลมทำให้ลมเบี่ยงเบนไปทางขวาของเส้นทางเดิม เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางจะมีเฉพาะแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศเท่านั้นที่กระทำเสริมในทิศทางเดิมทำให้ลมมีการเคลื่อนที่เร็วขณะที่ทิศทางที่เปลี่ยนไปแรงลมก็จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งความเร็วลมจะคงที่และวิ่งขนานไปกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายตามกฎของ Buys - Ballot ได้กล่าวคือ ถ้ายืนที่ซีกโลกเหนือโดยหันหลังให้กับลม ความกดอากาศสูงจะอยู่ทางขวามือและความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายมือ แต่ถ้ายืนอยู่ที่ซีกโลกใต้ทิศทางจะสลับกัน ลมที่ทำให้เกิดจุดสมดุลเรียกว่า ลม Geostrophic Wind โดยมีสมการดังนี้

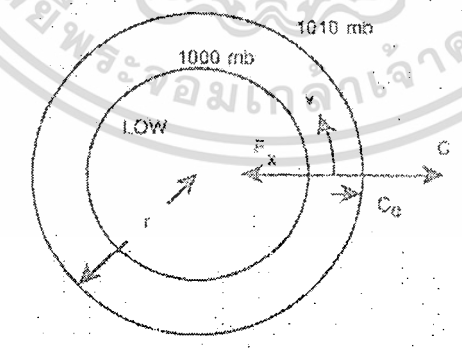
$$2\Omega V \sin \phi = \left(\frac{1}{\rho}\right) \left(\frac{\Delta P_x}{\Delta X}\right) \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

โดยที่ V คือความเร็วลม Geostrophic Wind, m/s

ถ้าความเร่งของอากาศเท่ากับ 0.933×10^{-3} (จากข้อ 2.1.1) เกิดขึ้นที่ Latitude 40° เมื่อแทนค่าในสมการดังกล่าวจะได้ความเร็วลม Geostrophic Wind (V) เท่ากับ 9.95 m/s

2.2.3 GRADIENT WIND

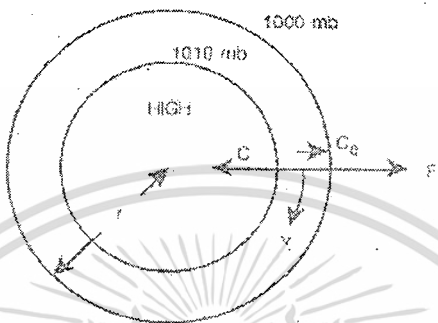
ในบางกรณีลมจะไหลขนานกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจสามารถอธิบายได้ว่า ถ้าลมไหลไปตามเส้นโค้งที่แสดงในรูปที่ 2-2 ด้วยความเร็ว V เมตร/วินาที และกำหนดให้เส้นโค้งดังกล่าวมีรัศมีความโค้งเท่ากับ r จะเกิดแรงหนีศูนย์กลาง (C_c) เท่ากับ $\frac{V^2}{r}$



รูปที่ 2-2 การเกิด Cyclonic Motion ที่ซีกโลกทางเหนือ

ในกรณีนี้ที่แรงเกิดขึ้นจากความแตกต่างของแรงกดอากาศไหลเข้าหาความกดอากาศต่ำซึ่งอยู่ภายในรูปที่ 2-2 โดยหลักของความสมดุลแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความดัน (F_x) จะเท่ากับแรงคอริโอลิส (Coriolis) รวมกับแรงหนีศูนย์กลางโดยเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$F_x = \left(\frac{1}{\rho}\right)\left(\frac{\Delta P_x}{\Delta X}\right) = 2\Omega V \sin \phi + \frac{V^2}{r} \dots\dots\dots(2.5)$$



รูปที่ 2-3 การเกิด Cyclonic Motion ที่ซีกโลกทางใต้

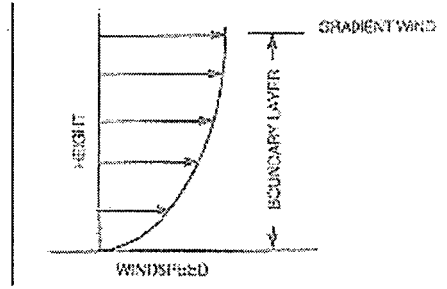
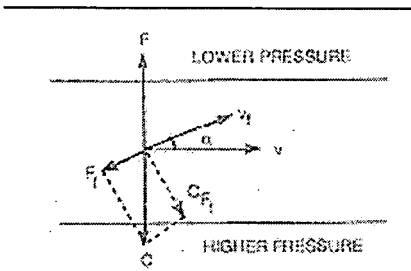
เมื่อลมพัดอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของความกดอากาศของความกดอากาศสูงความสมดุลของแรงจะเปลี่ยนไป กล่าวคือ แรงที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ (F) จะพยายามไหลออกจากวงกลมพร้อมแรงหนีศูนย์กลาง ขณะเดียวกันแรงคอริโอลิส (Coriolis) จะไหลเข้าสู่ศูนย์กลางตามในรูปที่ 2-3 เพื่อให้เกิดความสมดุลโดยเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้คือ

$$2\Omega V \sin \phi = \left(\frac{1}{\rho}\right)\left(\frac{\Delta P_x}{\Delta X}\right) + \frac{V^2}{r} \dots\dots\dots(2.6)$$

ปรากฏการณ์ของการไหลของอากาศทั้งสองกรณีคือ การไหลแบบไซโคลนและแอนตี้ไซโคลน ซึ่งถ้าเกิดขึ้นที่บริเวณละติจูดต่ำๆ ซึ่งบริเวณนั้น แรงคอริโอลิส (Coriolis) จะมีน้อยจึงเกิดเป็นลมพายุประเภทเฮอริเคน หรือทอร์นาโดขึ้น อนึ่ง ลมดังกล่าวไม่เกิดขึ้นในประเทศไทย

2.2.4 ลมผิวพื้น (SURFACE WIND)

ลมผิวพื้น (Surface Wind) คือ ลมที่พัดในบริเวณผิวโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตร



รูปที่ 2-4 ผลของแรงดันและแรง Coriolis

รูปที่ 2-5 ลักษณะของความเร็วมวลภายใต้ Atmosphere Boundary Layer

ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศและมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วย ในระดับต่ำแรงที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศในแนวนอนจะไม่สมดุลกับแรงคอริโอลิส (Coriolis) ลมผิวพื้นจะไม่พัดขนานกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) แต่พัดข้ามเส้นความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำและทำมุมกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) (รูปที่ 2-4) การทำมุมนั้นขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวพื้น ถ้าเป็นทะเลที่ราบเรียบจะทำมุม 10 องศา ถึง 20 องศา แต่พื้นที่ดิน (ระดับความสูง 10 เมตร) ทำมุม 20 – 40 องศา ส่วนบริเวณที่เป็นป่าไม้หนาที่บอาจทำมุมถึง 90 องศา แต่ที่ ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงดันจะลดลงและความเร็วมวลจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2-5) และมุมที่ทำกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar) จะเล็กลง ส่วนที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตร เกือบไม่มีแรงฝัด ดังนั้นลมจึงพัดขนานกับเส้นความกดอากาศเท่า (Isobar)

2.2.5 ความสัมพันธ์ของลมกับอุณหภูมิ

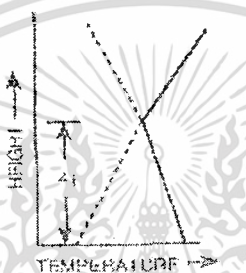
โดยปกติขอบเขตของชั้นบรรยากาศโลก (Atmospheric Boundary Layer) จะอยู่ที่ความสูง 1,000– 2,000 เมตร ซึ่งมีตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อการศึกษาคือความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวดิ่ง (Vertical Temperature Gradient) ซึ่งอธิบายถึงความเร็วลมที่ความสูงระดับต่าง ๆ และความทรงตัวของสภาพอากาศ (Atmospheric Stability) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันทางคณิตศาสตร์ดังนี้คือ

$$dT / dz = -g/c_p \text{ ----- (2.6)}$$

- โดยที่ dT คือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- dz คือการเปลี่ยนแปลงความสูง
- g คือค่าคงที่แรงโน้มถ่วงโลกเท่ากับ 9.8 m/s²
- c_p คือความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง เท่ากับ 103 J / (kg K)

โดยกฎดังกล่าวสามารถประมาณการได้ว่าอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 10°C ทุกๆความสูงที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร

ความแตกต่างของอุณหภูมิจะกำหนดสถานะต่างๆของชั้นบรรยากาศโลก กล่าวคือ อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงจากกลางวันไปกลางคืน ในเวลากลางวันอากาศใกล้พื้นผิวโลกจะค่อยๆ ร้อนและร้อนขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งที่ความสูง Z_1 ความร้อนจะกลับลดลงขณะที่ความสูงยังเพิ่มขึ้นต่อไปถึงชั้นความสูงที่เหนือระดับ Z_1 ณ ชั้นนี้จะเรียกว่าชั้นบรรยากาศผสม (Convective หรือ Mixing Layer) รูปที่ 2-6 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ เส้นที่บเริ่มจากตะวันตกดินจนถึงรุ่งเช้า เส้นประเริ่มจากรุ่งเช้าจนถึงตะวันตกดิน



รูปที่ 2-6 อุณหภูมิเหนือผิวโลกที่ระดับความสูงต่างๆ

ในสถานการณ์ที่มวลอากาศไหลเข้าแทนที่อย่างรวดเร็วในทิศทางข้างขึ้นแต่อุณหภูมิลบลดลงตลอดเวลา ยิ่งความสูงเพิ่มขึ้นอากาศจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่า อากาศจึงขยายตัวและลอยตัวสูงขึ้นตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันก็จะมีอากาศส่วนหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามคือลอยตัวต่ำลง ณ ที่จุดนี้เรียกว่าสภาวะสภาพอากาศไม่ทรงตัว (Unstable Atmosphere) อากาศทั้งสองจะผสมกัน เรียกว่าขบวนการ Convective Process ในชั้นบรรยากาศ Convective Layer จากการคลุกเคล้าของอากาศอย่างแรงในขบวนการดังกล่าวจะลดความแตกต่างของความเร็วและอุณหภูมิ (รูปที่ 2-7 ก.) ภายในชั้นบรรยากาศของมัน

ในสถานการณ์ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น มวลอากาศจะลอยสูงขึ้น แต่ไม่ขยายตัวเนื่องจากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงกว่า เมื่อถึงระดับหนึ่งอากาศจะตกลงไปที่จุดเริ่มต้น ถ้ามวลอากาศเคลื่อนที่ลงมันจะมีความร้อนสูงกว่าบรรยากาศรอบตัว ดังนั้น มวลอากาศจะเบากว่าและอาจไหลกลับขึ้นไปที่สูงเดิม สภาพอากาศนี้เรียกว่าสภาพอากาศทรงตัว (Stable Atmosphere) (รูปที่ 2-7 ข.)

ในบางขณะอุณหภูมิจะคงที่ตลอดเวลาไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของมวลอากาศขึ้นหรือลงอย่างสมดุล ขณะที่ความดันลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิ มวลอากาศจะลดลง สภาพอากาศที่สถานะนี้เรียกว่าสภาพอากาศ Neutral (รูปที่ 2-7 ค.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ทราบอยู่แล้วว่าโดยทั่วไปอากาศจะเคลื่อนที่โดยสะดวกในแนวนอนมากกว่าในแนวตั้งแต่ในชั้นสภาพอากาศนี้อากาศจะเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้โดยสะดวกเท่ากับเคลื่อนที่ในแนวนอน

PARCEL OF AIR MECHANICALLY PERTURBED TO A HIGHER LEVEL

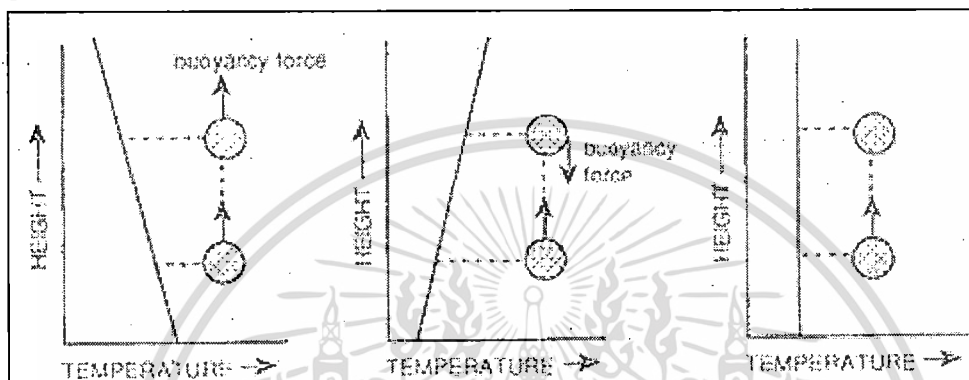
ก. Unstable Atmosphere

ข. Stable Atmosphere

ค.

Neutral

Atmosphere



รูปที่ 2-7 สภาพอากาศในสภาวะต่างๆ

โดยปกติในวันหนึ่งที่มีอากาศแจ่มใส ความร้อนจากการแผ่รังสี จะทำให้เกิดสภาวะของสภาพอากาศไม่ทรงตัว(Unstable) ในช่วงเวลากลางวัน (11.00–17.00 น.) และมีสภาวะทรงตัวในเวลากลางคืนถึงเช้า (20.00 – 7.00 น.) ส่วนสภาวะ Neutral หรือ ใกล้เคียง Neutral คือช่วงเวลาเปลี่ยนแปลง (Transition period) จะเกิดใกล้ตัวขึ้นจนสาย (07.00 – 11.00 น.) และใกล้ตัวตกดินจนค่ำ (17.00 – 20.00 น.) ในบางวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากอาจถือได้ว่าเป็นสภาวะ Neutral หรือใกล้เคียง Neutral ตลอดวัน

2.2.6 ความสัมพันธ์ของความเร็วลมกับสภาพอากาศและความขรุขระของพื้นผิวโลก

ความทรงตัวของสภาพอากาศและความขรุขระของผิวพื้นมีความสัมพันธ์กับความเร็วลม โดยมีผลกระทบต่อความเร็วลมทั้งในแนวตั้งและ ความทรงตัวของสภาพอากาศสามารถกำหนดได้โดยอัตราส่วนของความทรงตัวที่มีความสัมพันธ์กับความยาวของความทรงตัว (Stability Length) ตามทฤษฎีของ Monin - Obukhov^[6] ซึ่งได้ กำหนดค่าความยาวของความทรงตัว (Stability Length) ดังนี้

<u>สภาพอากาศ</u>	<u>Stability Length, L (m)</u>	<u>Stability Ratio (Z/L)</u>
ทรงตัว (Stable)	50	10
ค่อนข้างทรงตัว (Slightly Stable)	200	N/A
Neutral	∞	0
ไม่ทรงตัว (Unstable)	-50	-10

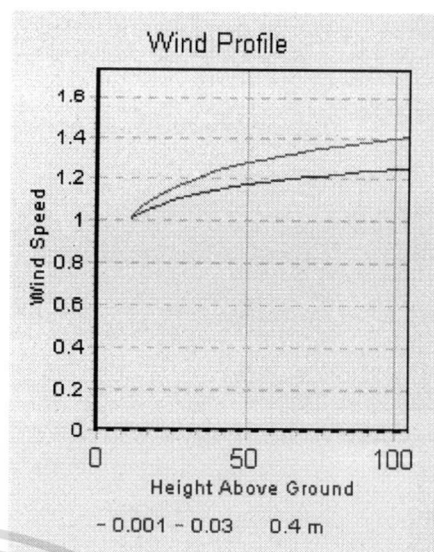
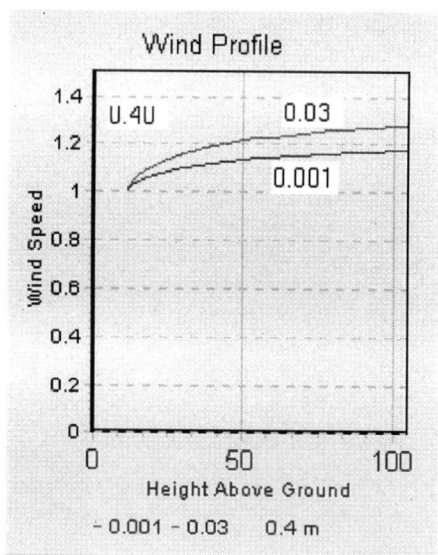
ภายใต้ขอบเขตชั้นบรรยากาศโลก (Atmospheric Boundary Layer) ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นถ้ามี Wind Shear Exponent เป็นบวก ตามสูตร

$$V_1 / V_2 = (H_1 / H_2)^a \quad \text{----- (2.7)}$$

โดยที่ a คือ Wind Shear Exponent

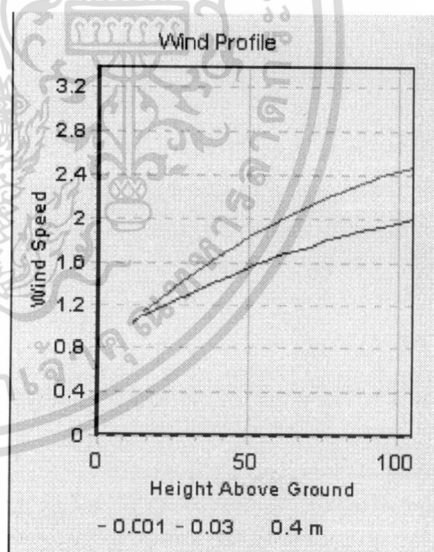
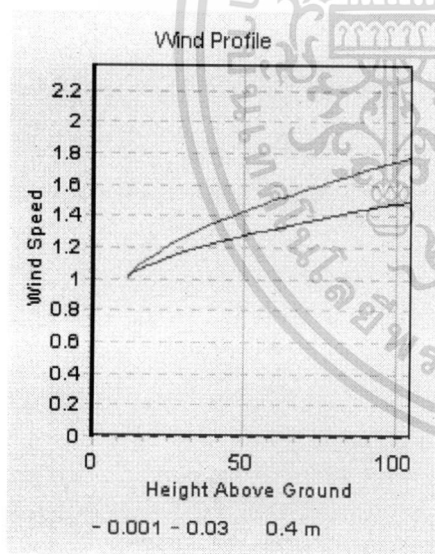
รูปที่ 2-8 ถึง 2-10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ของความเร็วลมกับอัตราส่วนของความทรงตัวที่ระดับความสูงตั้งแต่ 100 เมตร 500 เมตร และ 3,000 เมตร ตามลำดับ โดยมีความขรุขระของผิวพื้นให้เลือก 3 ค่า คือ 0.001 เมตร 0.03 เมตร และ 0.40 เมตร จากกราฟสามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) ความกดอากาศและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับความเร็วลม ที่สภาพอากาศทรงตัว (Stable) ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูงมากกว่าที่สภาพอากาศ Neutral เนื่องจากในสถานะที่สภาพอากาศทรงตัวค่าอัตราส่วนของความทรงตัวจะมีค่าใกล้ศูนย์ ซึ่งในสถานะดังกล่าวการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งจะมีแรงกดสูง ในสภาพภูมิประเทศที่เป็นที่สูง เช่น บริเวณเชิงเขา หรือภูเขาสูง ลมที่ยอดเขาในสถานะที่สภาพอากาศทรงตัวจะมีความเร็วสูงกว่าในสถานะที่สภาพอากาศ Neutral มาก
- (2) ในพื้นที่ซึ่งผิวพื้นมีความขรุขระมาก ความเร็วลมที่อากาศชั้นบนจะลดลงเมื่อความสูงลดลงมากกว่าในพื้นที่ซึ่งมีความขรุขระน้อย เนื่องจากยิ่งความสูงลดลงแรงต้านของผิวพื้นยิ่งเพิ่มขึ้นมาก



ก. Stability Ratio: Unstable

ข. Stability Ratio: Neutral

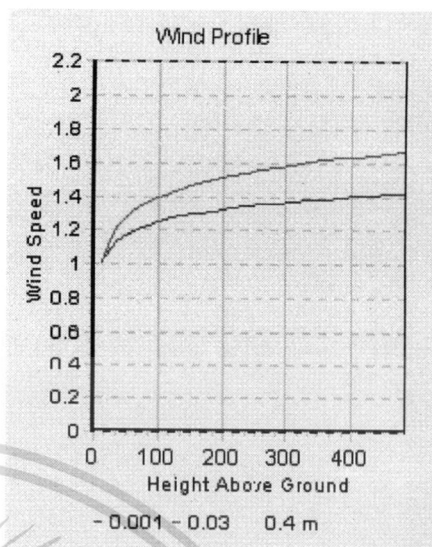
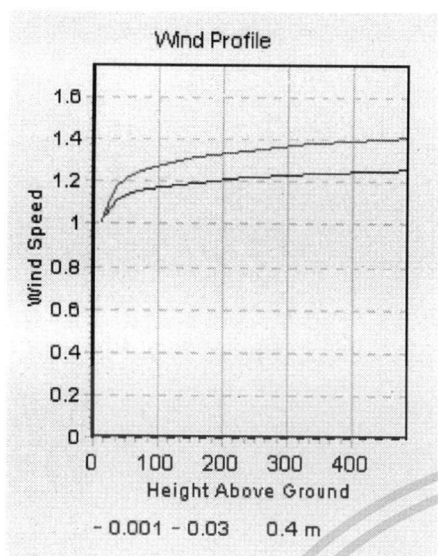


ค. Stability Ratio: Slightly Stable

ง. Stability Ratio: Stable

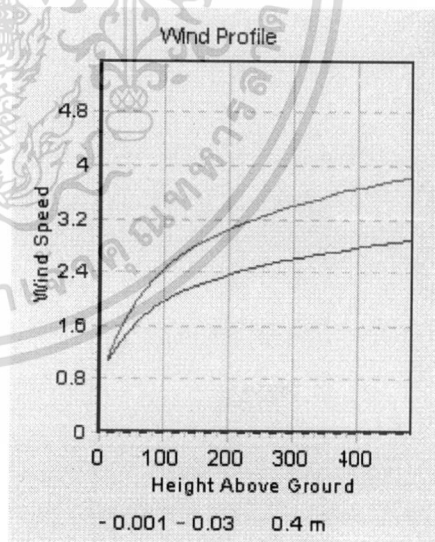
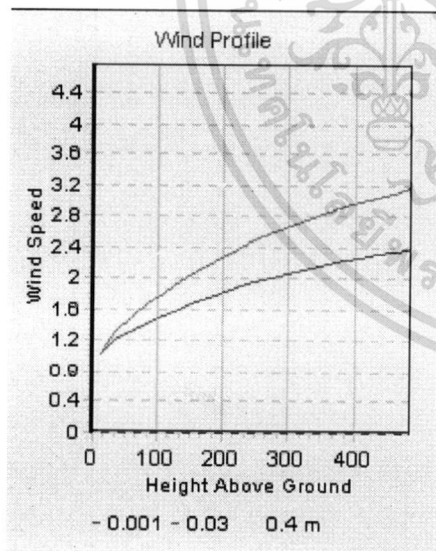
รูปที่ 2-8 Wind Profile ที่ความสูง 10-100 เมตร ที่ความขรุขระของพื้นผิวโลก และ Stability Ratio ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. Stability Ratio: Unstable

ข. Stability Ratio: Neutral

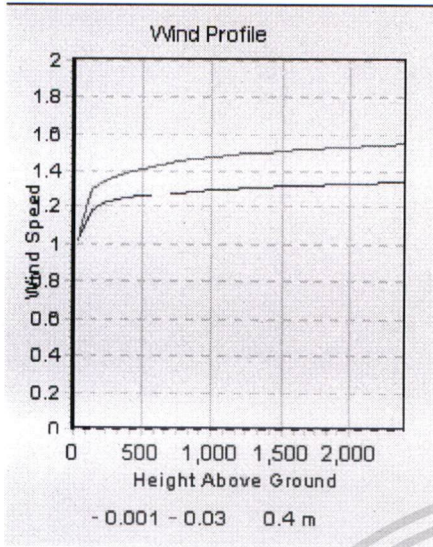


ค. Stability Ratio: Slightly Stable

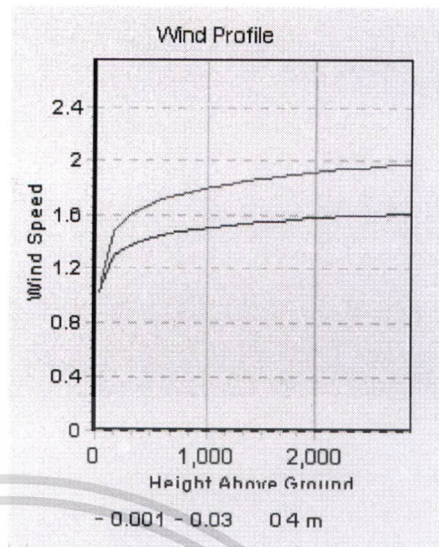
ง. Stability Ratio: Stable

รูปที่ 2-9 Wind Profile ที่ความสูง 100-500 เมตร ที่ความขรุขระของพื้นผิวโลก และ Stability Ratio ต่างๆ

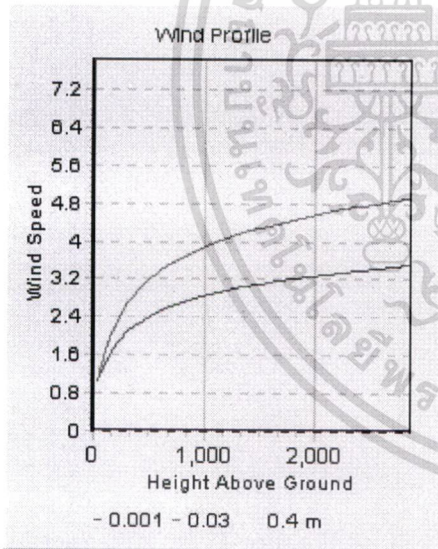
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



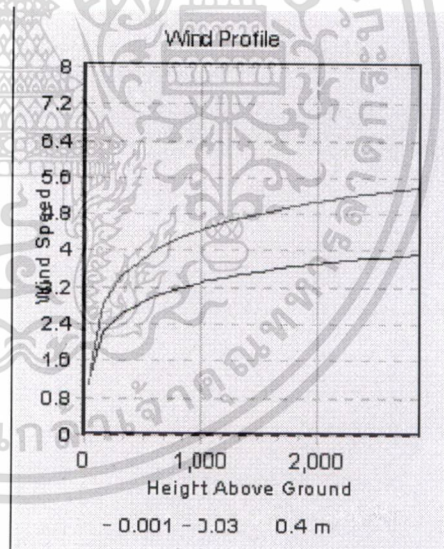
ก. Stability Ratio: Unstable



ข. Stability Ratio: Neutral



ค. Stability Ratio: Slightly Stable



ง. Stability Ratio: Stable

รูปที่ 2-10 Wind Profile ที่ความสูง 500-3000 เมตร ที่ความขรุขระของพื้นผิวโลก และ Stability Ratio ต่างๆ

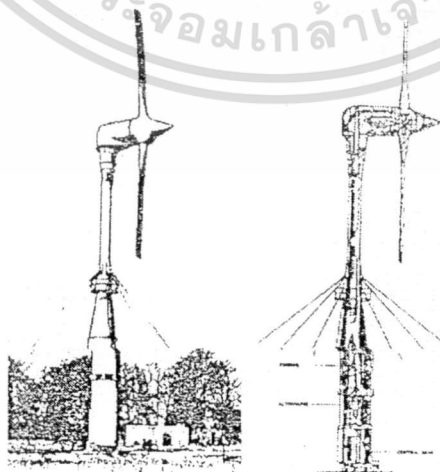
2.3 พัฒนาการของการใช้พลังงานลม



รูปที่ 2-11 กังหันลมในฮอลแลนด์



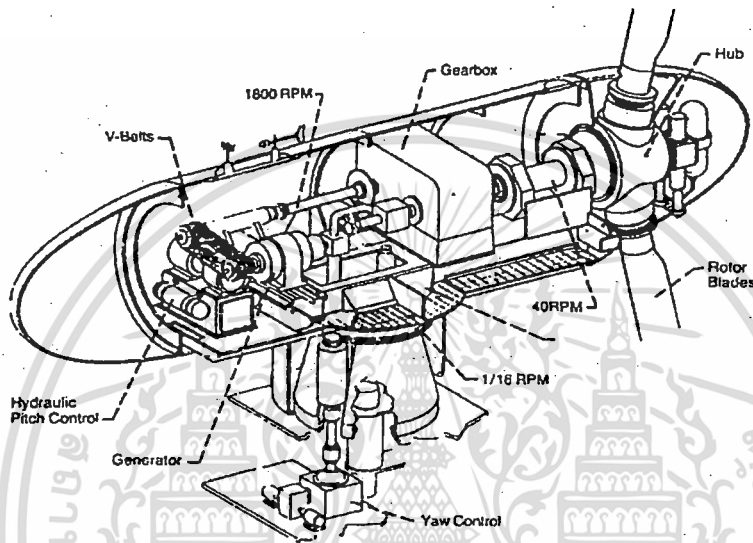
รูปที่ 2-12 กังหันลมในรัสเซีย



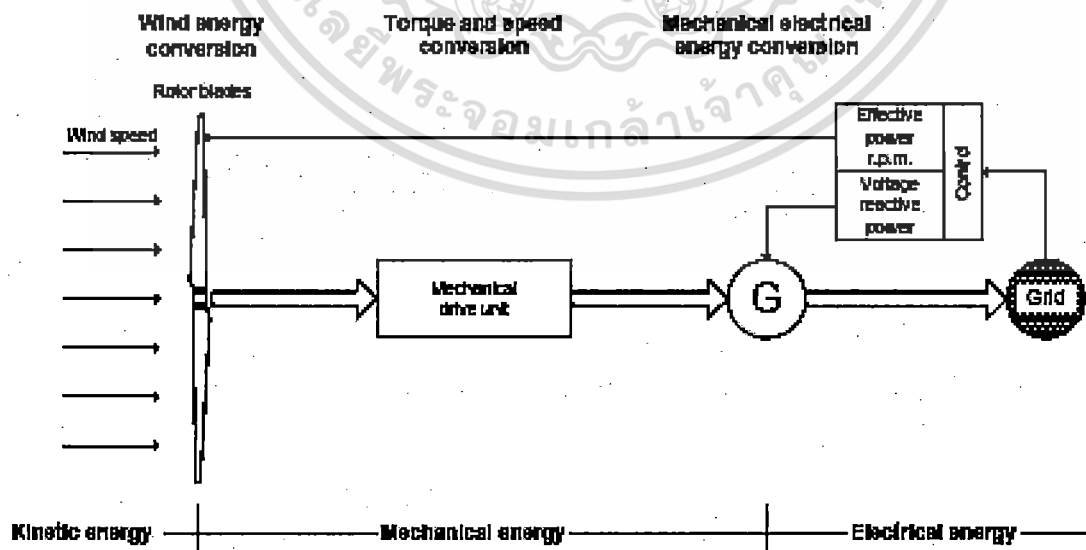
รูปที่ 2-13 กังหันลมเอ็นฟิลด์ - แอนดรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นการสร้างและพัฒนากังหันลมแบบต่างๆก็ได้หยุดชะงักไป เนื่องจากพบว่ายังไม่คุ้มค่าต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม จนกระทั่งในราวปี 1974 ได้เกิดวิกฤตการณ์ทางพลังงานของโลกขึ้นทั้งทางตรง คือ แหล่งสำรองพลังงานที่มีปริมาณลดลง และทางอ้อม คือ กลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันเป็นสินค้าออกได้ขึ้นราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่ส่งออก ทำให้ประเทศต่างๆทั่วโลกได้ตระหนักถึงปัญหาและความจริงเรื่องนี้ จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆขึ้น รวมทั้งกังหันลมสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วย ดังเช่นที่ แคนาดา รัสเซีย และสหรัฐอเมริกา[20]

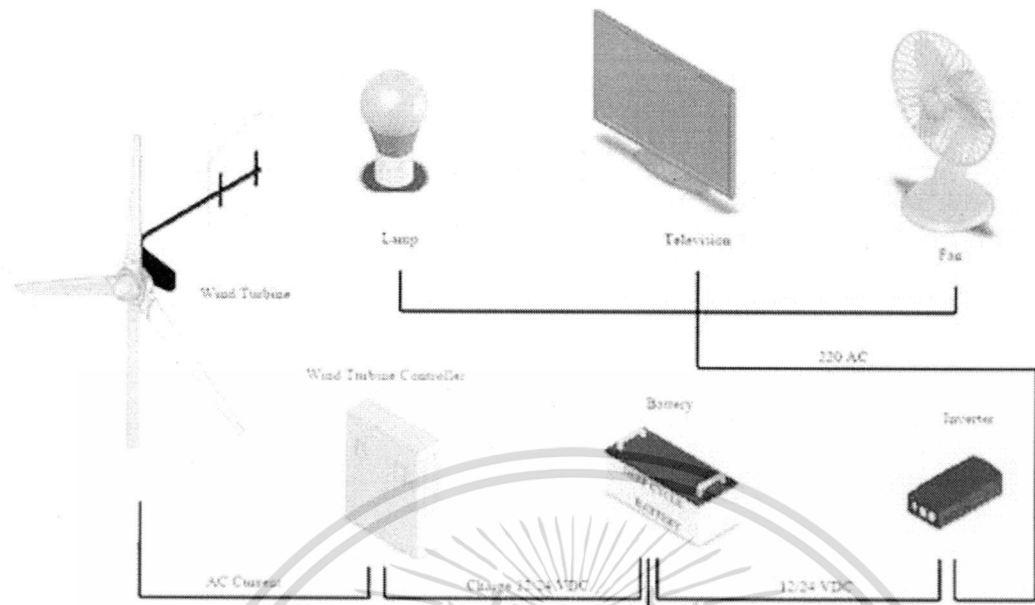


รูปที่ 2-14 ระบบทางกลของกังหันลม Mod - 0

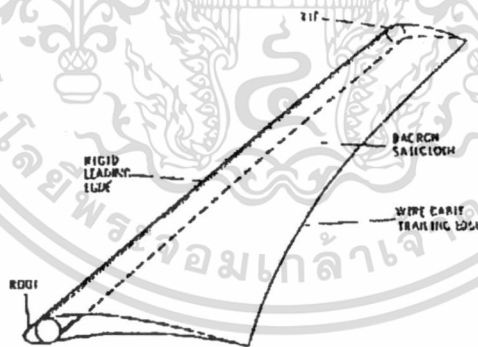


รูปที่ 2-15 ลำดับการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-16 แผนผังอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2-17 กังหันแบบเซลวิง

กังหันแบบเซลวิง (Sail – Wing or PRINCETON) เป็นกังหันแกนนอนที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย PRINCETON ซึ่งประยุกต์มาจากใบเรือ ลักษณะของใบเป็นไปตามรูปที่.... ซึ่งประกอบด้วยท่อโลหะเป็นแกนใบและเป็นด้านขอบนำในการหมุน ผิวใบเป็นผ้าใบชนิดหนึ่ง มีลักษณะยืดหยุ่น ทางด้านขอบหลังจะใช้เคเบิลซึ่ง ใบพัดแบบนี้มีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี ราคาไม่แพงสร้างง่าย น้ำหนักเบากว่า แบบที่ทำด้วยไฟเบอร์กลาส 50% มีการออกแบบตามหลักอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ส่วนตัวไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบใช้ประโยชน์จากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลศาสตร์ เพื่อให้เกิดอัตราส่วนของ แรงยกต่อแรงหน่วง(L/D) ขนาดของเซล-วิง(Sail – Wing) จะจำกัดเส้นผ่าศูนย์กลางแค่ 30 ฟุต เนื่องมาจากความแข็งแรงของใบพัด ดังรูปที่ 3.1 เป็นลักษณะของ เซล-วิง ของมหาวิทยาลัย PRINCETON เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

กังหันแบบ โพรเพลเลอร์ เป็นกังหันความเร็วรอบสูง มีความแข็งแรงทนทาน ปกติจะมี 2 - 3 ใบ หรืออย่างมาก 4 ใบ เริ่มทำงานที่ TSR=5 จนถึงประมาณ 20 โดยทั่วไปมักใช้งานที่ 5 – 10 กังหันชนิดนี้เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะรอบสูง สามารถใช้อัตราทดต่างๆ ได้ เพื่อขับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ กังหันลมที่ใช้อยู่ในประเทศไทยแถบจังหวัดฉะเชิงเทรา ก็จัดเป็นกังหันชนิด โพรเพลเลอร์ด้วย

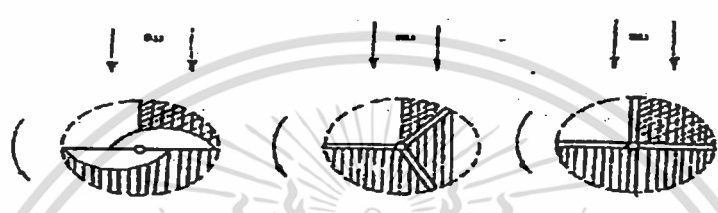


รูปที่ 2-18 กังหันแบบพริ้นซ์ตัน เซล – วิง

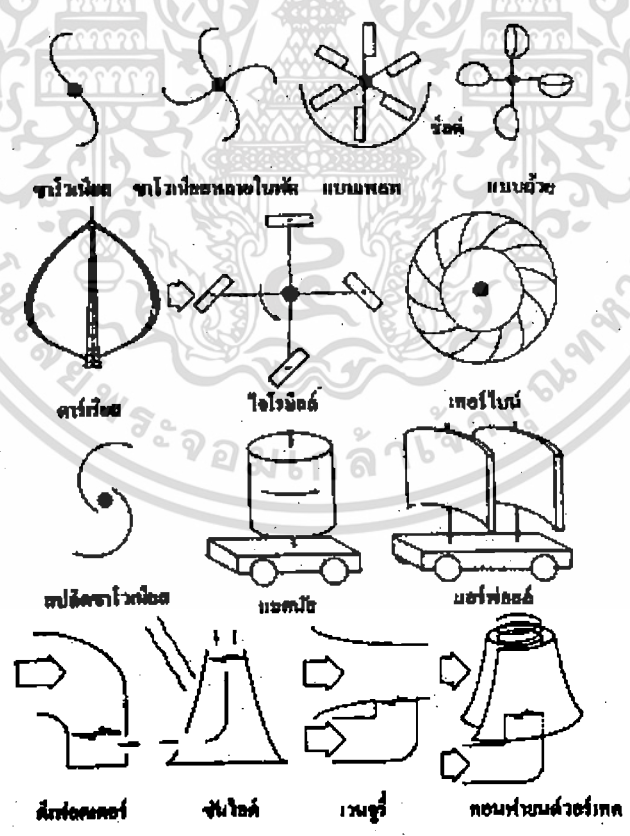
รูปที่ 2-19 กังหันแบบโพรเพลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กังหันลมที่มีแกนเพลอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine ,VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ น้ำหนักของใบจะทิ้งลงในลักษณะสมมาตร(Symmetry) และไม่มีผลต่อความกว้างของใบ เมื่อเพิ่มแขนหมุน(Moment Arm) ไม่เป็นปัญหาต่อการติดตั้งฐาน การหมุนของใบจะอยู่ในแนวระนาบเดียวกับทิศทางของลมดังนั้นแรงปะทะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุนโดยตรง ซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากแรงปะทะมากขึ้น แต่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกใบในเวลาเดียวกันเนื่องจากมีส่วนใบที่บังลมอยู่ และยังมีส่วนที่ถูกลมปะทะทำให้เกิดแรงต้านการหมุนขึ้น



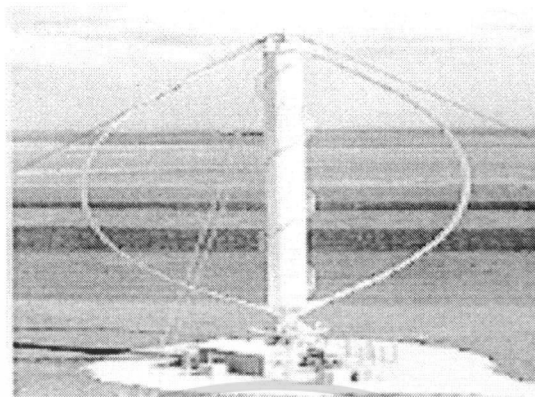
รูปที่ 2-20 ภาพด้านบนของกังหันแกนตั้งชนิด 2, 3 และ 4 ใบ



รูปที่ 2-21 แบบกังหันแกนตั้ง

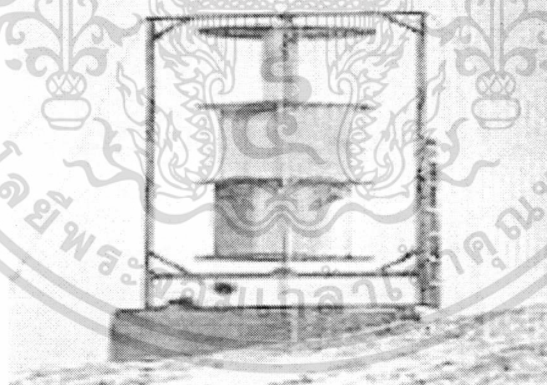
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบของกังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวตั้ง



รูปที่ 2-22 กังหันแบบแคร์เรียส

กังหันแบบแคร์เรียส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1920 มีชุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก มีแรงบิดเริ่มต้นต่ำ จึงต้องมีตัวช่วยเริ่มต้นการหมุนในกรณีที่ไม่มีลมหรือลมแรงไม่พอ



รูปที่ 2-23 กังหันแบบซาโวเนียส

กังหันแบบซาโวเนียส หรือเอสโรเตอร์ (Savonius or S.rotor) เป็นกังหันลมชนิด 2 ใบ การหมุนเกิดจากการที่ลมปะทะทางด้านเว้า แล้วทำให้ใบหมุนรอบแกน กังหันแบบนี้แรงบิดแกนสูงทำให้พลังงานค่อนข้างคงที่ แต่ ความเร็วรอบต่ำ ส่วนมากนำไปใช้ในด้านทางกลเช่น เครื่องสูบน้ำ

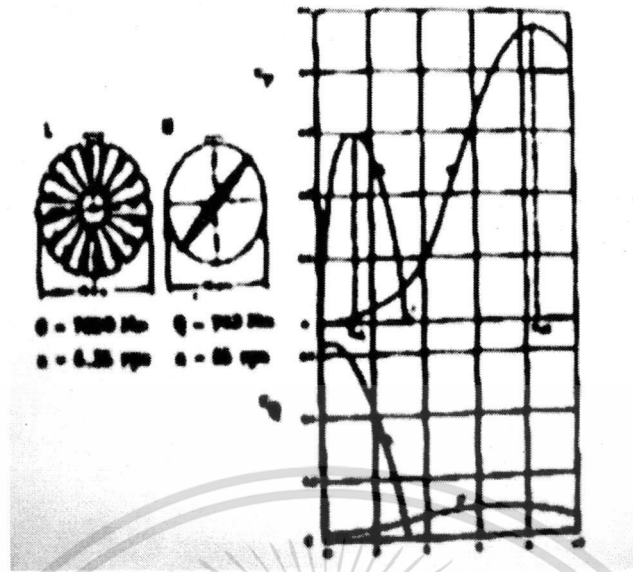
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสีย ของกังหันแกนตั้ง และกังหันแกนนอน

กังหันลมแนวแกนตั้ง	กังหันลมแนวแกนนอน
<p>ข้อดี</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. รับลมได้ทุกทิศทางไม่ต้องใช้หางเสือในการปรับทิศทาง 2. น้ำหนักที่ลงฐานมีความสมดุลมากกว่า 3. เริ่มต้นหมุนเองได้เมื่อความเร็วลมต่ำ 4. ระบบส่งกำลังทำได้ง่าย ราคาถูก <p>ข้อเสีย</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. มีแรงต้านการหมุนจากใบพัดที่ไม่ได้รับลม 2. ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ 	<p>ข้อดี</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน 2. ประสิทธิภาพสูงกว่ากังหันแนวตั้ง 3. แรงบิดรอบแกนสูง 4. ความเร็วรอบสูงกว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากัน 5. ความเร็วรอบคงที่กว่า <p>ข้อเสีย</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องปรับทิศทางของใบกังหันเข้าหาทิศทางลมไม่ได้ 2. ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับแกนหมุนได้ยาก

2.4 การเปรียบเทียบกังหันลมความเร็วรอบต่ำและความเร็วรอบสูง

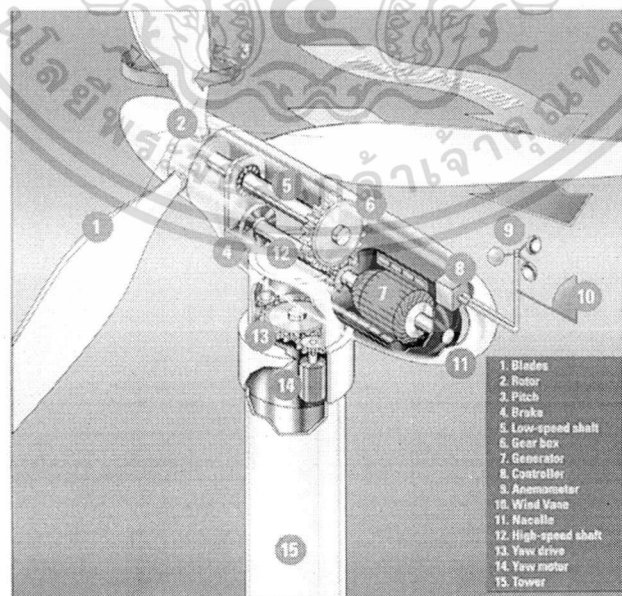
การจำแนกกังหันลมความเร็วรอบต่ำหรือความเร็วรอบสูงนั้น กำหนดโดยค่าอัตราส่วนความเร็ว (Tip speed ratio) = 2 กังหันความเร็วรอบสูงปกติมีค่า $C_p \max$ สูงกว่ากังหันลมความเร็วรอบต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนในการเปรียบเทียบ กังหันลม 2 อัน ที่ให้กำลังเท่ากันที่ความเร็วอิสระเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันที่พื้นที่ผิวของใบพัดกังหันลม หรือจำนวนใบของกังหันลม (2 หรือ 16 ใบพัด)



รูปที่ 2-24 แสดงกัณฑ์ความเร็วรอบต่ำและความเร็วรอบสูงที่ให้กำลังเท่ากันที่ความเร็วลมเท่ากัน

2.5 ส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า

จากการได้รับประโยชน์อย่างชัดเจนในการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้เทคโนโลยีของกังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ส่วนประกอบต่างๆของกังหันลมประเภทนี้มีค่อนข้างมากและมีความซับซ้อน ซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่สรุปได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-25 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

