



203380

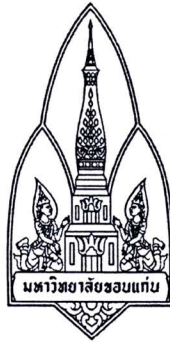


การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมผลิต
ไฟฟ้าด้วยระบบวิธีหาคำตอบฮาร์โมนี

ECONOMIC DISPATCH PROBLEM SOLVING BY HARMONY SEARCH
ALGORITHM FOR POWER GENERATION SYSTEM
INTEGRATING WIND ENERGY
CONVERSION SYSTEM

นายศักดิ์พงศ์ โฉมคำ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553



การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมผลิต
ไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีการหาคำตอบฮาร์โมนี
ECONOMIC DISPATCH PROBLEM SOLVING BY HARMONY SEARCH
ALGORITHM FOR POWER GENERATION SYSTEM
INTEGRATING WIND ENERGY
CONVERSION SYSTEM

นายศักยพงศ์ โง่นคำ



วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมผลิต
ไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีการหาคำตอบฮาโมนี

นายศักยพงศ์ โง่นคำ

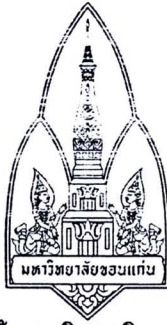
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

**ECONOMIC DISPATCH PROBLEM SOLVING BY HARMONY SEARCH
ALGORITHM FOR POWER GENERATION SYSTEM
INTEGRATING WIND ENERGY
CONVERSION SYSTEM**

MR. SUKAYAPONG NGONKHAM

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

2010



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อวิทยานิพนธ์: การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า
ด้วยระเบียบวิธีการหาคำตอบฮามิลตัน

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายศักยพงศ์ โง่นคำ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ดร. บงกช สุขอนันต์	ประธานกรรมการ
	ดร. อนุชา แสงรุ่ง	กรรมการ
	ดร. ปานหทัย บัวศรี	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. ปานหทัย บัวศรี)



(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมัตย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



(รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก อีระกุลพิศุทธิ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศักยพงศ์ โง่นคำ. 2553. การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบที่มีการติดตั้ง
กังหันลมผลิตไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีการหาคำตอบฮาร์โมนี. วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ดร. ปานหทัย บัวศรี

บทคัดย่อ

203380

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการจัดสรรกำลังการผลิตให้เหมาะสมตามหลัก
เศรษฐศาสตร์สำหรับระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการ
ลดภาระการใช้น้ำมันในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง
หลักที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่อง ซึ่งมีการพิจารณาผลจากการเปิดและ
ปิดวาล์ว (Valve point effect) โดยพิจารณาในรูปแบบของการวางแผนการผลิตกำลังในหนึ่งวัน
ซึ่งแบ่งออกเป็น 24 คาบเวลา ตั้งแต่เวลา 01.00-24.00 น. คาบเวลาละ 1 ชั่วโมง ซึ่งใน
การศึกษาได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบที่มีการติดตั้งกังหันลมขนาดเล็ก (1 MW) และระบบขนาดใหญ่
(> 2 MW) โดยในระบบผลิตขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งกังหันลม 80 ยูนิต ได้พิจารณาการ
คำนวณด้วยความเร็วลมที่ไม่คงที่ ซึ่งเกิดจากผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) โดยใช้วิธีการ
คำนวณด้วยวิธีแบบการหาคำตอบแบบฮาร์โมนี (Harmony search algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่า
ต่ำสุด (Minimization) แบบอาศัยการคำนวณแบบสุ่ม (Heuristic) ที่สามารถหลีกเลี่ยงการพบ
คำตอบที่เป็นค่าเหมาะสมเฉพาะถิ่น (Local optimal) ทำให้คำตอบที่ได้สามารถเข้าใกล้คำตอบ
เหมาะสมที่สุดโดยรวม (Global optimal) ได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังไม่ต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้น
ของคำตอบอีกด้วย โดยนำผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบ
พันธุกรรม (Genetic algorithm) และระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบจุดภายใน (Interior point
methods) โดยอาศัยข้อมูลดิบในการคำนวณจากการเก็บข้อมูลทางสถิติของความเร็วลมใน
ประเทศไอร์แลนด์และประเทศไทย เพื่อนำมาคำนวณข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม HOMER
เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปแก้ปัญหาการจ่ายโหลดต่อไป โดยพิจารณาเงื่อนไขในการคำนวณซึ่ง
ประกอบไปด้วยเงื่อนไขการจ่ายกำลังให้เพียงพอต่อความต้องการโหลด (Total load demand) ขีด
การจำกัดของการจ่ายกำลัง (Generation limit) ขีดจำกัดการเพิ่มหรือลดกำลังของเครื่องกำเนิด
ไฟฟ้า (Ramp rate limit) ซึ่งการคำนวณความต้องการโหลดและความเร็วลมจะใช้โปรแกรม
HOMER ส่วนการคำนวณในส่วนอื่น ๆ ทั้งหมดคำนวณโดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา
MATLAB จากการทดลองแก้ปัญหาการจ่ายโหลดพบว่าระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบฮาร์โมนี
สามารถหาคำตอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองวิธี โดยการกำหนดค่าเริ่มต้น (Harmony
considering rate, HMCR) (Harmony memory size, HMS) (Pitch adjust rate, PAR) ที่ 10,

