

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
คำนำ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
1.3 ขอบเขตการวิจัย	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 พลังงานลม	9
2.2 เงื่อนไขของลม (Wind Conditions)	11
2.2.1 ลมในช่วงระยะเวลาสั้น (Short Term Wind)	11
2.2.2 ลมในช่วงระยะเวลายาว (Long Term Wind)	12
2.2.3 ลมขีดสุด (Extreme Winds)	13
2.3 หลักการของ Computational Fluid Dynamics (CFD)	16
2.3.1 Reynolds number and Turbulence	20
2.3.2 Turbulent Kinetic Energy	20
2.3.3 TKE Budget	21
2.3.4 $k - \epsilon$ Turbulence Model	22
2.3.5 <i>TKE</i> และ <i>TI</i>	23
2.3.6 Turbulence Intensity	23
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.1 พื้นที่ศึกษา	33
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	33
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์วัดต่างๆ	35
3.4 การประเมินศักยภาพของพลังงานลมนอกชายฝั่ง	41
บทที่ 4 ผลการศึกษา	43
4.1 สถานีวัดลมปากพนัง	43
4.1.1 อัตราการได้รับข้อมูล (Data Recovery Rate, %)	43

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
4.2 สถานีวัดลมเกาะพะงัน	44
4.2.1 อัตราการได้รับข้อมูล (Data Recovery Rate, %)	44
4.2.2 อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน	44
4.3 ผังลม (Wind Rose)	46
4.4 การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull Distribution)	46
4.5 การประมาณค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี	49
4.6 ต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้า (Cost of Energy) จากโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุป	73
3.2 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ระยะขรุขระของสภาพพื้นผิว	10
ตารางที่ 2.2	สถานภาพโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล	15
ตารางที่ 2.3	รูปแบบค่าคงที่มาตราฐาน $k - \epsilon$	22
ตารางที่ 2.4	รูปแบบค่าคงที่ที่ปรับแต่ง $k - \epsilon$	23
ตารางที่ 2.5	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในปี พ.ศ. 2554 และ กำลังการผลิตติดตั้งรวมจนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2554 จำแนกตามประเทศต่างๆ	28
ตารางที่ 3.1	พิกัดของสถานีวัดลมเกาะพะงัน อ.เกาะพะงัน และ บ้านท่าพญา อ.ปากพ่อง	33
ตารางที่ 4.1	สมมติฐานทางการเงินและเศรษฐกิจ	55