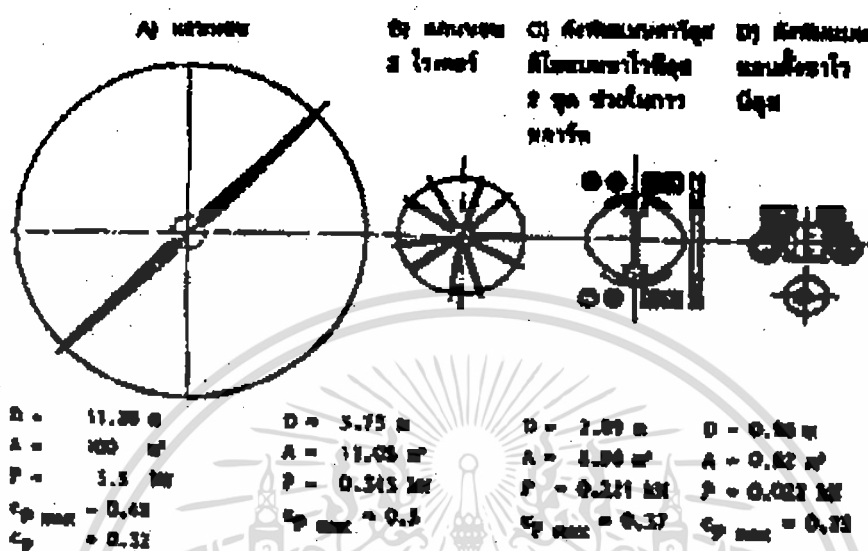
1. ใบพัด (blade) เป็นตัวรับพลังงานลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลใน การจับเคลื่อน เพลาแกนหมุน (rotor) ของใบพัด โดยใบพัดสามารถปรับทิศทางการรับลมได้
2. ระบบเบรก (brake) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลาแกนหมุน ของกึ่งหันลม
3. คันบังคับเพลาแกนหมุน (low speed shaft และ high speed shaft) เป็นส่วนที่คอยควบคุม ความเร็วของเพลาแกนหมุนให้หมุนช้าหรือเร็วของใบพัด และส่งผ่านระบบส่งกำลัง
4. ห้องส่งกำลัง (gear box) เป็นระบบที่คอยปรับเปลี่ยนและควบคุมความสัมพันธ์ของ ความเร็วในการหมุนระหว่างเพลาแกนหมุนกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่ถูกส่งมาจากเพลาแกนหมุน ของใบพัดเป็นพลังงานไฟฟ้า
6. ตัวควบคุม (controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานเครื่องวัดความเร็วลม
7. ห้องเครื่อง (nacelle) เป็นห้องควบคุมขนาดใหญ่ อยู่ส่วนหลังของใบพัด ใช้บรรจุระบบ ต่างๆ เช่น ระบบเกียร์, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ระบบเบรก และระบบควบคุม
8. แกนคอหมุนรับทิศทางลม (yaw drive) เป็นตัวควบคุมการหมุนของห้องเครื่องเพื่อให้ ใบพัดปรับรับทิศทางลม โดยมีมอเตอร์ (yaw motor) เป็นตัวช่วยในการปรับทิศทาง
9. เสาหรือหอคอย (tower) เป็นส่วนที่แบกรับอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ข้างบน นอกจากนี้ยัง ต้องมีระบบไฮดรอลิก (hydraulic system) ที่จะช่วยในการชะลอการหมุนและการหยุดหมุนของ ใบพัด
10. ระบบระบายความร้อน (cooling system) มีไว้สำหรับการระบายความร้อนจากการ ทำงานของระบบซึ่งเกิดความร้อนจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีชุดเครื่องมือสำหรับการวัด ความเร็วลม (anemometer) เพื่อวัดและเก็บข้อมูลความเร็วลมซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดแผงหาง (vane)

2.6 พลังงานที่ต้องการ

ก่อนที่จะทำการออกแบบกึ่งหันลมนั้น เราจะต้องทำการคำนวณพลังงานที่เราจะใช้ เสียก่อน ซึ่งวิธีที่เราจะสามารถนำเอาพลังงานลมมาใช้นั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การ นำเอาพลังงานลมที่ได้จากกึ่งหันลมไปใช้ในการสูบน้ำ และการนำเอาพลังงานลมไปใช้ในการผลิต ไฟฟ้า

สิ่งที่สำคัญที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกเสมอ คือ การกำหนดพลังงานที่เราต้องการ แต่ถ้าไม่สามารถกำหนดได้ ก็อาจจะออกแบบโดยยึดจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยดูจากค่าไฟฟ้าก็ได้

ซึ่งพลังงานลมนั้นมีอยู่มากมายตามธรรมชาติ และง่ายต่อการใช้ประโยชน์ โดยที่การออกแบบนั้น จะต้องออกแบบให้พลังงานที่ต้องการมากกว่าพลังงานที่คำนวณได้ในทางทฤษฎี



รูปที่ 2-26 แสดงการเปรียบเทียบกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งและกังหันลมแกนหมุนแนวอนที่มีพื้นที่ผิวของใบพัดกังหันลมที่เท่ากัน

จากรูปจะเห็นได้ชัดเจนว่ากังหันลมแกนหมุนแนวตั้งที่มีพื้นที่ผิวใบพัดกังหันเท่ากับกังหันลมแกนหมุนแนวอน (A) จะให้ค่าพื้นที่ A น้อยกว่ามาก ดังนั้นย่อมจะทำให้กังหันลมแกนหมุนแนวตั้งมีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันลมแนวแกนอน อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ หลักการอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) ของกังหันลมคาร์ทีเซียนยังไม่สามารถเข้าใจได้อย่างละเอียด

2.7 ประสิทธิภาพกังหันลม

กังหันลมสามารถเอากำลังงานจากลมโดยตรง โดยการลดความเร็วลมให้ช้าลง ถ้ากังหันลมสามารถทำให้ลดความเร็วจากเดิมจนหยุดได้สมบูรณ์แล้วคือ ความเร็วของลมหลังจากผ่านกังหันแล้วกลายเป็นศูนย์จะได้พลังงานลม 100% แต่จริงๆแล้ว กังหันลมไม่สามารถทำให้ลมที่พัดผ่านหยุดได้กำลังมากที่สุด ทางทฤษฎีที่กังหันสามารถรับเอาไว้ได้จะเป็น 59.3% ของกำลังทั้งหมด หมายความว่า สามารถลดความเร็วลงได้ประมาณ 3 ส่วนของความเร็วต้นเท่านั้น ดังนั้น กังหันลมที่สามารถลดความเร็วลมออกมาได้มากที่สุด 59.3% จึงถือว่ามีประสิทธิภาพ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากังหันลมมีประสิทธิภาพ 75% เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 75% กำลังงานกลของกังหันลมสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 33.34% ค่าประสิทธิภาพนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกังหันลม การออกแบบ และการสูญเสียของระบบเฟืองต่างๆ ในกรณีที่ใช้สำหรับทดสอบความเร็วให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเห็นได้ชัดว่า 0.1 – 0.4 ไม่มากกว่านี้ ค่านี้กำหนดให้เป็น efficiency factor ของกังหันลมใช้สัญลักษณ์ E ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกังหัน และ speed ratio โดย seed ratio ของกังหันขึ้นอยู่กับความเร็วลมของกังหันและความเร็วที่พัดผ่าน การหมุนของกังหันหมายความว่า ส่วนประกอบของใบพัดบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางมีการหมุนช้าๆ ขณะที่ส่วนปลายของใบพัดหมุนเร็ว อัตราส่วนการหมุนขึ้นอยู่กับรัศมีใบพัดและความเอียงใบพัด

จากลักษณะการหมุนที่กล่าวมาแล้ว สามารถกำหนดส่วนการหมุนของความเร็วซึ่งมีส่วนมากในการออกแบบกังหัน ให้ค่านี้เป็น u/v เมื่อ

u = ความเร็วของกังหันลมที่มีใบพัดเอียงทำมุมเอียงในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

v = ความเร็วลมที่พัดผ่านกังหัน

ค่า u/v นี้ประมาณ 1 – 2 เมื่อกังหันลมหมุนช้า และเท่ากับ 5 – 7 หรือ 8 เมื่อกังหันหมุนเร็ว

ตารางที่ 2.2 ค่า Tip Speed Ratio ที่นำไปใช้ในงานต่างๆ

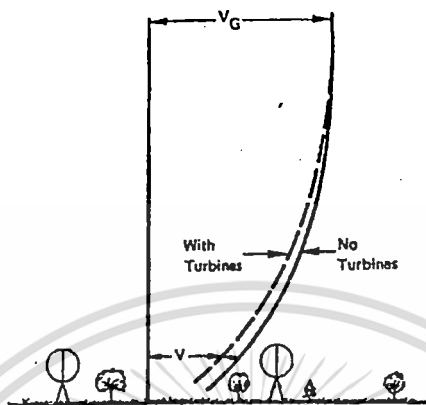
Tip Speed Ratio (u/v)	No. of Blades	Functions
1	6 – 20	Slow pumps
2	4 – 12	Faster pumps
3	3 – 6	Dutch 4 – bladed
4	2 – 4	Slow generators
5 – 8	2 – 3	Generators
8 – 15	1 - 2	Fastest possible

2.8 การเลือกสถานที่ติดตั้งกังหันลม

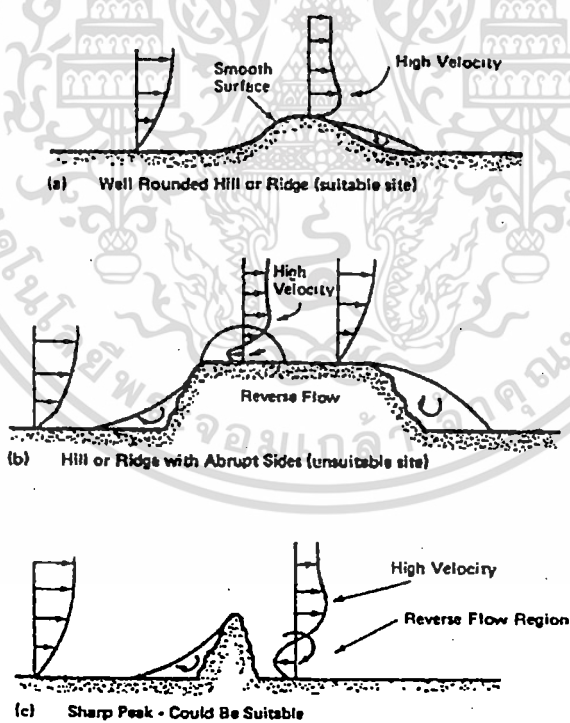
สถานที่ติดตั้งกังหันลม นอกจากต้องมีความเร็วลมและทิศทางที่ดีแล้ว ในรายละเอียดจะต้องคำนึงถึงผลของความเสียดทานและการตีบ (Shear and Compression) ของกระแสลมด้วย เนื่องจากกระแสลมที่พัดในแนวราบผ่านพื้นผิวโลก จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิประเทศ

ความเสียดทานของพื้นผิวโลก จะมีผลกระทบอย่างมากต่อลมที่ระดับต่ำ ส่วนลมระดับสูงเหนือพื้นดินมากๆ จะพัดอย่างอิสระ โดยทั่วไปลมที่พื้นผิวโลกจะมีความเร็วประมาณ $1/7$ ของลมอิสระทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ เช่น อาคาร ต้นไม้ ทะเล หรือทุ่งราบ เป็นต้น

ที่สวีเดน ได้มีการทดสอบในอุโมงค์ลมและสรุปว่า เพื่อป้องกันผลของการบดบังลม อันเกิดจากการวางกังหันลมเรียงต่อกันกับตัวอื่นๆ ควรวางกังหันลมให้ห่างกันอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกังหัน และแนะนำให้ใช้ค่าระหว่าง 8 - 12 เท่า



รูปที่ 2-27 ผลการบังลมของกังหัน



รูปที่ 2-28 ลักษณะของลมหลังจากผ่าน เนินใน แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบที่สำคัญต่อกระแสลมอีกอย่างหนึ่งคือ เส้นกระแส(Streamline) ของกระแสอากาศ ถูกบีบให้ตีบลง จะทำให้ลมมีความเร็วสูงขึ้น เช่น การพัดผ่านช่องเขา เนินเตี้ยๆ ช่องว่างระหว่างอาคาร หรือเนินบางลักษณะอาจทำให้กระแสลมปั่นป่วนได้ ซึ่งไม่เหมาะต่อการติดตั้งกังหันลม สรุป สถานที่ที่เหมาะสมต่อการติดตั้งกังหันลมควรมีลักษณะดังนี้

- ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีมีค่าสูง
- ไม่มีสิ่งกีดขวางสูงๆ ในทิศเหนือลม ในระยะใกล้
- เป็นเนินลาดที่เรียบ หรือเกาะกลางทะเล
- เป็นที่ราบชายฝั่ง หรือบริเวณชายฝั่ง
- เป็นที่หุบเขาที่ที่ทำให้ลมแรงขึ้น



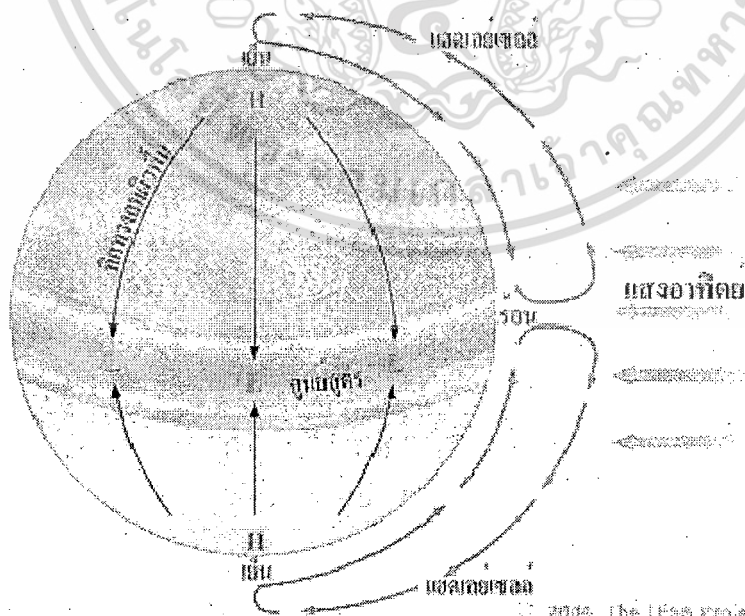
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ลม

เนื่องจากการที่บรรยากาศพื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ จึงทำให้ความหนาแน่นของอากาศ หรือความกดอากาศนั้นแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยที่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงๆจะทำให้อากาศบริเวณนั้นลอยตัวขึ้นสูง เพราะบริเวณดังกล่าวมีความกดอากาศต่ำ(อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะเบากว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ) เป็นเหตุให้อากาศจากบริเวณอื่นๆ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งมีความกดอากาศสูงกว่านั้นเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ และการเคลื่อนตัวของอากาศที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนี้เรียกว่า “ลม” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ลม คือการเคลื่อนตัวของอากาศ เราอาจจะแบ่งลักษณะการเกิดของลมอย่างกว้างๆได้เป็น 2 แบบ คือ การเกิดในลักษณะทั่วทั้งโลก และการเกิดในลักษณะเฉพาะที่

1. การเกิดในลักษณะทั่วทั้งโลกสำหรับลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจากการที่อุณหภูมิของพื้นผิวโลกที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นสูงกว่าอุณหภูมิที่ขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เป็นเหตุให้อากาศร้อนที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรนั้นลอยตัวสูงขึ้นสู่บรรยากาศข้างบน ทำให้อากาศที่อยู่ขั้วโลกซึ่งเย็นกว่าเคลื่อนตัวมายังบริเวณเส้นศูนย์สูตร แต่เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศนี้ โดยที่อากาศร้อนซึ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นบนจะมีทิศทางก่อนไปทางตะวันออก และอากาศเย็นซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวโลกทางทิศตะวันตก



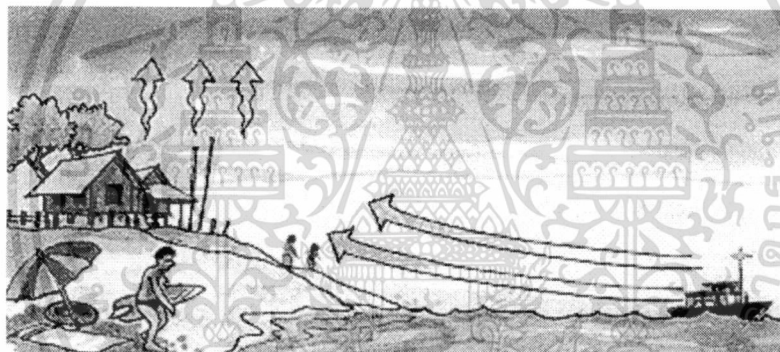
รูปที่ 3-1 การเคลื่อนตัวของอากาศที่เกิดขึ้นทั่วทั้งโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

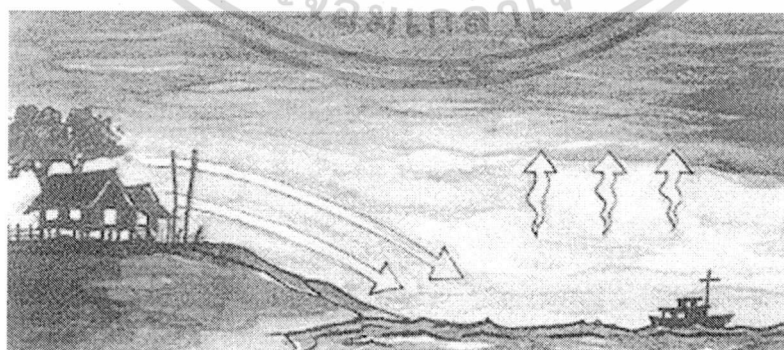
2. การเกิดในลักษณะเฉพาะที่นั่นเกิดได้ 2 แบบ คือ เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและผิวน้ำ และเกิดจากความลาดชันของเชิงเขาและภูเขา

3.1 แหล่งกำเนิดของลม

ลมเกิดขึ้นจากการไหลของกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากพื้นผิวโลกได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน หรือมีคุณสมบัติด้านการดูดกลืนความร้อนแตกต่างกัน เช่น ในตอนกลางวัน อากาศเหนือทะเล มหาสมุทร จะยังคงเย็นอยู่เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ไปใช้ในการระเหยน้ำและดูดกลืนไว้ ส่วนอากาศเหนือพื้นดินจะร้อนจึงขยายตัวและลอยขึ้น อากาศที่เย็นกว่า หนักกว่าจากเหนือพื้นน้ำไหลเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลมประจำถิ่นที่เรียกว่า “ลมทะเล” ขึ้น ในเวลากลางคืน พื้นดินจะเย็นตัวเร็วกว่าน้ำ เนื่องจากดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ไว้น้อย ทำให้อากาศพื้นดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าเหนือผิวน้ำทะเล อากาศจึงมีการเคลื่อนที่จากพื้นดินไปสู่ทะเล เกิดเป็นลมที่เรียกว่า “ลมบก” ขึ้น



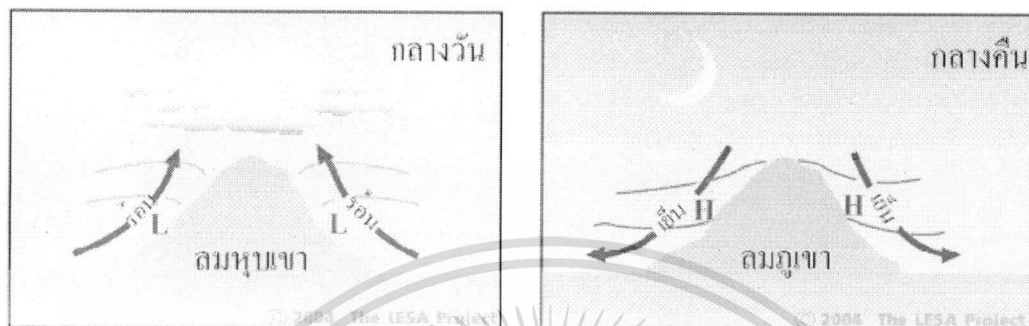
รูปที่ 3-2 ลมทะเล



รูปที่ 3-3 ลมบก

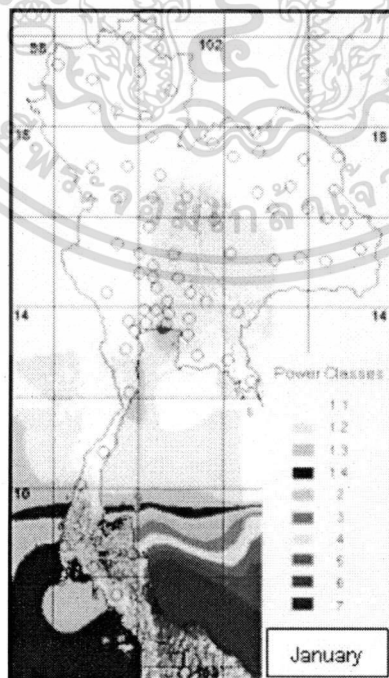
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลมประจำถิ่น เกิดขึ้นได้บริเวณภูเขาและหุบเขาเช่นกัน เนื่องจากในตอนกลางวันอากาศบริเวณไหล่เขาที่เป็นพื้นลาดจะร้อนและลอยตัวขึ้น ทำให้อากาศส่วนบนที่เย็นกว่าไหลลงมาแทนที่ ส่วนในตอนกลางคืน พื้นลาดบริเวณไหล่เขาจะเย็นตัวได้เร็วกว่า ทำให้เกิดลมในทิศทางกลับกันกับตอนกลางวัน



รูปที่ 3-4 ลมหุบเขา - ลมภูเขา

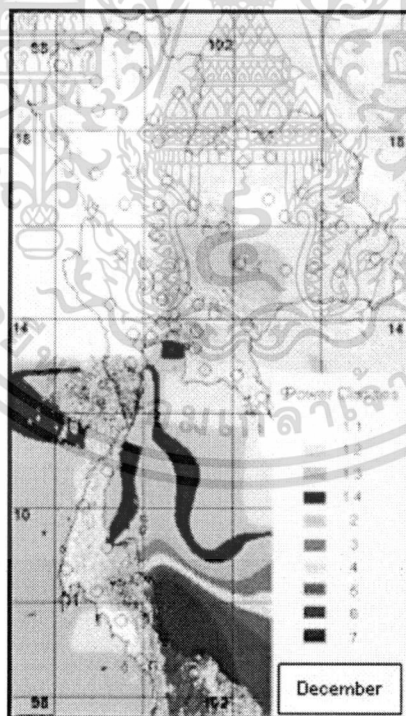
ลมประจำฤดู เกิดขึ้นเนื่องจากพื้นผิวโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เช่น ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะร้อนกว่าบริเวณขั้วโลก ทำให้อากาศเย็นจากขั้วโลกไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้น และในที่สุดอากาศชั้นบนก็จะไหลไปแทนที่อากาศบริเวณขั้วโลก ทำให้เกิดกระแสลมหมุนเวียนเป็นวัฏจักรขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3-5 ลักษณะลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านประเทศไทย มีกำลังแรง พัดจากแหลมมาลายู และทะเลอันดามัน เข้าสู่ประเทศไทยทางตอนใต้ฝั่งตะวันตกทำให้ชายฝั่งของจังหวัดกระบี่ ภูเก็ต และ พังงา มีกำลังลมค่อนข้างแรง มีความเร็วลมประมาณ 5.6 เมตร/วินาที ขึ้นไป ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งทะเลตะวันออกแต่มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 5.1 เมตร/วินาที ขึ้นไปที่บริเวณจังหวัด ชลบุรี จันทบุรี ระยอง และ ตรัง เนื่องจากอิทธิพลลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีลมพัดแรง โดยเฉพาะบนที่สูงได้แก่ เทือกเขาในอุทยานแห่งชาติเขาหลวง และได้เริ่มเย็นมีกำลังลมแรงบนยอดเขา มีความเร็วลมประมาณ 7.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป และในภาคใต้ตอนบนได้แก่บนเทือกเขาในจังหวัดเพชรบุรีที่เป็นรอยต่อกับประเทศเมียนมาร์มีกำลังลมแรงบนยอดเขา มีความเร็วลมประมาณ 8 เมตร/วินาที ขึ้นไป รวมถึงเทือกเขาในภาคกลาง คือจังหวัดกาญจนบุรีและภาคเหนือตอนล่าง คือจังหวัดตาก และแม่ฮ่องสอน ที่เป็นรอยต่อกับประเทศเมียนมาร์ มีกำลังลมแรงบนยอดเขา มีความเร็วประมาณ 7.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป และ ที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดเข้าสู่ประเทศไทยจากอ่าวเบงกอลทางทิศตะวันตกทำให้มีกำลังลมปานกลางบนยอดเขา มีความเร็วลมประมาณ 5.6 เมตร/วินาที ขึ้นไป

อนึ่ง พบว่ากำลังลมและความเร็วลมรวมช่วงลมสงบ ที่กล่าวข้างต้น และไม่รวมช่วงลมสงบใกล้เคียงกัน



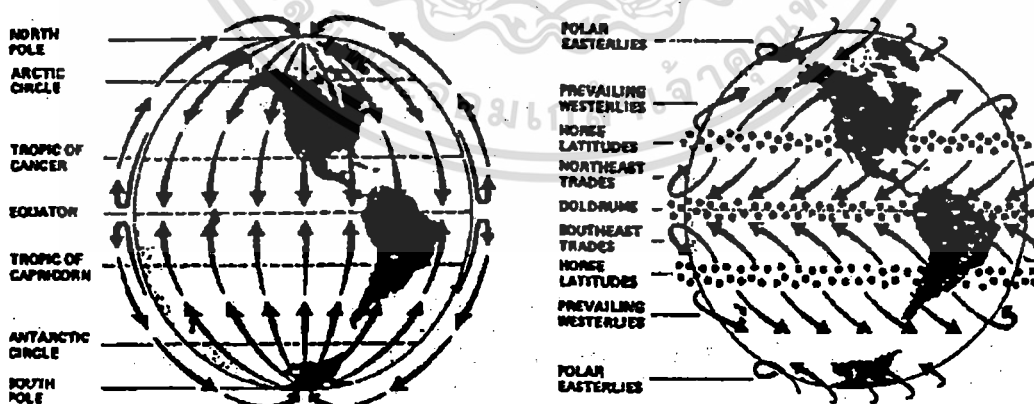
รูปที่ 3-6 ลักษณะลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมที่พัดผ่านประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีนซึ่งจะมีกำลังแรงปกคลุมภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ทำให้สภาพอากาศบนยอดเขาของประเทศหนาวเย็นกว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทย โดยเฉพาะที่ทางภาคเหนือตอนบน เช่นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ มีอากาศเย็นจัด มีกำลังแรง มีความเร็วลมประมาณ 8.5 เมตร/วินาทีขึ้นไป และในภาคกลางได้แก่ อุทยานแห่งชาติเขาเขียว เขาใหญ่ ที่อยู่ในรอยต่อของจังหวัดนครนายก นครราชสีมา และ ปราจีนบุรี มีกำลังแรงมีความเร็วลมประมาณ 7.5 เมตร/วินาทีขึ้นไป นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลตะวันออกเฉียงเหนือ ยังส่งผลให้บริเวณที่สูงในภาคใต้ได้แก่ อุทยานแห่งชาติเขาหลวง อุทยานแห่งชาติได้รมเย็น จังหวัด นครศรีธรรมราช และ อุทยานแห่งชาติเขาปู่-เขาย่า ในรอยต่อของจังหวัดพัทลุง-ตรัง มีกำลังลมแรง บนยอดเขา มีความเร็วลมประมาณ 8.5 เมตร/วินาทีขึ้นไป ความกดอากาศยังแผ่ปกคลุมมายังทะเลใน อ่าวไทยทำให้ในทะเลของภาคใต้ตอนกลาง และ ตอนล่างมีคลื่นลมแรง ทิศทางลมพัดจากทะเลเข้า สู่ทางฝั่ง ได้แก่ จังหวัด นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และ นราธิวาส มีกำลังลมแรงบริเวณ ชายฝั่งมีความเร็วลมประมาณ 7.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป

อนึ่ง พบว่ากำลังลมและความเร็วลมรวมช่วงลมสงบ ที่กล่าวข้างต้น และไม่รวมช่วงลมสงบตามที่แสดงในรูปใกล้เคียงกัน ยกเว้น ที่บริเวณชายฝั่งทะเลของจังหวัดชุมพร และ ที่บริเวณ ชายฝั่งทะเลตะวันออกในอ่าวไทยที่บริเวณจังหวัดชลบุรี ะยอง จันทบุรี ตราด มีกำลังลมปานกลาง มีความลมประมาณ 5.1 เมตร/วินาที ขึ้นไป เมื่อไม่รวมช่วงลมสงบที่ความสูง 50 เมตร

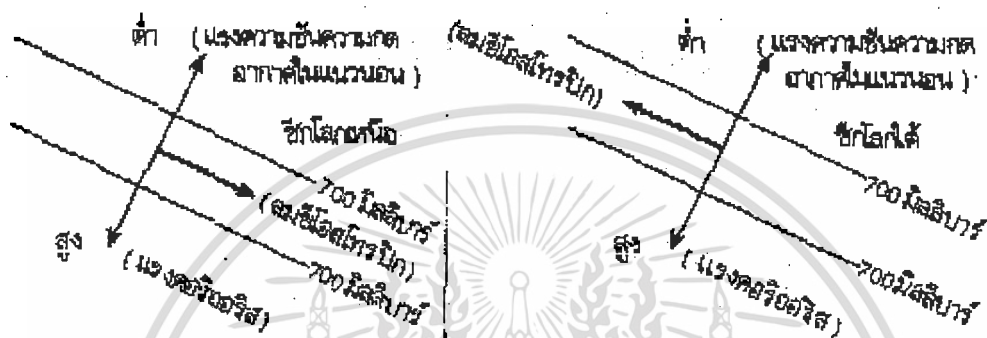
นอกจากนี้ การที่โลกหมุนรอบตัวเอง จะทำให้ทิศทางของกระแสอากาศเบี่ยงเบนไป โดย อากาศระดับล่างที่เคลื่อนที่เข้าสู่เส้นศูนย์สูตรจะเบนไปทางทิศตะวันตก ส่วนอากาศร้อนในชั้น บรรยากาศชั้นบนที่เคลื่อนที่ไปขั้วโลกจะเบนไปทางทิศตะวันออก และความจริงที่ว่าแกนการหมุน ของโลกทำมุม 23.5 องศากับระนาบวงโคจร การได้รับความร้อนบริเวณต่างๆของพื้น โลก จึงแปร ไปตามเวลาในระหว่างปี ทำให้เกิดฤดูกาล และลมประจำฤดูขึ้น



รูปที่ 3-7 ทิศทางกระแสลมที่เกิดขึ้นบน โลก

3.2 ลมชั้นบน

3.2.1 ลมอีโอสโทรฟิก (Geostrophic Wind) เป็นลมที่เกิดจากแรง 2 แรง ที่มากระทำต่อกัน คือ แรงความชันความกดอากาศกับแรงคอริออลิส เนื่องจากการหมุนของโลก แรงทั้ง 2 จะพัดอยู่ในทิศทางตรงข้ามกันและมีความสมดุลกัน ลมนี้พัดขนานกับไอโซบาร์ที่เป็นเส้นตรงและขนานกัน ซีกโลกเหนือ ความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายของลม ส่วนในซีกโลกใต้ความกดอากาศต่ำ จะอยู่ทางขวาของลม แรงความชันความกดอากาศที่จะไม่เกี่ยวข้องกับความเร็วลม แต่แรงคอริออลิสเป็นปฏิกิริยา



รูปที่ 3-8 ลมอีโอสโทรฟิกพัดขนานกับไอโซบาร์ ในซีกโลกเหนือความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายของลม ส่วนในซีกโลกใต้ความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางขวาของลมกับความเร็วลม และตั้งฉากกับความเร็วม

ลมนี้เป็นลมลักษณะชั้นบนอยู่สูงจากพื้นดินตั้งแต่ 1 กิโลเมตร ขึ้นไปเป็นระยะที่ไม่มีแรงฝืด พื้นจากอิทธิพลของสิ่งกีดขวางธรรมชาติบนพื้นโลก และจะเกิดที่ละติจูดประมาณ 10 หรือ 15 เหนือศูนย์สูตร เพราะที่ละติจูดต่ำแรงคอริออลิสจะมีค่าน้อย ยิ่งบริเวณศูนย์สูตรแรงนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ รูปที่ 2.14 แสดงทิศทางของลมอีโอสโทรฟิกในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝืด ในระดับความสูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร อากาศเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ ก่อนที่ลมจะเคลื่อนที่ แรงคอริออลิสมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อความแตกต่างของความกดอากาศเกิดขึ้น อากาศจะเคลื่อนที่เริ่มจากตำแหน่งที่ 1 เคลื่อนด้วยความเร็วลมข้ามไอโซบาร์ ซึ่งในขณะที่อากาศเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 7 แรงเฉื่อยค่อยๆ เบนเลไปทางขวาและความสมดุลของลมจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่ 7

P_H = แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน

C = แรงคอริออลิส

V = ลมอีโอสโทรฟิก

3.2.2 ลมเกรเดียนต์ (Gradient Wind) เป็นลมที่เกิดจากแรง 3 แรง กระทำต่อกัน และมีความสมดุลกันคือ แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน และแรงคอริออลิส (ทั้ง 2 แรงทำให้

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

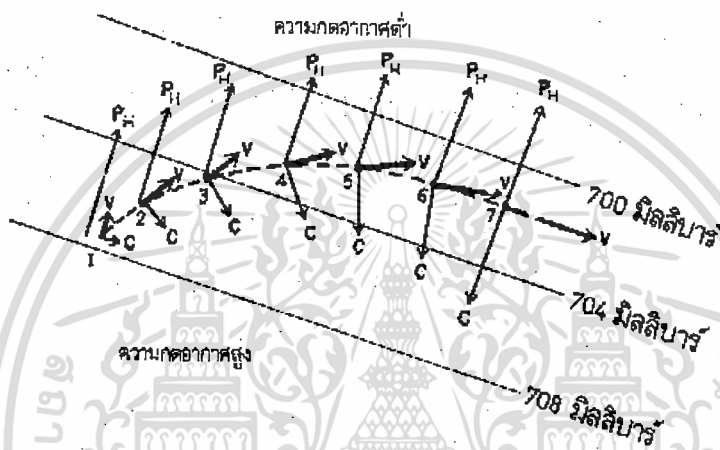
เกิดลม ฮีโอสโทรฟิก) แต่มีแรงที่กระทำเพิ่มขึ้นอีกแรงหนึ่ง คือแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ซึ่งเป็นแรงที่ออกจากศูนย์กลางลมนี้ไอโซบาร์จะมีลักษณะเป็นแนวโค้ง และจะพัดขนานกับความโค้งตามไอโซบาร์ รูปที่ 2.16 แสดงความสมดุลของแรง 3 แรง รอบๆ บริเวณความกดอากาศต่ำ และความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือ

P_H = แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน

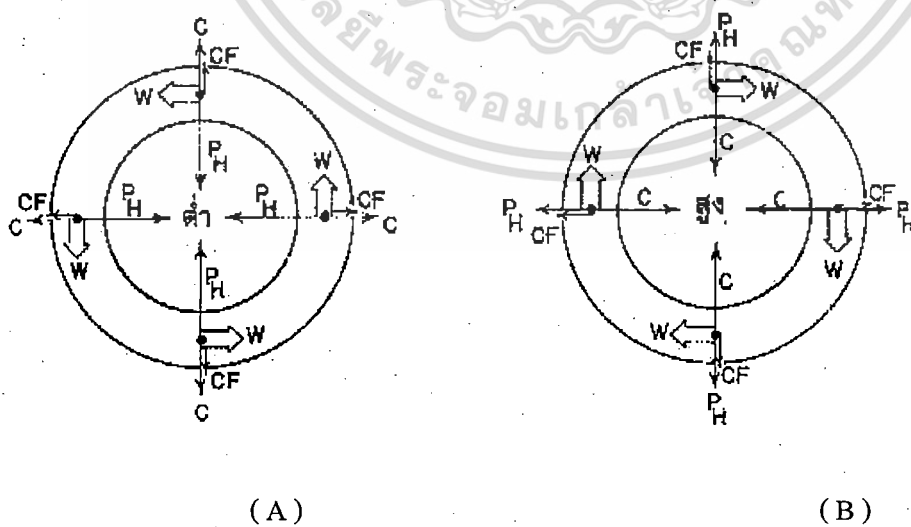
C = แรงคอริอลิส

CF = แรงหนีศูนย์กลาง

W = ทิศทางลม



รูปที่ 3-9 ทิศทางของลมฮีโอสโทรฟิก ในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝัดในระดับความสูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร



(A)

(B)

รูปที่ 3-10 แสดงทิศทางของลมฮีโอสโทรฟิกบนโลก ในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝัดในระดับความ

สูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป (A) ระบบความกดอากาศต่ำ แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนเป็นแรงที่เข้าหาศูนย์กลางความกดอากาศต่ำเสมอ แรงคอริโอลิสเป็นแรงที่อยู่ตรงข้ามกับแรงความชันความกดอากาศในแนวนอน ส่วนแรงหนีศูนย์กลางเป็นแรงที่ออกจากศูนย์กลางอยู่ในทิศทางเดียวกับแรงคอริโอลิส ทำให้

เกิดความสมดุลกับแรงความชันความกดอากาศในแนวนอนหรือ

$$Ph = C + CF \quad (3.1)$$

เพื่อเกิดความสมดุลของแรงเหล่านี้บนแผนที่ต้องจำไว้ว่า แรงคอริโอลิส จะอยู่ทางขวาของทิศทางลม ลมนี้จะพัดขนานกับการหมุนเวียนของศูนย์กลางความกดอากาศต่ำในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ

ในรูป (B) ระบบความกดอากาศสูง แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะออกจากศูนย์กลางความกดอากาศสูง และแรงหนีศูนย์กลางจะออกจากศูนย์กลางความกดอากาศสูง เช่นเดียวกัน ส่วนแรงคอริ

โอลิสจะเข้าหาศูนย์กลางความกดอากาศสูง ทำให้เกิดความสมดุล ดังนี้

$$Ph + CF = C \quad (3.2)$$

แรงคอริโอลิสจะอยู่ทางขวาของทิศทางลม ลมนี้จะพัดขนานกับการหมุนเวียนของความกดอากาศสูงในทิศทางตรงตามเข็มนาฬิกา ส่วนในซีกโลกใต้จะกลับตรงกันข้าม คือเมื่อแรงความชันความกดอากาศในแนวนอนเคลื่อนที่ แรงคอริโอลิสจะเริ่มเลี้ยวไปทางซ้าย ลมจะพัดในทิศทางตามเข็มนาฬิกาบริเวณความกดอากาศต่ำ และพัดทวนเข็มนาฬิกาบริเวณความกดอากาศสูง

3.3 ลมกรด (Jet Stream) เป็นกระแสลมแรงอยู่ในเขตโทรโพพอส (แนวแบ่งเขตระหว่างชั้นโทรโพสเฟียร์กับชั้นสเตรโตสเฟียร์) เป็นลมฝ่ายตะวันตกที่มีความยาวหลายพันกิโลเมตร มีความกว้างหลายร้อยกิโลเมตร แต่มีความหนาเพียง 2 - 3 กิโลเมตรเท่านั้น โดยทั่วไปลมกรด พบอยู่ในระดับความสูงประมาณ 10 และ 15 กิโลเมตร แต่อาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งในระดับที่สูงกว่า และในระดับที่ต่ำกว่านี้ได้ ตรงแกนกลางของลมเป็นบริเวณแคบ แต่ลมจะพัดแรงที่สุด ถัดจากแกนกลางออกมาความเร็วลมจะลดน้อยลง ลมกรดมีความเร็วลมประมาณ 150 - 300 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และที่ระดับความสูงใกล้ 12 กิโลเมตร จะมีความเร็วลมสูงถึง 400 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ลมฝ่ายตะวันตกอื่น ๆ มีความเร็วลมเพียง 50 - 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ลมนี้มีลักษณะเป็นลำคล้ายท่อรูปวงรีขนาดใหญ่ ในฤดูร้อน ความเร็วลมมีน้อย ส่วนในฤดูหนาวความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 นักบินพันธมิตรได้อาศัยกระแสลมกรดยิงจรวดจากฐานทัพลมมหาสมุทรแปซิฟิกไปยังประเทศญี่ปุ่น

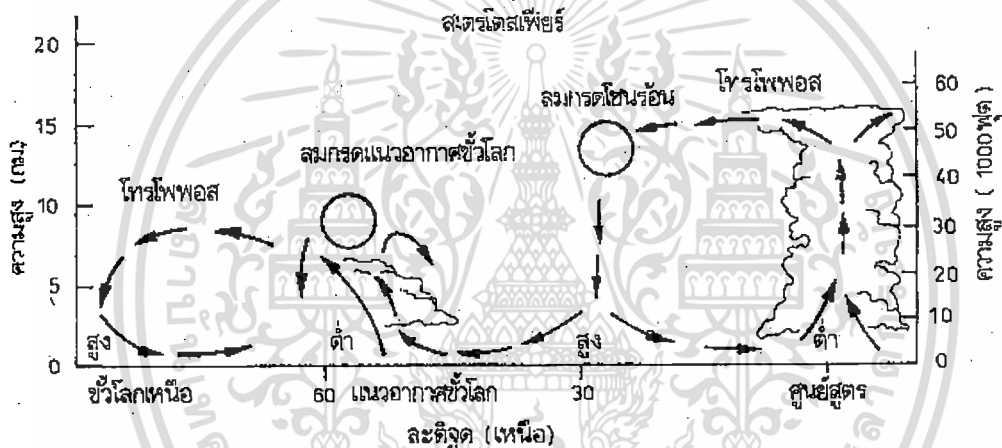
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ตั้งโดยเฉลี่ยของลมกรดในเขตโทรโพพอสเป็นการหมุนเวียนทั่วไปในฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ จากแผนภาพนี้พบว่าลมกรดเกิดขึ้นสองบริเวณ ซึ่งทั้งสองบริเวณนี้ตั้งอยู่ในเขตโทรโพพอส จึงมีการไหลตกจากเซลล์ของอากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์ และชั้นสเตรโตสเฟียร์ ลมกรดแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

3.3.1 ลมกรดบริเวณโซนร้อน (Subtropical Jet) เกิดขึ้นในละติจูดประมาณ 30 องศาเหนือ และได้ ซึ่งเป็นเขตความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน และอยู่เหนือความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อนประมาณ 13 กิโลเมตร

3.3.2 ลมกรดบริเวณขั้วโลก (Polar Jet) เกิดขึ้นในละติจูดประมาณ 60 องศาเหนือ และได้ ไกลกับแนวปะทะอากาศขั้วโลก ซึ่งเกิดจากอากาศหนาวจากขั้วโลกเคลื่อนที่มาพบกับอากาศอุ่นจากเขตร้อน และอยู่เหนือแนวปะทะอากาศขั้วโลกประมาณ 10 กิโลเมตร



รูปที่ 3-11 ตำแหน่งที่ตั้งโดยเฉลี่ยของลมกรดในเขตโทรโพพอส

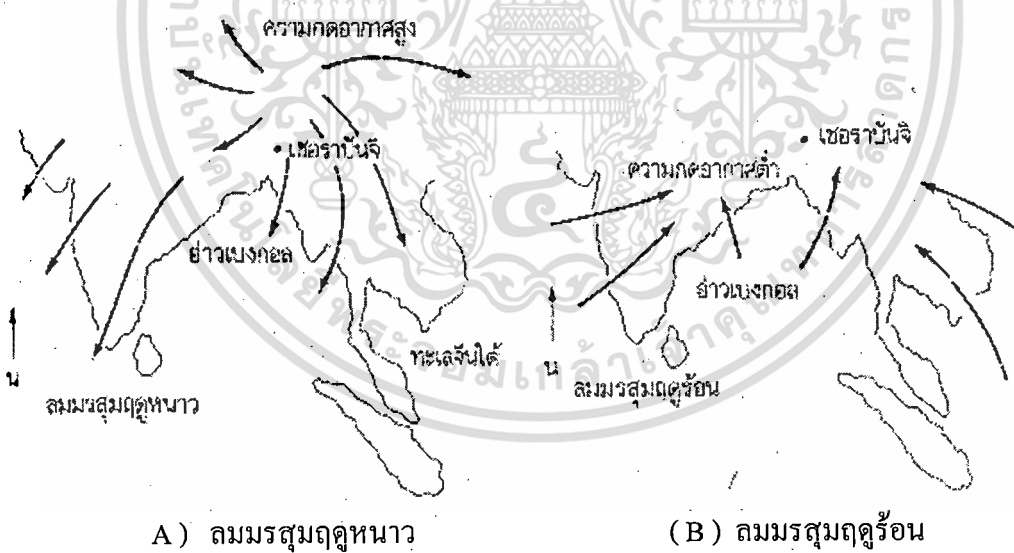
3.4 ลมมรสุม (Monsoon) มาจากคำในภาษาอาหรับว่า Mausim แปลว่า ฤดู ดังนั้นลมมรสุมหมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางการเปลี่ยนฤดู คือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว ครั้งแรกใช้เรียกลมนี้ในบริเวณทะเลอาหรับซึ่งพัดอยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลา 6 เดือน แต่อยู่ในส่วนอื่นๆ ของโลก ลมมรสุมที่เห็นชัดเจนที่สุดคือ ลมมรสุมที่เกิดขึ้นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ลักษณะการเกิดลมมรสุม เป็นทำนองเดียวกับการเกิดลมบกลมทะเล ในฤดูหนาวอากาศภายในภาคพื้นทวีปเย็นกว่าอากาศในมหาสมุทรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ภาคพื้นทวีปบริเวณไซบีเรียเป็นเขตความกดอากาศสูง ส่วนบริเวณมหาสมุทรอินเดียเป็นเขตความกดอากาศต่ำ อากาศเหนือมหาสมุทรอินเดียซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณไซบีเรียจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศบริเวณไซบีเรียจะเอกลำเป็นเอกลำที่ลงในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลเข้าไปแทนที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (รูป A) อากาศที่ไหลออกจากบริเวณความกดอากาศสูงไซบีเรียเป็นอากาศที่ไหลลงมา และทิศทางลมจะเบนไปทางขวา กลายเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือผ่านเข้าไปยังเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ โดยทั่วไปมีลักษณะอากาศดี และเป็นฤดูที่มีอากาศแห้ง ดังนั้นลมมรสุมฤดูหนาวลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส เป็นลมที่พัดจากฝั่งออกสู่ทะเล

ในฤดูร้อนลมจะพัดเปลี่ยนในทิศทางตรงกันข้าม อากาศภาคพื้นทวีปอุ่นกว่าพื้นน้ำ ซึ่งทำให้ภาคพื้นทวีปเป็นเขตความกดอากาศต่ำ พื้นน้ำเป็นเขตความกดอากาศสูง เกิดลมพัดจากพื้นน้ำที่เป็นเขตความกดอากาศสูงเข้าสู่พื้นดินที่เป็นเขตความกดอากาศต่ำ ในทิศวนเข็มนาฬิกากลายเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมที่พัดจากพื้นน้ำเข้ามา นำเอาความชื้นมาด้วยเป็นลมที่พัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง (รูป B)

มรสุมที่มีกำลังแรงจัดที่สุด เกิดขึ้นในบริเวณเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกได้แก่ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนเกาหลี ลมมรสุมที่เกิดในเอเชียตะวันออกจะแตกต่างจากเอเชียใต้คือ ในเอเชียตะวันออก ลมมรสุมฤดูหนาวมีกำลังแรงกว่า