203380

0.8, 0.1 และมีการคำนวณทั้งสิ้น 100,000 รอบ แต่การหาคำตอบแบบฮาโมนีนนั้นเป็นการใช้การคำนวณแบบสุ่มเลือกคำตอบ ทำให้ผลจากการคำนวณในแต่ละรอบมีค่าไม่เท่ากันอีกครั้งการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมส่งผลอย่างมากเพื่อให้ได้คำตอบที่ดี โดยมีหลักการกำหนดค่าตัวแปรคือควรให้ HMS และจำนวนรอบในการคำนวณมีค่ามาก และควรกำหนดให้ค่าของตัวแปร HMCR มีค่าอยู่ประมาณ 0.7-0.9 และ PAR มีค่าต่ำกว่า 0.2 แต่ไม่ควรต่ำกว่า 0.1 และเมื่อพิจารณาผลของการติดตั้งกั้นลมส่งผลให้ต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวางแผนการจ่ายมีค่าลดลง 0.57 % ในระบบขนาดเล็กและ 4.8 % ระบบขนาดใหญ่ และการพิจารณาผลจากการพิจารณาผลของการเกิดเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) ทำให้ค่าเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 0.17 % จะเห็นได้ว่าจากการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเปิดและปิดวาล์ว (Valve point effect) และ เวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) ส่งผลเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดของระบบเพียงเล็กน้อยดังนั้นในทางปฏิบัติอาจมีการละเว้นเงื่อนไขดังกล่าวเพื่อที่จะสามารถนำวิธีอื่นๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายมากขึ้น

Sukayapong Ngonkham. 2010. *Economic Dispatch Problem Solving by Harmony Search Algorithm for Power Generation System Integrating Wind Energy Conversion System*. Master of Engineering thesis in Electrical, Graduate School, Khon kaen University.

Thesis Advisor: Dr. Panhathai Buasri

ABSTRACT

203380

This thesis presents the method for solving the economic dispatch (ED) incorporated wind energy conversion system (WECS). The ED is an optimization problem which aims to minimize the total cost during the operation period. This study is to handle a power generation planning with valve point effect consideration among the day time periods (01:00 am -24:00 pm) with constraints; total load demand, power generation limit and ramp rate limit. In this study, optimization technique; Harmony search algorithm (HS) has been focused to solve ED when system is connected and disconnected to WECS. The small (1 MW) and large (> 2 MW) wind energy conversion systems are used in this study. The WECS can generated power of 100 KW overall and connected to 10 diesel-generator units. The wind speed and daily load data is predicted by "HOMER", that is a simulation program to solve power system incorporated renewable energy sources system. After that the predicted data from HOMER is used as input for testing the system and using proposed algorithm by Matlab. The wake effect and valve point effect are included to simulate with ED and then the results are compared with Genetic algorithm (GA), Interior point methods (ITP) which illustrate that HS can improve the solution better than GA about 4.02 % and ITP about 2.46 %, respectively. Under conditions: 100,000 iterations, HMS = 10, HMCR = 0.8, PAR = 0.1, its result of the system which is connected to WECS operation could reduced operation cost 0.57 % and 4.8 % for small scale WECS and large scale WECS, respectively. And the wake effect gives the operation cost increasing 0.17 %. The suggestion for setting HS parameter is based on trails and errors experiments which purpose ($HMS > 10$, $0.7 < HMCR < 0.9$, $0.1 < PAR < 0.2$). From this study, valve point effect and wake effect impact the ED slightly. Thus, in the practical work, it could apply the other optimization algorithms when ignoring these conditions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้มิได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยตัวข้าพเจ้าเพียงผู้เดียว หากแต่เกิดจากความอนุเคราะห์ของบุคลากรที่ทรงคุณวุฒิในด้านต่าง ๆ ซึ่งข้าพเจ้าขอใช้วาระนี้แสดงความขอบพระคุณต่อผู้มีอุปการคุณ ดังรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ สำหรับโอกาสในการศึกษา และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งอย่างหาที่เปรียบมิได้