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1.1	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าสะสมรายปีทั่วโลก	1
รูปที่ 1.2	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั่วโลกรายปี	2
รูปที่ 1.3	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั่วโลกรายปีในแต่ละทวีป	2
รูปที่ 1.4	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าสะสมสูงสุด 10 อันดับแรก	3
รูปที่ 1.5	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมในปี ค.ศ. 2013 สูงสุด 10 อันดับแรก	3
รูปที่ 1.6	การคาดการณ์กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมจนกระทั่งปี ค.ศ. 2018	4
รูปที่ 1.7	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556	4
รูปที่ 2.1	พื้นที่บริเวณทะเลเหนือสำหรับการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลม นอกชายฝั่ง	14
รูปที่ 2.2	ฟาร์มกังหันลมที่สะพาน Dongbai	16
รูปที่ 2.3	กำลังการผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้านอกชายฝั่งทะเลในทวีปยุโรป จนกระทั่งปี พ.ศ. 2554	27
รูปที่ 2.4	ตำแหน่งของฟาร์มกังหันลมผลิตไฟฟ้านอกชายฝั่งทะเลขนาดใหญ่ที่สุด 22 ใน 25 อันดับแรก	29
รูปที่ 2.5	แผนที่ลมความละเอียด 3 km นอกชายฝั่งทะเลประเทศเกาหลี (รูป a) และความหนาแน่นกำลังลม (รูป b)	31
รูปที่ 2.6	แผนที่ลมเหนือความละเอียด 1 km บริเวณ Great Lakes จาก AWS TrueWind	32
รูปที่ 3.1	พื้นที่ศึกษาของโครงการวิจัย	34
รูปที่ 3.2	เซนเซอร์วัดอัตราเร็ว (ซ้าย) และทิศทางลม (ขวา)	36
รูปที่ 3.3	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รุ่น NRG #110S Temperature Sensor	37
รูปที่ 3.4	เซนเซอร์วัดความดันบรรยากาศรุ่น BP20 Barometric Pressure Sensor	37
รูปที่ 3.5	อุปกรณ์บันทึกข้อมูลรุ่น NOMAD™ II Wind Data Logger	38
รูปที่ 3.6	Solar Charge Regulator	39
รูปที่ 3.7	สถาปัตยกรรมของคลัสเตอร์	40
รูปที่ 3.8	เครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง	40
รูปที่ 3.9	ระเบียบวิธีในการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม	42
รูปที่ 4.1	อัตราการได้รับข้อมูลที่ระดับความสูง 120 m ของสถานีวัดลมปากพนัง	43
รูปที่ 4.2	อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 m ของสถานีวัดลมปากพนัง	44
รูปที่ 4.3	อัตราการได้รับข้อมูลที่ระดับความสูง 120 m ของสถานีวัดลมเกาะพะงัน	45
รูปที่ 4.4	อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 m ของสถานีวัดลมเกาะพะงัน	45
รูปที่ 4.5	ผังลมรายปีจากข้อมูลลมตรวจวัดและจากแบบจำลองบรรยากาศ RAMS	46
รูปที่ 4.6	การแจกแจงไวบูลล์	47
รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของสถานีวัดลมปากพนัง ปี ค.ศ. 2012	48
รูปที่ 4.8	เปรียบเทียบอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนสถานีวัดลมเกาะพะงันของปี ค.ศ. 2012	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 การจัดเรียงฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW บริเวณ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี G114-2.5 MW (ซ้าย) UP2000-103 (ขวา)	50
รูปที่ 4.10 การจัดเรียงฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW บริเวณ อ.ปากพั่น จ.นครศรีธรรมราช G114-2.5 MW (ซ้าย) UP2000-103 (ขวา)	50
รูปที่ 4.11 เส้นโค้งกำลัง (Power Curve) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่น UP2000-103	51
รูปที่ 4.12 เส้นโค้งกำลัง (Power Curve) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่น G114-2.5	51
รูปที่ 4.13 หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีจากฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW ในบริเวณพื้นที่ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี และ อ.ปากพั่น จ.นครศรีธรรมราช	52
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW ในบริเวณพื้นที่ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี และ อ.ปากพั่น จ.นครศรีธรรมราช	53
รูปที่ 4.15 การสูญเสียเนื่องจากอิทธิพลของเวกของฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW ในบริเวณพื้นที่ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี และ อ.ปากพั่น จ.นครศรีธรรมราช	54
รูปที่ 4.16 สัดส่วนต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW กรณีต้นทุน 65 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	55
รูปที่ 4.17 สัดส่วนต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW กรณีต้นทุน 70 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	56
รูปที่ 4.18 สัดส่วนต้นทุนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW กรณีต้นทุน 75 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	56
รูปที่ 4.19 สัดส่วนผลตอบแทนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW บริเวณ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี กรณีพิจารณาพร้อมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (บน) กรณีไม่พิจารณาพร้อมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (ล่าง)	58
รูปที่ 4.20 สัดส่วนผลตอบแทนของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 10 MW บริเวณ อ.ปากพั่น จ.นครศรีธรรมราช กรณีพิจารณาร่วมกับ กลไกพัฒนาที่สะอาด (บน) กรณีไม่พิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (ล่าง)	59
รูปที่ 4.21 ความอ่อนไหวของต้นทุนต่อดัชนีทางการเงินของโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW บริเวณ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี กรณีพิจารณาร่วมกับ กลไกพัฒนาที่สะอาด (บน) กรณีไม่พิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (ล่าง) และต้นทุนโครงการ 75 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	60
รูปที่ 4.22 ความอ่อนไหวของ AEP ต่อดัชนีทางการเงินของโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW บริเวณ อ.เกาะพะงัน จ.สุราษฎร์ธานี กรณีพิจารณาร่วมกับ กลไกพัฒนาที่สะอาด (บน) กรณีไม่พิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (ล่าง) และต้นทุนโครงการ 75 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	61

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.31 ความอ่อนไหวของต้นทุนต่อโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW บริเวณ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช กรณีพิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนา ที่สะอาด (บน) กรณีไม่พิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (ล่าง) และต้นทุนของโครงการ 65 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	71
รูปที่ 4.32 ความอ่อนไหวของ AEP ต่อโครงการโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช กรณีพิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (บน) กรณีไม่พิจารณาร่วมกับกลไกพัฒนาที่สะอาด (ล่าง) และต้นทุนของโครงการ 65 ล้านบาทต่อเมกะวัตต์	72