รูปที่ 3-12 ทิศทางของลมมรสุม

และมีทิศทางที่คงที่กว่ามรสุมฤดูร้อน ความเร็วลมตามชายฝั่งในเดือนมกราคม จะมียาวกว่าเดือนกรกฎาคมหลายเท่า ส่วนลมมรสุมในเอเชียใต้ รวมทั้งประเทศอินเดีย ปากีสถาน และประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวไม่สามารถแผ่เข้าไปถึงดินแดนเหล่านี้ได้ เพราะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทือกเขาหิมาลัยขวางกั้นอยู่ ดังนั้นเอเชียใต้จึงได้รับมรสุมโดยตรงเฉพาะในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น และลมจะมีกำลังแรงในฤดูร้อน แม้แต่ในมหาสมุทร คือฤดูร้อนลมมีความเร็วเฉลี่ย 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนฤดูหนาวลมมีกำลังอ่อน มีความเร็วน้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บริเวณที่มีฝนตกหนัก เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมฤดูร้อน คือ เมืองเซอร์ราป็นจิ ทางภาคตะวันออกของประเทศอินเดีย นอกจากลมมรสุมที่เกิดขึ้นทวีปเอเชียแล้ว ยังมีลมมรสุมที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนอื่นของโลก เช่น ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย เมื่อลมมรสุมพัดข้ามศูนย์สูตรจะเปลี่ยนทิศทางเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือพัดเข้าสู่ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีแนวเขตลมค้าเบียดตัวเข้าหากันพาดผ่านอยู่ เป็นแนวแบ่งเขตระหว่างลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือของซีกโลกเหนือกับลมค้าตะวันตกเฉียงใต้ของซีกโลกใต้ รวมทั้งมีลมมรสุมเกิดขึ้นในอ่าวกินีของแอฟริกาตะวันตก บางส่วนของทวีปอเมริกาเหนือ และบางส่วนของทวีปอเมริกาใต้

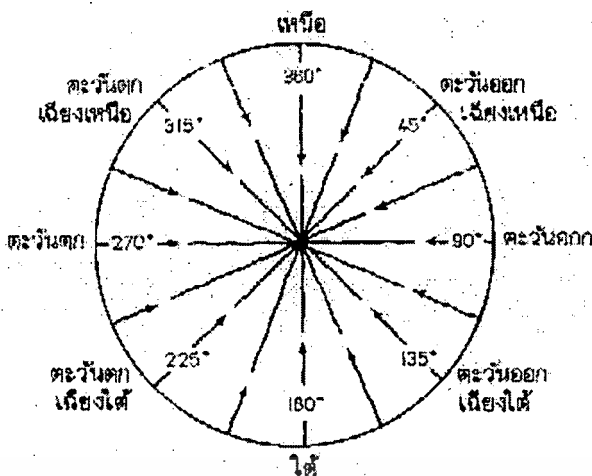
3.5 ทิศทางและความเร็วของลม

ลมที่พัดผ่านบริเวณหนึ่งๆ นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทิศทางและความเร็วอยู่บ่อยครั้ง และอาจจะเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยทิศทางและความเร็วลมจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลตลอดทั้งปี และปกติลมในฤดูหนาวจะมีปริมาณและความเร็วสูงกว่าฤดูร้อนประมาณ 2 – 3 เท่า

ในการใช้พลังงานนั้น จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วลมที่ละเอียดพอสมควร เพื่อทราบศักยภาพของพลังงาน จึงสามารถเลือกใช้ชนิดและขนาดกังหันลมที่เหมาะสมได้

3.5.1 ทิศทางลม อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศทางจริง ปัจจุบันการวัดทิศทางลม นิยมวัดทิศทางลมตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศทางลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันตก, ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศได้อีกแต่การรายงานทิศทางนั้นนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศเท่านั้น ส่วนการวัดทิศทางลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศาไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นเหนือ, ลมทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศา เป็นทิศตะวันตก และลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-13 ทิศทางลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง

3.5.2 ความเร็วลม คือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้ บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดเป็นส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม อธิบายดังในรูปของสมการ

$$P = kv^2 \tag{3.3}$$

P = ความกดที่เกิดจากการกระทำของลม

v = ความเร็วลม

k = ค่าคงที่ของหน่วยที่ใช้

ถ้าความกดอากาศมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางฟุต ความเร็วลมเป็นนอต(1 นอต หมายถึง 1 ไมล์ทะเล(6,080.20 ฟุต)ต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานความเร็วลมที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา) สมการจะเป็น $P = 0.0053 v^2$ โดยประมาณสำหรับผิวพื้นที่ราบเรียบ แต่ถ้าความเร็วลมมีหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมงค่า P ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็น $P = 0.004 v^2$ ด้วยเหตุนี้แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของลม ทำให้สามารถหาความเร็วลมได้ โดยที่ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือใดๆ แต่จะสังเกตได้จากปรากฏการณ์ของวัตถุที่อยู่รอบๆ ดังนั้น เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดมาตราความเร็วลมขึ้น เรียกว่ามาตราโบฟอร์ด (Beaufort Scale) พลเรือเอกเซอร์ฟรานซิส โบฟอร์ต (Admiral Sir Francis Beaufort) ชาวอังกฤษ เป็นผู้คิดขึ้นใช้ในปี พ.ศ. 2548 สำหรับตรวจลมในทะเล ต่อมาได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ทั้งบนบกและในทะเล มาตราโบฟอร์ต จะใช้เปรียบเทียบกับสิ่งที่เกิดขึ้น ขวางไม่ว่าบนบกและในทะเล โดยสิ่งที่เกิดขึ้นต่างๆ ได้แก่ ใบไม้, กิ่งไม้, สายโทรเลข, สายโทรศัพท์, สิ่งปรักหักพังต่างๆ และคลื่นในทะเล เกณฑ์ที่ใช้กำหนดความเร็วลมได้มาจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตกำลังลมเหนือพื้นดินและในทะเล “ มาตรการโบฟอร์ด ” เริ่มต้นจากมาตราที่ 0 ไปจนถึงมาตราที่ 17 ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นคือ ที่มาตรา 0 จะเป็นเขตลมสงบ ไปจนถึงมาตราที่ 17 ลมมีกำลังแรงจัดกลายเป็นพายุเฮอริเคน ปัจจุบันมาตราโบฟอร์ดถูกนำมาใช้น้อยลง โดยเฉพาะสถานีบนบก ตารางที่เป็นตารางเทียบความเร็วลม และชนิดลมของมาตราโบฟอร์ด ส่วนตารางที่เป็นตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ดกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน และตารางที่เป็นตารางเทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ดกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นน้ำ

ตารางที่ 3-1 เทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตราโบฟอร์ด

มาตราโบฟอร์ด	ความเร็วลม		ชนิดลม
	นอต	กม. / ชม.	
0	1	1.6	ลมสงบ
1	1 - 3	1.6 - 4.8	ลมเบา
2	4 - 6	6.4 - 8.6	ลมอ่อน
3	7 - 10	12.8 - 19.2	ลมเฉื่อย
4	11 - 21	20.8 - 28.8	ลมปานกลาง
5	17 - 21	30.4 - 38.4	ลมกระโชก
6	22 - 27	40.0 - 38.4	ลมแรง
7	28 - 33	51.2 - 60.8	พายุปานกลาง
8	34 - 40	62.4 - 73.6	พายุกระโชก
9	41 - 47	75.2 - 86.4	พายุแรง
10	48 - 55	88.0 - 100.8	พายุจัด
11	56 - 63	102.4 - 115.2	พายุจัด
12	64 - 71	116.8 - 131.2	เฮอริเคน
13	72 - 80	132.8 - 147.3	เฮอริเคน
14	81 - 89	148.8 - 164.8	เฮอริเคน
15	90 - 99	166.4 - 182.4	เฮอริเคน

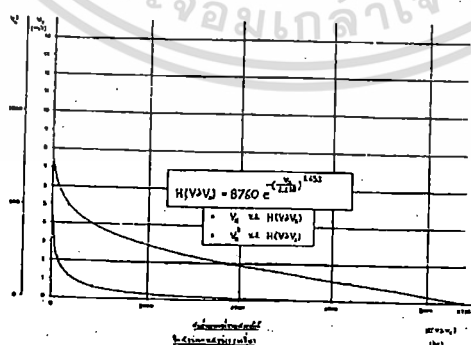
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 เทียบความเร็วลมของมาตราโบฟอร์ดกับปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน

มาตราโบฟอร์ด	ปรากฏการณ์ธรรมชาติเหนือพื้นดิน
0	ลมสงบ ควีนลอยขึ้นตรง
1	ทิศทางลมสังเกตได้จากควันที่ แต่ไม่ใช่จากศรลม
2	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เคลื่อนไหว ศรลมเริ่มหันทิศทางไปตามลม
3	ใบไม้และกิ่งไม้เล็กๆ เคลื่อนไหวตลอดเวลา ชงคี่้ออกตามลม
4	ฝุ่นฟุ้ง กระจาดยปลิว กิ่งไม้เล็กๆ โยก
5	ต้นไม้เล็กๆ เริ่มโยก แหล่งน้ำบนบก เช่นแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง เป็นระลอก
6	กิ่งไม้ใหญ่โยก สายโทรเลขดังหวิวๆ ไม่สะดวกที่จะใช้ร่วม
7	ต้นไม้โยก เดินต้านลมไม่สะดวก
8	กิ่งไม้หัก เดินไปข้างหน้าไม่สะดวก
9	สิ่งก่อสร้างเสียหายเล็กน้อย
10	ต้นไม้ถอนราก สิ่งก่อสร้างเสียหายมาก
11	สิ่งก่อสร้างเสียหายเป็นบริเวณกว้าง
12 – 15	สิ่งก่อสร้างเสียหายหนัก

3.6 การกระจายของความเร็วลม

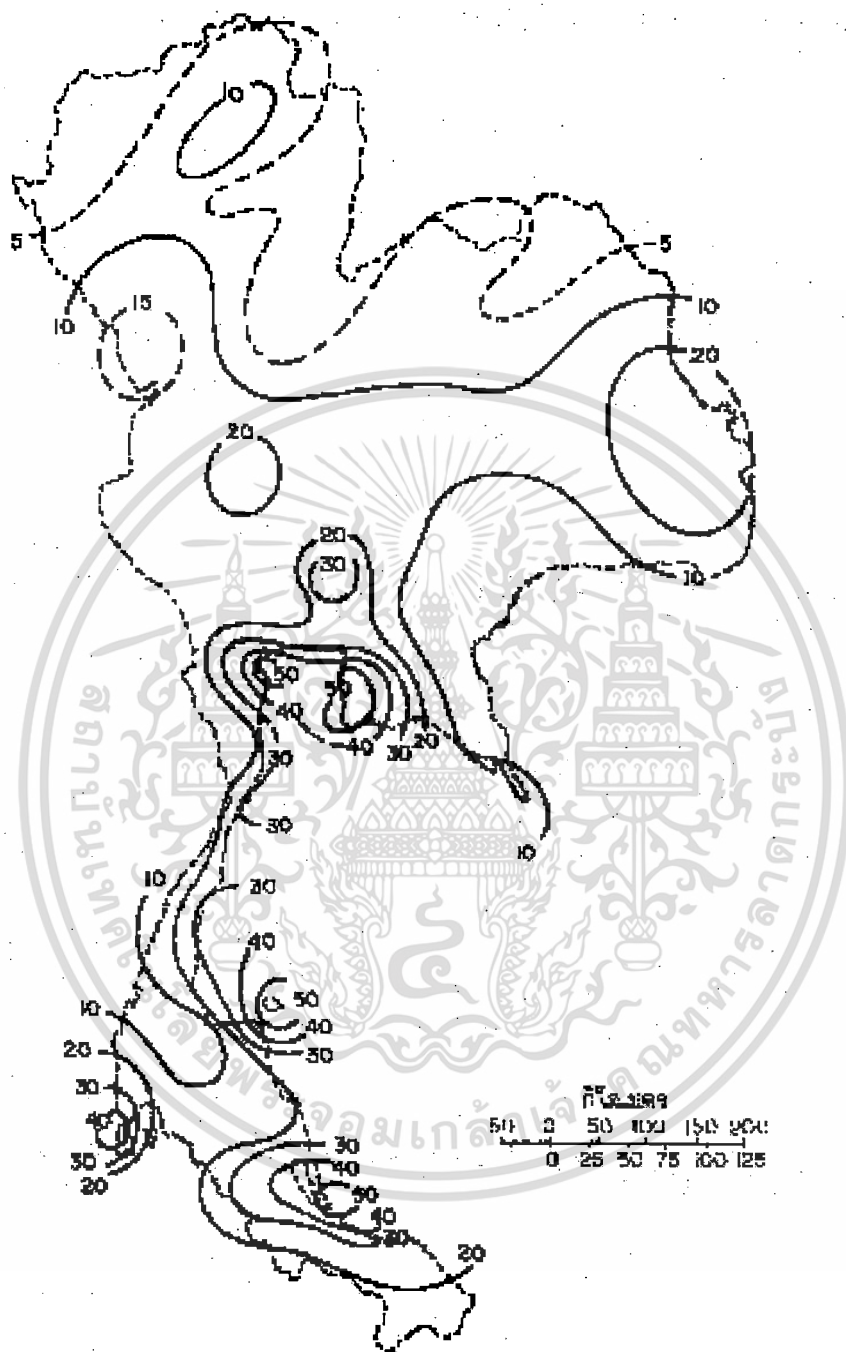
การกระจายของความเร็วลมนิยมแสดงอยู่ในรูปกราฟวาระความเร็วลม (Velocity Duration Curve) แสดงถึงช่วงเวลาเป็นชั่วโมงที่ลมมีความเร็วเกินค่าหนึ่ง ในเวลาหนึ่งปี ซึ่งในแต่ละบริเวณก็จะมี การกระจายของความเร็วลมแตกต่างกันออกไป



รูปที่ 3-14 กราฟวาระความเร็วลม จ.ชุมพร เฉลี่ยถึงปี 2521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ศักยภาพของพลังงานลม



รูปที่ 3-15 แผนที่แสดงพลังงานลมในประเทศไทย (วัดด้วยตารางเมตร)

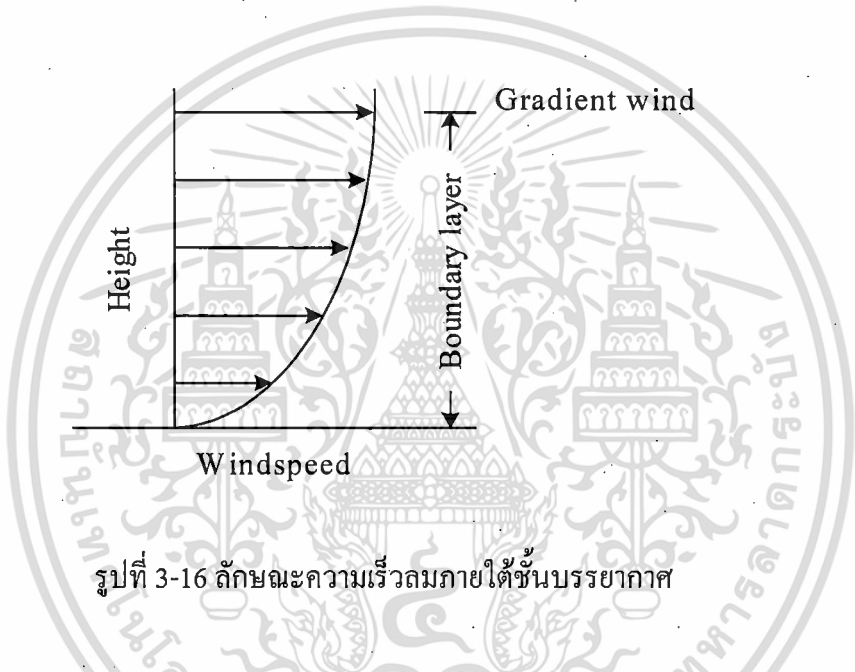
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากการวิเคราะห์เปลี่ยนข้อมูลดิบของลม ให้อยู่ในรูปของการกระจายของความเร็วลม
 ใน
 ช่วงเวลา 1 ปี โดยใช้สมการ Weibull Distribution ในรูป

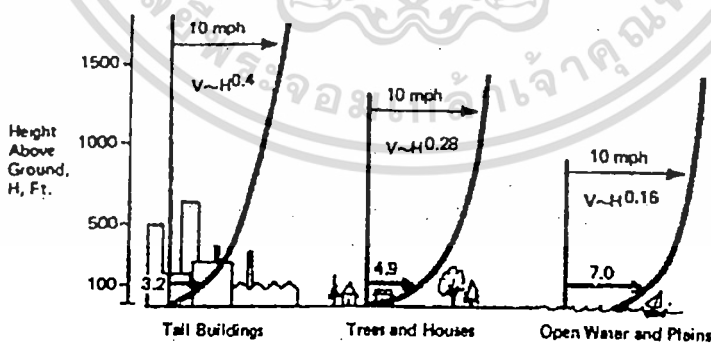
$$H_{(v \geq V_x)} = 8760e^{-(V_x/C)^k} \tag{3.4}$$

เมื่อเทอมซ้ายมือแสดงจำนวนชั่วโมงใน 1 ปีที่ลมมีความเร็วตั้งแต่ V_x ขึ้นไป C และ k เป็น
 ค่าคงที่ หรือเรียกว่า Weibull Distribution Parameters

ผลที่แสดงอยู่ในรูป กราฟวาระของความเร็วลม (Velocity Duration Curve) และกราฟวาระ
 ของกำลังลม (Power Duration Curve) และ Weibull Distribution Parameters

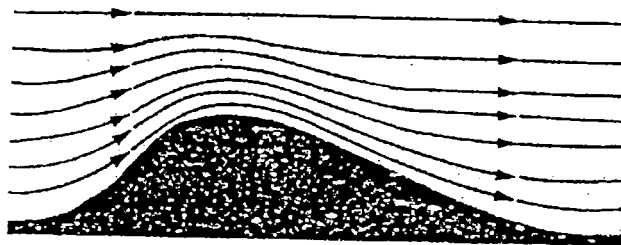


รูปที่ 3-16 ลักษณะความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 3-17 ลักษณะผิวโลกที่มีผลต่อลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-18 ความเร่งเมื่อลมผ่านเนิน

3.8 ความกดอากาศและการวัดทิศทางและความเร็วของลม

ในวิชาอุตุนิยมวิทยา การวัดความกดอากาศมีความสำคัญมาก เพราะในบริเวณความกดอากาศสูง (high pressure) หรือแอนติไซโคลน (anticyclone) มักจะมีอากาศดีและสงบ ส่วนบริเวณความกดอากาศต่ำ (low pressure) หรือไซโคลน (cyclone) มักจะมีอากาศไม่ดี เช่น พายุ หรือฝน นักอุตุนิยมวิทยาใช้เครื่องมือ "บารอมิเตอร์" อย่างละเอียดสำหรับวัดความกดอากาศ หน่วยที่ใช้วัดความกดของอากาศนั้นอาจจะเป็นความสูงของปรอทเป็นนิ้วหรือเซนติเมตร ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรก็ได้ แต่ในปัจจุบันส่วนมากนิยมใช้หน่วยเป็นมิลลิบาร์ (millibar) เพราะเป็นหน่วยที่สะดวกกว่า ซึ่งเราจะเปรียบเทียบ

กันได้ตามหลักการคำนวณต่อไปนี้

ถ้าความสูงของปรอทเท่ากับ 76 เซนติเมตร เราจะคำนวณความกดของอากาศได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความกด} &= \text{ความสูงของปรอท} \times \text{ความหนาแน่นของปรอท} \times \text{อัตราเร่งของโลก} \\ &= 76 \text{ ซม.} \times 13.6 \text{ กรัม/(ซม.)}^3 \times 980.4 \text{ ซม./วินาที}^2 \\ &= 1,013,341 \text{ ไดน์/ซม.}^2 \end{aligned}$$

จากมาตรา

$$1 \text{ บาร์ (bar)} = 1,000,000 \text{ ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร}$$

$$1 \text{ บาร์} = 1,000 \text{ มิลลิบาร์}$$

$$1 \text{ มิลลิบาร์} = 1,000 \text{ ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร}$$

ฉะนั้น ความกดสูง 76 เซนติเมตรของปรอท

$$= \text{ความสูงของปรอท } 29.92 \text{ นิ้ว}$$

$$= 1,013,341 \text{ ไดน์ต่อ } 1 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

$$= 14.7 \text{ ปอนด์ต่อ } 1 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$= 1,013.3 \text{ มิลลิบาร์}$$

3.8.1 การวัดอุณหภูมิของอากาศ

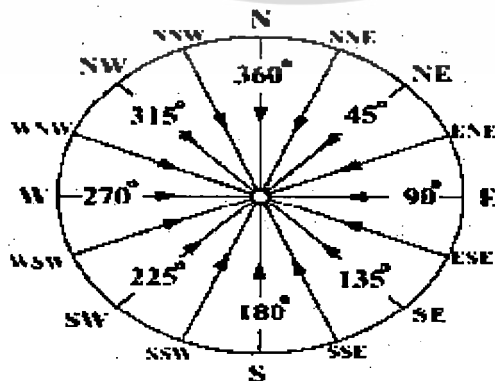
อุณหภูมิเป็นสารประกอบสำคัญยิ่งอันหนึ่งในวิชาอุตุนิยมวิทยา นักอุตุนิยมวิทยาต้องการทราบอุณหภูมิของอากาศตามระดับต่างๆ ตั้งแต่ผิวพื้น โลกขึ้นไปยังระดับสูงถึง 20 กิโลเมตรหรือสูงกว่านั้น การวัดอุณหภูมิที่พื้นโลกอาจจะกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีที่ปฏิบัติกันมากที่สุดคือการใช้เทอร์มอมิเตอร์ ซึ่งมีของเหลว เช่นปรอท บรรจุในหลอดแก้วคล้ายๆ กับการวัดอุณหภูมิอย่างอื่น ๆ

บางครั้ง เมื่อต้องการทราบผลการบันทึกอุณหภูมิตลอดชั่วโมง หรือ ตลอดวันหรือนานกว่านั้น เราก็ต้องใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเรียกว่า "เทอร์โมกราฟ" (thermograph) นอกจากการตรวจอุณหภูมิดังกล่าวแล้ว นักอุตุนิยมวิทยายังต้องการทราบว่าในวันหนึ่ง ๆ อุณหภูมิของอากาศจะร้อนสูงสุดและเย็นต่ำสุดเท่าใด ในการนี้เราใช้เทอร์มอมิเตอร์สูงสุด (maximum thermometer) และเทอร์มอมิเตอร์ต่ำสุด (minimum thermometer) สำหรับตรวจค่าอุณหภูมิที่เราต้องการได้

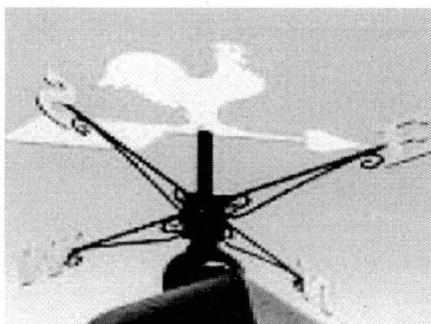
3.8.2 การวัดทิศทางและความเร็วของลม

ลม คือการเคลื่อนไหวของอากาศ ถ้าลมแรงก็หมายถึงว่ามวลของอากาศเคลื่อนตัวไปมากและเร็วในอุตุนิยมวิทยา การวัดลมจำเป็นต้องวัดทั้งทิศทางของลมและอัตราหรือความเร็วของลม สำหรับการวัดทิศทางของลมนั้นเราใช้ครลม (wind vane)

เครื่องวัดทิศทางลม มีรูปร่างคล้ายเหมือนลูกศร กระแสลมปะทะเข้ากับแผ่นหางเสือที่ปลายลูกศร ทำให้หัวลูกศรชี้เข้าหาทิศทางที่กระแสลมพัดมาตลอดเวลา เป็นบอกทิศทาง ทำหน้าที่เสมือนหน้าปัด มีอักษรบอกทิศทางหลักสี่ทิศ คือ ทิศเหนือ (N) ทิศตะวันออก (E) ทิศใต้ (S) และทิศตะวันตก (W) สำหรับเป็นบอกทิศทางชนิดละเอียด จะมีแบ่งหน้าปัดแบ่งทิศออกเป็น 360 องศา โดยมีจุดเริ่มต้นเป็นทิศเหนือ แล้วนับมุมตามเข็มนาฬิกาไปทางขวา



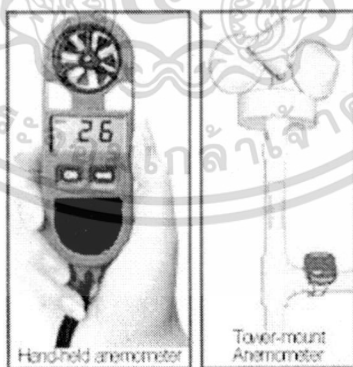
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3-19 แสดงทิศทางลมนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-20 สรลม

ส่วนการวัดความเร็วของลม เราใช้เครื่องมือที่ เรียกว่า "อะนิมอมิเตอร์" (anemometer) ซึ่งมีหลายชนิด แต่ส่วนมากใช้แบบใบพัดหรือกังหัน หรือใช้แบบถ้วยกลมสามใบและมีก้านสามก้านต่อมารวมกันที่แกนกลาง จากแกนกลางจะมีแกนต่อลงมายังเบ้าล่าง เมื่อกังหันหมุนจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เข็มที่หน้าปัดชี้แสดงความเร็วของลมคล้ายๆ กับหน้าปัดที่บอกความเร็วของรถยนต์

การวัดความเร็วและทิศของลม อาจทำได้โดยใช้เครื่องมืออีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า "ใบพัดลม" ซึ่งสามารถวัดความเร็วและทิศได้พร้อมกัน ในการวัดความเร็วของลมมีหน่วยที่ใช้กันอยู่หลายหน่วย แล้วแต่ว่าผู้ใช้จะนิยมและสะดวกที่จะใช้หน่วยใด เช่น นอต หรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไมล์ (บก) ต่อชั่วโมง



รูปที่ 3-21 เครื่องวัดลม

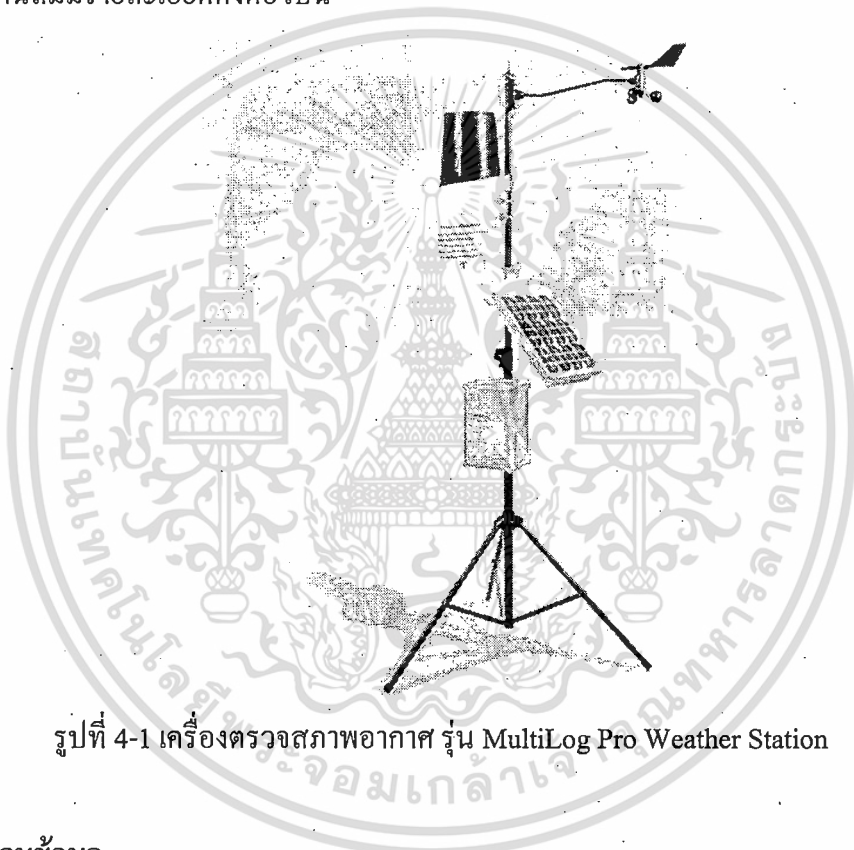
นอกจากเครื่องวัดลมชนิดดังกล่าวแล้ว ยังมีเครื่องบันทึกความเร็วและทิศของลมอยู่ตลอดเวลาด้วย เครื่องบันทึกลมนี้เรียกว่า อะนิมोगราฟ (anemograph) ซึ่งสามารถบันทึกความเร็วและทิศของลมได้ตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การรวบรวมข้อมูลและการคัดเลือกข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจสภาพอากาศดังรูปที่ 4-1 ทำการตรวจวัดเองที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร และข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ โดยได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยาสำนักงานและจากหน่วยงานของรัฐ และ เอกชนต่างๆทั้งในประเทศและต่างประเทศ ข้อมูลต่างๆเหล่านั้นมีรูปแบบ และคุณภาพ ที่หลากหลาย การศึกษาและการคัดเลือกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุดเพื่อการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-1 เครื่องตรวจสภาพอากาศ รุ่น MultiLog Pro Weather Station

4.1 การรวบรวมข้อมูล

4.1.1 ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา

กรมอุตุนิยมวิทยาได้ทำการตรวจวัดความเร็วลมผิวพื้นตามมาตรฐานการตรวจวัดขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก ข้อมูลที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยาประกอบด้วยข้อมูลจากการตรวจอากาศผิวพื้นและตรวจอากาศชั้นบน ประกอบด้วยดังนี้

- ข้อมูลสถานีตรวจอากาศผิวพื้น

ความเร็วลมผิวพื้นที่ทำการตรวจวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศมีทั้งสิ้น 120 สถานี ประกอบด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศ สถานีเกษตร และสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทก ดังนั้นจึงได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวบรวมข้อมูลลมผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เหมาะสม จำนวน 10 สถานี เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมดังต่อไปนี้

- ข้อมูลสถานีตรวจอากาศและสถานีตรวจอากาศอุตุนิยมวิทยาอุทกที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลที่ได้รับประกอบด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศและสถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกจำนวน 10 สถานี ที่ความสูง 10 เมตร ดังนี้ 517201-ชุมพร จ.ชุมพร, 517301-สวี สกษ. จ.ชุมพร, 532201-ระนอง จ.ระนอง, 500201-ประจวบคีรีขันธ์ จ.ประจวบคีรีขันธ์, 500202-หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์, 500301-หนองปลับ สกษ. จ.ประจวบคีรีขันธ์, 551201-สุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี, 551202-สถานีตรวจอากาศสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี, 551203-เกาะสมุย จ.สุราษฎร์ธานี, 551301-สุราษฎร์ธานี สกษ. จ.สุราษฎร์ธานี เป็นข้อมูลระยะเวลา 6 ปี ค.ศ. 2003 – 2008 (พ.ศ. 2546-2551) ข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลความเร็วลมและทิศทางราย 3 ชั่วโมง ตรวจวัดที่ความสูงประมาณ 10 เมตร ความเร็วที่บันทึกมีหน่วยเป็นน็อต (Knot) และทิศทาง เป็นองศา ที่เวลา 01.00 04.00 07.00 10.00 13.00 16.00 19.00 และ 22.00 น. (เวลาในประเทศไทย) ตามลำดับ การตรวจวัดทำโดยอุปกรณ์ตรวจวัดและได้รับการบันทึกลงสมุดบันทึกตามแบบฟอร์มมาตรฐานโดยเจ้าหน้าที่ในสนามและส่งสมุดบันทึกมาบันทึกเป็นข้อมูลชนิดดิจิทัล (ASCII) ตามมาตรฐานของกรมอุตุนิยมวิทยา ตามลำดับ ตัวอย่างข้อมูลแสดง ตามตารางที่ 4.1 - 4.4

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลความเร็วลมกรมอุตุนิยมวิทยา

ความเร็วลม(น็อต) ราย 3 ชั่วโมง											
ที่	รหัสสถานี-สถานี-จังหวัด	วันที่	เวลาทำการตรวจ								เฉลี่ย
			100	400	700	1000	1300	1600	1900	2200	
4791	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	1/1/2003	0	0	0	6	8	2	0	0	2
4792	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	2/1/2003	0	0	0	0	2	0	0	0	0
4793	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	3/1/2003	0	0	0	0	0	7	0	0	1
4794	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	4/1/2003	0	0	0	0	7	8	0	0	2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลทิศทางลมกรมอุตุนิยมวิทยา

ทิศทางความเร็วลม(องศา) ราย 3 ชั่วโมง											
ที่	รหัสสถานี-สถานี-จังหวัด	วันที่	เวลาทำการตรวจ								
			100	400	700	1000	1300	1600	1900	2200	
4699	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	2/1/2003	0	0	0	0	120	0	0	0	
4700	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	3/1/2003	0	0	0	0	0	80	0	0	
4701	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	4/1/2003	0	0	0	0	60	50	0	0	
4702	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	5/1/2003	0	0	0	0	90	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเล

ความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเล(เฮกโตปาสกาล)
ราย 3 ชั่วโมง

1007.35

ที่	รหัสสถานี-สถานี-จังหวัด	วันที่	เวลาทำการตรวจ								เฉลี่ย
			100	400	700	1000	1300	1600	1900	2200	
4791	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	1/1/2003	1011.9	1010.06	1011.86	1013.38	1011.34	1010.29	1012.23	1013.95	1011.88
4792	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	2/1/2003	1013.42	1012.13	1012.43	1014.49	1013.34	1012.06	1013.49	1015.02	1013.3
4793	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	3/1/2003	1014.79	1013.82	1014.13	1015.27	1014.19	1012.15	1013.57	1014.74	1014.08
4794	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	4/1/2003	1014.13	1013.29	1013.73	1015.01	1013.26	1011.83	1013.17	1014.58	1013.63
4795	517201-ชุมพร จ.ชุมพร	5/1/2003	1014.27	1012.66	1013.77	1014.97	1012.58	1012.02	1014.11	1015.29	1013.71

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลที่ตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจสภาพอากาศที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

Time	Rain(mm)	wd	speed(m)	wind gust(m)	humidity(%)	temperature(°C)	direction(°)	Pressure(mbar)
12/1/2007 17:39	0		1.122	1.122	60.268	26.585	SW	1015.783
12/1/2007 17:44	0		0.321	0.321	61.488	26.585	SW	1015.783
12/1/2007 17:54	0		1.042	1.042	61.244	26.585	SW	1015.783
12/1/2007 17:59	0		0.962	0.962	60.634	26.585	SW	1015.783
12/1/2007 18:04	0		1.282	1.282	61	26.462	W	1015.783
12/1/2007 18:09	0		1.082	1.082	61.488	26.585	W	1015.783
12/1/2007 18:14	0		0.962	0.962	60.227	26.585	W	1015.783

4.2 การคัดเลือกข้อมูลลมผิวพื้น

เนื่องจากข้อมูลมีหลายรูปแบบ และคุณภาพต่างกัน ในการศึกษากครั้งนี้ได้กำหนดหลักเกณฑ์การคัด

เลือกข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพดี และ ถูกต้องมากที่สุดดังนี้

- (1) หลักเกณฑ์การคัดเลือกข้อมูลเบื้องต้น โดยหลักการขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก

(WMO)[9]

- (2) การสำรวจภาคสนาม

- (3) หลักเกณฑ์การตรวจสอบความเร็วเฉลี่ยลมแต่ละปี (Inter-Annual Speed Variability)

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หลักเกณฑ์การคัดเลือกข้อมูลลมผิวพื้นเบื้องต้น โดยใช้หลักการขององค์การอุตุนิยมวิทยา

โลก

(WHO)

ทำการคัดเลือกสถานีที่ดีที่สุดโดยนำข้อมูลสถานีตรวจอากาศผิวพื้นทั้งหมดจำนวน 134 สถานี

โดยใช้หลักการของ WMO ซึ่งได้ กำหนดแนวทางการประเมินคุณภาพของข้อมูลดังนี้

1. ความถี่ของการวัด
2. ช่วงเวลาวัดความเร็วลมเพื่อนำข้อมูลมาเฉลี่ย

เอกสารนี้ 3. ความเที่ยงตรงของเครื่องวัดและวิธีการวัดศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งความสูงของศรลม
5. ผลกระทบที่มาจาก การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมข้างเคียง
6. รูปแบบของการจัดเก็บข้อมูล
7. ความรู้และประสบการณ์ของผู้ตรวจวัด
8. จำนวนของข้อมูล
9. การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ร่วมกับกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกำหนดหลักเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

(1) ความถี่ของการตรวจวัด

ความถี่ของการตรวจวัด (ครั้ง/วัน)	ระดับคะแนน
24 ขึ้นไป	5
12-23	4
8-11	3
3-7	2
1-2	1

ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการตรวจวัดทุก 3 ชั่วโมง จะมีความถี่ของการตรวจวัด 8 ครั้ง ต่อวัน ได้ระดับคะแนน 3

(2) ช่วงเวลาที่ให้นำข้อมูลมาเฉลี่ย

ช่วงเวลาที่ให้นำข้อมูลมาเฉลี่ยเป็นร้อยละของระยะห่างของแต่ละช่วงการวัด	ระดับคะแนน
50-100	5
25-49.9	4
10-24.9	3
5-9.9	2
น้อยกว่า 5	1

ตัวอย่างเช่น ในการตรวจวัดทุก 3 ชั่วโมง จะใช้ค่าเฉลี่ยจากตัวเลขในช่วงเวลา 10 นาที ดังนั้นช่วงเวลาที่ให้นำข้อมูลมาเฉลี่ยต่อระยะห่างของแต่ละช่วงการวัดมีค่าเป็น $10 \times 100 / 180 = 5.56$ ได้ระดับคะแนน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ความเที่ยงตรงของเครื่องวัด

การสอบเทียบเครื่องวัด	ระดับคะแนน
เครื่องวัดใหม่ หรือ ได้รับการสอบเทียบทุกปี	5
เครื่องวัดไม่เคยสอบเทียบเกิน 1 ปีแต่ไม่เกิน 2 ปี	4
เครื่องวัดไม่เคยสอบเทียบ 2 – 4 ปี	3
เครื่องวัดไม่เคยสอบเทียบ 5 – 10 ปี	2
เครื่องวัดไม่เคยสอบเทียบเกิน 10 ปี	1

ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดความเร็วลมไม่เคยสอบเทียบมาแล้ว 3 ปี ได้ระดับคะแนน 3

(4) การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งความสูงของศรลม

ตำแหน่งความสูงของศรลม	ระดับคะแนน
ไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งเกิน 5 ปี	5
เปลี่ยนแปลงตำแหน่งภายในระยะเวลา 3 ปี ไม่ถึง 5 ปี	4
เปลี่ยนแปลงตำแหน่งภายในระยะเวลา 2 ปี ไม่เกิน 3 ปี	3
เปลี่ยนแปลงตำแหน่งภายในระยะเวลา 1 ปี ไม่เกิน 2 ปี	2
เปลี่ยนแปลงตำแหน่งภายในระยะเวลา 1 ปี	1

ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งความสูงของศรลมไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งมาแล้วนาน 15 ปี ได้ระดับคะแนน 5

(5) ผลกระทบที่มีจากการเปลี่ยนแปลงสภาพข้างเคียง

การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม	ระดับคะแนน	
การเปลี่ยนแปลงภายในระยะ 1 ปี	สภาพการเปลี่ยนแปลงทุก ระดับ	1
เปลี่ยนแปลงภายในระยะ 1 ปี ไม่ เกิน 3 ปี	เปลี่ยนแปลงมากถึงปานกลาง	1
	เปลี่ยนแปลงปานกลาง	2
เปลี่ยนแปลงภายในระยะ 4 ปีไม่ ถึง 5 ปี	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	3
	เปลี่ยนแปลงมากถึงปานกลาง	3
เปลี่ยนแปลงภายในระยะ 5 ปีไม่	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	4
	เปลี่ยนแปลงมากถึงปานกลาง	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 10 ปี	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	5
ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาเกิน 10 ปี	สภาพการเปลี่ยนแปลงทุกระดับ	5

ตัวอย่างเช่น มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม อย่างมากเมื่อ 3 ปี ที่ผ่านมาได้ระดับคะแนน

2

(6) รูปแบบของการจัดเก็บข้อมูล

ตำแหน่งความสูงของศรลม	ระดับคะแนน
เก็บข้อมูลหาค่าเฉลี่ยโดยอัตโนมัติและเก็บผลลงในข้อมูลของระบบคอมพิวเตอร์	5
เก็บข้อมูลหาค่าเฉลี่ยโดยอัตโนมัติแต่ต้องผ่านการคัดลอกด้วยบุคคล	4
เก็บข้อมูล โดยอ่านจากเครื่องวัดและคิค่าเฉลี่ยจากข้อมูลที่จดค่าไว้ในช่วงเวลา	3
เก็บข้อมูล โดยอ่านจากเครื่องวัดและคิค่าเฉลี่ยในใจ	2
เก็บข้อมูล โดยอ่านจากเครื่องวัดภายนอกอาคาร	1

ตัวอย่างเช่น ในการเก็บข้อมูลลม ได้อ่านจากหน้าปัดของเครื่องวัดเป็นเวลา 10 นาที และคิค่าเฉลี่ยในใจ แล้วนำค่ามาจดไว้ในสมุดจดได้ระดับคะแนน 2

(7) ความรู้และประสบการณ์ของผู้ตรวจวัด

ความรู้และประสบการณ์ของผู้ตรวจวัด	ระดับคะแนน
ทำงานนานเกิน 3 ปี	5
ทำงานมีระยะเวลา 1 ปี ไม่ถึง 3 ปี	4
ทำงานมีระยะเวลา 3 เดือนไม่เกิน 1 ปี	3
ทำงานมีระยะเวลา 1 เดือน ไม่เกิน 3 เดือน	2
ทำงานมีระยะเวลาน้อยกว่า 1 ปี	1

ตัวอย่างเช่น ผู้ตรวจวัดทำงานในหน้าที่จดข้อมูลลมเป็นระยะเวลา 2 ปี 6 เดือน ระดับ

คะแนน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) จำนวนของข้อมูล

จำนวนข้อมูล	ระดับคะแนน
ข้อมูลมีระยะเวลาเกิน 5 ปี	5
ข้อมูลมีระยะเวลา 4 ปี ไม่ถึง 5 ปี	4
ข้อมูลมีระยะเวลา 3 ปี ไม่เกิน 4 ปี	3
ข้อมูลมีระยะเวลา 1 ปี ไม่เกิน 3 ปี	2
ข้อมูลระยะเวลา 1 ปี	1

ตัวอย่างเช่น จำนวนข้อมูลที่จัดเก็บอย่างต่อเนื่องนาน 10 ปี ได้ระดับคะแนน 5

(9) การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ลักษณะการตรวจสอบความถูกต้อง	ระดับคะแนน
ข้อมูลได้รับการตรวจสอบความถูกต้องมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์	5
ทำการตรวจสอบโดยการสุ่ม 20 - 50 เปอร์เซ็นต์ ของ ข้อมูล	4
ทำการตรวจสอบโดยการสุ่มน้อยกว่า 5 - 19.9 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูล	3
ทำการตรวจสอบโดยการสุ่มน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของข้อมูล	2

ตัวอย่างเช่น ข้อมูลจากการตรวจวัดได้รับการตรวจสอบความถูกต้อง ทุกข้อมูลได้ระดับ
คะแนน 5

ในขั้นตอนการคัดเลือกได้นำข้อมูลของสถานีวิจัยพื้นทั้งหมดที่ได้รวมไว้จำนวน 10 สถานี มาคัดเลือกโดยใช้หลักเกณฑ์ขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) เพื่อคัดเลือกสถานีที่ผ่านเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ จากคะแนนรวม 100 เปอร์เซ็นต์ ในการคัดเลือกดังกล่าวมีจำนวนสถานีที่ผ่านเกณฑ์ทุกสถานี

บทที่ 5

การวิเคราะห์ลมในทะเลและการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม

การวิเคราะห์ศักยภาพความเร็วลมโดยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Fortran โดยนำข้อมูลความถี่ทิศทางและความเร็วลมในบทที่ 4 มาทำการวิเคราะห์ลมผิวพื้น โดยการแยกข้อมูลและแปลงหน่วยที่ต้องการ โดยวิเคราะห์ค่าความเร็วลม ทิศทางของลม นำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนจากการบันทึกทุก ๆ 3 ชั่วโมง และแต่ละสถานี โดยจัดการให้เป็นไฟล์ INPUT.TXT และทำการแบ่ง Grid ขนาด 10x10 กิโลเมตร ลงตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละสถานี ซึ่งจะได้เงื่อนไขและขอบเขตวิเคราะห์ โดยมีวิธีการต่อไปนี้

5.1 วิธีการวิเคราะห์ ความเร็วลมในทะเลและชายฝั่ง

- การวิเคราะห์ความเร็วลมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

(1) เขียนโปรแกรมเพื่อถอดข้อมูลจาก ไฟล์ Text ของฐานข้อมูลซึ่งจะได้ ข้อมูลลักษณะเป็น Time-series ที่เป็นความเร็วลมและทิศทางที่ความสูง 10 เมตร ซึ่งประกอบด้วย

- U (Eastward) Component แทนความเร็วลมในแกน X หน่วย เป็น เมตร/วินาที
- V (Northward) Component แทนความเร็วลมในแกน Y หน่วย เป็น เมตร/วินาที
- Z Component แทนค่าความเร็วลมเฉลี่ย หน่วย เป็น เมตร/วินาที

(2) โดยการเขียนโปรแกรมแปลง U และ V Component ให้เป็นทิศทางโดยสูตร

$$\theta = \arctan\left(\frac{V}{U}\right) \text{----- (5.1)}$$

ทิศทางที่ได้เป็นองศาซึ่งขึ้นกับค่าของ U และ V Component ตามลำดับ

(3) นำค่าแรงลมเฉลี่ยจาก Z Component และทิศทางที่ได้มาจัดให้เป็นแฟ้มข้อมูลชนิด DAT เพื่อใช้ในโปรแกรมหลักที่เขียนขึ้นมา โดยใช้หลักการคำนวณข้อมูลความถี่ทิศทางและความเร็วลมจำนวน 8 ทิศ (N NE E SE S SW W และ NW) มาวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีความเร็วลมและยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกมาทำนายความเร็วลมในอนาคตได้ด้วย

5.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม

```
PROGRAM wind speed
```

```
implicit none
```

```
integer,parameter :: maxnod = 6, npe=3, maxele = 4, month = 12
```

```
! Declare the external function
```

```
character(len=4),external :: int_to_char
```

```
character(len=1),external :: int_to_char1
```

```
character(len=2),external :: int_to_char2
```

```
real,external :: area2,CONVLAT,CONVLONG
```

```
logical,external :: insideTriangle
```

```
! variables
```

```
character(len=9) :: res1,res2
```

```
character(len=27) :: output
```

```
character :: start,quit
```

```
logical :: ptest
```

```
integer :: ij,ie,imonth
```

```
integer :: value,intmat(maxele,npe)
```

```
integer :: nlat,nlong,igrd,jgrid
```

```
real :: lat_degree,lat_filipda,lat
```

```
real :: long_degree,long_filipda,long
```

```
real :: lat_degree_max,lat_filipda_max,latmax
```

```
real :: lat_degree_min,lat_filipda_min,latmin
```

```
real :: long_degree_max,long_filipda_max,longmax
```

```
real :: long_degree_min,long_filipda_min,longmin
```

```
real :: hlat,hlong
```

```
real :: a1,a2,a3,a4,xa,xb,xc,ya,yb,yc
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

real :: xp,yp,na,nb,nc
real :: ua,ub,uc,up,va,vb,vc,vp
real :: mag,deg
real :: xcord(maxnod),ycord(maxnod)
real :: u(maxnod,month), v(maxnod,month)