ขอขอบพระคุณ ดร.ปานหทัย บัวศรี ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และทุนวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.อานูภาพ มีสมบุรณ์ ที่ให้ความรู้และคำปรึกษาในรายวิชา Intro optimization techniques ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.อนุชา แสงรุ่ง กรรมการสอบและอาจารย์ประจำวิชา Intelligent system ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดต่าง ๆ อันเป็นแนวทางทำให้เกิดองค์ความรู้ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนการอ่าน การตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร.บงกช สุขอนันต์ กรรมการสอบ สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย การอ่านและตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ศักยพงศ์ โฉ่นคำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1 วรรณกรรมปริทัศน์การหาคำตอบแบบฮาโมนี	4
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์การแก้ปัญหาคำตอบอย่างประหยัดและ กึ่งหันลม	5
บทที่ 3 กำหนดปัญหา	
3.1 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด	7
3.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า	10
3.3 การแก้ปัญหาคำตอบอย่างประหยัดกับระบบทดสอบ	20
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิต	25
3.5 ความต้องการใช้พลังงาน (Load)	39
3.6 การคำนวณความเร็วลมและความต้องการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม HOMER	42
บทที่ 4 วิธีการแก้ปัญหาที่น่าสนใจ	
4.1 ระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบฮาโมนี	47
4.2 ระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบพันธุกรรม	51
4.3 ระเบียบวิธีการหาคำตอบแบบจุดภายใน	53
บทที่ 5 การออกแบบทดลองและผลการทดลอง	
5.1 การออกแบบการทดลอง	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ผลการทดสอบ	67
5.3 สรุปผลการทดลอง	78
บทที่ 6 บทสรุปและข้อคิดเห็น	
6.1 บทสรุป	80
6.2 ข้อคิดเห็น	83
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองในบทที่ 3 และผลการทดสอบเพิ่มเติม	88
ภาคผนวก ข ข้อมูลระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองในบทที่ 5 และผลการทดสอบเพิ่มเติม	96
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการคำนวณค่าของระเบียบ HS และ GA	130
ภาคผนวก ง แผนภาพการทำงานของโปรแกรม	133
ภาคผนวก จ ข้อมูลความต้องการใช้พลังงานที่ใช้ทำการทดสอบ และ ข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมง	135
การเผยแพร่วิทยานิพนธ์	138
ประวัติผู้เขียน	140