```

```
start = 'n'
```

```
quit='n'
```

```
do
```

```
do
```

```
write*,'(1x,a)' ' which year? (2003-2010): '
```

```
read(*,*) value
```

```
if ((value<2003).or.(value>2010)) then
```

```
write(*,*) ' this year is out of range '
```

```
write(*,*)
```

```
else
```

```
exit
```

```
endif
```

```
end do
```

```
res1 = 'u//int_to_char(value)//.txt'
```

```
res2 = 'v//int_to_char(value)//.txt'
```

```
write*,'(1x,a,a)' ' open file: ',res1
```

```
write*,'(1x,a,a)' ' open file: ',res2
```

```
open(unit=7,file=res1)
```

```
open(unit=8,file=res2)
```

```
do i=1,maxnod
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

read(7,*) (u(i,j),j=1,month)
read(8,*) (v(i,j),j=1,month)
end do

close(7)
close(8)

intmat(1,1)=1; intmat(1,2)=2; intmat(1,3)=3
intmat(2,1)=1; intmat(2,2)=3; intmat(2,3)=4
intmat(3,1)=5; intmat(3,2)=4; intmat(3,3)=3
intmat(4,1)=6; intmat(4,2)=4; intmat(4,3)=5
! prajuab 1
xcord(1)=99.0+50.0/60.0; ycord(1)=11.0+50.0/60.0
! prajuab 2
xcord(2)=99.0+58.0/60.0; ycord(2)=12.0+35.0/60.0
! prajuab 3
xcord(3)=99.0+44.0/60.0; ycord(3)=12.0+35.0/60.0
! chumporn 1
xcord(4)=99.0+11.0/60.0; ycord(4)=10.0+29.0/60.0
! ranong
xcord(5)=98.0+37.0/60.0; ycord(5)=9.0+59.0/60.0
! surat 2
xcord(6)=99.0+8.0/60.0; ycord(6)=9.0+8.0/60.0

do i=1,maxnod
xcord(i)=(int(xcord(i)*1000))/1000.0
ycord(i)=(int(ycord(i)*1000))/1000.0
end do

10 write(*,*) 'which month? (1-12) : '
read(*,*) imonth

```

```

if (imonth<1.or.imonth>12) then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

write(*,*) ' this month is out of range'
    goto 10
end if
20 do
write(*,*) '=====
write(*,*) ' do you wish to start? <y/n> : '
    write(*,*)
read(*,*) start
if (start=='y'.or.start=='Y') then
    goto 50
else if (start=='n'.or.start=='N') then
    goto 60
else
write(*,*) ' please choose y or n only'
    write(*,*)
endif
end do
50 write(*,*) '+++++
write(*,*) '...reading boundaries from input.dat.....'
write(*,*) '+++++
write(*,*)
open(unit=5,file='input.dat')
read(5,*)
read(5,*) lat_degree_min,lat_filipda_min
write(*,55) ' the lower limit of latitude(degree, filipda): ',lat_degree_min,lat_filipda_min
read(5,*)
read(5,*) lat_degree_max,lat_filipda_max
write(*,55) ' the upper limit of latitude(degree, filipda): ',lat_degree_max,lat_filipda_max
read(5,*)
read(5,*) long_degree_min,long_filipda_min
write(*,55) ' the lower limit of longitude(degree,filipda): ',long_degree_min,long_filipda_min

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
 อย่างไม่ถูกต้องในทางอื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

read(5,*)
read(5,*) long_degree_max,long_filipda_max
write(*,55) 'the upper limit of longitude(degree,filipda): ',long_degree_max,long_filipda_max
close(5)
55 format(a,2x,2f6.2)
write(*,*) 'number of j grids'
read(*,*) nlat
write(*,*) 'number of i grids'
read(*,*) nlong
latmax = lat_degree_max + lat_filipda_max/60.0
latmin = lat_degree_min + lat_filipda_min/60.0
longmax = long_degree_max + long_filipda_max/60.0
longmin = long_degree_min + long_filipda_min/60.0

latmax = (int(latmax*1000))/1000.0
latmin = (int(latmin*1000))/1000.0
longmax = (int(longmax*1000))/1000.0
longmin = (int(longmin*1000))/1000.0
if ((latmax<latmin).or.(longmax<longmin)) then
write(*,*) '+++++'
write(*,*) 'error in input value.. please check!!'
goto 20
end if
hlat = (latmax-latmin)/real(nlat)
hlong = (longmax-longmin)/real(nlong)

```

! NAMING OF AN OUTPUT FILE

```

if (imonth<=9) output = 'wind-year'//int_to_char(value)//'month'//int_to_char1(imonth)//'.dat'
if (imonth>9) output = 'wind-year'//int_to_char(value)//'month'//int_to_char2(imonth)//'.dat'
open(unit=6,file=output)
write(*,*) 'the data are written on wind-YYYYmonthMM.DAT'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

long = longmin
! START LOOP PLOT
do igrd = 1, nlong+1
  lat = latmin
  do jgrid = 1, nlat+1
! value initialisation
    deg = 0.0
    mag = 0.0
    ptest=.false.
! CHECK ELEMENT NUMBER in which the location is inside
    do ie=1, maxele
      xa = xcord(intmat(ie,1)); ya=ycord(intmat(ie,1))
      xb = xcord(intmat(ie,2)); yb=ycord(intmat(ie,2))
      xc = xcord(intmat(ie,3)); yc=ycord(intmat(ie,3))
      xp = long; yp = lat
      ptest = insideTriangle(xa,ya,xb,yb,xc,yc,xp,yp)
    if (ptest) then
!       write(*,*) ' your location is in element ',ie
!       write(*,*)
          xa = xcord(intmat(ie,1)); ya=ycord(intmat(ie,1))
          xb = xcord(intmat(ie,2)); yb=ycord(intmat(ie,2))
          xc = xcord(intmat(ie,3)); yc=ycord(intmat(ie,3))

          xp = long; yp = lat
          a1 = area2(xb,xc,xp,yb,yc,yp)
          a2 = area2(xc,xa,xp,yc,ya,yp)
          a3 = area2(xa,xb,xp,ya,yb,yp)

          a4 = area2(xa,xb,xc,ya,yb,yc)
          na = a1/a4
          nb = a2/a4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

nc = a3/a4
ua = u(intmat(ie,1),imonth)
ub = u(intmat(ie,2),imonth)
uc = u(intmat(ie,3),imonth)
va = v(intmat(ie,1),imonth)
vb = v(intmat(ie,2),imonth)
vc = v(intmat(ie,3),imonth)
up = na*ua + nb*ub + nc*uc
vp = na*va + nb*vb + nc*vc

```

```

mag = sqrt(up*up+vp*vp)
if (up/=0.0) then
  deg = atan(vp/up)*180.0/3.14159
else if (up==0.0) then
  if (vp>0.0) then
    deg=90.0
  else if (vp<0.0) then
    deg=-90.0
  else
    deg=0.0
  endif
endif
end if

```

```
!exit from loop in case location is found inside triangle
```

```
  exit
```

```
end if
```

```
! end loop CHECK ELEMENT NUMBER in which the location is inside
```

```
end do
```

```
  if (ptest) then
```

```
!location is inside the domain
```

```
!      write(6,30) igrd,jgrid,' ele no.',ie,' lat.',lat,' long.',long,' vel.',mag,' deg.',deg
```

```
      write(6,*) CONVLAT(lat), CONVLONG(long), up, vp
```

```
else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

! location is outside the domain
!   write(6,35) igrid,jgrid,' ele no.:',NaN,' lat.:',lat,' long.:',long,' vel.:', NaN,' deg.:', NaN'
      write(6,*) CONVLAT(lat), CONVLONG(long),' NaN',' NaN'

      end if
! loop igrid
  lat = lat + hlat
  end do
! loop jgrid
  long = long + hlong
  end do
30 format(2i3,a,i3,4(a,f6.2))
35 format(2i3,2a,2(a,f6.2),4a)
  close(6)
60 do
  write(*,*) '-----'
  write(*,*)
  write(*,*) ' do you wish to quit? <y/n> : '
  read(*,*) quit
  if (quit=='y'.or.quit=='Y') then
    goto 100
  else if (quit=='n'.or.quit=='N') then
    exit
  else
    write(*,*) ' please choose y or n only'
    write(*,*)
  endif
  end do
end do

```

100 write(*,*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

write(*,*)'=====
write(*,*)'   END OF SESSION   '
write(*,*)'=====

```

STOP

END PROGRAM interpolate

FUNCTION insideTriangle(xa,ya,xb,yb,xc,yc,xp,yp)

implicit none

real,intent(in) :: xa,ya,xb,yb,xc,yc,xp,yp

logical :: insideTriangle

! declare external function

real,external :: area2

real :: a1,a2,a3

insideTriangle = .false.

a1 = area2(xa,xb,xp,ya,yb,yp)

a2 = area2(xb,xc,xp,yb,yc,yp)

a3 = area2(xc,xa,xp,yc,ya,yp)

if (a1>=0.0.and.a2>=0.0.and.a3>=0.0) insideTriangle=.true.

RETURN

END FUNCTION insideTriangle

FUNCTION int_to_char(value)

implicit none

integer,intent(in) :: value

character(len=4) :: int_to_char

character(len=4) :: string

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

string = "
write(string,'(i4)') value
int_to_char = string

RETURN
END FUNCTION int_to_char

```

```

FUNCTION int_to_char1(value)
implicit none

```

```

integer,intent(in) :: value
character(len=1) :: int_to_char1
character(len=1) :: string

```

```

string = "
write(string,'(i1)') value
int_to_char1 = string

RETURN
END FUNCTION int_to_char1

```

```

FUNCTION int_to_char2(value)
implicit none

```

```

integer,intent(in) :: value
character(len=2) :: int_to_char2
character(len=2) :: string

```

```

string = "
write(string,'(i2)') value
int_to_char2 = string

```

```

RETURN
END FUNCTION int_to_char2

```

```

FUNCTION area2(xa,xb,xc,ya,yb,yc)
implicit none
real,intent(in) :: xa,xb,xc,ya,yb,yc
real          :: area2
area2 = (xa-xc)*(yb-yc)-(ya-yc)*(xb-xc)
RETURN
END FUNCTION area2

```

```

FUNCTION CONVLONG(long)
implicit none
real :: a,b,aa,bb,slopelong,CONVLONG
real,intent(in) :: long
! the reference longitude locations given in degree
a = 98
b = 100
! pixel numbers corresponding to above longitude locations
aa = 204
bb = 559
slopelong = (bb-aa)/(b-a)
CONVLONG = slopelong*long+aa-slopelong*a
RETURN
END FUNCTION CONVLONG

```

```

FUNCTION CONVLAT(lat)
implicit none
real :: c,d,cc,dd,slopelat,CONVLAT
real,intent(in) :: lat
!the reference latitude locations given in degree
c = 12
d = 10
!pixel numbers corresponding to above latitude locations

```

cc = 195

dd = 550

slopelat = (dd-cc)/(d-c)

CONVLAT= slopelat*lat+cc-slopelat*c

RETURN

END FUNCTION CONVLAT

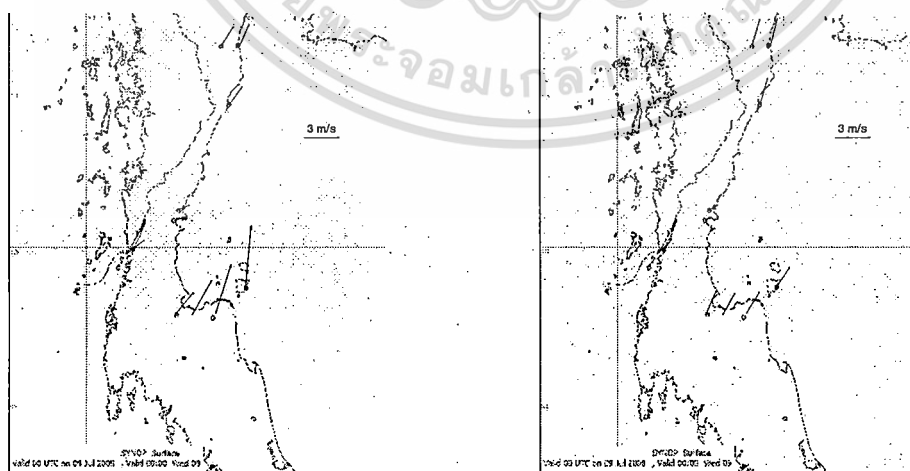
5.3 กาทำแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อกลั้เคียง2003-2007

5.3.1 แผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อกลั้เคียง2003



รูปที่ 5-1 เดือน มกราคม 2003

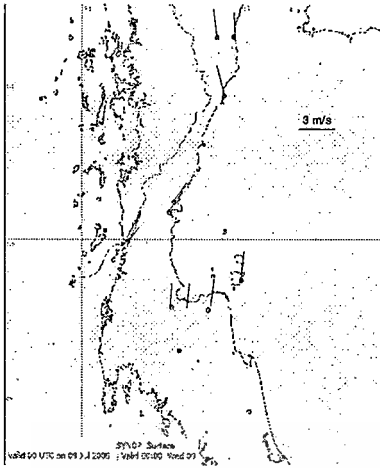
รูปที่ 5-2 เดือน กุมภาพันธ์ 2003



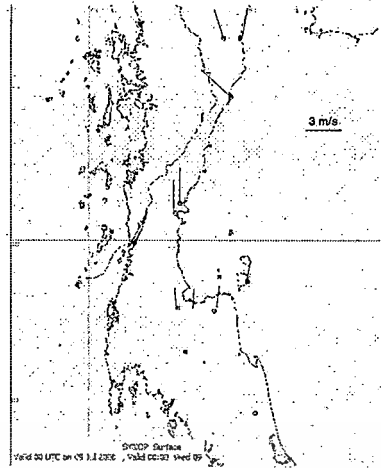
รูปที่ 5-3 เดือน มีนาคม 2003

รูปที่ 5-4 เดือน เมษายน 2003

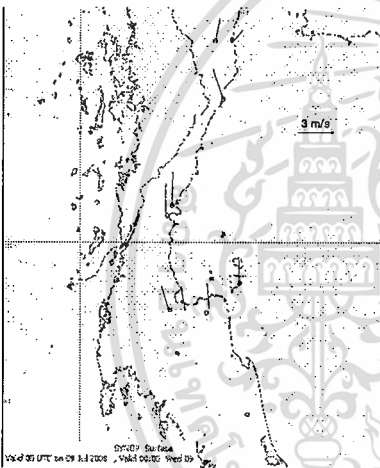
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



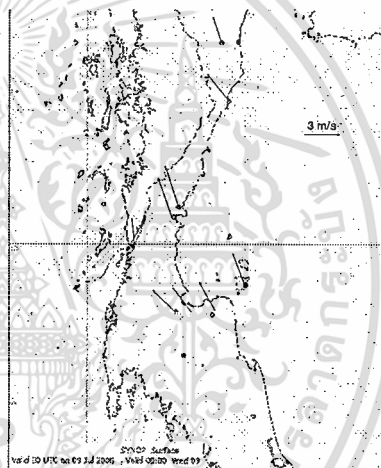
รูปที่ 5-5 เดือน พฤษภาคม 2003



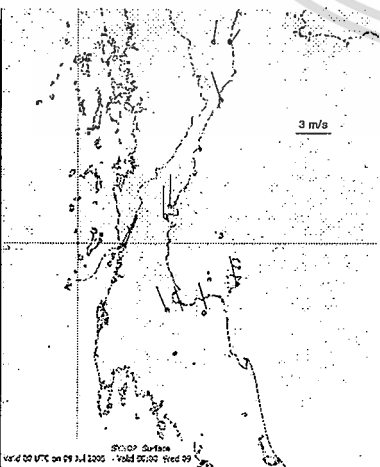
รูปที่ 5-6 เดือน มิถุนายน 2003



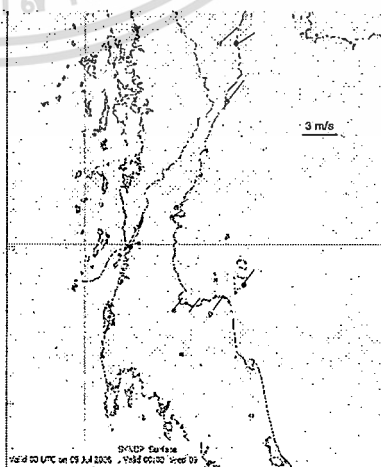
รูปที่ 5-7 เดือน กรกฎาคม 2003



รูปที่ 5-8 เดือน สิงหาคม 2003

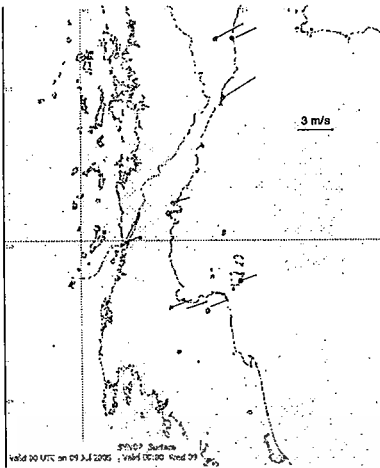


รูปที่ 5-9 เดือน กันยายน 2003

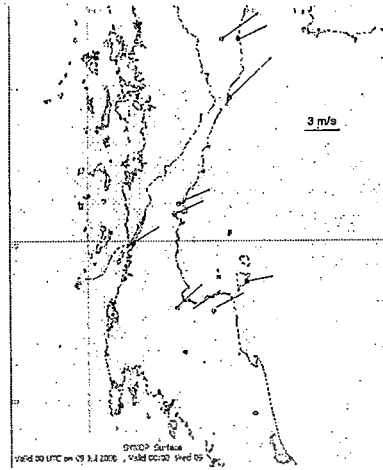


รูปที่ 5-10 เดือน ตุลาคม 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

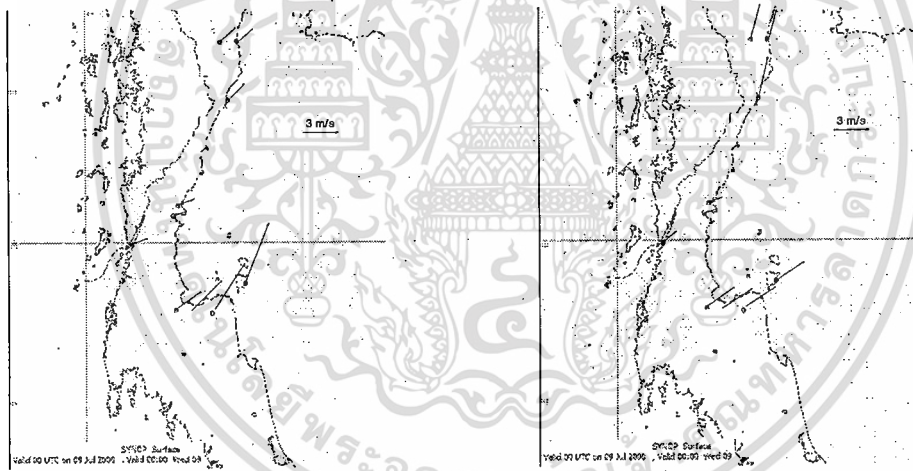


รูปที่ 5-11 เดือน พฤศจิกายน 2003



รูปที่ 5-12 เดือน ธันวาคม 2003

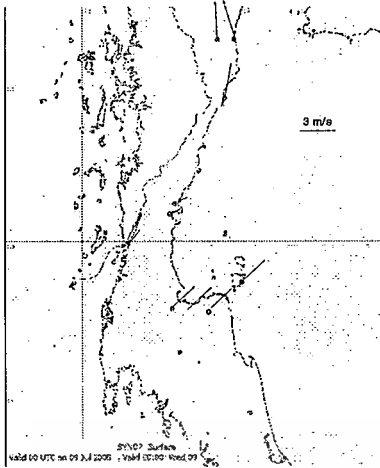
5.3.2 แผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง2004



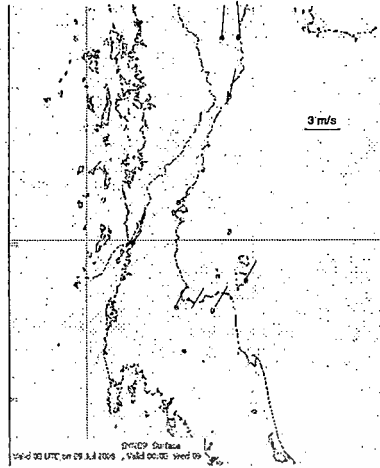
รูปที่ 5-13 เดือน มกราคม 2004

รูปที่ 5-14 เดือน กุมภาพันธ์ 2004

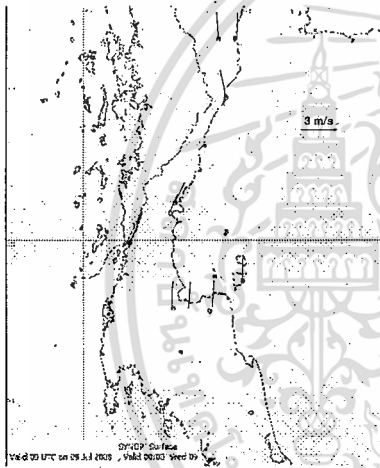
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



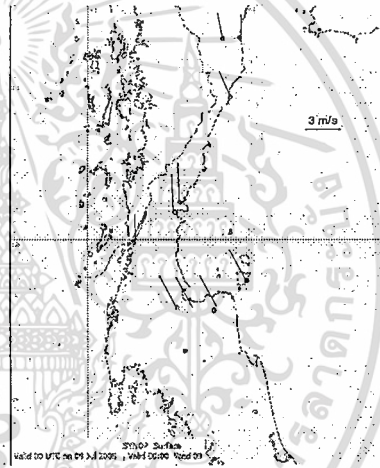
รูปที่ 5-15 เดือน มีนาคม 2004



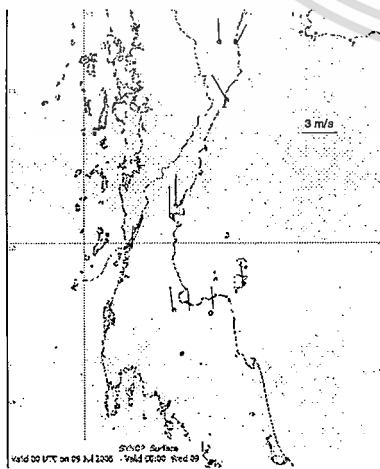
รูปที่ 5-16 เดือน เมษายน 2004



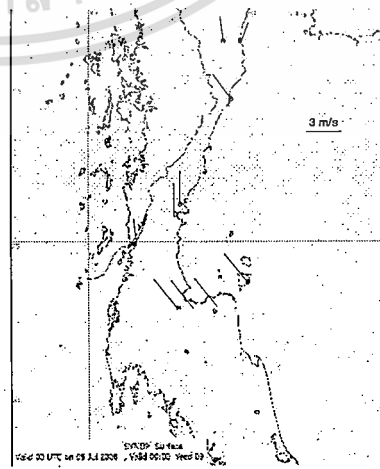
รูปที่ 5-17 เดือน พฤษภาคม 2004



รูปที่ 5-18 เดือน มิถุนายน 2004

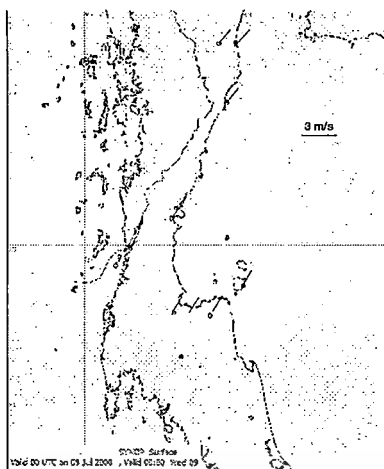


รูปที่ 5-19 เดือน กรกฎาคม 2004

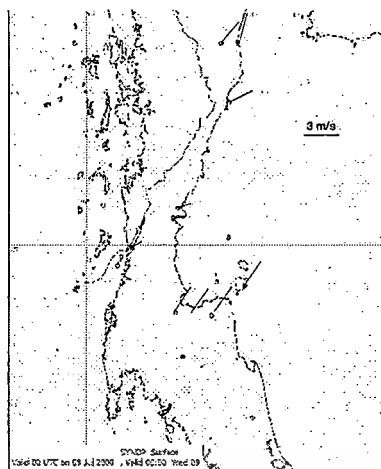


รูปที่ 5-20 เดือน สิงหาคม 2004

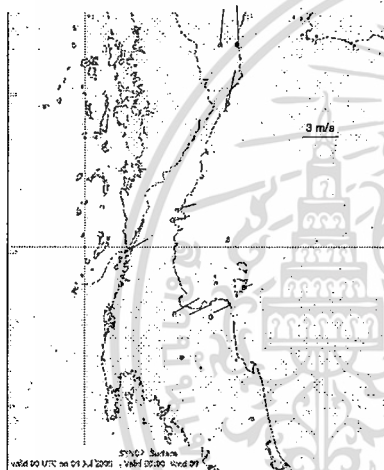
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



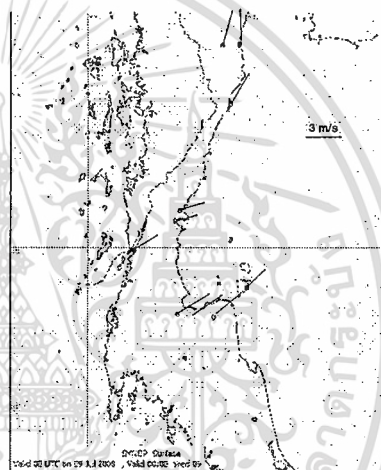
รูปที่ 5-21 เดือน กันยายน 2004



รูปที่ 5-22 เดือน ตุลาคม 2004

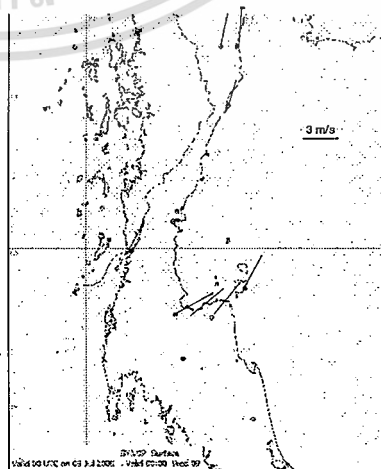
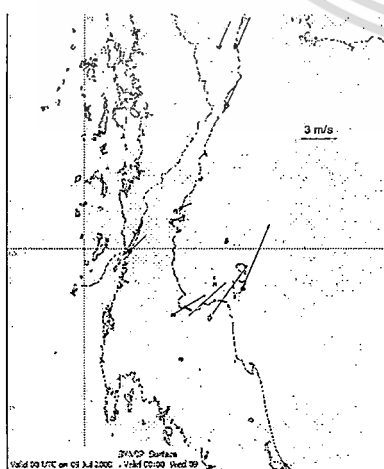


รูปที่ 5-23 เดือน พฤศจิกายน 2004

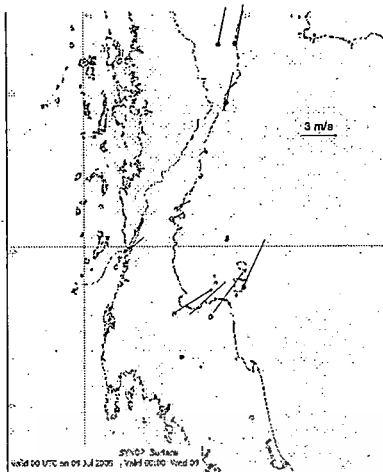


รูปที่ 5-24 เดือน ธันวาคม 2004

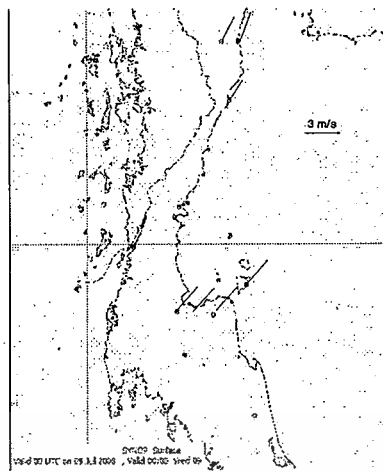
5.3.3 แผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง2005



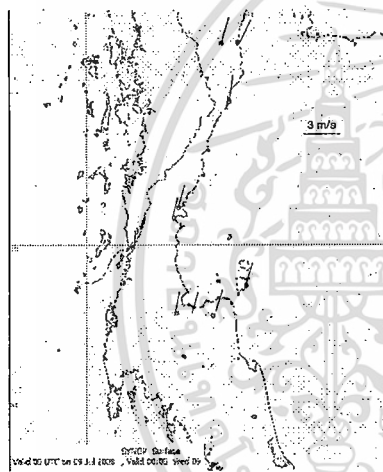
เอกสารนี้รูปที่ 5-25 เดือน มกราคม 2005 ใช้งานเพื่อการศึกษารูปที่ 5-26 เดือน กุมภาพันธ์ 2005 ระเบียบงานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



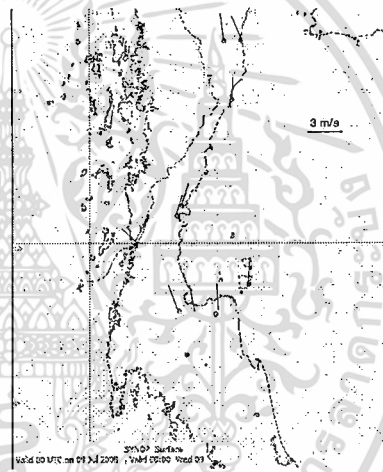
รูปที่ 5-27 เดือน มีนาคม 2005



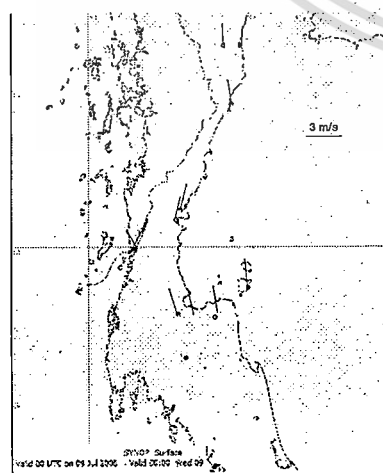
รูปที่ 5-28 เดือน เมษายน 2005



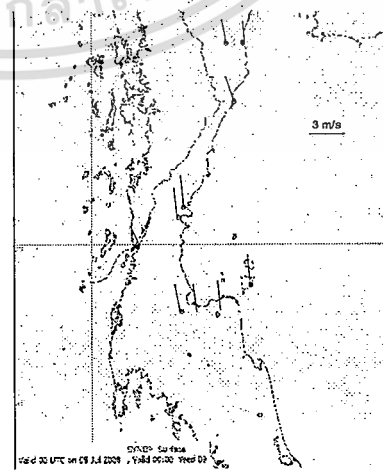
รูปที่ 5-29 เดือน พฤษภาคม 2005



รูปที่ 5-30 เดือน มิถุนายน 2005

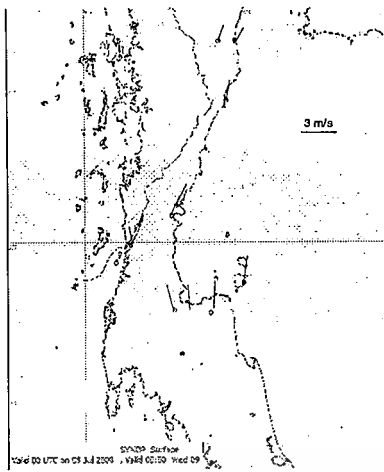


รูปที่ 5-31 เดือน กรกฎาคม 2005

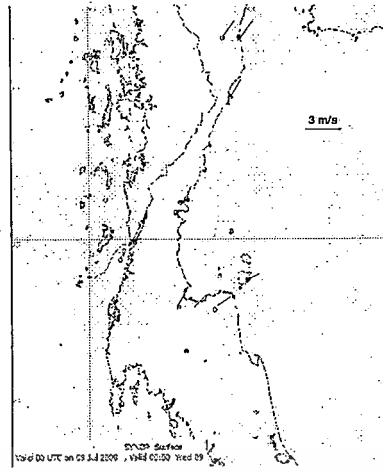


รูปที่ 5-32 เดือน สิงหาคม 2005

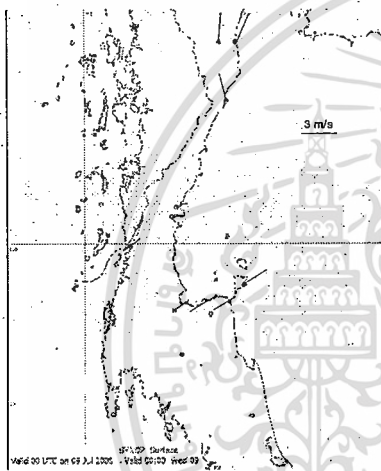
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



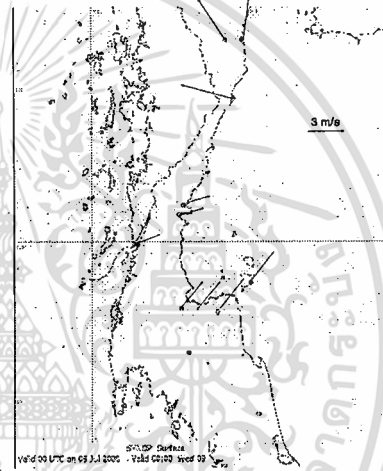
รูปที่ 5-33 เดือน กันยายน 2005



รูปที่ 5-34 เดือน ตุลาคม 2005

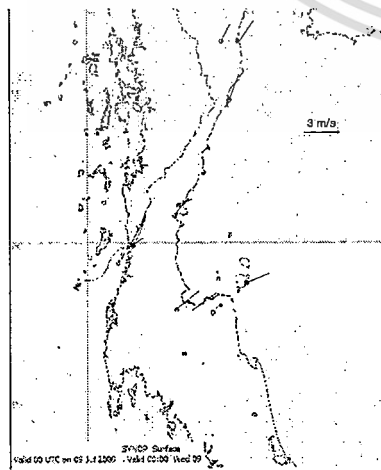


รูปที่ 5-35 เดือน พฤศจิกายน 2005

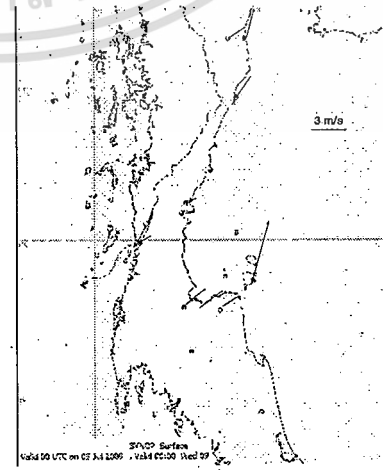


รูปที่ 5-36 เดือน ธันวาคม 2005

5.3.4 แผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง 2006

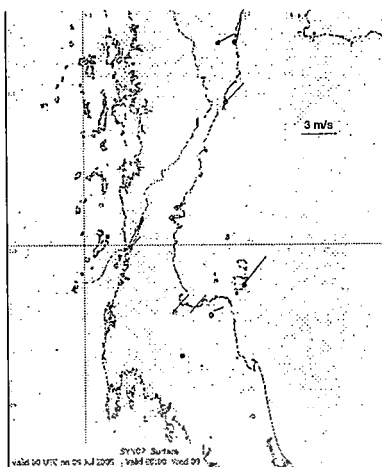


รูปที่ 5-37 เดือน มกราคม 2006

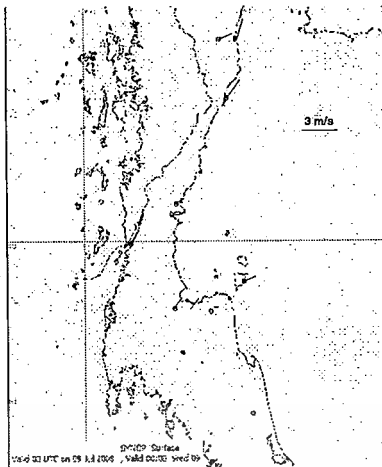


รูปที่ 5-38 เดือน กุมภาพันธ์ 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



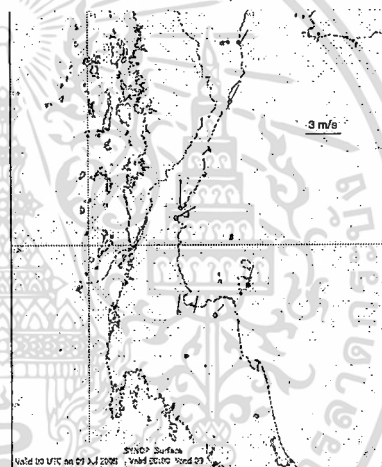
รูปที่ 5-39 เดือน มีนาคม 2006



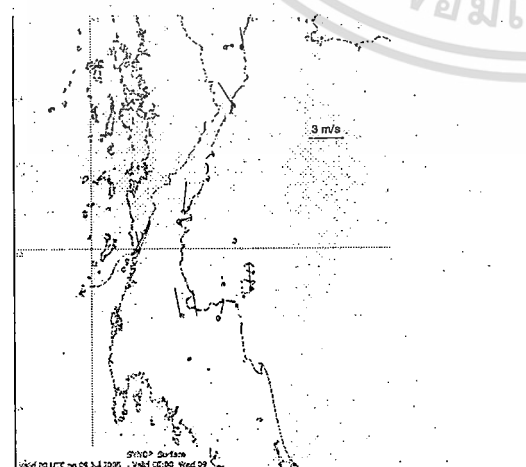
รูปที่ 5-40 เดือน เมษายน 2006



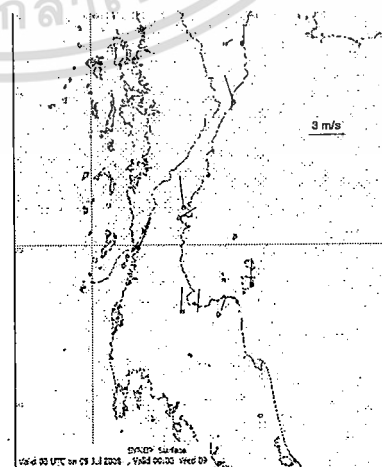
รูปที่ 5-41 เดือน พฤษภาคม 2006



รูปที่ 5-42 เดือน มิถุนายน 2006

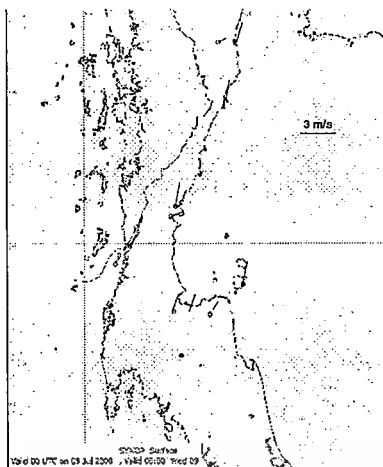


รูปที่ 5-43 เดือน กรกฎาคม 2006

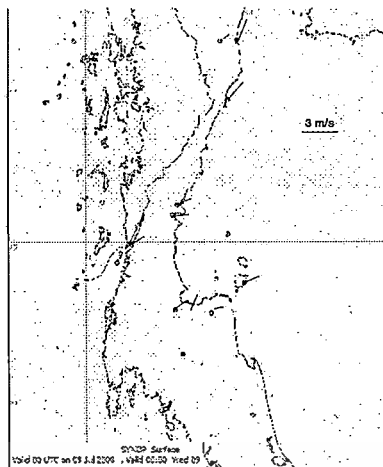


รูปที่ 5-44 เดือน สิงหาคม 2006

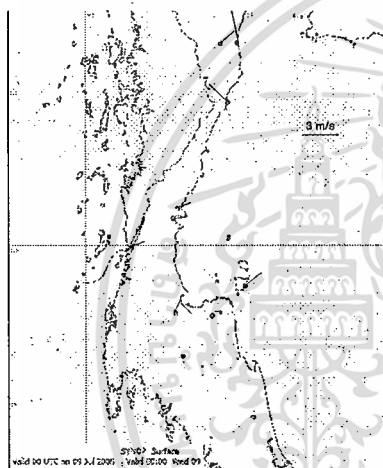
เอกสารนี้ มีอยู่หลายสำเนาที่เก็บรักษาไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



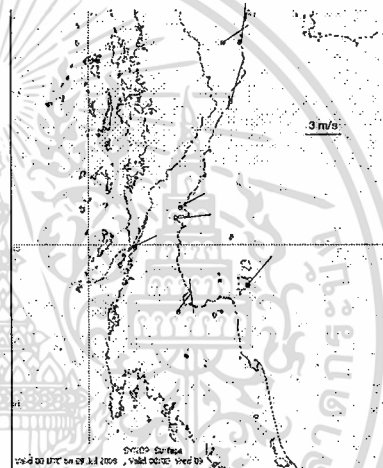
รูปที่ 5-45 เดือน กันยายน 2006



รูปที่ 5-46 เดือน ตุลาคม 2006

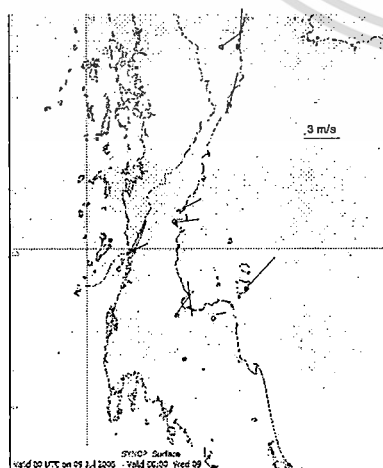


รูปที่ 5-47 เดือน พฤศจิกายน 2006

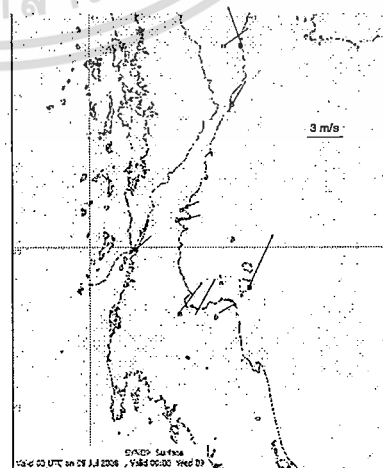


รูปที่ 5-48 เดือน ธันวาคม 2006

5.3.5 แผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง 2007

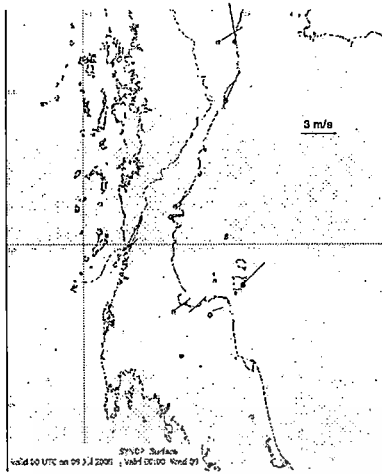


รูปที่ 5-49 เดือน มกราคม 2007

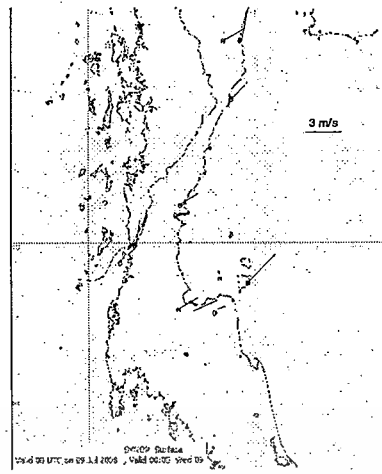


รูปที่ 5-50 เดือน กุมภาพันธ์ 2007

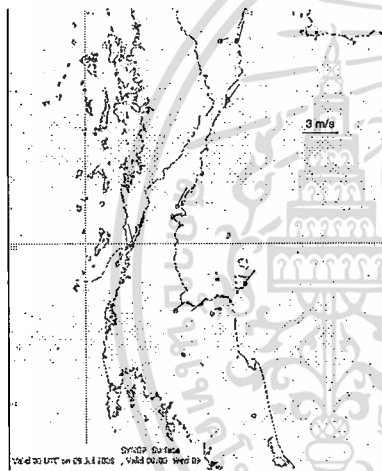
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานลม
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



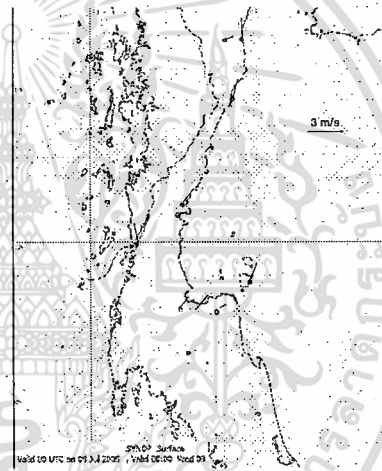
รูปที่ 5-51 เดือน มีนาคม 2007



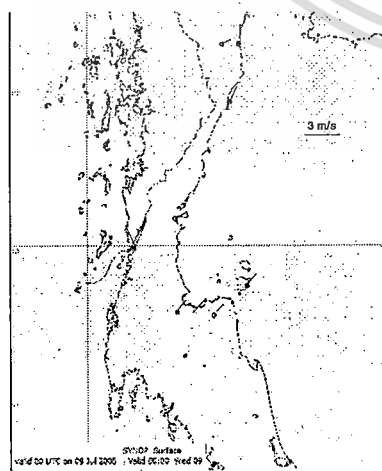
รูปที่ 5-52 เดือน เมษายน 2007



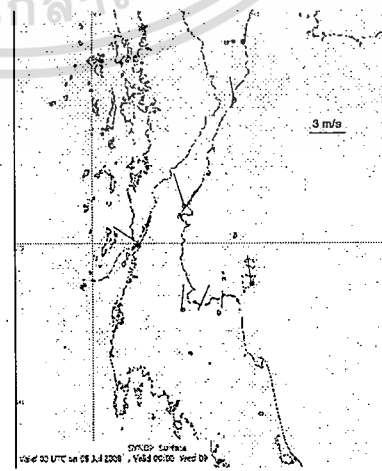
รูปที่ 5-53 เดือน พฤษภาคม 2007



รูปที่ 5-54 เดือน มิถุนายน 2007

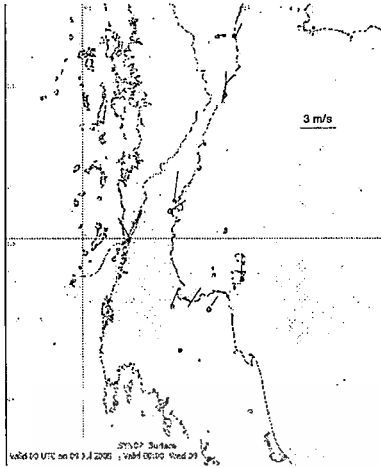


รูปที่ 5-55 เดือน กรกฎาคม 2007

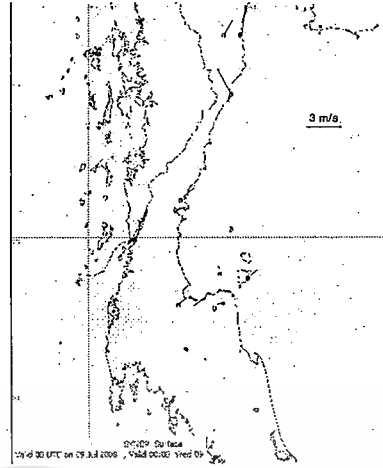


รูปที่ 5-56 เดือน สิงหาคม 2007

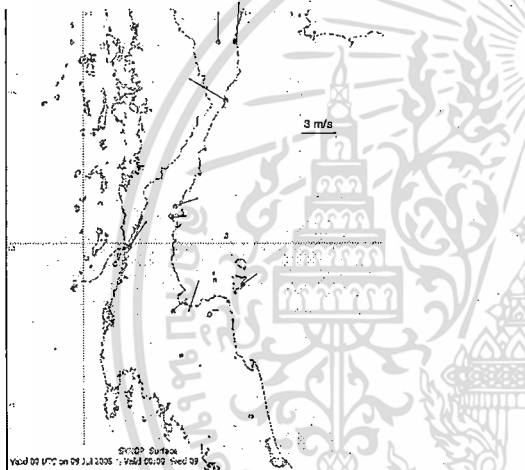
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



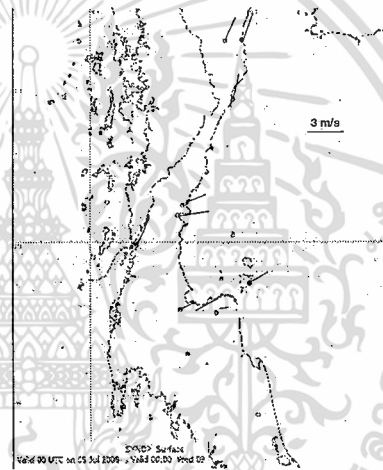
รูปที่ 5-57 เดือน กันยายน 2007



รูปที่ 5-58 เดือน ตุลาคม 2007



รูปที่ 5-59 เดือน พฤศจิกายน 2007

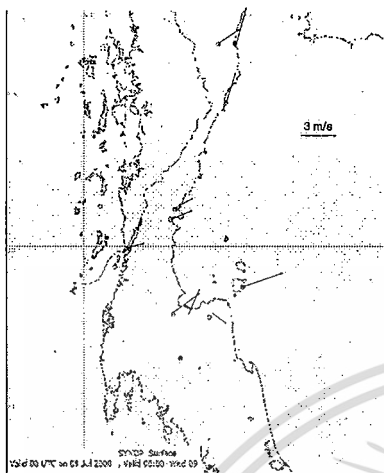


รูปที่ 5-60 เดือน ธันวาคม 2007

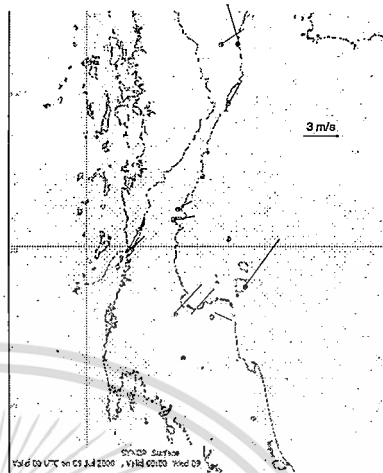
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 นำข้อมูลความเร็วลม ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมย้อนหลัง 5 ปีมาทำนายแผนที่พลังงานลมที่จะเกิดขึ้นในปี 2008-2010 ดังนี้

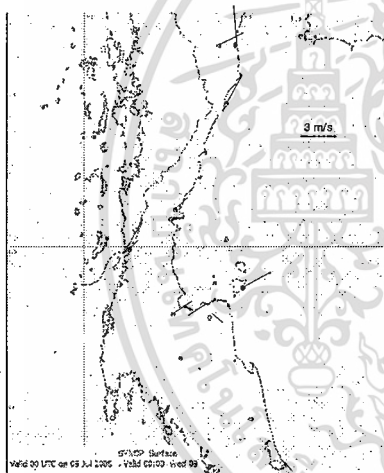
5.4.1 การทำนายแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง2008



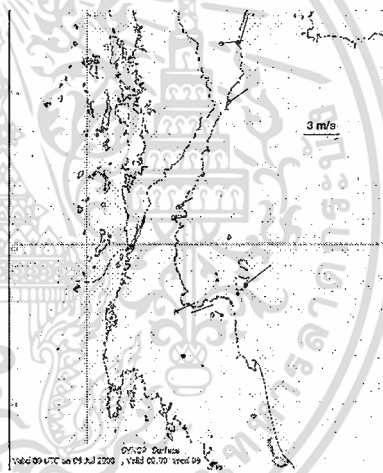
รูปที่ 5-61 การทำนายเดือน มกราคม 2008



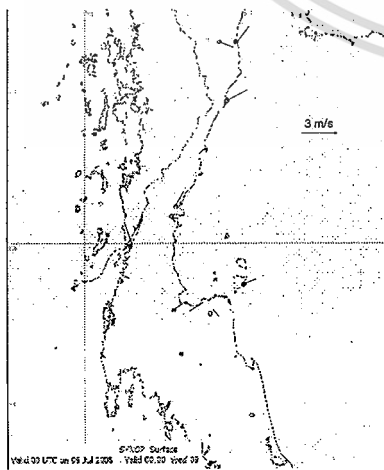
รูปที่ 5-62 การทำนายเดือน กุมภาพันธ์ 2008



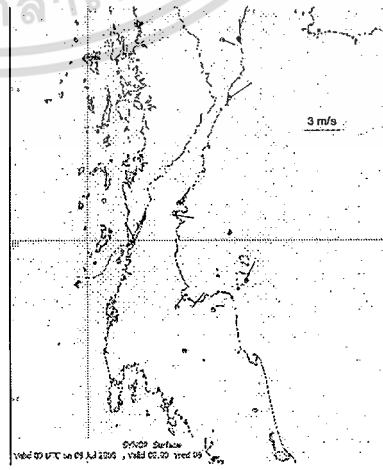
รูปที่ 5-63 การทำนายเดือน มีนาคม 2008



รูปที่ 5-64 การทำนายเดือน เมษายน 2008

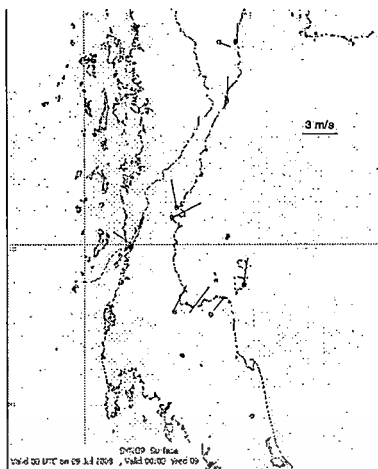
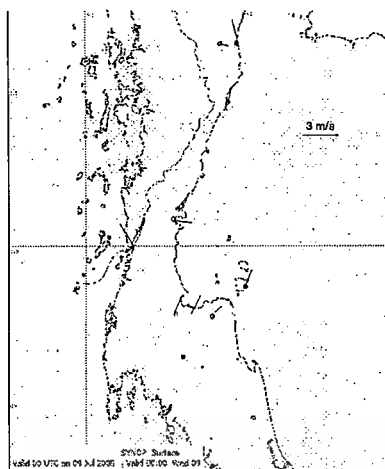


รูปที่ 5-65 การทำนายเดือน พฤษภาคม 2008

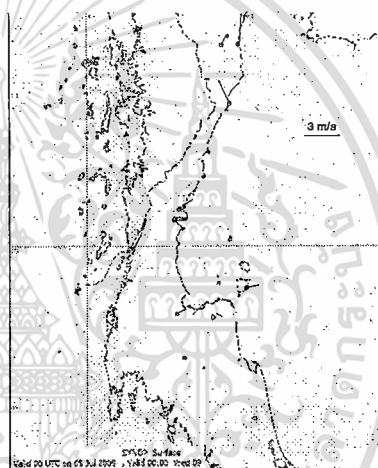
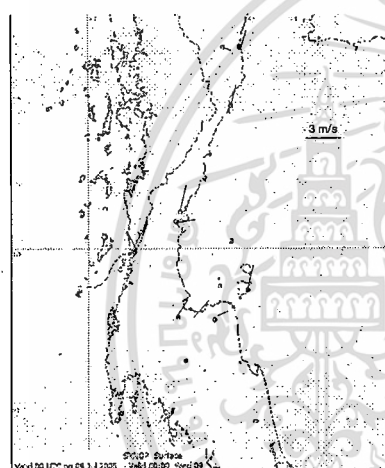


รูปที่ 5-66 การทำนายเดือน มิถุนายน 2008

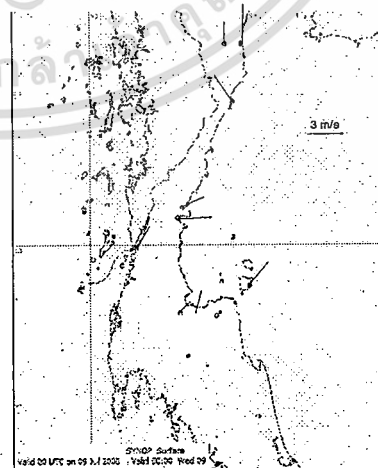
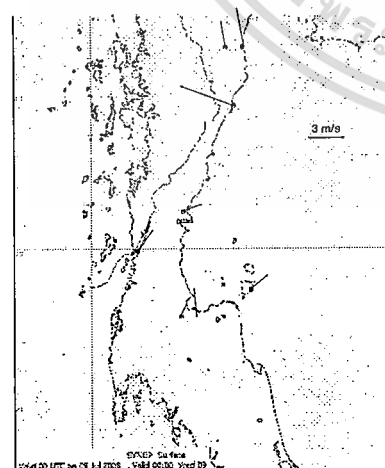
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-67 การทำนายเดือน กรกฎาคม 2008 รูปที่ 5-68 การทำนายเดือน สิงหาคม 2008



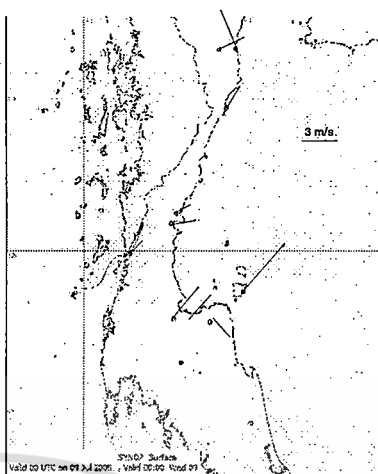
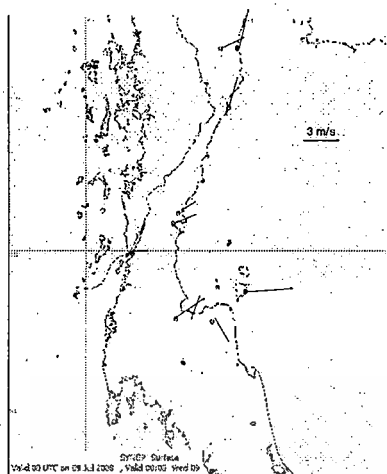
รูปที่ 5-69 การทำนายเดือน กันยายน 2008 รูปที่ 5-70 การทำนายเดือน ตุลาคม 2008



รูปที่ 5-71 การทำนายเดือน พฤศจิกายน 2008 รูปที่ 5-72 การทำนายเดือน ธันวาคม 2008

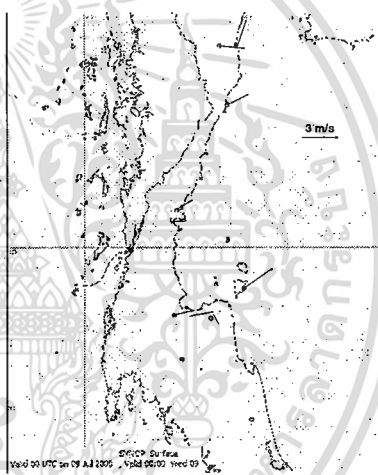
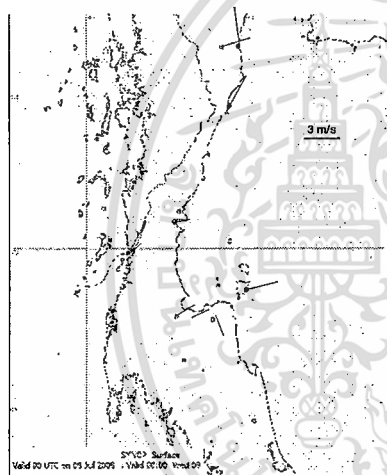
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การทำนายแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อกลัสี่เคียง2009



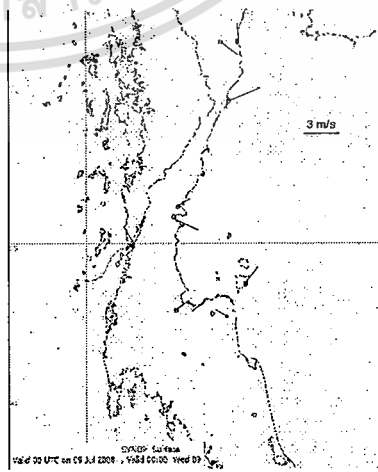
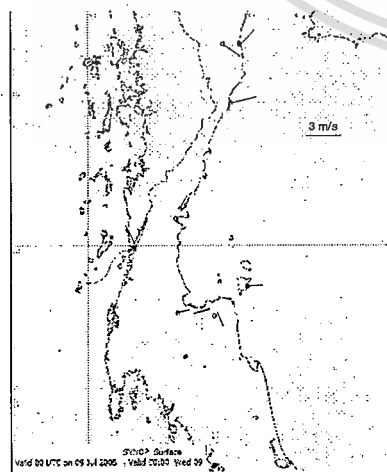
รูปที่ 5-73 การทำนายเดือน มกราคม 2009

รูปที่ 5-74 การทำนายเดือน กุมภาพันธ์ 2009



รูปที่ 5-75 การทำนายเดือน มีนาคม 2009

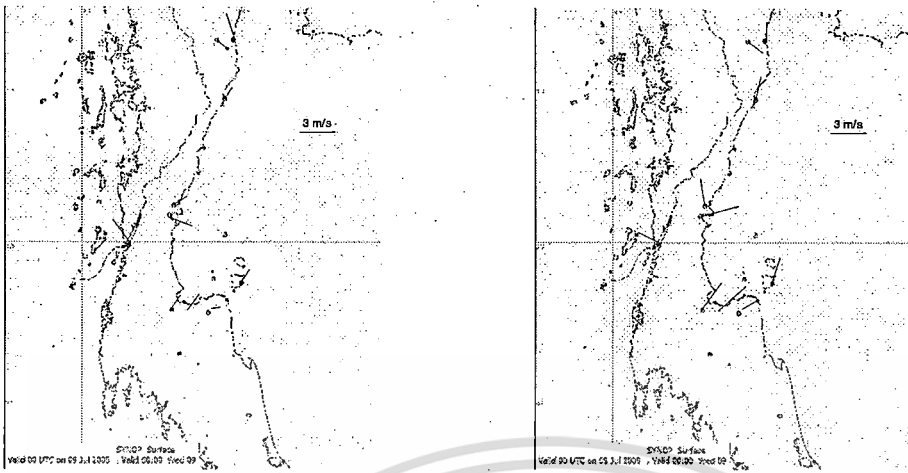
รูปที่ 5-76 การทำนายเดือน เมษายน 2009



รูปที่ 5-77 การทำนายเดือน พฤษภาคม 2009

รูปที่ 5-78 การทำนายเดือน มิถุนายน 2009

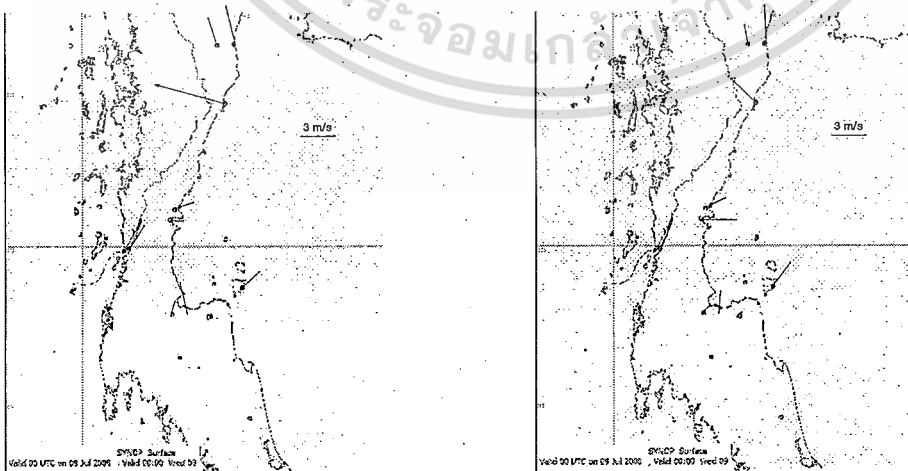
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญ่ภายใต้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-79 การทำนายเดือน กรกฎาคม 2009 รูปที่ 5-80 การทำนายเดือน สิงหาคม 2009



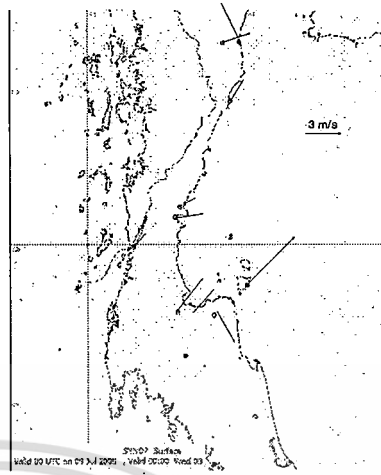
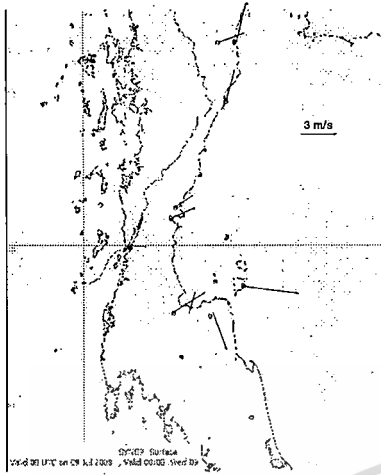
รูปที่ 5-81 การทำนายเดือน กันยายน 2009 รูปที่ 5-82 การทำนายเดือน ตุลาคม 2009



รูปที่ 5-83 การทำนายเดือน พฤศจิกายน 2009 รูปที่ 5-84 การทำนายเดือน ธันวาคม 2009

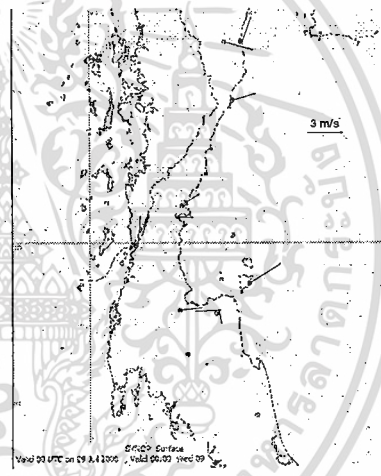
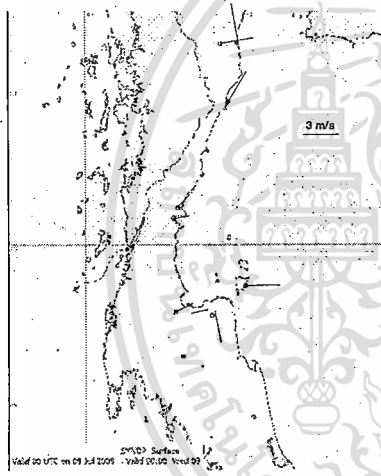
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การทำนายแผนที่ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตติดต่อใกล้เคียง2010



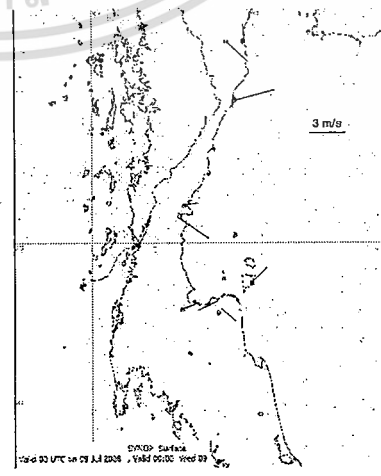
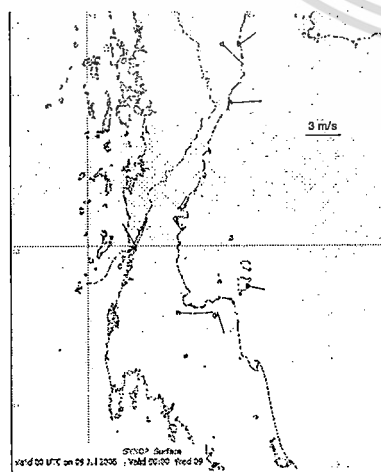
รูปที่ 5-85 การทำนายเดือน มกราคม 2010

รูปที่ 5-86 การทำนายเดือน กุมภาพันธ์ 2010



รูปที่ 5-87 การทำนายเดือน มีนาคม 2010

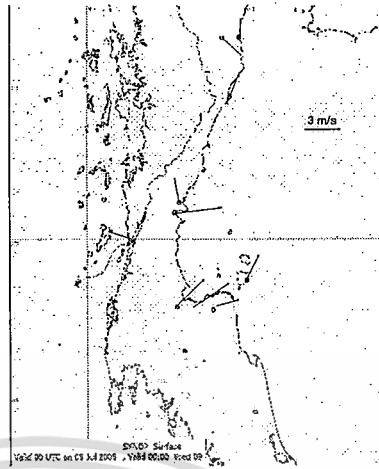
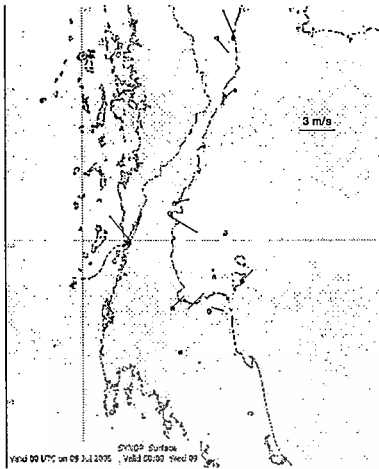
รูปที่ 5-88 การทำนายเดือน เมษายน 2010



รูปที่ 5-89 การทำนายเดือน พฤษภาคม 2010

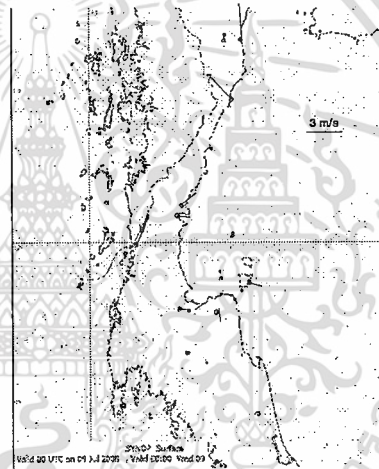
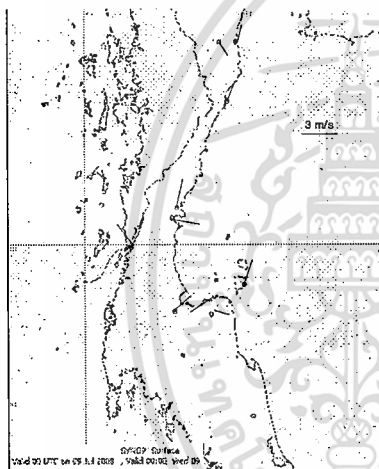
รูปที่ 5-90 การทำนายเดือน มิถุนายน 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



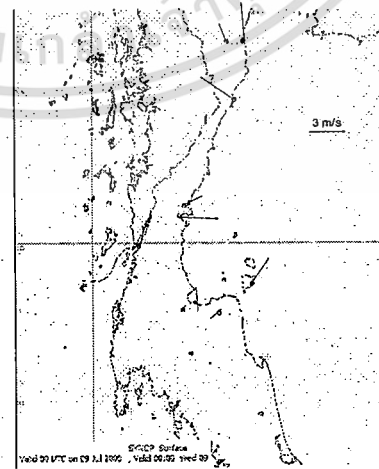
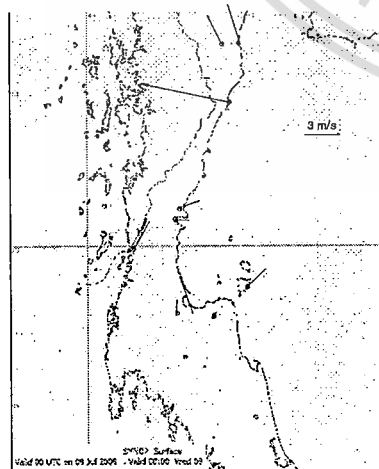
รูปที่ 5-91 การทำนายเดือน กรกฎาคม 2010

รูปที่ 5-92 การทำนายเดือน สิงหาคม 2010



รูปที่ 5-93 การทำนายเดือน กันยายน 2010

รูปที่ 5-94 การทำนายเดือน ตุลาคม 2010



รูปที่ 5-95 การทำนายเดือน พฤศจิกายน 2010

รูปที่ 5-96 การทำนายเดือน ธันวาคม 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการศึกษาจากแผนที่ศักยภาพพลังงานลม

จากแผนที่กำลังลมและความเร็วลมรวมช่วงลมสงบและไม่รวมช่วงลมสงบรายเดือนและรายปี พบว่าทิศทางและความเร็วลม มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลโดยสามารถสรุปได้ดังนี้

มกราคม

อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดผ่านประเทศไทยตามที่แสดงในรูปที่ 5-1, 5-13, 5-25, 5-37, 5-49 กำลังลมและความเร็วลมรวมช่วงลมสงบมีกำลังแรงเนื่องจากความกดอากาศสูงที่แผ่ปกคลุมจากประเทศจีนทำให้มีคลื่นลมแรงในทะเลฝั่งอ่าวไทย ลมดังกล่าวพัดจากทะเลจากทิศเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และ ตะวันออก เข้าสู่ฝั่งทำให้ชายฝั่งทะเลที่ ในจังหวัด ประจวบฯ มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.4 เมตร/วินาที ชุมพร มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.2 เมตร/วินาที สุราษฎร์ธานี มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.6 เมตร/วินาที ขึ้นไปเดือนมกราคมถือว่าเป็นเดือนที่มีลมแรงทั้งในทะเล และชายฝั่ง และในบริเวณที่สูงในภาคใต้ฝั่งตะวันออก

กุมภาพันธ์

อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-2, 5-14, 5-26, 5-38, 5-50 ยังมีกำลังแรง เนื่องจากความกดอากาศสูงที่แผ่ปกคลุมจากประเทศจีน แต่ทิศทางลมเปลี่ยนจากลมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือมากขึ้น คลื่นลมในทะเลฝั่งอ่าวไทย ยังมีกำลังแรง ลมดังกล่าวพัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งทำให้ชายฝั่งทะเลที่ ในจังหวัด ประจวบฯ มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.8 เมตร/วินาที ชุมพร มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.0 เมตร/วินาที สุราษฎร์ธานี มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.0 เมตร/วินาที ขึ้นไป เดือนกุมภาพันธ์ยังถือว่าเป็นเดือนที่มีกำลังลมแรงทั้งในทะเลและชายฝั่ง และในบริเวณที่สูงของภาคใต้ฝั่งตะวันออก

มีนาคม

อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านประเทศไทยตามที่แสดงใน รูปที่ 5-3, 5-15; 5-27, 5-39, 5-51 มีกำลังอ่อนลงทิศทางลมเปลี่ยนเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ และในกลางเดือนมีนาคม เริ่มมีลมแนวพัดสอปจากลมฝ่ายใต้พัดเข้าสู่ฝั่ง ในขณะที่เดียวกันแนวปะทะอากาศของลมสองทิศทางทำให้มีคลื่นลมแรงใน จังหวัดที่ ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีกำลังปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.1 เมตร/วินาที ขึ้นไป มีกำลังปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมษายน

อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-4, 5-16, 5-28, 5-40, 5-52 มีกำลังอ่อนลงมาก ชายฝั่งที่ จังหวัดที่ ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีกำลังปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.7 เมตร/วินาที ขึ้นไป มีกำลังปานกลาง ขณะเดียวกัน ลมฝ่ายใต้เริ่มมีกำลังแรงพัดเข้า

พฤษภาคม

อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-5, 5-17, 5-29, 5-41, 5-53 มีกำลังลมแรง ลมดังกล่าวพัดจากแหลมมาลาญ และ ทะเลอันดามัน ประเทศไทยเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนในกลางเดือนพฤษภาคมทำให้มีฝนตกปกคลุมทั่วไป ในอ่าวไทยก็ได้รับอิทธิพลจากลมฝ่ายใต้ ทำให้มีลมทิศใต้ และ ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย แต่มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็ว ลมประมาณ 3.4 เมตร/วินาที ขึ้นไป ส่วนในจังหวัดชุมพร และ ระนอง มีความเร็ว ลมมากขึ้นกว่าจังหวัดใกล้เคียง ประมาณ 3.4 เมตร/วินาที ขึ้นไป เนื่องจากได้รับอิทธิพลลมตะวันตก

มิถุนายน

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-6, 5-18, 5-30, 5-42, 5-54 ยังคงมีกำลังแรงลักษณะการเคลื่อนที่และทิศทางของลมมีลักษณะเช่นเดียวกับเดือนพฤษภาคม กล่าวคือ ฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย จังหวัดที่ ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีกำลังปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.8 เมตร/วินาที ขึ้นไป มีกำลังปานกลาง

กรกฎาคม

ลมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-7, 5-19, 5-31, 5-43, 5-55 ยังคงมีกำลังแรง พัดจากแหลมมาลาญ และ ทะเลอันดามัน เข้าสู่ประเทศไทยทางตอนใต้ฝั่งตะวันตก ทำให้ชายฝั่งของจังหวัดระนอง มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.6 เมตร/วินาที ขึ้นไป ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งทะเลตะวันออกแต่มีกำลังลมปานกลาง จังหวัดที่ ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีกำลังปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.8 เมตร/วินาที ขึ้นไป

สิงหาคม

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-8, 5-20, 5-32, 5-44, 5-56 ยังมีกำลังแรง เข้าสู่ประเทศไทยทางตอนใต้ฝั่งตะวันตก พัดจาก แหลมมาลาญ และ ทะเลอันดามัน ลักษณะการเคลื่อนที่ และทิศทางของลมมีลักษณะเช่นเดียวกับเดือนกรกฎาคม กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชายฝั่งของจังหวัดระนอง มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.6 เมตร/วินาที ขึ้นไป ใน
 อ่าวไทยก็ได้รับอิทธิพลจากลมฝ่ายใต้ ทำให้มีลมทิศใต้ และ ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลเข้าสู่
 ฝั่งทะเลตะวันออก ลมตะวันตกมีกำลังแรงขึ้น ส่งผลให้ จังหวัด ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มี
 กำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.0 เมตร/วินาทีขึ้นไป

กันยายน

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-9, 5-21, 5-33, 5-45,
 5-57 พัด จากแหลมมาลายูและทะเลอันดามัน เริ่มมีกำลังอ่อนลงที่จังหวัดระนอง มีความเร็วลม
 ประมาณ 3.2 เมตร/วินาที ขึ้นไป มีกำลังลมปานกลาง ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งทะเล
 ตะวันออกแต่มีกำลังอ่อนลง ลมตะวันตกเฉียงใต้เปลี่ยนเป็นลมตะวันตกมากขึ้นพัดเข้าสู่ประเทศ
 ไทยจากทะเลอันดามันทางตอนใต้ฝั่งตะวันตกส่งผลให้ จังหวัด ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มี
 กำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.9 เมตร/วินาทีขึ้นไป

ตุลาคม

ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านประเทศไทย ตามที่แสดงในรูปที่ 5-10, 5-22, 5-34, 5-
 46, 5-58 มีกำลังอ่อนลงตามลำดับ ลมตะวันตก และ ตะวันตกเฉียงเหนือ จากทะเลอันดามัน มีกำลัง
 แรงขึ้นพัดเข้าสู่ประเทศไทยทางทิศตะวันตก จนถึงกลางเดือนตุลาคม ความกดอากาศสูงจาก
 ประเทศจีนเริ่มมีกำลังแรงแผ่ปกคลุมเข้าสู่ประเทศไทย ส่งผลให้ จังหวัด ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์
 ธานี มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 3.5 เมตร/วินาทีขึ้นไป

พฤศจิกายน

ลมที่พัดผ่านประเทศไทยตามที่แสดงในรูปที่ 5-11, 5-23, 5-35, 5-47, 5-59 ได้รับอิทธิพล
 จากความกดอากาศสูงจาก ประเทศจีน ซึ่งจะเริ่มแผ่ปกคลุม ประเทศไทยตอนเหนือ และทางภาค
 ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จากกลางเดือน ถึง ปลายเดือนพฤศจิกายน ความกดอากาศสูงทวี
 ความรุนแรงมากขึ้นตามลำดับ ประเทศไทยจะเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ
 ทำให้มีคลื่นลมแรงในอ่าวไทย อนึ่ง หากในทะเลจีนใต้มีหย่อมความกดอากาศต่ำ อิทธิพลจากลม
 ดังกล่าวจะทำให้หย่อมความกดอากาศต่ำดังกล่าวพัฒนาขึ้นจนเป็นพายุโซนร้อนในทะเล ทำให้
 เกิดลมแรงพัดเข้าหาฝั่ง ลักษณะดังกล่าวทำให้ในเขตจังหวัดภาคใต้มีลมพัดแรง โดยเฉพาะส่งผลให้
 จังหวัด ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 4.5 เมตร/วินาที
 ขึ้นไป

ธันวาคม

ลมที่พัดผ่านประเทศไทยตามที่แสดงในรูปที่ 5-12, 5-24, 5-36, 5-48, 5-60 ได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงจาก ประเทศจีน ซึ่งจะมีกำลังแรงปกคลุมภาคเหนือ ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง มีอากาศเย็นจัด ความกดอากาศยังแผ่ปกคลุมมายังทะเล ในอ่าวไทยทำให้ในทะเลของภาคใต้มีคลื่นลมแรง ทิศทางลมพัดจากทะเลเข้าสู่ทางฝั่ง ส่งผลให้ จังหวัด ประจวบฯ ชุมพร สุราษฎร์ธานี มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 5.2 เมตร/วินาทีขึ้นไป

เฉลี่ยรายปี

จากรูปที่ 5-1 ถึง 5-60 พบว่าประเทศไทยมีแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดี จะอยู่บริเวณ ชายฝั่งทะเล และในบริเวณที่สูงได้แก่ตามเทือกเขาต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลลมมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าอยู่ที่อ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี โดยมีความเร็วลมประมาณ 3.7 เมตร/วินาทีขึ้นไป สามารถผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมเพื่อผลิต กระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลมต่ำดังบทที่ 7



บทที่ 7

ทฤษฎีและการออกแบบกังหันลม

7.1 แนวทางออกแบบเบื้องต้น

โดยทั่วไปจะพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

- พิจารณาถึง Power ที่เราต้องการ
- พิจารณาถึงกำลังลมที่มี
- พิจารณาถึงชนิดและแบบของกังหันที่เหมาะสมสำหรับงานนั้นๆ

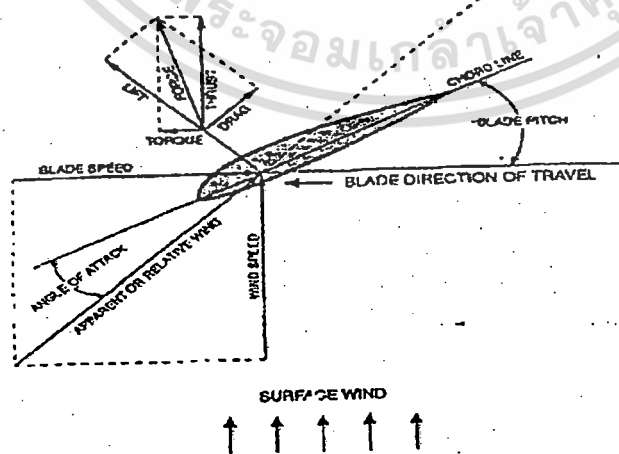
เราต้องพิจารณาถึงกำลังลมที่เรามีอยู่ โดยการวัดความเร็วลมเฉลี่ย ณ จุดที่ที่จะทำการติดตั้งกังหันลม ทำกราฟแสดงปริมาณลมที่เกิดขึ้น และทำการเลือกแบบของกังหันและขนาดของใบพัด เพื่อให้เหมาะสมและใกล้เคียงกับจุดประสงค์มากที่สุด

7.2 การออกแบบทางพลศาสตร์ (Aerodynamic Design)

ในการออกแบบทางพลศาสตร์นั้นเป็นการออกแบบใบพัดกังหันลม เพื่อให้ประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งมีส่วนสำคัญดังนี้

7.2.1 แอร์ฟอยล์ (Airfoil)

ส่วนพื้นที่ผิวที่สัมผัสอากาศโดยการไหลของอากาศจะสัมผัสกับแรง 2 แรง คือ แรงยก (Lift) และแรงลาก (Drag) โดยแรงยกจะตั้งฉากกับการไหลของอากาศ และแรงลากจะขนานกับทิศทางของอากาศ แอร์ฟอยล์มีลักษณะอยู่หลายแบบมากมาย แอร์ฟอยล์ทุกอันจะทำมุมกับแรงลมเพื่อจะทำให้เกิดแรงยก โดยแรงยกมากเป็นสิ่งที่เราต้องการ (มุมมากด้วย) โดยมุมจะถูกวัดระหว่างเส้นคอร์ดกับเส้นทางการไหลของลม ไคมุมที่เกิดจะถูกเรียกว่า "Angle of Attack"



รูปที่ 7-1 แรงต่างๆที่กระทำที่ Airfoil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบอกค่าของแรงยกและแรงลากนั้นจะบอกอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์(Coefficient)

$$C_L = 2l / \rho v^2 A \tag{7.1}$$

$$C_D = 2D / \rho C l v^2 A \tag{7.2}$$

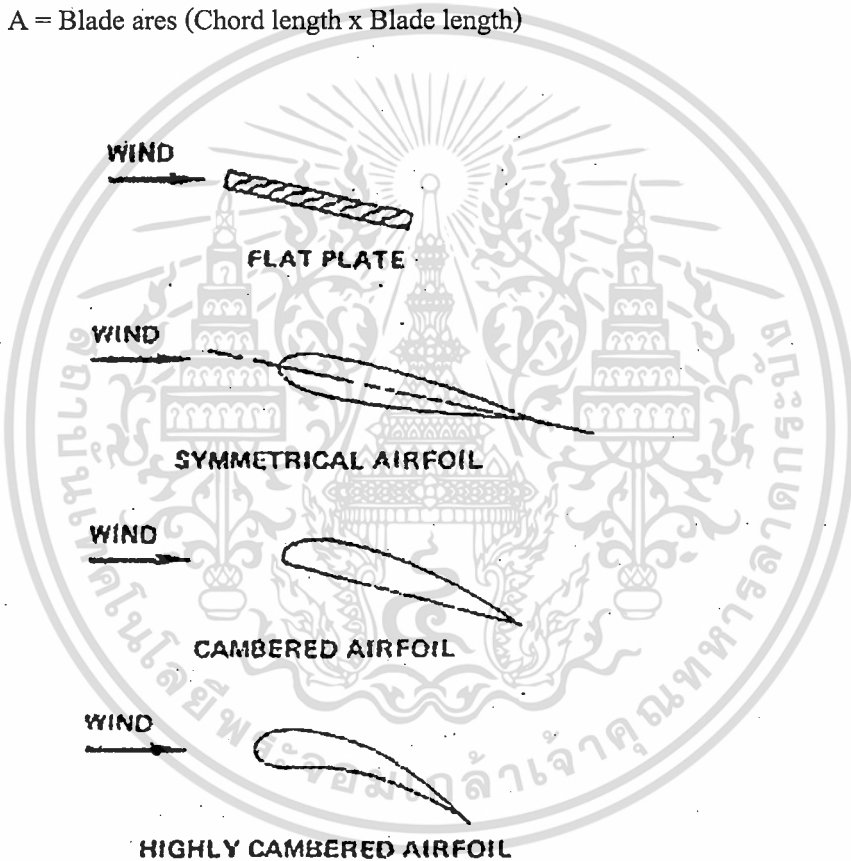
เมื่อ

C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก

C_D = สัมประสิทธิ์แรงลาก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

A = Blade ares (Chord length x Blade length)



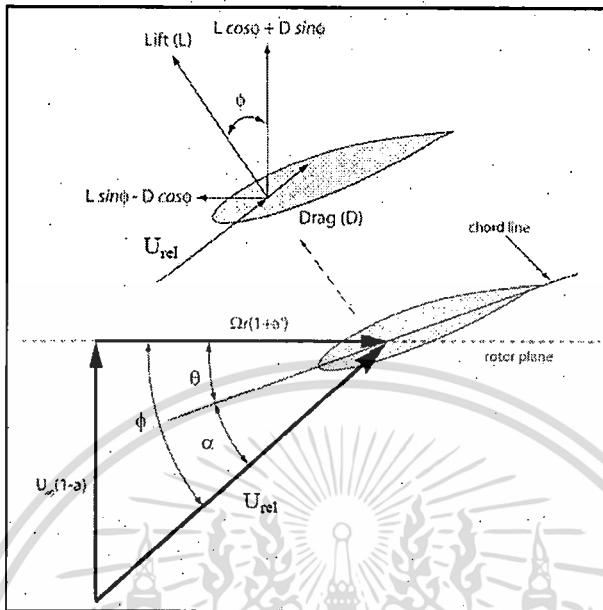
รูปที่ 7-2 แบบ Airfoil ในลักษณะต่างๆ

ค่าของ C_d , C_l จะมีความสัมพันธ์กับมุมปะทะ (α) ซึ่งในแต่ละชนิดของแอร์ฟอยล์จะแตกต่างกันออกไป เราสามารถหาค่าต่างๆได้จากกราฟ เช่น 3.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $C_l - \alpha$ และ $C_l - C_d$ ตามรูป 3.3b หากเราลากเส้นสัมผัสจากจุด $C_d = C_l = 0$ ณ จุดสัมผัส เราจะได้ค่าของ $C_d - Design$ และ $C_l - Design$ เมื่อลากเส้นตัดกราฟในรูป 3.3a เราก็จะได้ $\alpha - Design$ หากเรานำค่าของ C_d หาคด้วย C_l เราก็จะได้ค่า C_d/C_l ต่ำสุดสำหรับแอร์ฟอยล์นั้นๆ

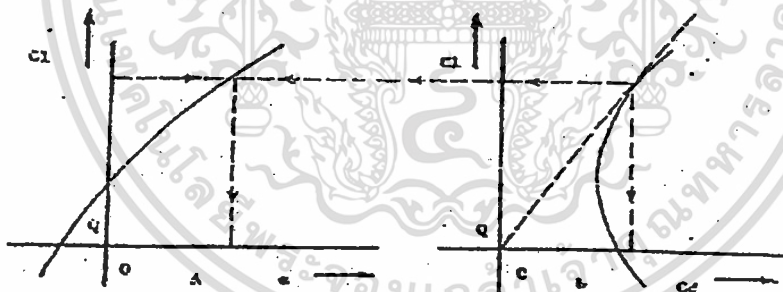
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาหรือการวิจัยเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบกังหันลม จึงเป็นเสมือนการเลือกแบบของกังหันเพื่อที่จะให้แรงยกสูงสุดและแรงลากต่ำสุด



รูปที่ 7-3 แรง ยก และ แรงลากที่กระทำกับ Airfoil



รูปที่ 7-4 ค่าประกอบของ แรง ยก และ แรงลาก

7.2.2 Relative Wind Velocity

เมื่อกังหันหมุน หากเรามองจากกังหันเราจะมองเห็นทิศทางลมเปลี่ยนไป ทิศทางใหม่ของลมที่พัดเข้ากังหันนี้เราเรียกว่า Relative Wind Velocity ซึ่งจะทำมุมกับแนวการหมุนของกังหันเป็นมุม ϕ เรียกว่า Wind Angle

7.2.3 สูตรการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วของใบพัดกับความเร็วมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{u}{v} \text{ ที่รัศมีใดๆ} = \frac{u/v(\text{tip}) \times r}{\text{tip radius}} \quad (7.3)$$

$$\frac{u}{v}(\text{tip}) = \frac{0.105 \times N \times r}{k \times v} \quad (7.4)$$

โดย r (radius) = รัศมีโดยวัดจากศูนย์กลางของการหมุนถึงพื้นที่ที่ u/v ที่เราหาอยู่

tip radius = รัศมีกึ่งหัน/2

N = รอบการหมุน(รอบ/นาที)

u = ความเร็วใบพัด

v = ความเร็วลม

k = Constant to Adjust

ถ้า v (ไมล์/ชั่วโมง), $k = 1.47$

v (กม./ชั่วโมง), $k = 1.0$

7.2.4 การหา Blade area

$$\text{Blade area} = \text{Blade length} \times \text{Blade Chord} \quad (7.5)$$

7.2.5 สูตรการหามุมใบพัด และ Solidity

$$\text{มุมของใบพัด} = \text{Wind angle} - \text{Angle of attack} + \text{Airfoil of zero} \quad (7.6)$$

โดย Wind angle = มุมที่ Relative Wind ทำกับ Blade direction of zero

Angle of attack = มุมที่ Relative wind ทำกับ Chord line

Airfoil of zero = 0 สำหรับ Symmetrical airfoil

2 สำหรับ Camber airfoil

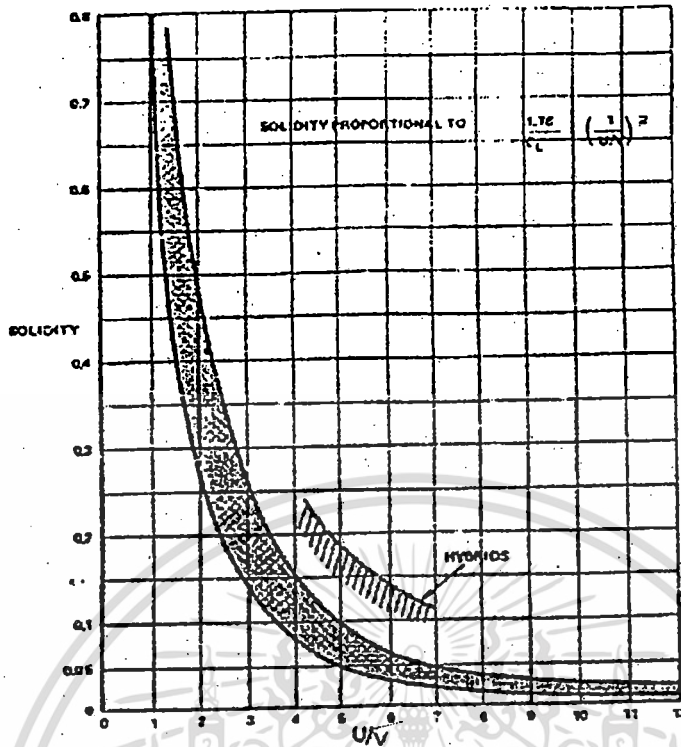
4 สำหรับ Highly camber airfoil

Solidity คือ ลักษณะของใบพัด โดยเมื่อลมปะทะเข้าใบพัด ใบพัดจะหมุนเหมือนเป็น Solid surface

$$\text{Solidity} = \text{Blade area} / \text{Frontal area} \quad (7.7)$$

โดย Blade area = พื้นที่ผิวทั้งหมดของใบพัด

Frontal area = พื้นที่ผิวที่ใช้คำนวณหาค่าตั้งใบพัด



รูปที่ 7-5 Solidity

การเลือก Solidity Factor สำหรับกังหันใช้รูป โดย Solidity value ด้านสูงจะถูกเลือกเมื่อ Lift Coefficient ถูกประมาณเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดของ Airfoil และ Low Solidity value ถูกเลือกเมื่อเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดของ Lift ของ Airfoil

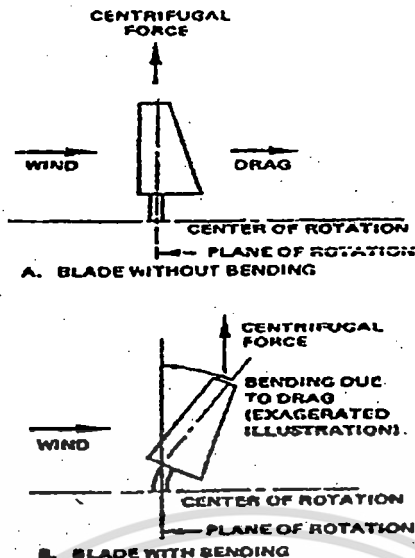
7.3 แรงที่กระทำต่อใบพัดของกังหัน

เราสามารถแบ่งแรงที่กระทำต่อกังหันลมที่สำคัญที่เราต้องพิจารณาได้ 2 ประเภท

7.3.1 แรงหนีศูนย์กลาง(Centrifugal Force) เป็นแรงที่กระทำกับใบพัดในแนวแกนการหมุนซึ่งเหมือนกับเวลาเราผูกก้อนหินไว้กับเชือกแล้วเหวี่ยงหรือหมุนในวงรอบการหมุน แรงหนีศูนย์กลางจะเป็นเสมือนแรงดึงเชือกนั้นซึ่งจะตั้งฉากกับทิศทางการหมุน คือ พร้อมจะเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงอยู่ตลอดเวลา

7.3.2 แรงลาก(Windmill Drag Force) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของกังหัน (Truss) หักโค่น และทำให้ใบพัดของกังหันบิดงอเสียหาย เช่น ในกรณีที่ใบพัดถูกยึดติดไว้กับที่ แต่เมื่อแรงลากมากกระทำที่ใบพัด ทำให้ใบพัดเกิดการบิดงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-6 การงอของใบพัด

7.4 คุณสมบัติของแรงบิดและกำลังงาน(Torque and Power characteristics)

เมื่อแตกแรงกวาดและแรงยกที่กระทำต่อใบพัด ให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกันผลลัพธ์ระหว่างแรงทั้ง 2 จะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุนของกังหัน สมมติให้กังหันหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω)

$$\omega = 2\pi n \tag{7.8}$$

ฉะนั้นกำลังที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานกล คือ

$$P = T\omega \tag{7.9}$$

- เมื่อ
- P = กำลังงาน(Power) (W)
 - T = แรงบิด(Torque) (N-m)
 - ω = ความเร็วเชิงมุม(Angular speed) (rad/sec)

จากสมการ (7.9) กำลังที่ได้รับเท่ากัน แต่อาจได้จากค่าของแรงบิดสูง ความเร็วเชิงมุมต่ำหรือแรงบิดต่ำ ความเร็วเชิงมุมสูงก็ได้ ฉะนั้นในการออกแบบกังหันลมที่ดีจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน เพื่อให้สัมพันธ์กับแรงบิดและความเร็วเชิงมุมด้วย

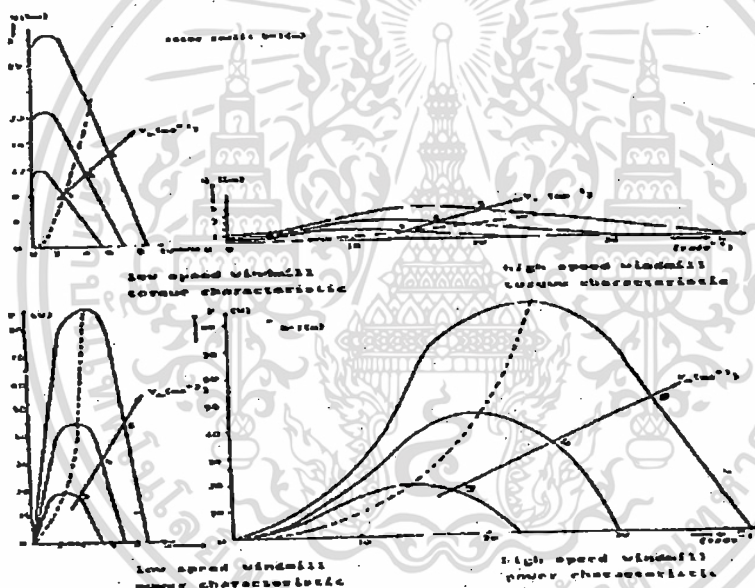
เราสามารถสรุปได้ดังนี้

- ขณะที่กำลังงานเท่ากันแต่สามารถได้ค่าความเร็วเชิงมุมที่ต่างกัน

- กำลังงานสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความเร็วเชิงมุมกำลัง 3 และแรงบิดก็จะเปลี่ยนไปตามความเร็วเชิงมุมกำลัง 2
- กำลังงานสูงสุดจะได้จากความเร็วเชิงมุมมากกว่าแรงบิดสูง
- แรงบิดเริ่มต้นสำหรับกังหันลมแบบความเร็วสูง(High speed) จะมีค่าน้อยกว่ากังหันลมแบบความเร็วต่ำ(Low speed)

7.5 ระบบส่งกำลัง

การเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลโดยผ่านกังหันลม ส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง คือ ระบบส่งกำลังเพราะหากระบบส่งกำลังไม่ดีแล้ว ประสิทธิภาพที่ได้ก็จะได้ไม่เต็มที่ ในการออกแบบระบบส่งกำลังที่ดีต้องคำนึงถึงส่วนประกอบมากมาย เช่น ความเหมาะสมกับงานที่จะใช้ ราคาการบำรุงรักษา การสูญเสียในระบบส่งกำลัง เป็นต้น



รูปที่ 7-7 ลักษณะของกำลังงาน และแรงบิด

7.6 การคำนวณหาขนาดของแอร์ฟอยล์และขนาดของกังหันลม

ในการออกแบบใบพัดของเราต้องนำความรู้ทางอากาศพลศาสตร์มาใช้ โดยใบพัดที่เราออกแบบนั้นเป็นลักษณะรูปร่างเป็นแอร์ฟอยล์ ซึ่งได้จากการคำนวณ โดยตารางอ้างอิงและทำตามขั้นตอนของ SWD

การคำนวณหาขนาดของแอร์ฟอยล์และขนาดของกังหันลม ก่อนอื่นต้องทราบ

- กำลังลมที่เราต้องการ
- ความเร็วของลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6.1 การออกแบบระบบและวิธีการคำนวณ

เพื่อให้ระบบมีการทำงานที่ดีมีประสิทธิภาพสูงสุด เราต้องมีการออกแบบให้ระบบในส่วนต่างๆมีความเหมาะสมซึ่งกันและกัน

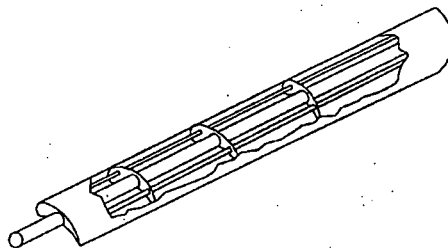
ตารางที่ 7-1 ค่า Upper และ Lower ของใบพัดชนิดต่าง

SELECTED AIRFOIL ORDINATES

STA	CLARK Y		St. CYR 234		NACA 0012		NACA 0015		NACA 4412	
	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
0	3.5	3.5	5.42	5.42	0	0	0	0	0	0
1.25	5.45	1.93	9.55	3.75	1.89	1.89	2.37	-2.37	2.44	-1.43
2.5	6.5	1.47	11.0	2.7	2.62	-2.62	3.27	-3.27	3.39	-1.95
5.0	7.9	.93	12.7	1.5	3.56	3.56	4.44	-4.44	4.73	-2.49
7.5	8.85	.53	13.6	.85	4.2	-4.2	5.25	-5.25	5.76	-2.74
10	9.6	.42	14.6	.5	4.68	4.68	5.85	-5.85	6.59	-2.86
20	11.36	.03	16.2	.2	5.74	-5.74	7.17	-7.17	8.8	-2.74
30	11.7	0	16.55	.85	6.3	-6.3	7.5	-7.5	9.76	-2.26
40	11.4	0	16.1	1.1	5.8	-5.8	7.25	-7.25	9.8	-1.9
50	10.52	0	15.2	1.35	5.24	-5.24	6.62	-6.62	9.19	-1.4
60	9.15	0	13.3	1.9	4.56	-4.56	5.7	-5.7	8.14	-1.0
70	7.35	0	10.6	1.35	3.56	3.56	4.58	-4.58	6.69	-0.65
80	5.22	0	7.75	1.05	2.52	-2.52	3.28	-3.28	4.89	-0.39
90	2.8	0	4.3	.5	1.45	-1.45	1.81	-1.81	2.71	-0.22
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LR = 1.5				LR = 1.58		LR = 2.48		LR = 1.58	

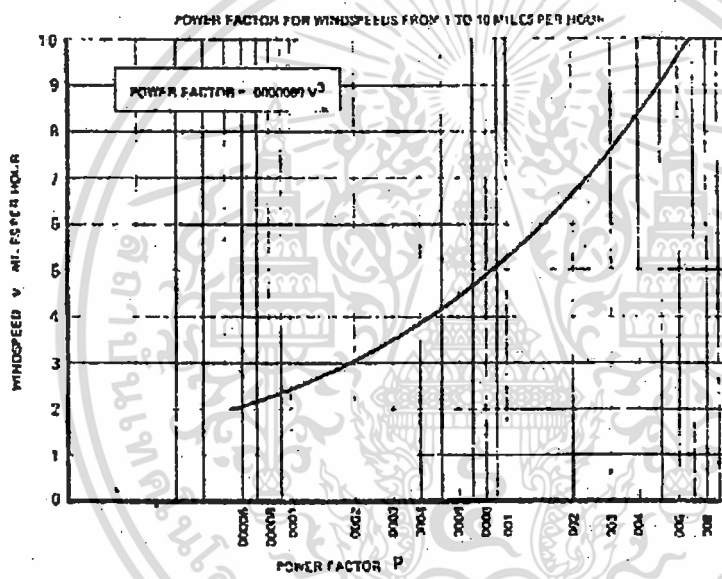
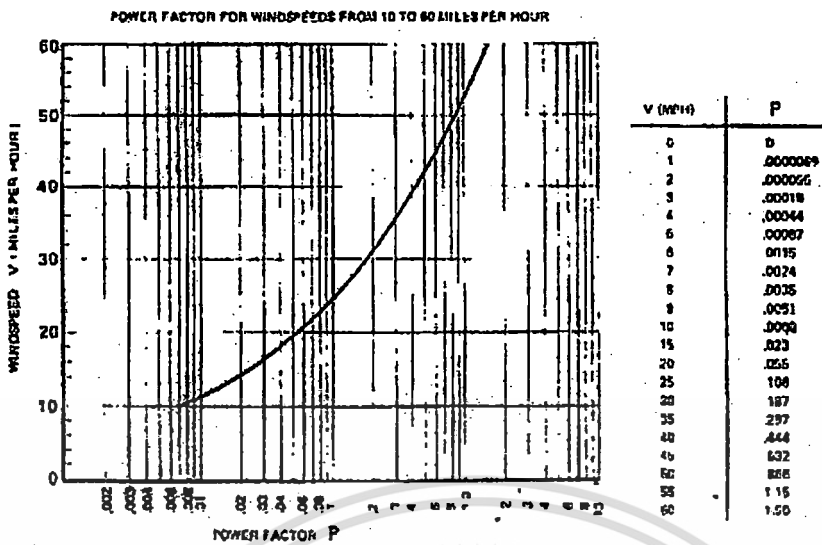
7.6.2 การออกแบบกังหันลม

ในการออกแบบจำเป็นต้องเลือกจำนวนใบของกังหันลมเสียก่อน แล้วตรวจสอบว่า จะต้องอัตราส่วนความเร็วปลายใบเท่าไร เมื่อทราบอัตราส่วนความเร็วปลายใบ ซึ่งพอที่จะสรุปได้ว่า ในกรณีที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบสูงๆ จำนวนใบจะต้องน้อยและถ้าออกแบบที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำจะใช้จำนวนใบมาก

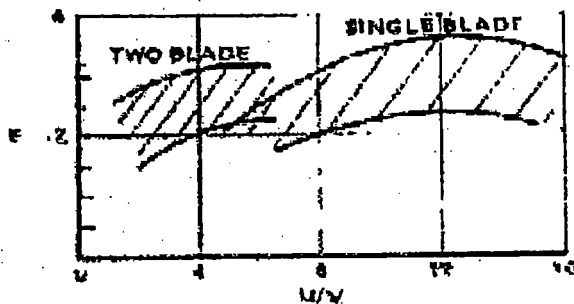


รูปที่ 7-8 แบบโครงสร้างของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับ Power factor



รูปที่ 7-10 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{u}{v}$ กับค่า E (Efficiency factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 การคำนวณ

7.7.1 การคำนวณหาขนาดของ Airfoil

กำหนดกำลังที่เราต้องการ 1000 วัตต์ ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน ความเร็วลม 4 เมตร/วินาที

ดังนั้น กำลังใบพัด Generate $\Rightarrow 1000/8 = 125$ วัตต์/ชั่วโมง/วัน

ความเร็วลม 4 เมตร/วินาที ประมาณ 9 ไมล์/ชั่วโมง

$$\text{Power Factor} = 0.000069 \times V^3$$

$$\text{Power Factor} = 0.0043$$

เราสมมติค่า u/v แล้วจะได้ค่า E (Efficiency Factor)

สมมติค่า $u/v = 6$ จะได้ค่า $E = 0.32$

จากสมการ

$$HP = P \times A \times E \quad (7.10)$$

และ

$$\text{กำลัง(วัตต์)} = 746 \times P \times A \times E$$

$$\text{กำลังงาน} = 125 \text{ วัตต์}$$

จากรูป กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม กับ Power Factor

ค่า Power Factor = 0.0043

ค่า E = 0.32

$$125 = 746 \times 0.0043 \times A \times 0.32$$

$$A = 125 / (746 \times 0.0043 \times 0.32)$$

$$= 121.77 \text{ ฟูต}^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$121.77 = (\pi / 4) D^2$$

$$D = 12.45 \text{ ฟูต ประมาณ 4 เมตร}$$

กังหันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.45 ฟูต หรือประมาณ 4 เมตร จากกราฟ Solidity

ที่ $u/v = 6 \Rightarrow \text{Solidity} = 0.036$

$$\text{Solidity} = \text{Blade area} / \text{Frontal area} \quad (7.11)$$

$$0.036 = \text{Blade area} / 121.77$$

$$\text{Blade area} = 0.036 \times 121.77$$

$$= 4.38 \text{ ฟูต}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Blade area} = \text{Blade length} \times \text{Blade Chord}$$

(7.12)

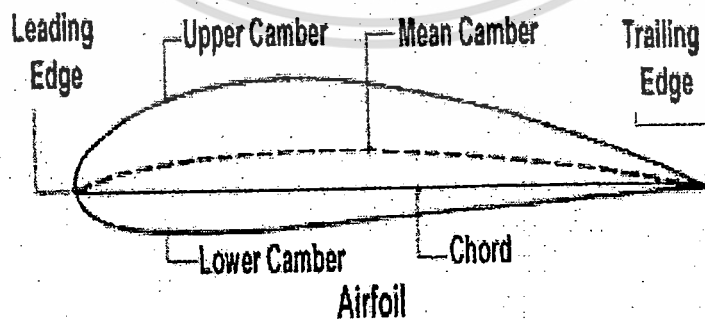
$$4.38 = 4.9 \times \text{Blade Chord}$$

$$\text{Blade Chord} = 0.895 \text{ ฟุต} = 26.8 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{ความยาวคอร์ด} = 26.8 \text{ เซนติเมตร}$$

ตารางที่ 7-2 Upper และ Lower ของใบพัด ชนิด NACA 4412(%) ที่ Ordinates ต่างๆ

Sta	Upper	Lower
0	0	0
1.25	2.44	-1.43
2.5	3.39	-1.95
5.0	4.73	-2.49
7.5	5.76	-2.74
10	6.59	-2.86
20	8.8	-2.74
30	9.76	-2.26
40	9.8	-1.8
50	9.19	-1.4
60	8.14	-1.0
70	6.69	-0.65
80	4.89	-0.39
90	2.71	-0.22
100	0	0



รูปที่ 7-11 Airfoil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำความยาวคอร์ดที่ได้เข้าไปคูณกับค่าในตาราง จะได้ขนาดของ Airfoil

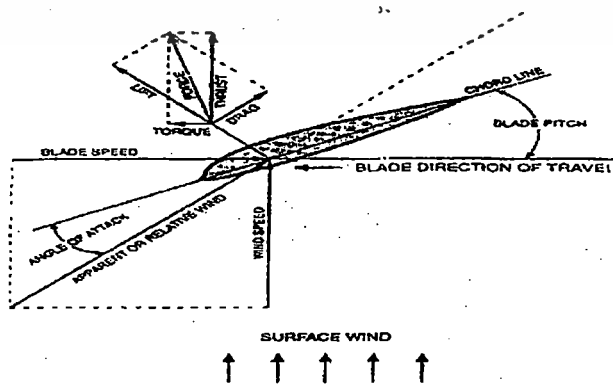
การหาขนาด Airfoil ขนาด Airfoil = ค่าจากตารางชนิดของ Airfoil x ความยาวคอร์ด

ตารางที่ 7-3 Upper และ Lower ของใบพัดที่คำนวณได้ที่ Ordinates ต่างๆ ที่ความยาวคอร์ด 26.8 cm.

Sta	Upper	Lower
0	0	0
0.335	0.654	-0.383
0.67	0.909	-0.523
1.34	1.268	-0.667
2.01	1.544	-0.734
2.68	1.766	-0.766
5.36	2.358	-0.734
8.04	2.616	-0.606
10.72	2.626	-0.482
13.4	2.463	-0.375
16.08	2.182	-0.268
18.76	1.793	-0.174
21.44	1.311	-0.105
24.12	0.726	-0.059
26.8	0	0

7.8 การคำนวณแรงที่กระทำที่แอร์ฟอยล์

7.8.1 แรงที่กระทำที่แอร์ฟอยล์



รูปที่ 7-12 แรงที่กระทำที่ Airfoil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.8.2 Power ที่ได้จากการคำนวณ

ความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบ 4 เมตร/วินาที

ความเร็วรอบที่ต้องการ = 375 รอบ/นาที

Blade speed
$$v_r = \frac{\pi DN}{60} \tag{7.13}$$

$$= \frac{\pi(4)(375)}{60}$$

$$= 78.5 \text{ m/s}$$

7.8.3 การคำนวณ Output จากการออกแบบ

ความเร็วลมที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของแอร์ฟอยล์

Relative Wind
$$v_A = \sqrt{v_w^2 + v_r^2}$$

$$= \sqrt{4^2 + 78.5^2}$$

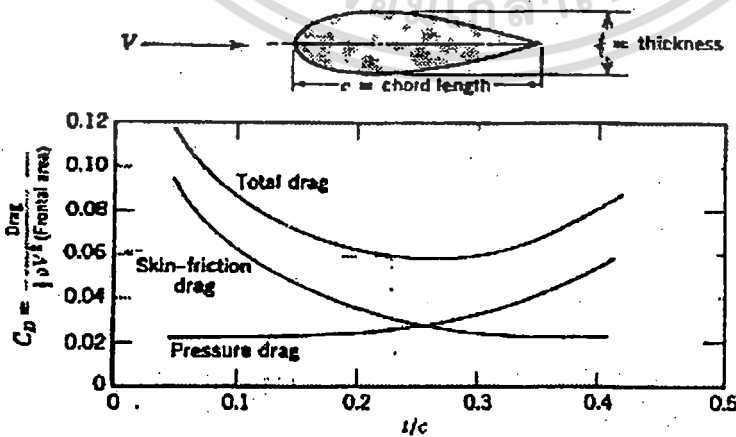
$$= 78.6 \text{ m/s}$$

จาก

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \tag{7.14}$$

และ

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \tag{7.15}$$



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 7-13 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง C_D กับอัตราส่วนของคอร์ดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7-13

$$\frac{t}{c} = \frac{3.69}{30.24}$$

$$\frac{t}{c} = 0.122$$

จะได้ $C_D = 0.065$ แทนค่าในสมการ.

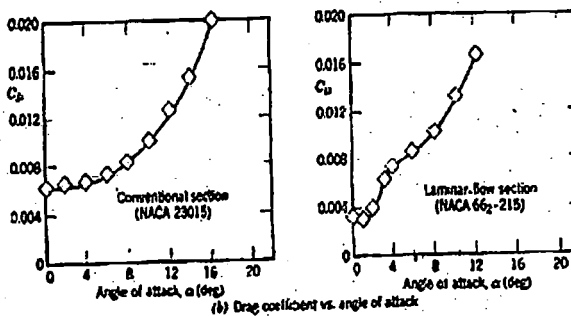
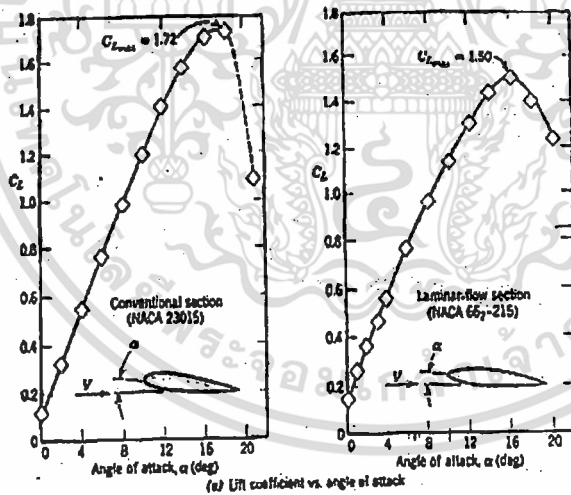
$$0.079 = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A}$$

$$\rho_{air} = 1.23 \frac{kg}{m^3}$$

$$A = 11.3m^2$$

$$0.079 = \frac{F_D}{\frac{1}{2}(1.23)(78.6)^2(11.3)}$$

$$\therefore F_D = 3391.76N$$



รูปที่ 7-14 ค่าความสัมพันธ์ของมุมปะทะกับค่าสัมประสิทธิ์ C_D, C_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ

Angle of attack = 15° (NACA 4412)

$$C_L = 1.7$$

แทนค่าในสมการ

$$1.7 = \frac{F_L}{\frac{1}{2}(1.23)(78.6)^2(11.3)}$$

$$\therefore F_L = 72987.35 \text{ N}$$

$$F = \sqrt{F_L^2 + F_D^2}$$

$$= \sqrt{72987.35^2 + 3391.76^2}$$

$$\therefore F = 73.066 \text{ kN}$$

แรงที่กระทำต่อใบพัด = 73.066 kN

$$\text{Wind_Angle} = \cos^{-1} \left(\frac{\text{Blade_speed}}{\text{Relative_Wind}} \right) \quad (7.16)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{78.5}{78.6} \right)$$

$$= 2.89^\circ$$

$$\text{Torque} = F \times R \quad (7.17)$$

$$= 3F \sin 10.23 \times 0.75$$

$$= 3 \times 606.489 \times 0.177 \times 0.75$$

$$= 241.53 \text{ N.m}$$

จะได้แรงบิด 241.53 N.m

7.9 การคำนวณหาอัตราเฟืองทด

อัตราทด (Velocity ratio) m_ω คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม ถ้าให้ “1” และ “2” แทนเฟืองขับและเฟืองตามตามลำดับ จากความรู้ทางด้าน

กลศาสตร์จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_{\omega} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) = \left(\frac{d_2}{d_1} \right) = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad (7.18)$$

โดยที่ ω = ความเร็วเชิงมุม, rad/s
 N = ความเร็วรอบ, rpm
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์, mm หรือ in
 N = จำนวนฟัน

อัตราส่วนเฟือง(Gear ratio) m_g คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่อจำนวนฟันของพิเนียน ถ้าพิเนียนเป็นตัวขับแล้ว

$$m_g = m_{\omega} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad (7.19)$$

อัตราทดเฟืองของกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดแอร์ฟอยล์แบบ 3 ใบ
กำหนดให้ใบกังหันหมุน 150 รอบต่อนาที

จากสูตร $m_{\omega} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$

เพราะฉะนั้น จะได้ว่า $28/16 = 1.75$

$$m_{\omega} = 1.75$$

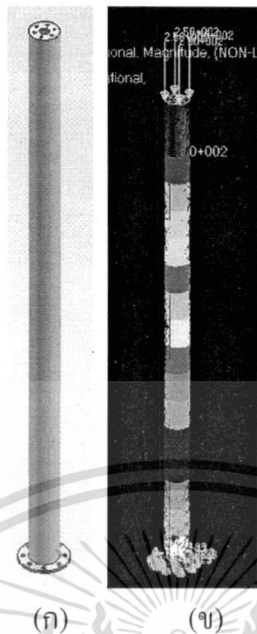
ความเร็วรอบเมื่อผ่านชุดเฟืองทด = อัตราส่วนเฟืองทด (m_{ω}) x ความเร็วรอบของใบกังหัน
ความเร็วรอบผ่านชุดเฟืองทด = 150×1.75
= 262.5 รอบต่อนาที

เพราะฉะนั้นความเร็วรอบของเพลลาที่ไปหมุนเจนเนอเรเตอร์ที่ความเร็วใบกังหัน 150 รอบต่อนาที
จะได้ความเร็วรอบของเพลลาที่ก่อนเข้าเจนเนอเรเตอร์ คือ 262.5 รอบต่อนาที (ถ้าความเร็วใบกังหัน
เพิ่มขึ้นความเร็วรอบของเพลลาที่ก่อนเข้าเจนเนอเรเตอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย นั่นคือจะขึ้นอยู่กับความเร็ว
ลม)

7.10 โครงสร้าง

เสาโลหะทำจากเหล็ก Stream Structural A36 ทรงกระบอกสูง 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง
ภายนอก และภายใน 6 นิ้ว และ 5.750 นิ้วตามลำดับ มีลักษณะดังรูป โดยมีแรงกดที่ปลายเสา 1000
นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-15 (ก) ลักษณะของเสาเมื่อยังไม่ได้รับแรง (ข) ลักษณะของเสาเมื่อได้รับภาระโดยใช้โปรแกรม MSC ในการวิเคราะห์



รูปที่ 7-16 แรงที่กระทำบริเวณส่วนบนของเสาโดยใช้โปรแกรม MSC ในการวิเคราะห์



รูปที่ 7-17 แรงที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนฐานของเสาโดยใช้โปรแกรม MSC ในการวิเคราะห์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.11 การคำนวณแรงที่กระทำต่อกังหัน
จากสมการ

$$F = \frac{1}{2} \rho A v^2$$

โดย F = แรงที่กระทำต่อใบกังหัน
 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ
 A = พื้นที่
 v = ความเร็วลม

จากสูตร เราทราบค่า

$$\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (4^2 - 0.5^2)$$

แทนค่าลงในสูตร

$$F = \frac{1}{2} \times 1.23 \times \frac{\pi}{4} (4^2 - 0.5^2) \times 4^2$$

$$= 121.721 \text{ N}$$

7.12 การคำนวณและการพันขดลวดอาเมเจอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม 3 เฟส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32 Pole ต่อแบบ Star มี 72 Slot มีตัวนำ 30 ตัวนำ/Slot Coil span มีเส้น
 แรงแม่เหล็กจำนวน 1 mWb ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที
 กำหนดให้

$$S = 72 \text{ Slot}$$

$$m = 3 \text{ Phase}$$

$$P = 32 \text{ Pole}$$

$$Z = 30 \text{ ตัว/Slot}$$

$$\phi = 0.001 \text{ Wb}$$

$$N = 300 \text{ รอบ/นาที}$$

จากสมการ

$$Rpm = \frac{120f}{p} \quad (7.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{P \times Rpm}{120} \\
 &= \frac{(32)(300)}{120} \\
 &= 80
 \end{aligned}$$

$$m = \text{Slot}/(\text{Pole} \times \text{Phase}) \quad (7.21)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{72}{(32 \times 3)} \\
 &= 0.75
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{180P}{S} \quad (7.22)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(180)(32)}{72} \\
 &= 80
 \end{aligned}$$

$$K_d = \frac{\sin(m \times \alpha/2)}{m \sin(\alpha/2)} \quad (7.23)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sin 30}{0.75 \sin 40} \\
 &= 1.037
 \end{aligned}$$

$$K_p = \cos(\alpha/2) \quad (7.24)$$

$$= \cos 40$$

$$= 0.766$$

จำนวนตัวนำทั้งหมดในอะมีเจอร์

$$= 30 \text{ ตัวนำ/Slot} \times 72$$

$$= 2160 \text{ ตัวนำ}$$

จำนวนตัวนำที่ต่ออนุกรมในแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้บริษัท ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = 2160/3$$

$$= 720$$

จำนวนรอบของขดลวดแอมเจอร์ต่อหนึ่งเฟส

$$T = Z/2$$

$$= 720/2$$

$$= 360 \text{ รอบ}$$

$$E / \text{Phase} = 4.44 K_p K_d f \phi T \quad (7.25)$$

$$= 4.44 \times 0.766 \times 1.037 \times 80 \times 0.001 \times 360$$

$$= 101.574 \text{ V}$$

แรงเคลื่อนระหว่างสาย

$$E_{\text{LINE}} = \sqrt{3} E / \text{Phase} \quad (7.26)$$

$$= \sqrt{3} (101.574)$$

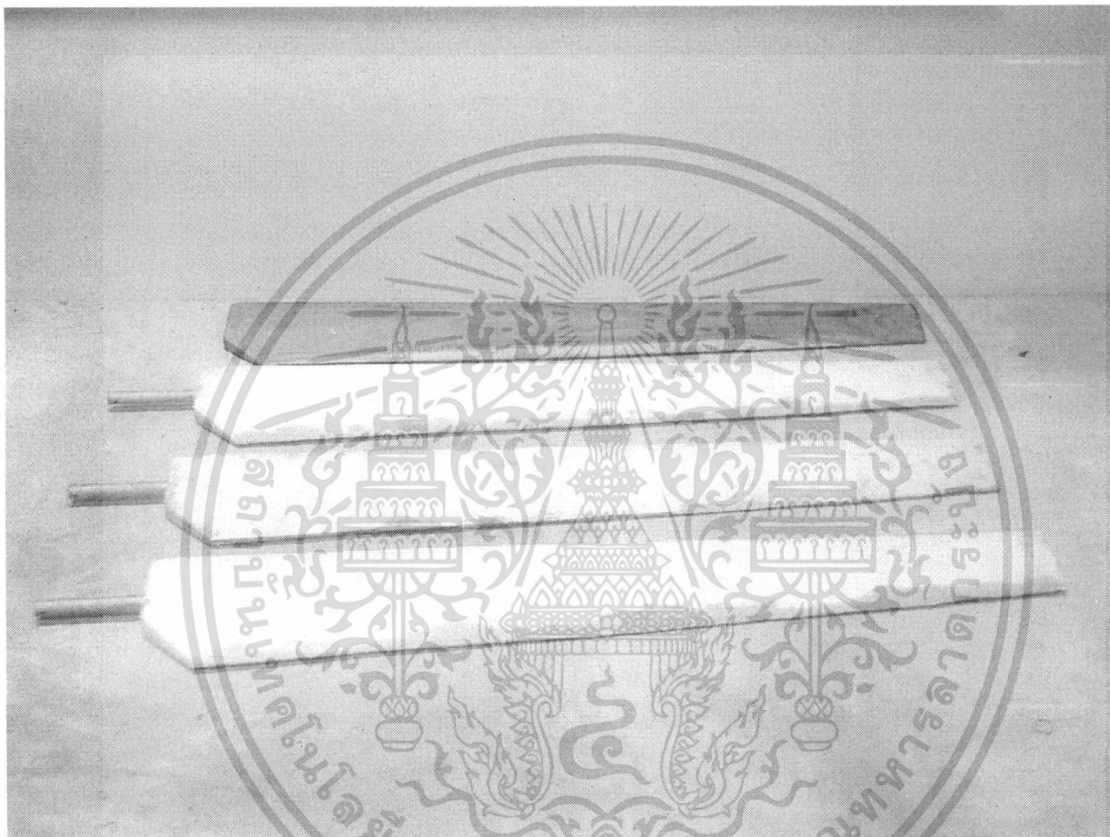
$$= 175.931 \text{ V}$$

บทที่ 8

ส่วนประกอบและขั้นตอนการทดลองของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

8.1 ส่วนประกอบของกังหันลม

8.1.1 ใบกังหัน การประกอบและส่วนประกอบของกังหัน



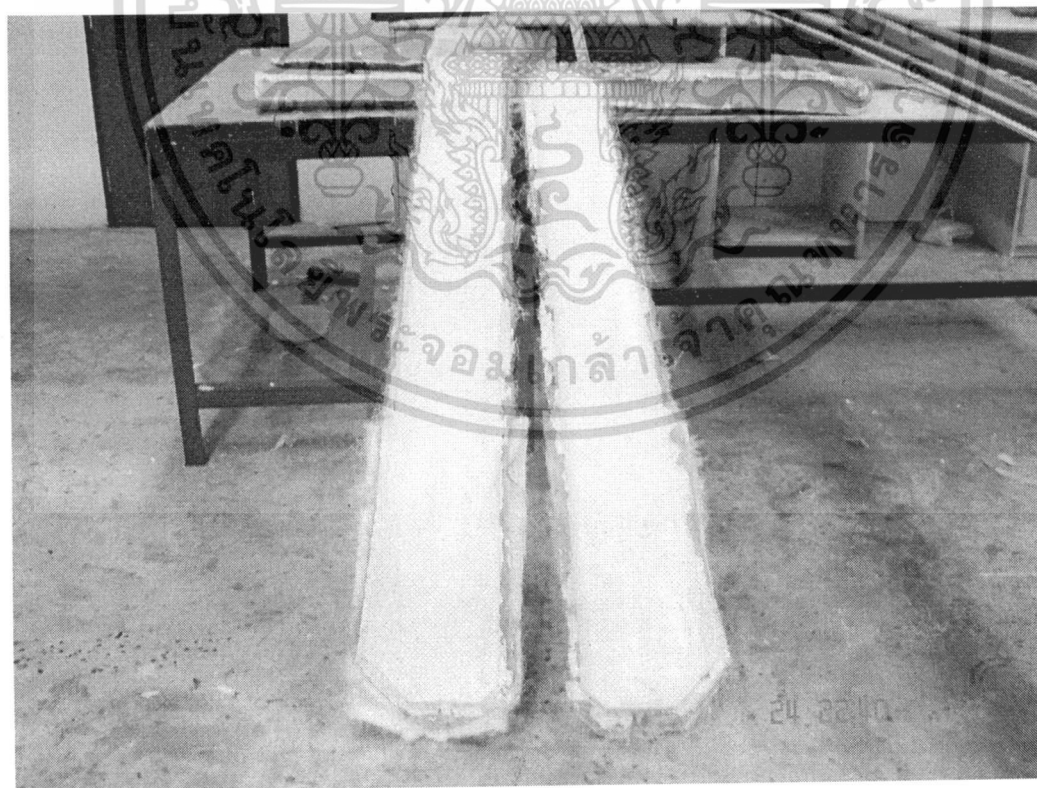
รูปที่ 8-1 ใบพัดกังหันต้นแบบ และที่เสร็จสมบูรณ์

8.1.1.1 แอร์ฟอยล์ทำจากอลูมิเนียมความหนา 1 มิลลิเมตร แอร์ฟอยล์เป็นส่วนประกอบของกังหัน คือเป็น โครงสร้างข้างในของกังหันซึ่งมักลักษณะโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-2 ลักษณะภายนอกของใบพัด

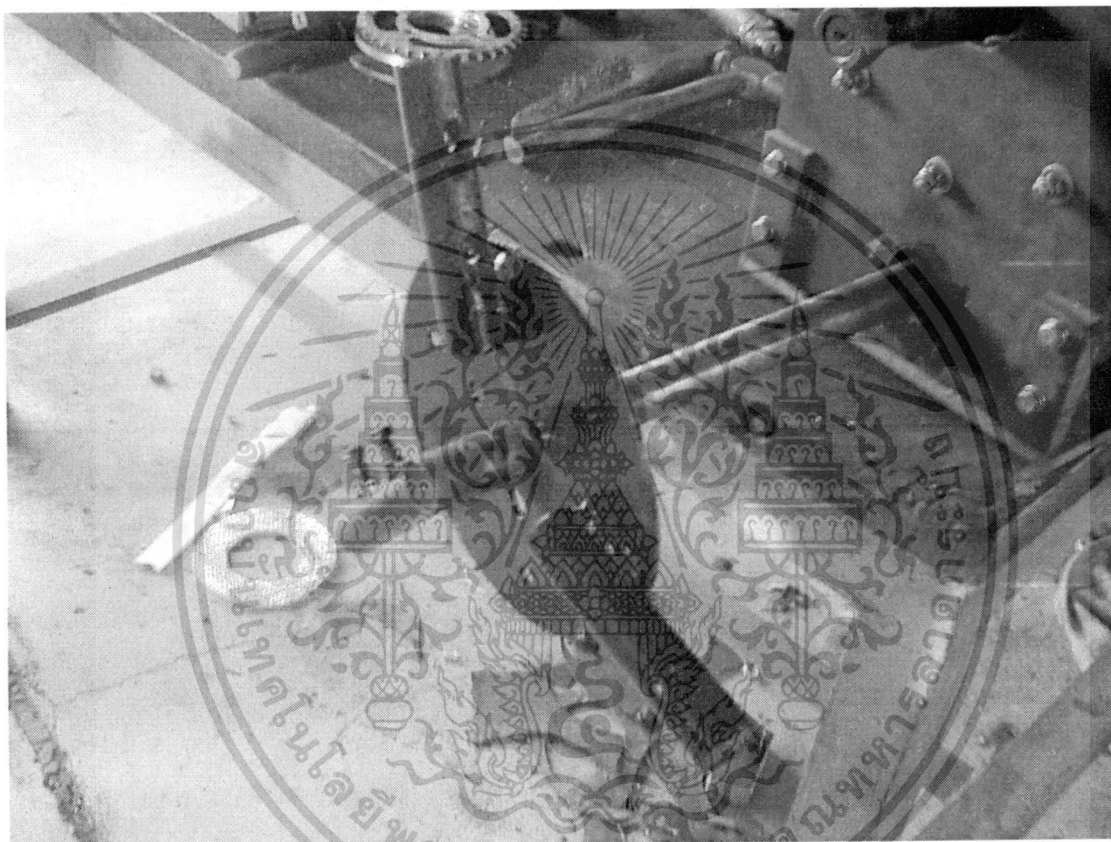


รูปที่ 8-3 ลักษณะภายในของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.1.2 นำแอร์ฟอยล์มาประกอบกันโดยกาเวรชัน เข้ากับแกนของใบกังหันความยาว 1.5 เมตร โดยแอร์ฟอยล์จะมีรูเจาะตรงกลางไว้ใส่แกนใบกังหัน

8.1.2 หน้าแปลน ประกอบด้วยเหล็กแผ่นหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น มายึดติดกันด้วยนัตและโบ๊ต โดยมีท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว จำนวน 3 ท่อน แบ่งมุมเท่าๆกัน โดยแต่ละท่อนทำมุมกัน 120 องศา แล้วมีท่อเหล็กเชื่อมติดกับหน้าแปลนอีกด้านเพื่อ ใช้ในการสวมเข้ากับเพลาคับที่ต่อกับชุดเฟืองทด



รูปที่ 8-4 ลักษณะหน้าแปลน

8.1.3 ชุดเฟืองทด ประกอบด้วย เฟืองจำนวน 2 เฟือง ส่งกำลังด้วยโซ่ แบบ 208 เฟืองใหญ่จำนวน 28 ฟัน และเฟืองเล็กจำนวน 14 ฟัน

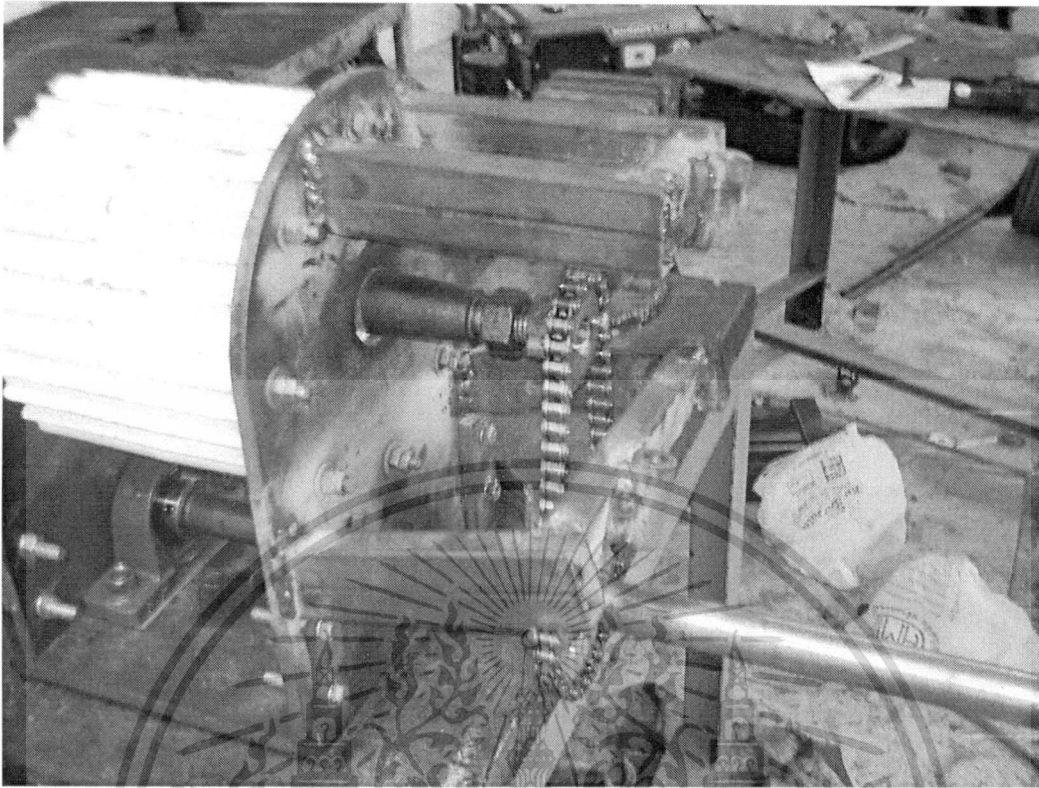
8.1.4 Generator เป็นแบบกระแสสลับ 120 V

8.1.5 โครงฐานรองรับ Generator ประกอบด้วย

1. เหล็กแผ่นหนา 10 มม. ขนาด 11 x 15 นิ้ว จำนวน 2 แผ่นประกบหน้า-หลัง
2. เหล็กแผ่นหนา 10 มม. ขนาด 11 x 12 นิ้ว จำนวน 1 แผ่นเป็นฐานรองรับ
3. เหล็กโกลก ขนาด 1 x 2 นิ้ว ทำเป็นส่วนจับยึดทางเสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บุทขาว 2 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 นิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 นิ้ว



รูปที่ 8-5 ชุดอัตราทด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8-6 โครงสร้างรองรับ Generator

8.1.6 เสารองรับ เสาทำจากเหล็ก Stream Structural A36 สูง 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และภายในคือ 6 นิ้ว และ 5.750 นิ้วตามลำดับ

8.2 การทำใบพัด Fiber glass

1. ทำแบบของใบพัดตามขนาดที่เราได้ออกแบบไว้ โดยจะแบบเป็นไม้, ดิน หรือโฟมก็ได้ แต่หากใช้โฟมเป็นแบบจำเป็นต้องทาสีน้ำมันก่อนเพื่อไม่ให้โฟมละลาย
2. นำดินน้ำมันมาปั้นที่ขอบ โดยหงายใบพัดขึ้นด้านหนึ่ง(ทำทีละด้าน)
3. นำ wax ขัดที่ผิวของแบบประมาณ 3 ชั้น แล้วทึ้งไว้ให้แห้ง เพื่อป้องกัน เรซินซึมเข้าผิวแบบ ซึ่งจะทำได้ยากต่อการแกะแบบ
4. ทา PVA ให้ทั่วทั้งบริเวณผิวชิ้นงานที่ต้องการขึ้นแบบ เพื่อให้เป็นฟิล์มก่อนประมาณ 3 ชั้น แล้วทึ้งไว้ให้แห้ง
5. นำเจล โคลท ทาให้ทั่วบริเวณหน้าแบบที่ต้องการ เพื่อสร้างชั้นพลาสติกก่อน
6. นำใยแก้ววางให้ทั่วบริเวณแบบ แล้วทำการเทเรซินลงบนแผ่นใยแก้วนั้น แล้วใช้แปรงทาสีกดเพื่อให้เรซินซึมเข้าตัวใยแก้ว(การใช้แปรงทาสีเนื่องจากจะทำให้เรซินซึมได้อย่างสม่ำเสมอ และแผ่นใยแก้วจะไม่เลื่อนหลุด) จนทั่วบริเวณที่ต้องการ ส่วนผสมของเรซิน คือ เรซิน 1/2 kg ต่อตัวเร่ง 2 ผาตวง จะใช้เวลาในการแห้ง และแข็งตัวประมาณ 1-2 ชั่วโมง
7. เพื่อความแข็งแรงให้ทำตามขั้นตอนที่ 6 ซ้ำกันประมาณ 3 ครั้ง คือวางใยแก้วประมาณ 3 ชั้น จากนั้นทึ้งไว้จนแห้งแล้วจึงแกะแบบออก
8. ทำด้านที่จะนำมาประกบด้วยวิธีการเดียวกัน โดยเริ่มจากขั้นตอนที่ 2 จนถึงขั้นตอนที่ 7 ก็จะได้ชิ้นส่วนใบพัดทั้ง 2 ด้านที่จะนำมาประกบกันเป็นใบพัด
9. ขัดพื้นผิวภายในของชิ้นส่วนใบพัดให้เรียบ และตัดขอบส่วนเกินออก เพื่อให้ง่ายต่อการประกบใบพัด
10. นำแกนกลางใบพัดที่ได้เตรียมไว้มาวาง ประกอบเข้ากับใบพัด เพื่อใช้เป็นส่วนที่จะเชื่อมต่อกับชุดโรเตอร์ โดยใช้เรซินและใยแก้วเป็นวัสดุในการประสานระหว่างใบพัดกับแกนกลางใบพัด
11. นำชิ้นส่วนใบพัดอีกด้านหนึ่งมาประกบกับด้านที่ได้ประกอบแกนไว้แล้ว ใช้เรซินเป็นวัสดุจับยึดระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง จากนั้นรอให้แห้งจึงทำการตะไบตกแต่งรอยการประกบของใบพัด

8.3 การทำ Genertor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. นำ มอเตอร์ 3 เฟสที่ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว ขนาดตั้งแต่ 0.75 kW มาแกะเอา ลวดทองแดงออก และทำความสะอาดภายใน (ระวังอย่าให้ร่อง Slot ได้รับความเสียหาย)
2. เลือกซื้อแม่เหล็กแรงสูง(ควรมีค่าตั้งแต่ 10,000 เกาส์ขึ้นไป) ที่มีความยาวใกล้เคียงกับความยาวของแกนสเตเตอร์ของมอเตอร์
3. พินขดลวดตามที่ได้คำนวณไว้ในบทที่แล้ว ในการวางตำแหน่งแม่เหล็ก ต้องวางขั้ว N – S สลับกัน และแม่เหล็กจะต้องไม่สัมผัสกัน เพื่อป้องกันการหักล้างกันของฟลักแม่เหล็ก จำนวนแม่เหล็กที่จะวางต้องเป็นเลขคู่ เช่น 6, 8, 10 หรือ 12 เป็นต้น
4. กลึงแกนสเตเตอร์ให้เป็นร่อง มีขนาดใหญ่กว่าแม่เหล็กเล็กน้อย(ใหญ่กว่าขนาดแม่เหล็กไม่เกิน 1 มม.) โดยความลึกของร่อง เมื่อวางแม่เหล็กลงไป ขอบของแม่เหล็กต้องไม่โผล่พ้นจากแกนสเตเตอร์
5. ในการวางแม่เหล็กควรมีฉนวนป้องกันไม่ให้แม่เหล็กสัมผัสกับแกนสเตเตอร์โดยตรง
6. ทำเข้าห่อรอบแกน เพื่อใช้เป็นแบบในการหล่อขึ้นหุ้มแม่เหล็ก
7. เทเรซินลงในแบบที่ได้เตรียมไว้ โดยใช้อัตราส่วนผสมเดียวกับที่ใช้ในการทำใบพัด
8. เมื่อเรซินแห้ง และแข็งตัวเต็มที่แล้วนำไปกลึงเอาเรซินส่วนเกินออก โดยให้หุ้มแม่เหล็ก มีขนาดเล็กกว่าเรือนขดลวดเล็กน้อย เพื่อให้ง่ายต่อการประกอบ
9. ประกอบหุ้มแม่เหล็กเข้ากับเรือนขดลวดที่ได้ทำไว้ก่อนหน้า ซึ่งลักษณะภายนอกจะคล้ายกับมอเตอร์เดิมก่อนที่เราจะทำการแก้ไข

8.4 การทำหางเสือ

หางเสือเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ช่วยให้กังหันลม หันหน้าเข้าหาลมตลอดเวลา ประการหนึ่งหางเสือควรมีความยาวประมาณ 1.5 เท่าของความยาวใบพัดกังหัน เนื่องจากจะต้องใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นตัวทำให้ใบพัดหันหน้าเข้าหาลม แต่เมื่อความเร็วลมสูงเกินไป หางเสือในลักษณะทั่วไปจะทำให้เกิดความเสียหายต่อกังหัน เนื่องจากหางเสือจะบังคับให้กังหันลม หันหน้าเข้าหาลม ดังนั้นสลักของหางเสือควรมีลักษณะบิดเล็กน้อยประมาณ 10 องศา กับแนวตั้ง และทำคาน้ำด้านที่ต่ำกว่าไว้เพื่อบังคับให้หางเสือพับได้ทิศทางเดียว เมื่อความเร็วลมสูงจนทำให้หางเสือพับ จะทำให้หางเสือพลิกให้ใบพัดหันหน้าหนีลมเพื่อลดความเสียหายโดยอัตโนมัติ

8.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. เลือกสถานที่ตั้งที่มีลมเหมาะสมในการทดลองกังหันเมื่อได้ที่เหมาะสม นำกังหันไปติดตั้ง ณ บริเวณสถานที่ที่ได้เลือกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8-7 สถานที่ทดสอบการทำงานของกังหันลม

2. ทำการปรับมุมใบพัด และอัตราทดของกังหัน ในมุมและอัตราทดที่ได้กำหนดไว้ คือที่มุม 10° , 15° , 20° , 25° และ 30° ในการขับ Generator โดยตรง และ ที่อัตราทด 1 : 1.75 ตามลำดับ

3. เมื่อทำการปรับมุม และอัตราทดเสร็จ (โดยเริ่มต้นที่มุม 10° และขับ Generator โดยตรง) จึงปล่อยให้ใบพัดเริ่มหมุนจากจุดหยุดนิ่งด้วยแรงลมเพียงอย่างเดียวเพื่อหาความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัวของใบพัด โดยใช้ Anemometer ในการวัดความเร็วลม แล้วบันทึกค่าความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ต่อ multi - meter, amp - meter และเครื่องวัดความเร็วรอบเข้ากับกังหันลม เพื่อวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และความเร็วรอบของ Generator ที่ความเร็วลมต่างๆ



รูปที่ 8-8 ค่าความเร็วลมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้

5. บันทึกค่าที่วัดได้ ซึ่งจะได้นำค่าที่วัดได้นี้มาใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกังหันลมที่มุม และอัตราทดในกรณีอื่นๆต่อไป

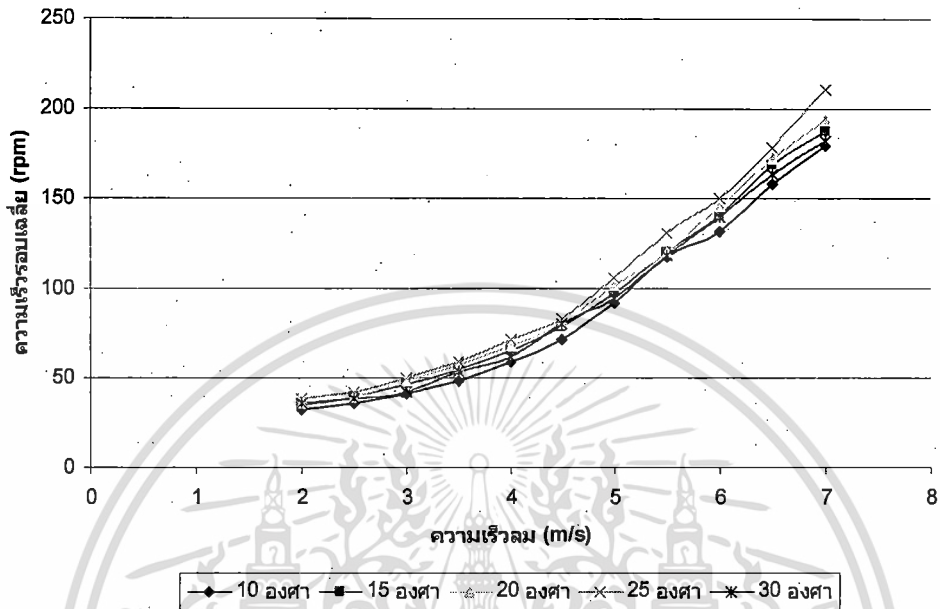
6. ทำตามขั้นตอนที่ 3 - 5 แต่เปลี่ยนมุมจาก 10° เป็น 15° , 20° , 25° และ 30° ตามลำดับ โดยการขับตรงจนครบทุกมุม แล้วจึงเปลี่ยนอัตราทดเป็น 1 : 1.75 และทำตามขั้นตอนที่ (3) - (5) อีกครั้งหนึ่ง

7. นำค่าที่ได้บันทึกไว้ในกรณีต่างๆมาพล็อตกราฟเพื่อนำมาเปรียบเทียบหามุม และอัตราทดที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

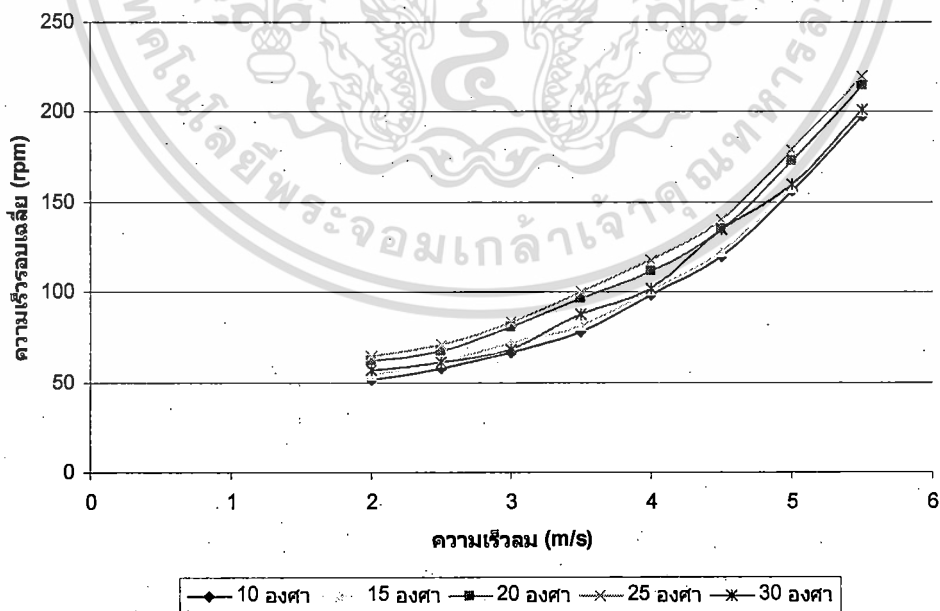
8. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 สรุปและวิจารณ์การทดลอง

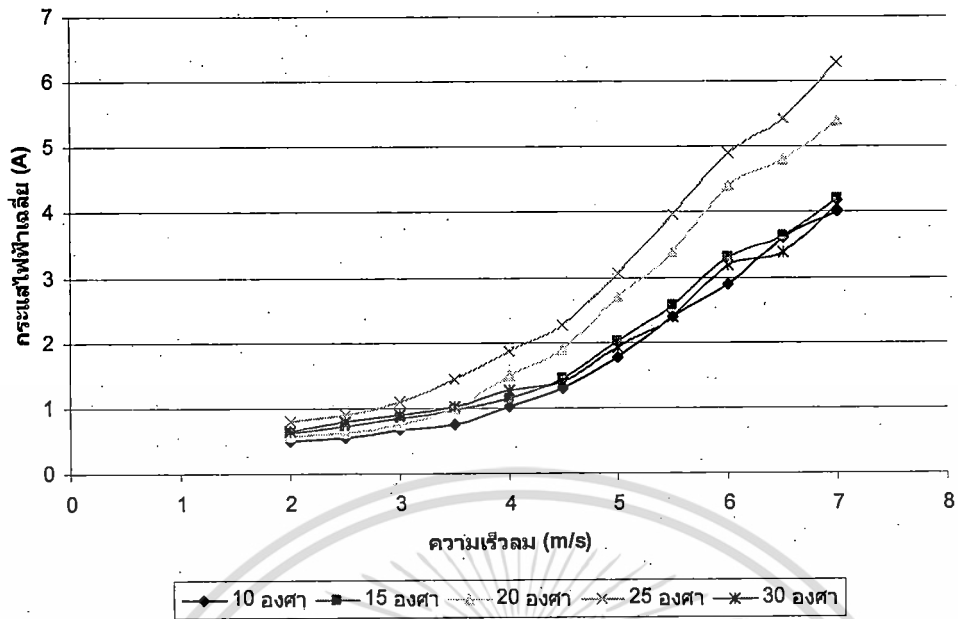


รูปที่ 9-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความเร็วรอบ แบบขับตรง

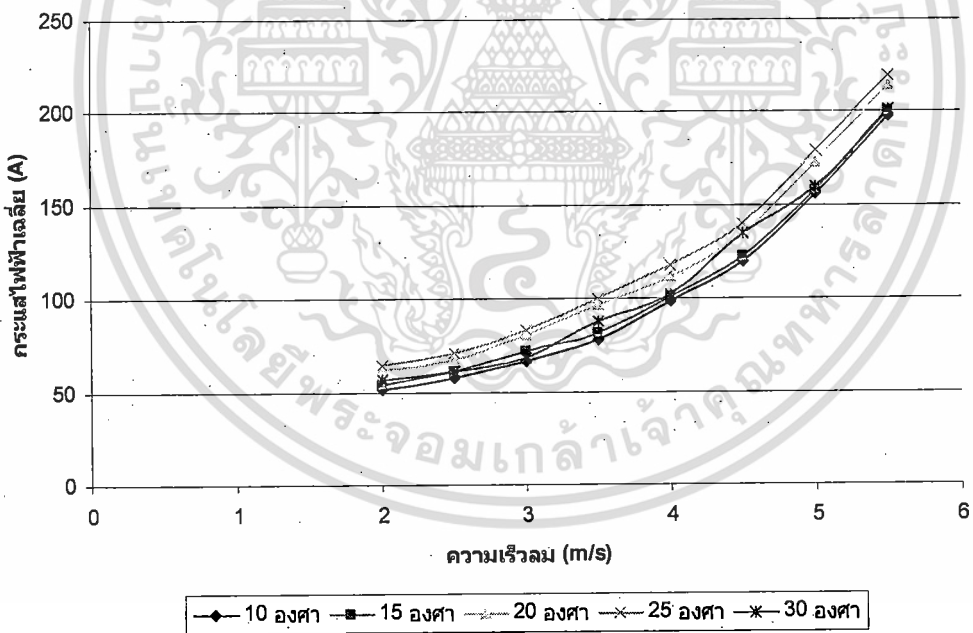


รูปที่ 9-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความเร็วรอบ แบบมีอัตราทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

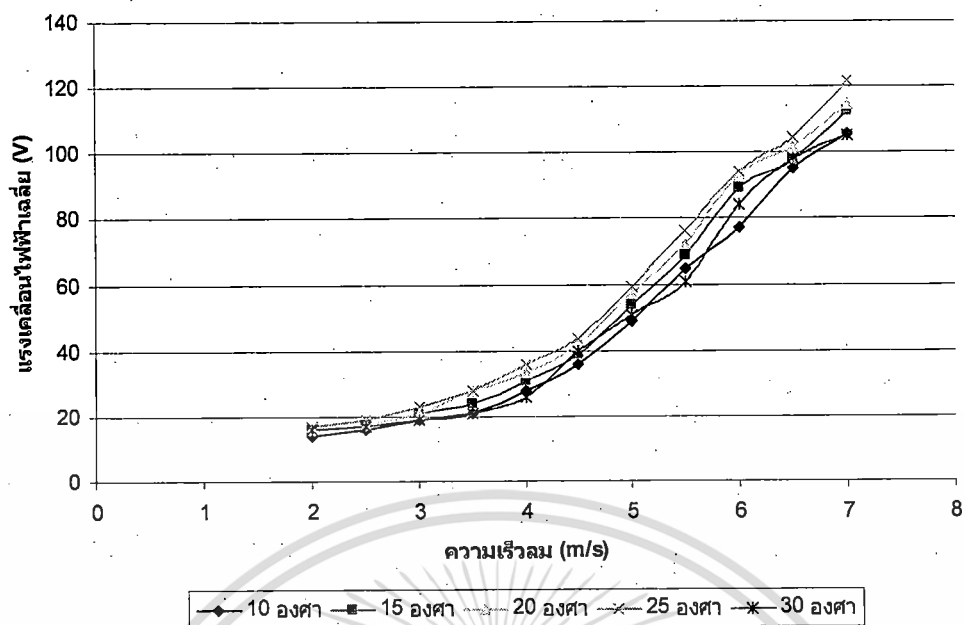


รูปที่ 9-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย แบบขั้วตรง

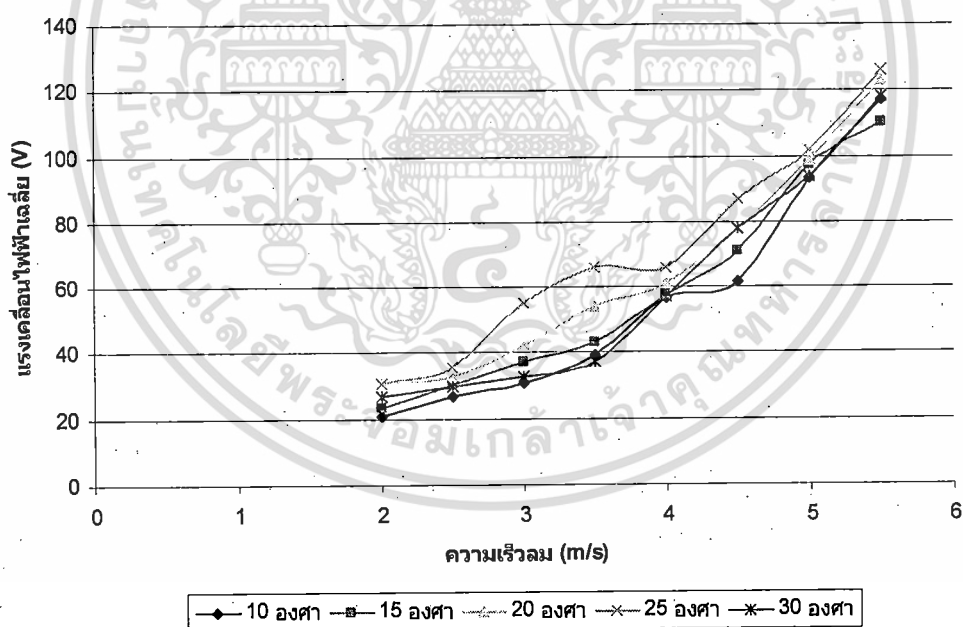


รูปที่ 9-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย แบบมีอัตร๑ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

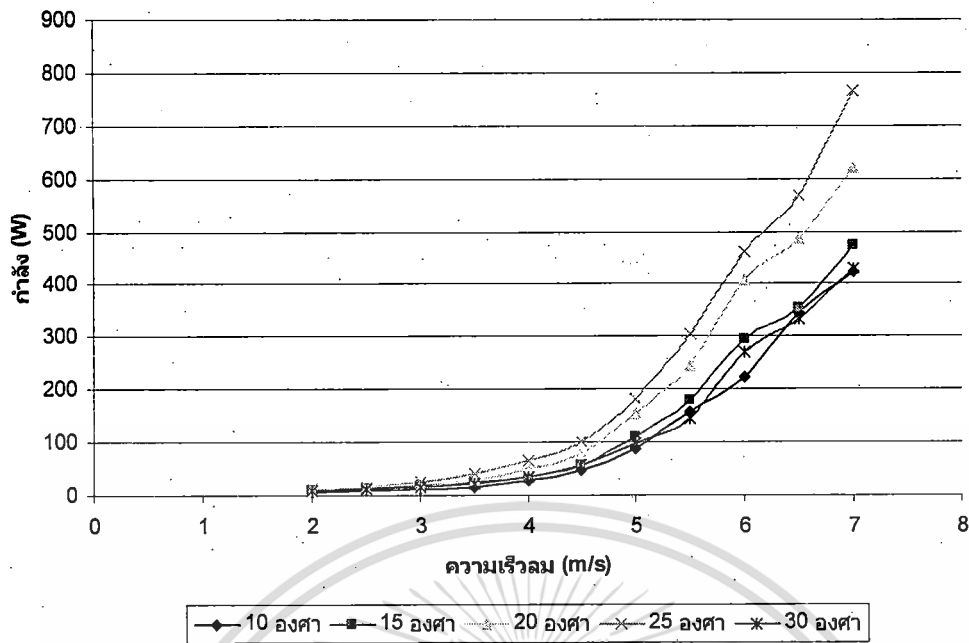


รูปที่ 9-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย แบบจับตรง

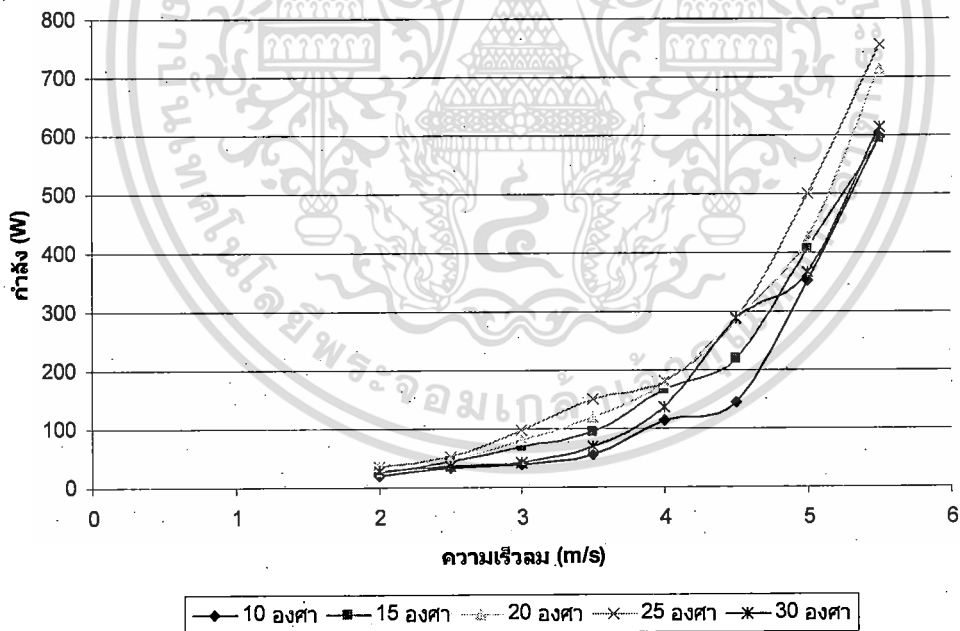


รูปที่ 9-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย แบบมีอัตราทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

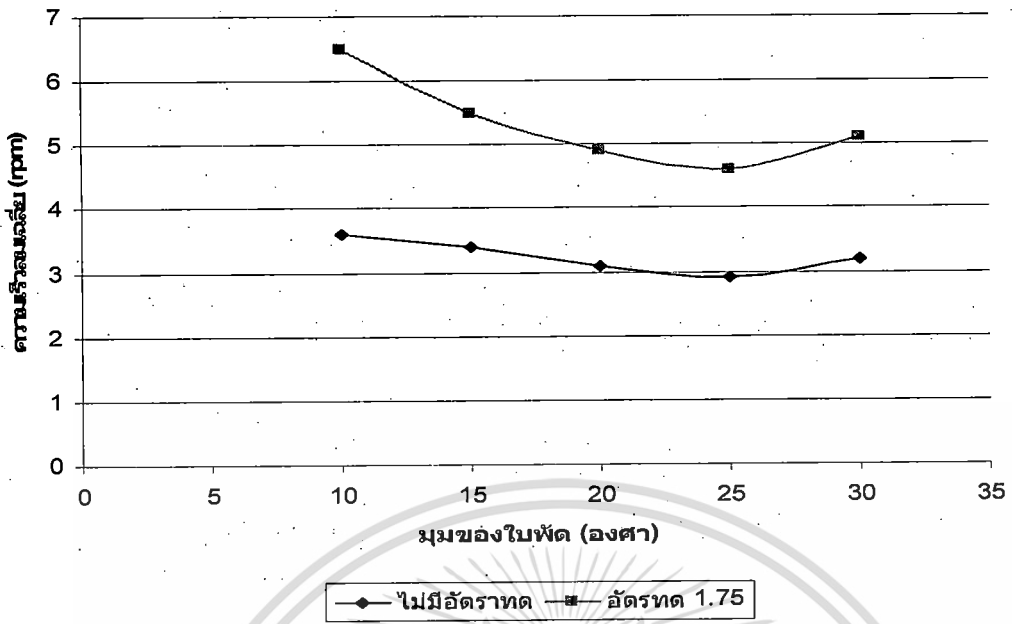


รูปที่ 9-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกำลัง แบบจับตรง

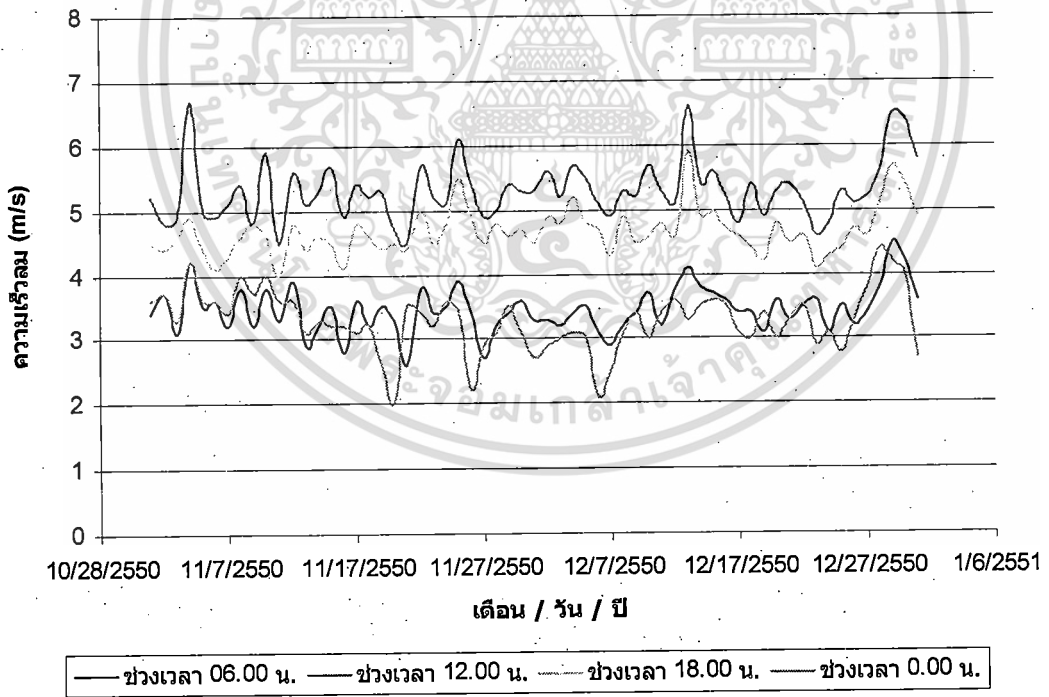


รูปที่ 9-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับกำลัง แบบมีอัตราทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ใช้ออกตัวกับมุมใบพัด



รูปที่ 9-10 ความเร็วลมที่วัดได้ระหว่างเดือน พฤศจิกายน - ธันวาคม พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป และวิจารณ์ผล

ในการออกแบบกังหันลม เราควรกำหนดค่ากำลังงานที่ต้องการเสียก่อน แล้วทำการออกแบบชุดกังหันลมตามค่าออกแบบและทำการทดสอบผล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ จากการทำการทดลองบิดใบกังหันเพื่อหาประสิทธิภาพที่มุมต่างๆของใบพัด ทั้งที่มีอัตราทด และไม่มีอัตราทด พบว่าในการทดลองที่ 25° แบบไม่มีอัตราทด ใช้ความเร็วลมในการออกตัว 2.9 m/s ตามตารางที่ 5 เป็นค่าที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของตัวกังหันลมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จึงได้มีการใช้มุมใบพัดที่ 25° ในการตั้งใบพัดกังหันที่ได้ทำขึ้น จากการทดลองและวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ทราบว่า การทำกังหันลมที่มีความเร็วต่ำ ทำให้โมเมนต์ความเฉื่อยน้อย เพื่อให้ง่ายต่อการออกตัว การลดน้ำหนักของใบพัด รวมถึงระยะห่างระหว่างจุด CG ของใบพัดถึงจุดหมุนของใบพัดกังหัน จะทำให้กังหันความเร็วต่ำมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยกังหันจะหยุดหมุนในช่วงความเร็วลม 1-1.5 m/s

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1. การตัดและการทำใบพัดมีฝุ่นละอองมาก ทำให้เกิดอันตรายได้ง่าย
2. การเอา Generator ขึ้น – ลง จากเสาเป็นไปได้ยาก เนื่องจาก เสาได้มีการยึดติดกับฐานคอนกรีต
3. ความเร็วลมไม่มีความคงที่ในระหว่างการทดสอบประสิทธิภาพ

แนวทางการแก้ปัญหา

1. สวมใส่เสื้อผ้าที่มิดชิด และใช้ผ้าหรือหน้ากากป้องกันฝุ่นละออง
2. ทำฐานเสาใหม่ โดยให้มีจุดหมุนเพื่ออำนวยความสะดวกติดตั้ง Generator และใช้ลวดสลิงในการจับยึด เพื่อไม่ให้เสาเกิดการโค้งตัวเมื่อมีลมมาปะทะ
3. ในการทดสอบ ให้นำกังหันลมขึ้นหลังรถบรรทุก และวิ่งด้วยความเร็วคงที่ จะแก้ปัญหาความเร็วลมไม่คงที่ได้

บรรณานุกรม

- [1] Alireza Maheri, Siamak Noroozi, John Vinney. "Application of combined analytical/FEA coupled aero-structure simulation in design of wind turbine adaptive blades." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [2] Ssu-yuan Hu, Jung-ho Cheng. "Performance evaluation of pairing between sites and wind turbines." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [3] P. Hubner, H. Schlosser, G. Pusch, H. Biermann. "Load history effects in ductile cast iron for wind turbine components." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [4] Mohammad Monfared, Hossein Madadi Kojabadi, Hasan Rastegar. "Static and dynamic wind turbine simulator using a converter controlled dc motor." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [5] Ali Vardar, Ilknur Alibas. "Research on wind turbine rotor models using NACA profiles." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [6] M. Zlatanovic, N. Popovic, M. Mitric. "Plasma processing in carbon containing atmosphere for possible treatment of wind turbine components." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [7] Reinhard Harte, Gideon P.A.G. Van Zijl. "Structural stability of concrete wind turbines and solar chimney towers exposed to dynamic wind action." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [8] Ming Yang. "Climate change drives wind turbines." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [9] Leonardo Duenas-Osorio, Biswajit Basu. "Unavailability of wind turbines due to wind-induced accelerations." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [10] M.Z. Hossain, H. Hirahara, Y. Nonomura, M. Kawahashi. "The wake structure in a 2D grid installation of the horizontal axis micro wind turbines." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [11] Surya Santoso, Ha Thu Le. "Fundamental time-domain wind turbine models for wind power studies." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [12] P.E. Uys, J. Farkas, K. J'armai, F. van Tonder. "Optimisation of a steel tower for a wind turbine structure." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)

- [13] Clemens Jauch, Syed M. Islam, Poul Sorensen, Birgitte Bak Jensen. "Design of a wind turbine pitch angle controller for power system stabilization." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [14] Onder Ozgener, Leyla Ozgener. "Exergy and reliability analysis of wind turbine systems: A case study." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [15] Alireza Maheri, Siamak Noroozi, John Vinney. "Decoupled aerodynamic and structural design of wind turbine adaptive blades." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [16] Z. Hameed, Y.S. Hong, Y.M. Cho, S.H. Ahn, C.K. Song. "Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [17] R. Lanzafame, M. Messina. "Fluid dynamics wind turbine design: Critical analysis, optimization and application of BEM theory." <http://scindirect.com> (accessed on Aug 2007)
- [18] นิพนธ์ เกตุจ้อย และอชิตพล ศศิธรานูวัฒน์ "เทคโนโลยีพลังงานลม" [http://www.nu.ac.th/nu_journal/pdf/journal/12\(2\)57-73](http://www.nu.ac.th/nu_journal/pdf/journal/12(2)57-73) (ตุลาคม 2550)
- [19] กิตติ สุขเอียด และพิสุทธิ์ แหวนเพชร "กักกันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร พ.ศ.2547
- [20] นายสมชาย ภูวงศ์ไพบูลย์ "แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย" กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน พิมพ์ที่ เซ็นทรัลการพิมพ์ 2544.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 ที่มุมใบพัด 10 องศา ไม่มีอัตราทด (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 3.6 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	32	0.49	14
2.5	36	0.56	16
3	41	0.67	19
3.5	48	0.75	21
4	59	1.01	28
4.5	71	1.3	36
5	92	1.78	49
5.5	117	2.4	65
6	132	2.9	77.2
6.5	158	3.61	95.4
7	180	4	105.6

ตารางที่ ก-2 ที่มุมใบพัด 15 องศา ไม่มีอัตราทด (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 3.4 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	35	0.62	15.7
2.5	39	0.71	17.5
3	46	0.85	20.9
3.5	54	0.98	24
4	65	1.15	31
4.5	78	1.45	39
5	97	2.01	54
5.5	120	2.57	69
6	141	3.32	89
6.5	169	3.64	97.5
7	188	4.2	112.4

ตารางที่ ก-3 ที่มุมใบพัด 20 องศา ไม่มีอัตราทด (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 3.1 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	36	0.58	16.1
2.5	39	0.63	17.5
3	48	0.75	21
3.5	57	0.99	27.7
4	68	1.5	33.2
4.5	80	1.9	42
5	101	2.69	57.3
5.5	120	3.4	72.3
6	146	4.4	93
6.5	173	4.8	101.5
7	194	5.4	114.8

ตารางที่ ก-4 ที่มุมใบพัด 25 องศา ไม่มีอัตราทด (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 2.9 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	38	0.8	17.1
2.5	42	0.9	18.9
3	50	11.1	23
3.5	59	1.45	28
4	71	1.87	36
4.5	83	2.27	43.7
5	106	3.07	59.1
5.5	131	3.97	76.4
6	150	4.9	94.1
6.5	179	5.43	104.6
7	211	6.3	121.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 ที่มุมใบพัด 30 องศา ไม่มีอัตราทด (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 3.2 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	36	0.65	16
2.5	38	0.8	17
3	42	0.9	18.9
3.5	53	1.01	21
4	61	1.27	26
4.5	80	1.4	40
5	94	1.93	51
5.5	118	2.4	60.7
6	140	3.2	84
6.5	164	3.4	98
7	182	4.1	105

ตารางที่ ก-6 ที่มุมใบพัด 10 องศา อัตราทด 1.75 (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 6.5 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	51	0.9	21
2.5	58	1.28	27
3	66.75	1.31	30.7
3.5	78	1.45	39
4	98.25	2.0	56.4
4.5	119.25	2.34	61.8
5	156	3.8	93.1
5.5	197.75	5.1	117.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ที่มุมใบพัด 15 องศา อัตราทด 1.75 (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 5.5 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	54	1.1	23.5
2.5	61	1.42	30.4
3	71.75	1.86	37
3.5	82	2.21	43
4	101.25	2.9	57.4
4.5	122.25	3.1	70.8
5	158	4.2	97.1
5.5	200.75	5.4	110

ตารางที่ ก-8 ที่มุมใบพัด 20 องศา อัตราทด 1.75 (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 4.9 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	62	1.21	30.8
2.5	67.45	1.3	32.6
3	81	1.9	42.4
3.5	97	2.2	54
4	112	2.9	61.3
4.5	135	3.7	78
5	172.56	4.3	99
5.5	214.8	5.8	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 ที่มุมใบพัด 25 องศา อัตราทด 1.75 (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 4.6 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	64.5	1.2	31
2.5	70.9	1.51	35.6
3	83.2	1.78	5.5
3.5	100.4	2.25	66.2
4	118	2.4	66.2
4.5	140	3.3	87
5	178.8	4.9	102
5.5	219.8	6	126

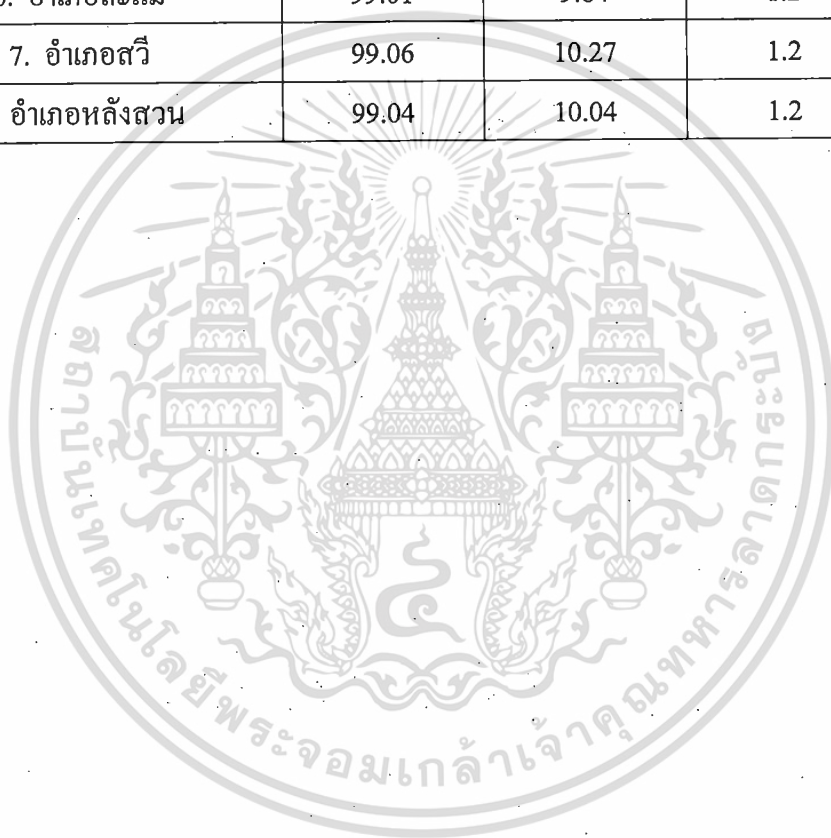
ตารางที่ ก-10 ที่มุมใบพัด 30 องศา อัตราทด 1.75 (ความเร็วลมที่ใช้ในการออกตัว 5.1 m/s)

ความเร็วลม (m/s)	ความเร็วรอบเฉลี่ย (rpm)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
2	57	0.99	27
2.5	61	1.18	30
3	68.5	1.28	32.6
3.5	87.75	1.82	37.4
4	101.75	2.4	57.2
4.5	135	3.7	78
5	159.5	3.9	94
5.5	201.5	5.2	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-11 ศักยภาพลมในจังหวัดชุมพร

อำเภอ	LONG	LAT	CLASS
1. อำเภอทุ่งตะโก	99.04	10.15	1.2
2. อำเภอท่าแซะ	99.12	10.7	1.1
3. อำเภอปะทิว	99.18	10.73	1.2
4. อำเภอพะโต๊ะ	98.71	9.8	1.3
5. อำเภอเมืองชุมพร	99.15	10.53	1.2
6. อำเภอละแม	99.01	9.84	1.2
7. อำเภอสวี	99.06	10.27	1.2
8. อำเภอหลังสวน	99.04	10.04	1.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12 บันทึกความเร็วลมจากเครื่องตรวจสภาพอากาศของ สจล.วช.ชุมพร เดือนพฤศจิกายน 2550

เดือน / วัน / ปี	06.00 น.	12.00 น.	18.00 น.	0.00 น.
11/1/2550	3.4	5.2	4.5	3.6
11/2/2550	3.7	4.8	4.4	3.7
11/3/2550	3.1	4.9	4.6	3.3
11/4/2550	4.2	6.7	4.9	4.2
11/5/2550	3.5	5	4.4	3.6
11/6/2550	3.6	4.9	4.1	3.6
11/7/2550	3.2	5.1	4.3	3.4
11/8/2550	3.8	5.4	4.6	4
11/9/2550	3.2	4.8	4.8	3.7
11/10/2550	3.8	5.9	4.6	4
11/11/2550	3.3	4.5	4	3.6
11/12/2550	3.9	5.6	4.8	3.6
11/13/2550	2.9	5.1	4.4	3.1
11/14/2550	3.2	5.3	4.6	3.3
11/15/2550	3.5	5.7	4.5	3.2
11/16/2550	2.8	4.9	4.1	3.2
11/17/2550	3.6	5.4	4.8	3.1
11/18/2550	3.2	5.2	4.6	3.2
11/19/2550	3.5	5.3	4.4	2.6
11/20/2550	3.3	4.7	4.5	2
11/21/2550	2.6	4.5	4.4	3.5
11/22/2550	3.8	5.7	5	3.4
11/23/2550	3.4	5.2	4.5	3.2
11/24/2550	3.5	5.1	4.8	3.6
11/25/2550	3.9	6.1	5.5	3.4
11/26/2550	3.4	5.4	4.9	2.2
11/27/2550	2.7	4.9	4.5	2.9
11/28/2550	3.2	5	4.8	3.1
11/29/2550	3.4	5.4	4.6	3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือน / วัน / ปี	06.00 น.	12.00 น.	18.00 น.	0.00 น.
11/30/2550	3.6	5.3	4.7	3.1

ตารางที่ ก-13 บันทึกความเร็วลมจากเครื่องตรวจสภาพอากาศของ สจล.วช.ชุมพร เดือน ธันวาคม
2550

เดือน / วัน / ปี	06.00 น.	12.00 น.	18.00 น.	0.00 น.
12/1/2550	3.3	5.3	4.5	2.7
12/2/2550	3.3	5.6	4.9	2.9
12/3/2550	3.2	5.2	4.8	3
12/4/2550	3.4	5.7	5.2	3.1
12/5/2550	3.5	5.5	4.8	3
12/6/2550	3.1	5.1	4.7	2.1
12/7/2550	2.9	4.9	4.3	2.5
12/8/2550	3.2	5.3	4.9	3.1
12/9/2550	3.4	5.2	4.5	3.4
12/10/2550	3.7	5.7	4.6	3
12/11/2550	3.2	5.3	4.8	3.4
12/12/2550	3.8	5.1	4.6	3.6
12/13/2550	4.1	6.6	5.9	3.3
12/14/2550	3.8	5.4	4.9	3.5
12/15/2550	3.7	5.6	5	3.6
12/16/2550	3.6	5.2	4.7	3.5
12/17/2550	3.4	4.8	4.6	3.1
12/18/2550	3.4	5.4	4.4	3
12/19/2550	3.1	4.9	4.2	3.4
12/20/2550	3.6	5.3	4.8	3
12/21/2550	3.3	5.4	4.5	3.3
12/22/2550	3.5	5.1	4.6	3.5
12/23/2550	3.6	4.6	4.1	2.9
12/24/2550	3.1	4.8	4.3	3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลชุมพร ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

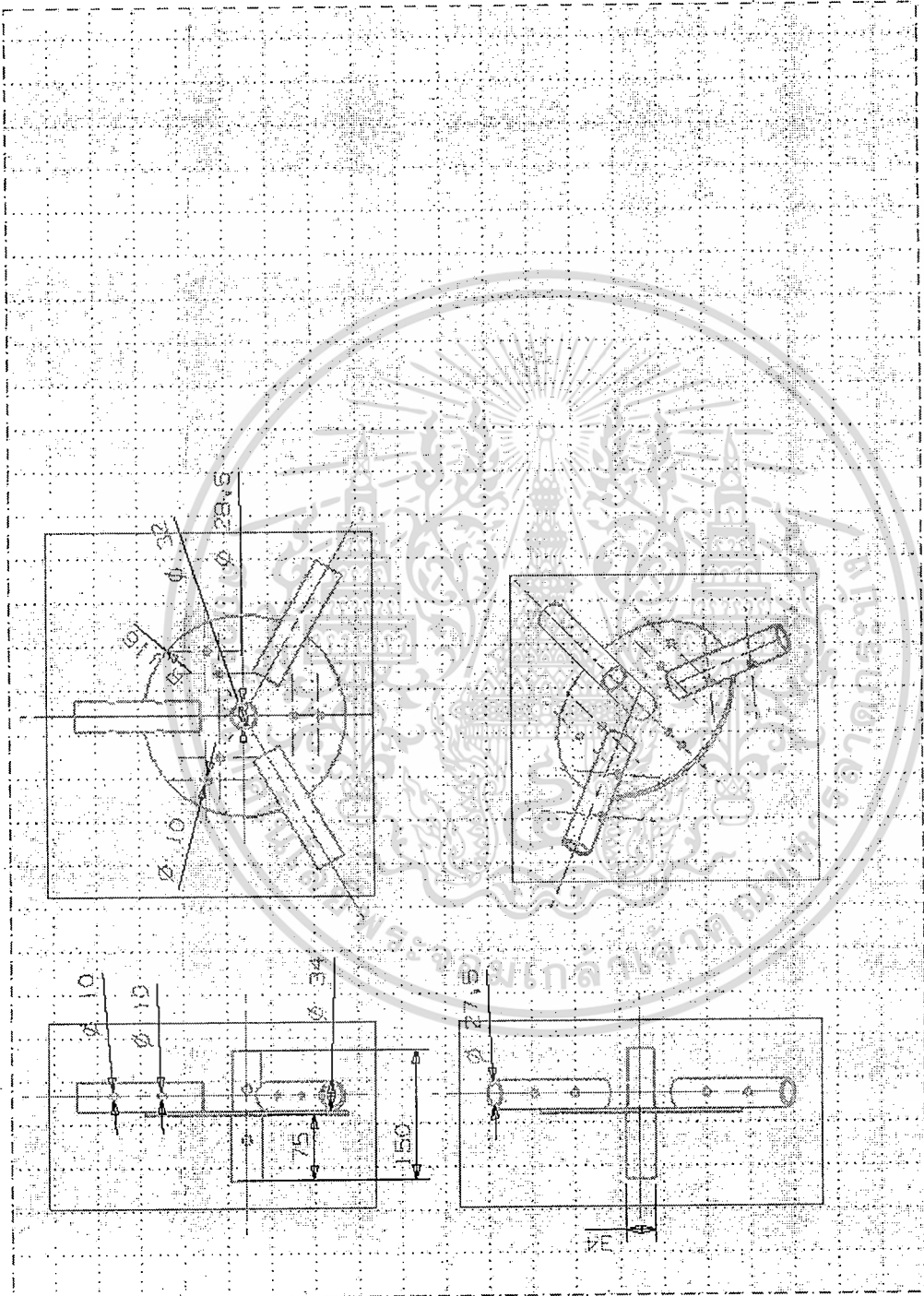
เดือน / วัน / ปี	06.00 น.	12.00 น.	18.00 น.	0.00 น.
12/25/2550	3.5	5.3	4.4	2.8
12/26/2550	3.2	5.1	4.7	3.3
12/27/2550	3.4	5.2	4.6	3.8
12/28/2550	3.8	5.6	5.1	4.4
12/29/2550	4.5	6.5	5.7	4.2
12/30/2550	4.2	6.4	5.4	4
12/31/2550	3.6	5.8	4.9	2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

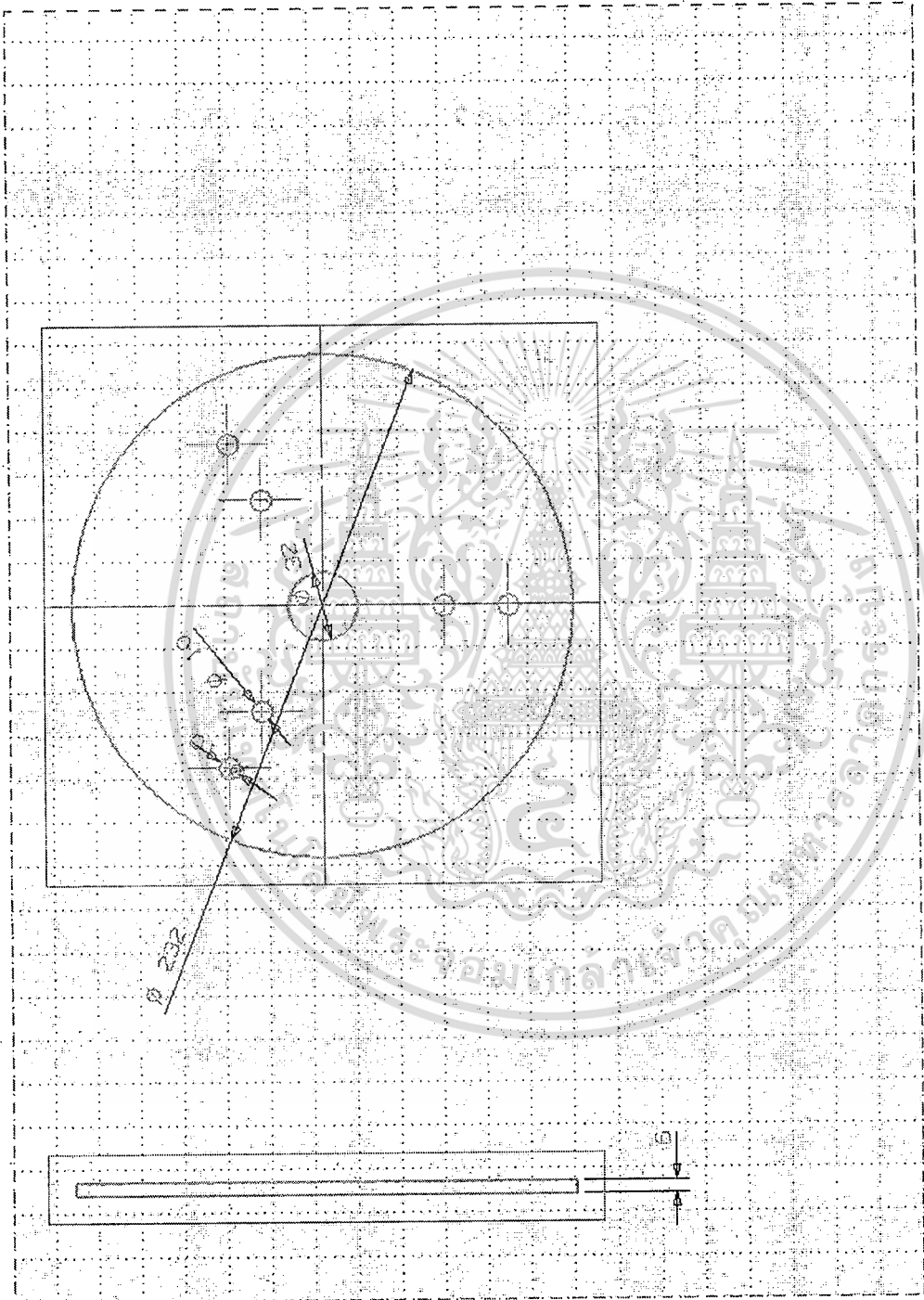


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



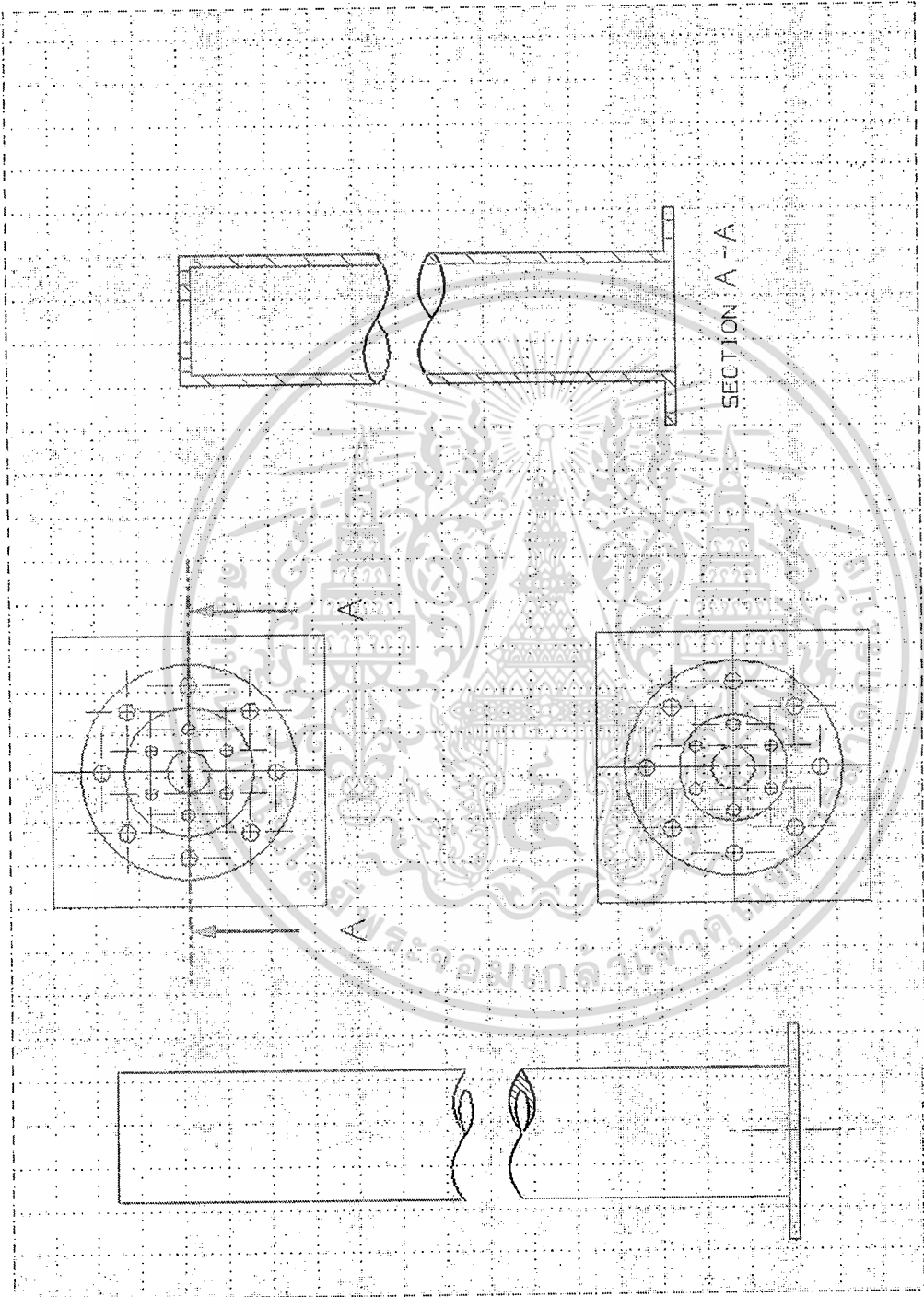
รูปที่ ข-2หน้าแปลน 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



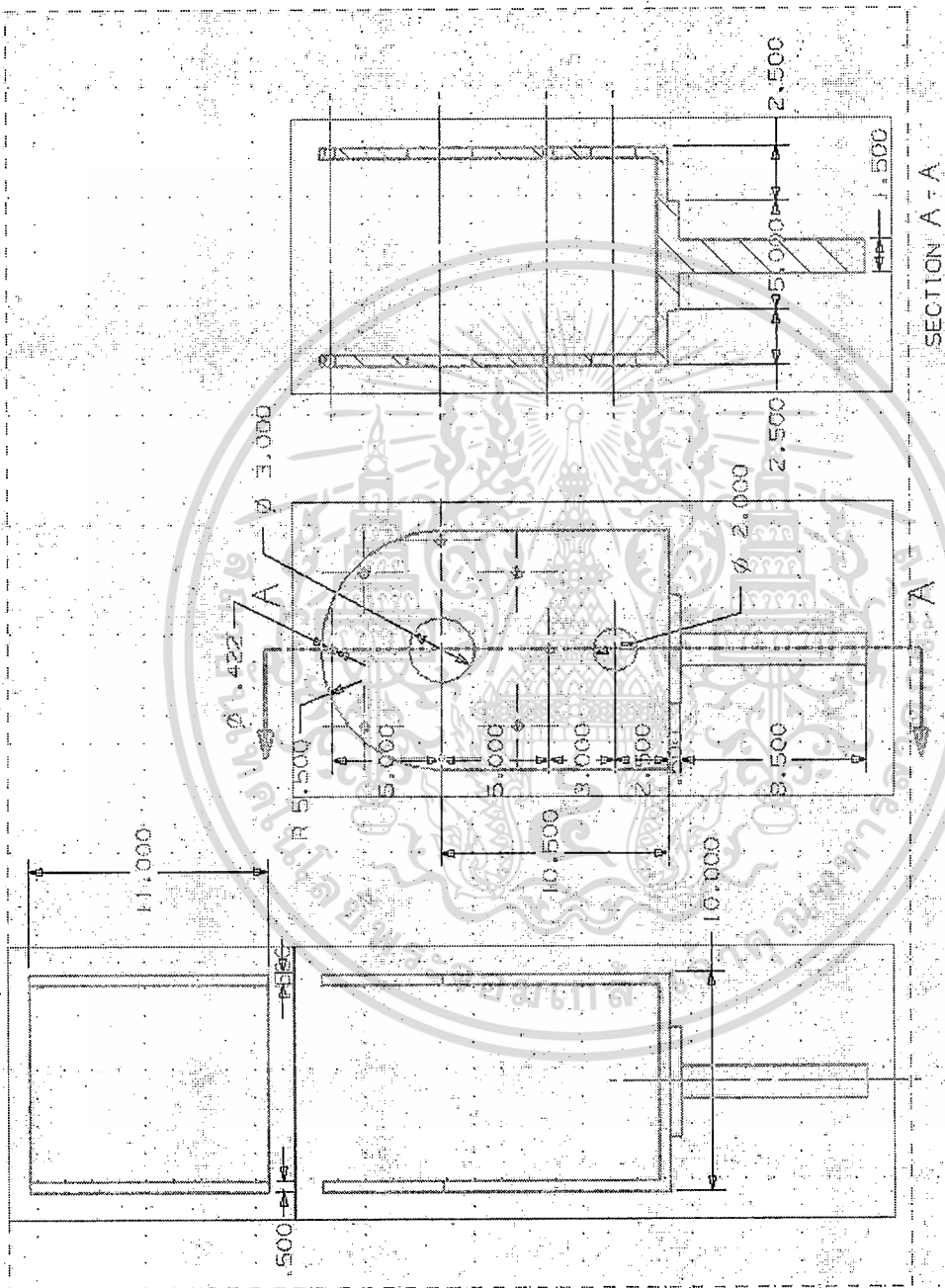
รูปที่ ข-3 หน้าแปลน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-4 เสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗-5 โครงรองรับ Generator

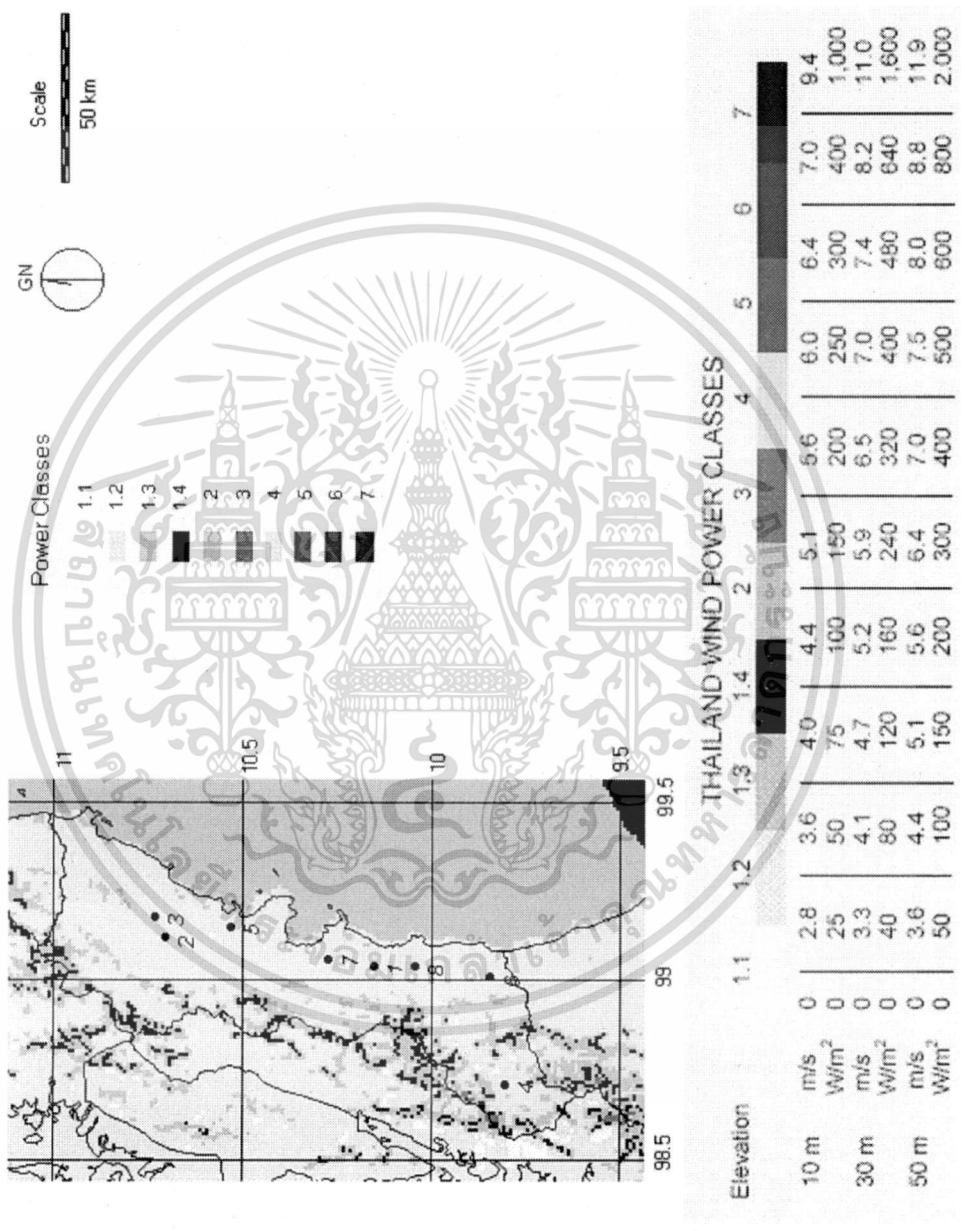
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM – ANNUAL AVERAGE

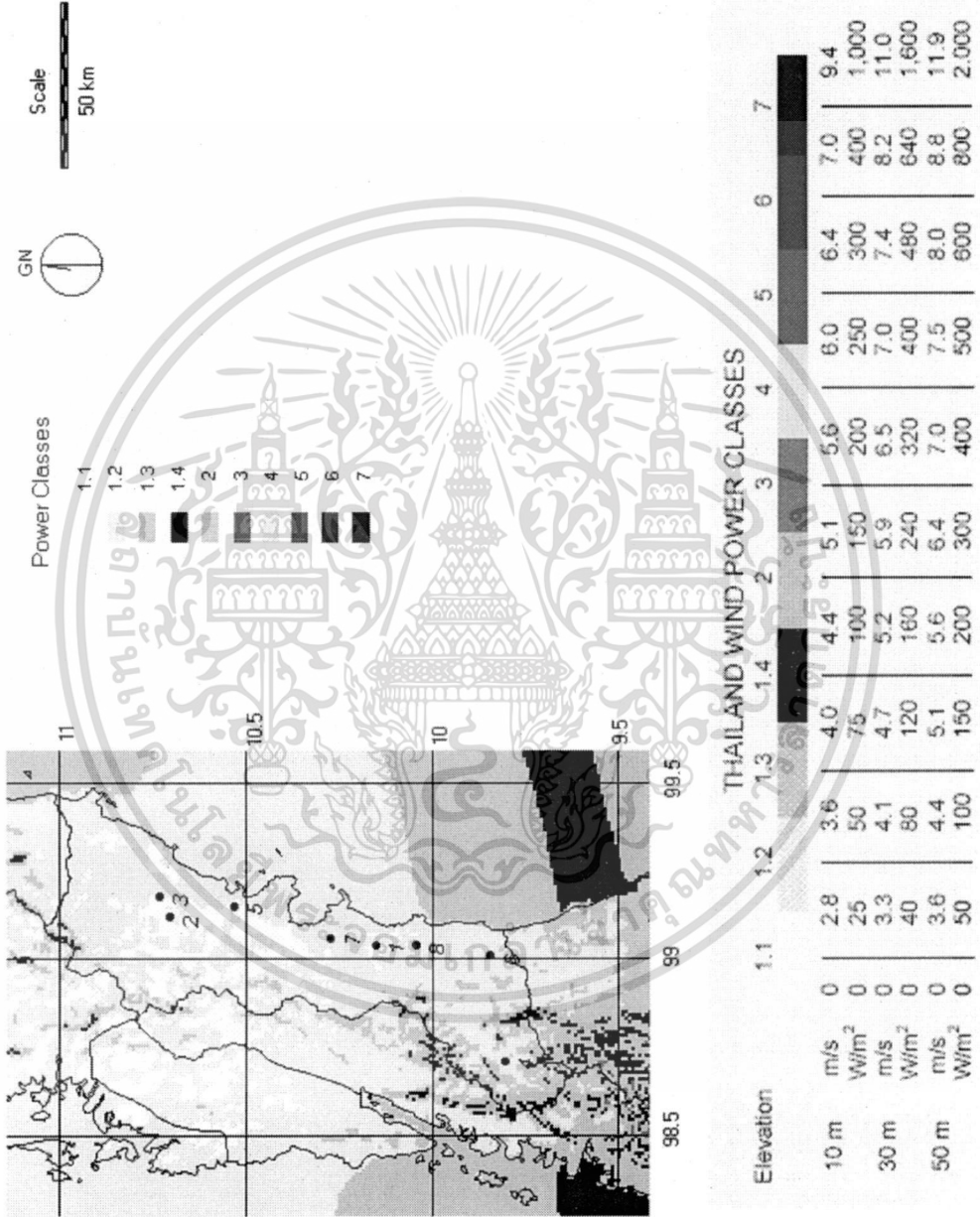
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม เฉลี่ยประจำปี ไม่รวมทิศทางลมสงบ - เฉลี่ยรายปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM – JANUARY

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร รวมทั้งลมสงบ - มกราคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - JANUARY

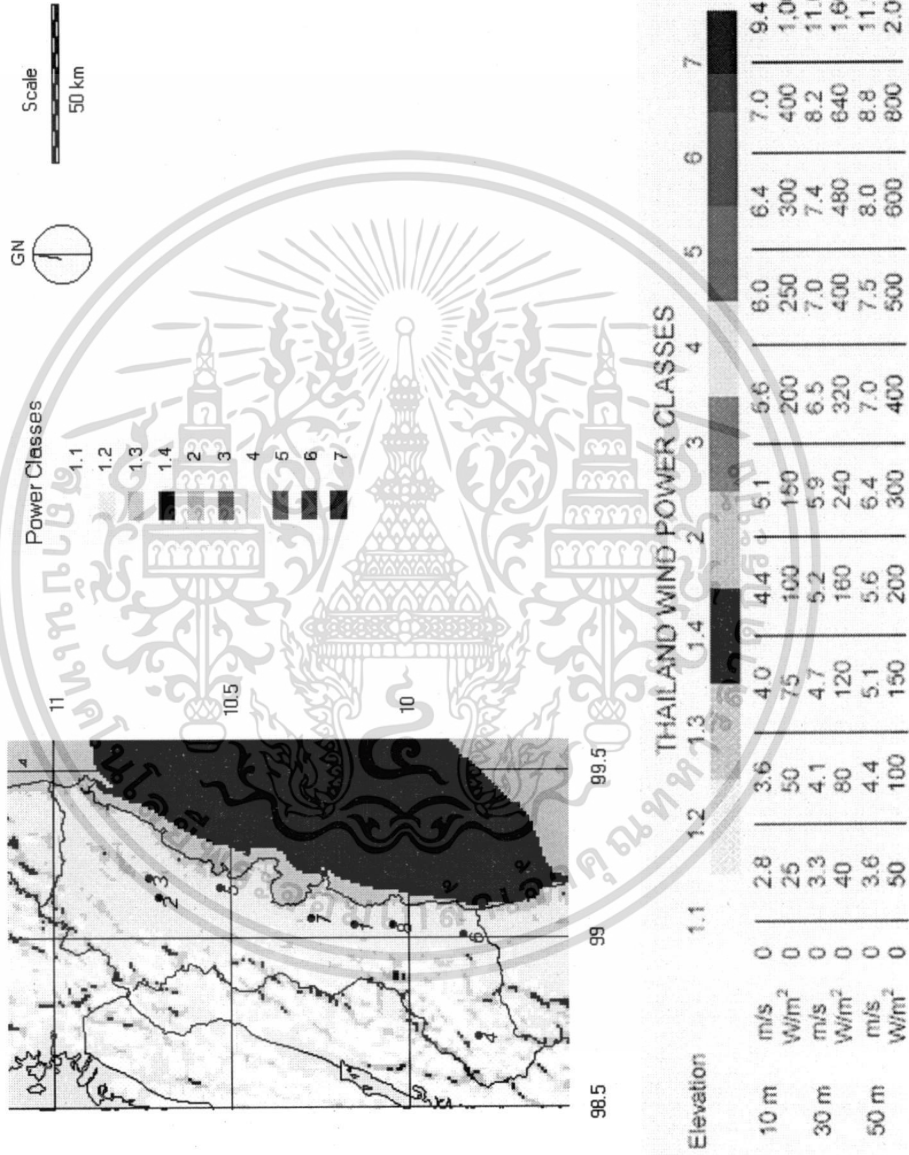
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - มกราคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM – FEBRUARY

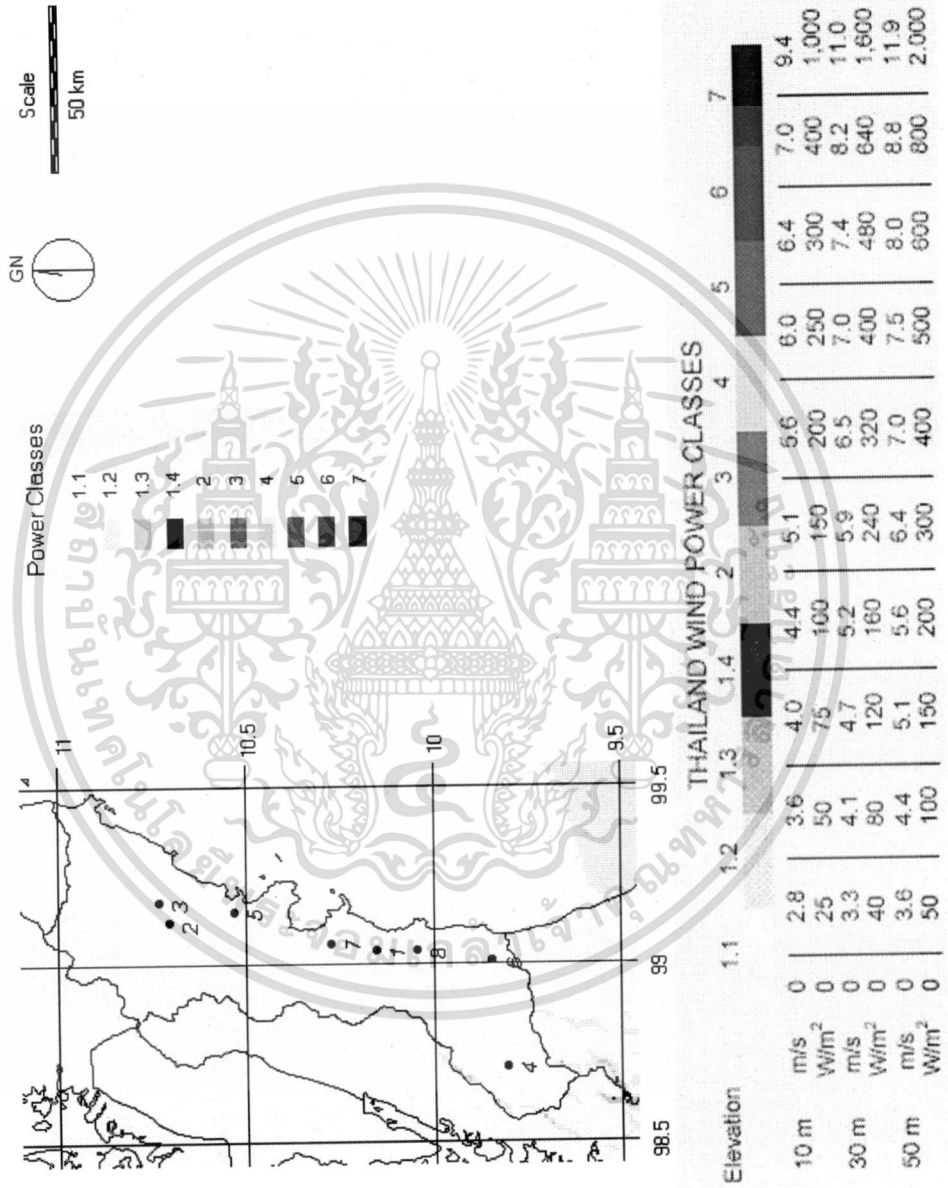
แผนที่ศักยภาพพุดังงานลม จ.ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - กุมภาพันธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM – MARCH

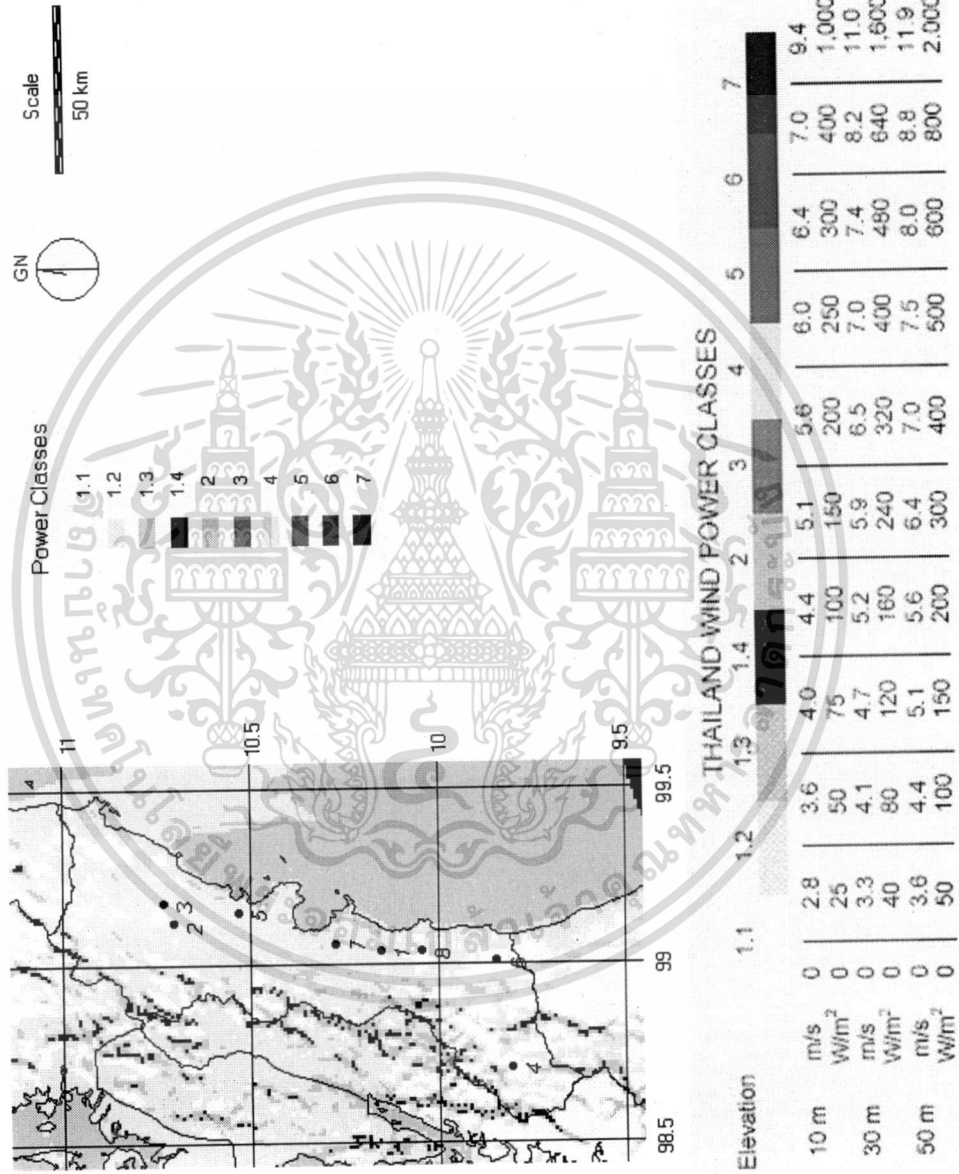
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.ชุมพร รวมช่วงลมสงบ - มีนาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - MARCH

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - มีนาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - APRIL

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - เมษายน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM – MAY

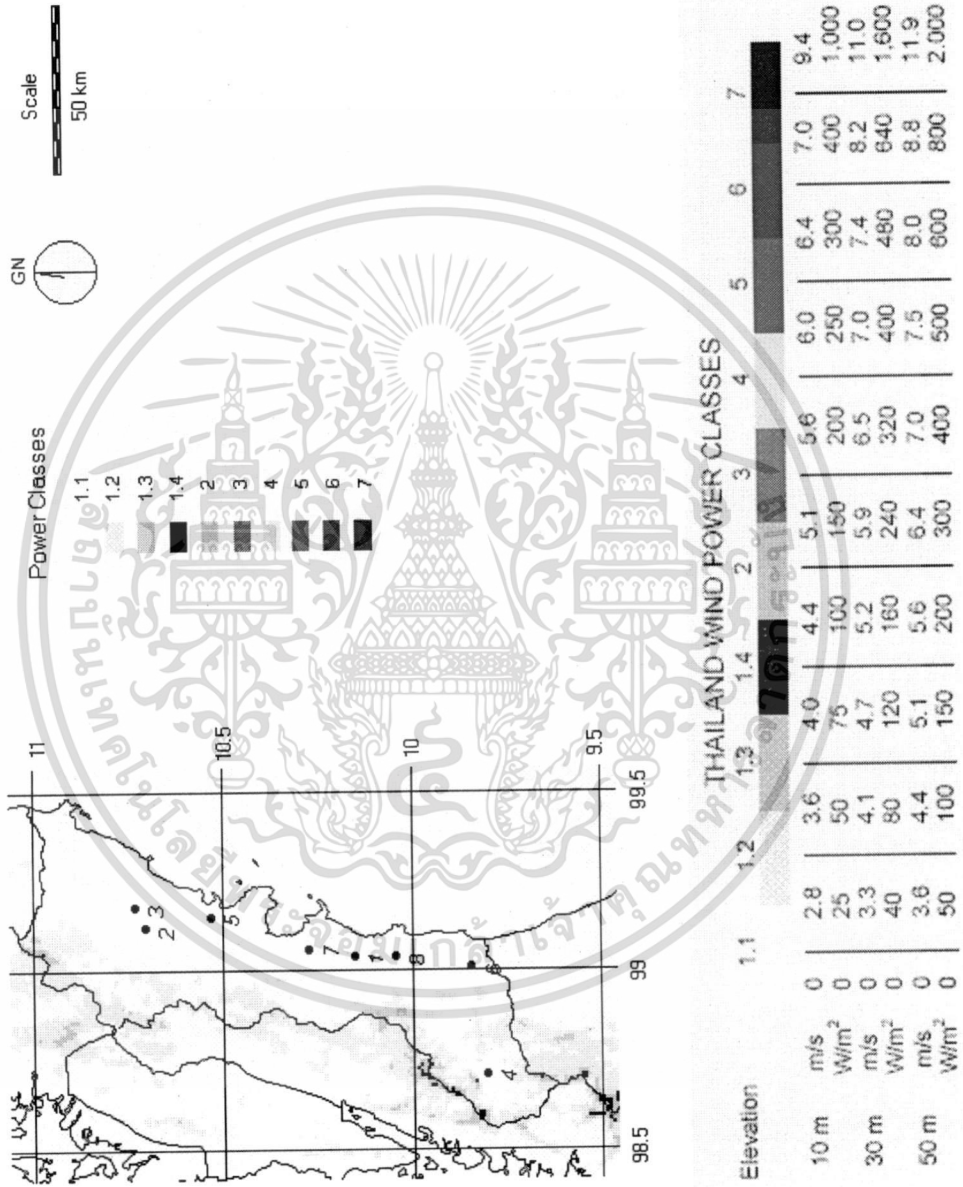
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.ชุมพร รวมทั้งลมสงบ - พฤษภาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - MAY

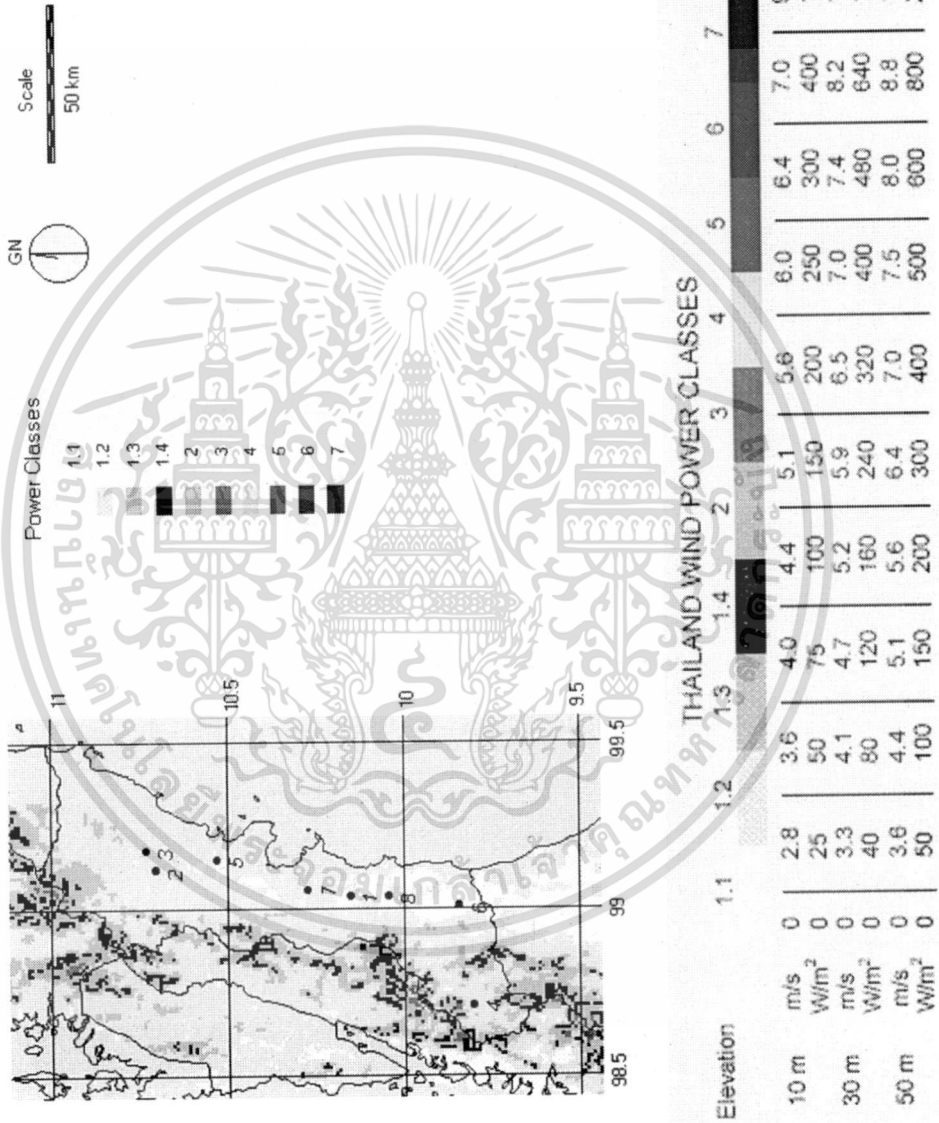
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - พฤษภาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM - JUNE

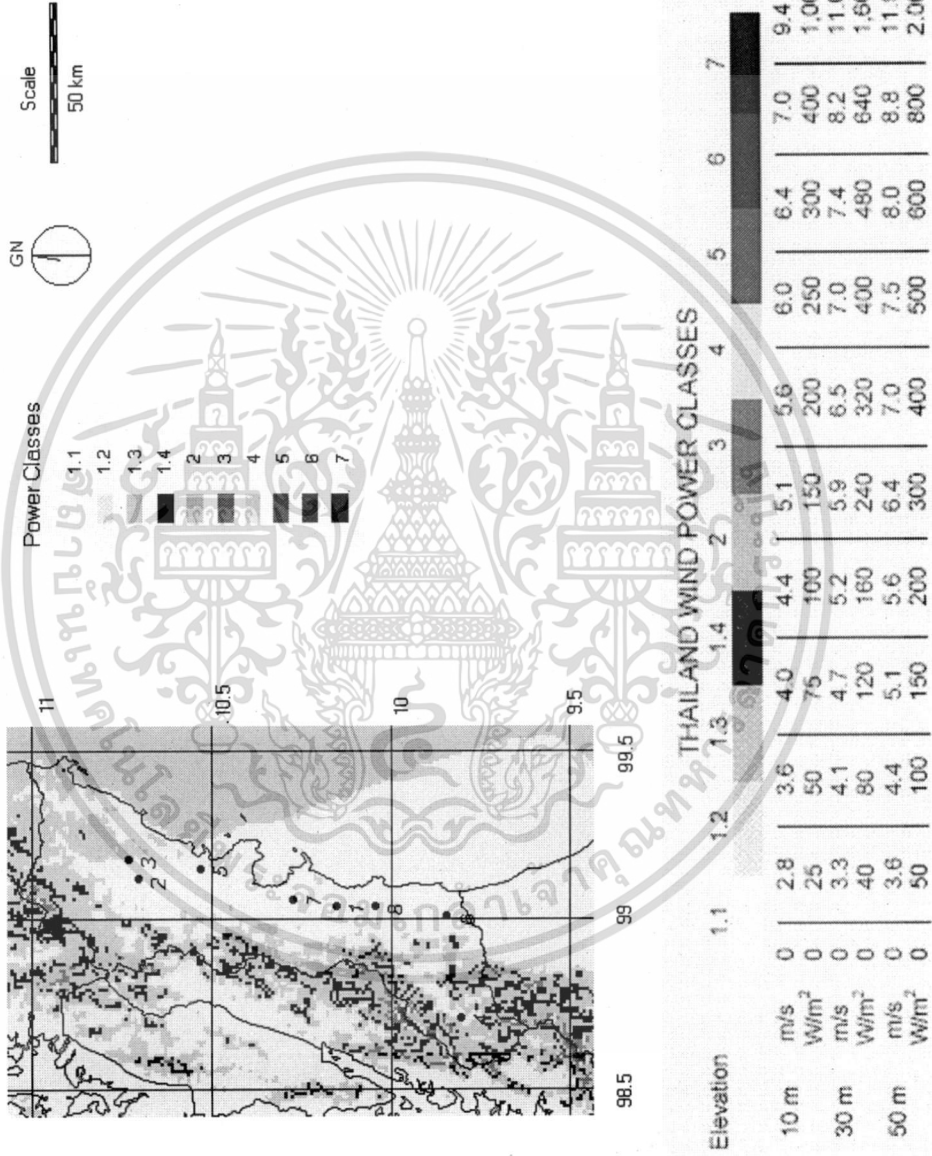
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.ชุมพร รวมช่วงลมสงบ - มิถุนายน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM – JULY

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - กรกฎาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM – AUGUST

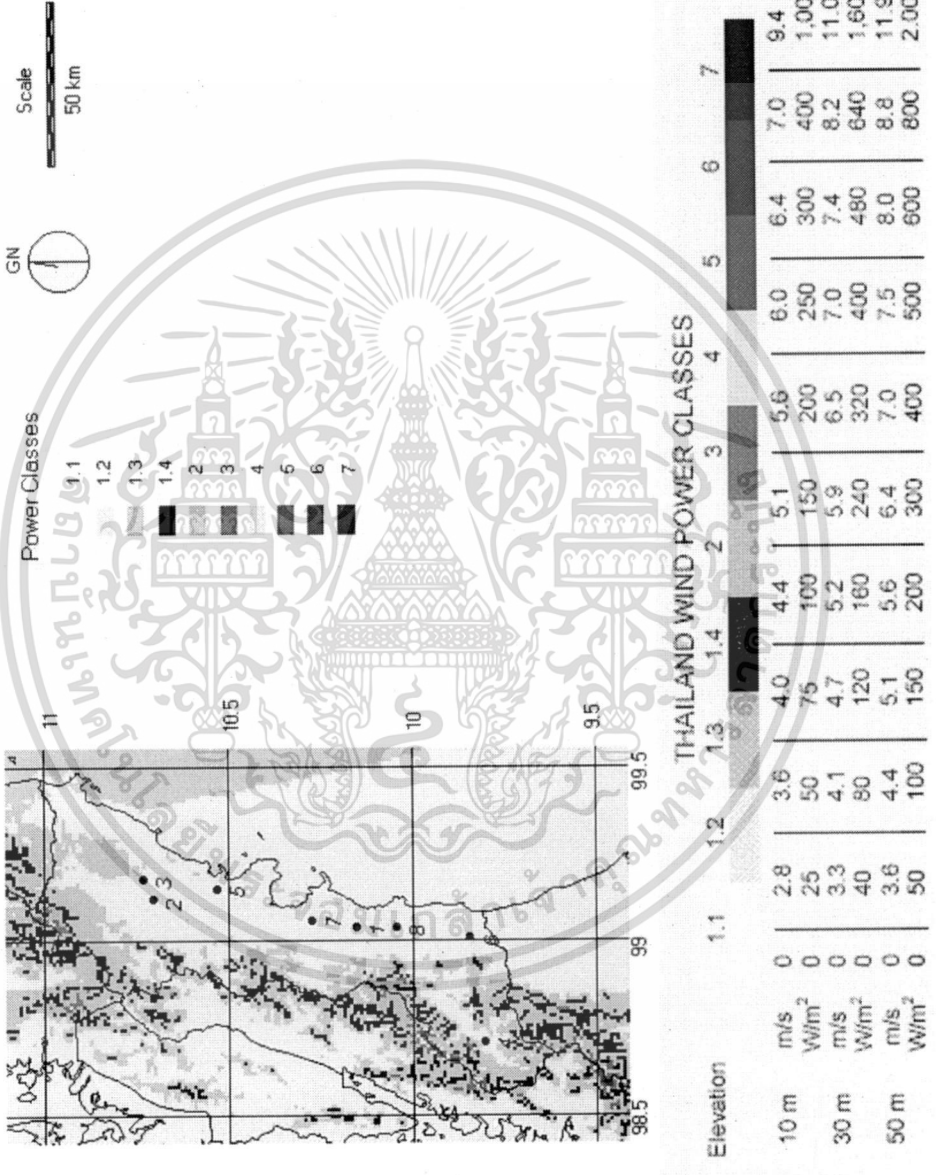
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร รวมทั้งลมสงบ - สิงหาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - AUGUST

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - สิงหาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM – SEPTEMBER

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร รวมช่วงลมสงบ - กันยายน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - SEPTEMBER

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - กันยายน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM - OCTOBER

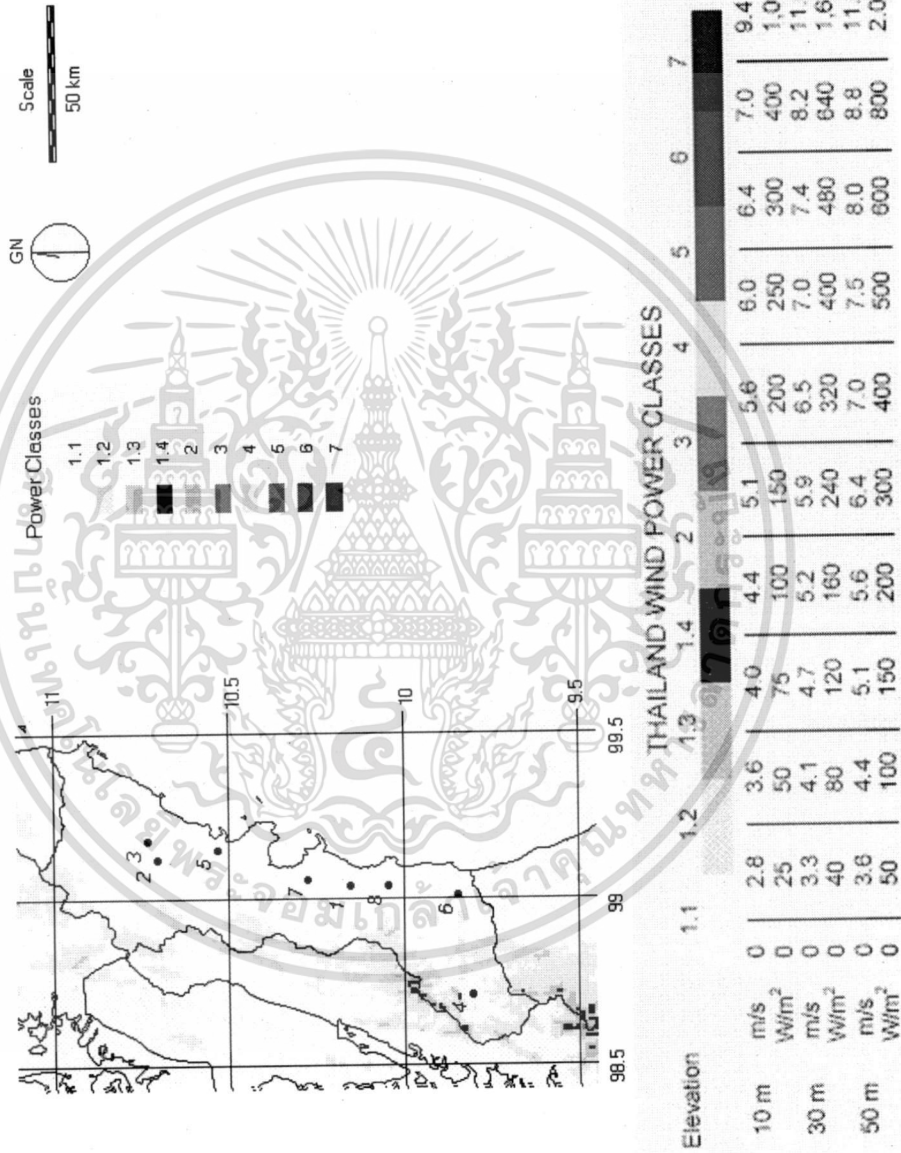
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม ๑. ตุลาคม รวมช่วงลมสงบ - ตุลาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP EXCLUDING CALM - OCTOBER

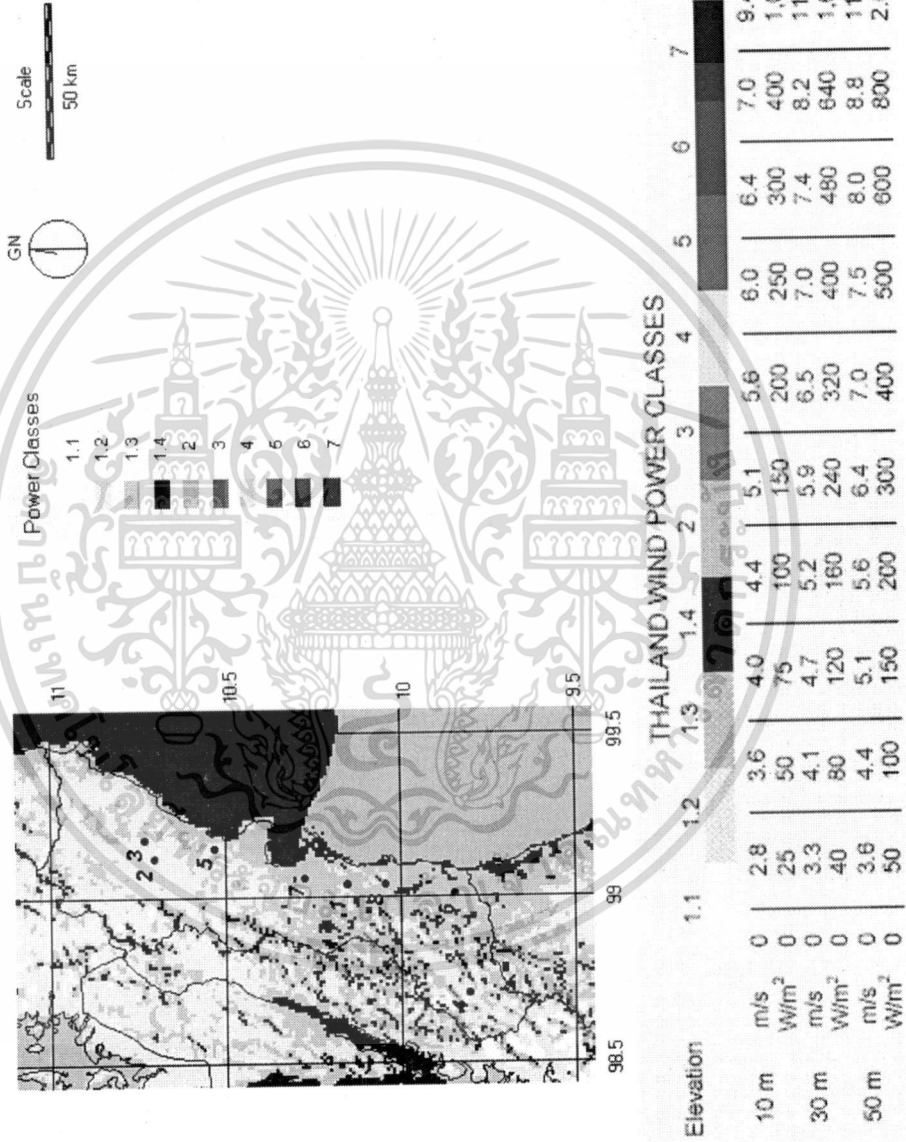
แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ. ชุมพร ไม่รวมช่วงลมสงบ - ตุลาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวชนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHUM PHON WIND MAP INCLUDING CALM – NOVEMBER

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม และลมสงบ รวมช่วงลมสงบ - พฤศจิกายน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้