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ประเภทของบัสในระบบ	11
ตารางที่ 3.2 ระบบที่ใช้ทดสอบ: กรณีศึกษาที่ 1	20
ตารางที่ 3.3 ระบบที่ใช้ทดสอบ: กรณีศึกษาที่ 2	21
ตารางที่ 3.4 ระบบที่ใช้ทดสอบ: กรณีศึกษาที่ 3	22
ตารางที่ 3.5 การกำหนดค่าเริ่มต้นแก่ HS และ GA	23
ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบ กรณีศึกษาที่ 1	24
ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบ กรณีศึกษาที่ 2	24
ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบ กรณีศึกษาที่ 3	25
ตารางที่ 3.9 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมที่ทำการศึกษา	27
ตารางที่ 3.10 แสดงสัมประสิทธิ์ α ในแต่ละแถว	33
ตารางที่ 5.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิง	57
ตารางที่ 5.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม	58
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลความเร็วลมและความต้องการโหลดที่ใช้ในการทดลอง	61
ตารางที่ 5.4 กำลังการผลิตที่ลดลงพิจารณาที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4.975 m/s	64
ตารางที่ 5.5 กำลังการผลิตที่ลดลงพิจารณาที่ความเร็วลมเฉลี่ย 9.5 m/s	65
ตารางที่ 5.6 การเชื่อมต่อกับกังหันขนาด 2 MW	66
ตารางที่ 5.7 การวางแผนการจ่ายโหลดตั้งแต่ เวลา 01:00-24:00 น. ก่อนการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า	67
ตารางที่ 5.8 กังหันลมขนาด 1 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	68
ตารางที่ 5.9 กังหันลมขนาด 1 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	69
ตารางที่ 5.10 การเชื่อมต่อกับกังหันลมขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	70
ตารางที่ 5.11 การเชื่อมต่อกับกังหันลมขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	71
ตารางที่ 5.12 การเชื่อมต่อกับกังหันลมขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	72
ตารางที่ 5.13 การเชื่อมต่อกับกังหันลมขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	73
ตารางที่ 5.14 การเชื่อมต่อกับกังหันลม 2 MW โดยไม่พิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีที่ 1	74
ตารางที่ 5.15 การเชื่อมต่อกับกังหันลม 2 MW โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีที่ 2	75
ตารางที่ 5.16 การเชื่อมต่อกับกังหันลม 2 MW โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีที่ 3	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.17 การเชื่อมต่อกังหันลม 2 MW โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีที่ 4	77
ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการหาคำตอบแต่ละวิธี	81
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสายส่งระบบทดสอบที่ 3	90
ตารางที่ ก.2 รายละเอียดแต่ละบัสของระบบทดสอบที่ 3	91
ตารางที่ ก.3 ผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีแบบพันธุกรรม	93
ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณด้วยระเบียบแบบจุดภายใน	94
ตารางที่ ก.5 ผลการคำนวณด้วยระเบียบแบบฮามอนี่	95
ตารางที่ ข.1 กรณีไม่มีการเชื่อมต่อกังหันลม	97
ตารางที่ ข.2 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	98
ตารางที่ ข.3 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	99
ตารางที่ ข.4 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	100
ตารางที่ ข.5 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	101
ตารางที่ ข.6 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	102
ตารางที่ ข.7 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	103
ตารางที่ ข.8 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW แต่ไม่พิจารณาผลจาก เวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีศึกษาที่ 1	104
ตารางที่ ข.9 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 2	105
ตารางที่ ข.10 การเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 3	106
ตารางที่ ข.11 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 4	107
ตารางที่ ข.12 กรณีการเชื่อมไม่มีการเชื่อมต่อกังหันลม	108
ตารางที่ ข.13 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	109
ตารางที่ ข.14 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	110
ตารางที่ ข.15 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	111
ตารางที่ ข.16 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	112
ตารางที่ ข.17 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s	113
ตารางที่ ข.18 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s	114
ตารางที่ ข.19 กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW แต่ไม่พิจารณาผลจาก เวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีศึกษาที่ 1	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข.20	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 2
ตารางที่ ข.21	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 3
ตารางที่ ข.22	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 4
ตารางที่ ข.23	กรณีการเชื่อมต่อไม่มีการเชื่อมต่อกังหันลม
ตารางที่ ข.24	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1 MW ความเร็วลม 4.975 m/s
ตารางที่ ข.25	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1 MW ความเร็วลม 9.5 m/s
ตารางที่ ข.26	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s
ตารางที่ ข.27	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 1.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s
ตารางที่ ข.28	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 4.975 m/s
ตารางที่ ข.29	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2.5 MW ความเร็วลม 9.5 m/s
ตารางที่ ข.30	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW แต่ไม่พิจารณาผลจาก เวกเอฟเฟกต์ (Wake effect) กรณีศึกษาที่ 1
ตารางที่ ข.31	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 2
ตารางที่ ข.32	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 3
ตารางที่ ข.33	กรณีการเชื่อมต่อกังหันลม ขนาด 2 MW กรณีศึกษาที่ 4
ตารางที่ ค.1	ผลการทดสอบเชิงสถิติในการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีแบบระเบียบ วิธีแบบฮาโมนี
ตารางที่ ค.2	ผลการทดสอบเชิงสถิติในการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีแบบระเบียบ วิธีแบบพันธุกรรม
ตารางที่ จ.1	ข้อมูลความต้องการใช้พลังงานที่ใช้ทำการเป็นต้นข้อมูลดิบก่อนการ คำนวณด้วย HOMER
ตารางที่ จ.2	ข้อมูลความเร็วลมรายชั่วโมงที่ใช้ในการคำนวณ

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้โดยไม่พิจารณาผลจากการเปิดปิดวาล์ว	9
ภาพที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้โดยพิจารณาผลจากการเปิดปิดวาล์ว	9
ภาพที่ 3.3 แสลงบัส	11
ภาพที่ 3.4 บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	11
ภาพที่ 3.5 โหลดบัส	11
ภาพที่ 3.6 รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 1	20
ภาพที่ 3.7 รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 2	20
ภาพที่ 3.8 รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 3	22
ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิต	27
ภาพที่ 3.10 การกระจายตัวแบบวิบูล	28
ภาพที่ 3.11 กำลังที่ได้จากการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันที่มีขนาดแตกต่างกัน	29
ภาพที่ 3.12 กำลังได้จากการกระแสลมผ่านกังหันลม	30
ภาพที่ 3.13 ความเร็วลมที่ผ่านกังหันลมหลาย ๆ ตัว	31
ภาพที่ 3.14 ระบบกังหันลมขนาด 80 ยูนิต	32
ภาพที่ 3.15 ทิศทางกระแสลมที่ใช้พิจารณาในกรณีศึกษาที่ 1	33
ภาพที่ 3.16 วงจรสมมูลของวินฟาร์ม (Wind farm) ที่อยู่ในแถวเดียวกัน กรณีศึกษาที่ 1	34
ภาพที่ 3.17 การเปลี่ยนรูปพลังของกังหันลมขนาด 2 MW 80 ยูนิต โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (wake effect) กรณีที่ 1	34
ภาพที่ 3.18 ทิศทางกระแสลมที่ใช้พิจารณาในกรณีศึกษาที่ 2	35
ภาพที่ 3.19 วงจรสมมูลของวินฟาร์ม (wind farm) ที่อยู่ในแถวเดียวกันกรณีศึกษาที่ 2	36
ภาพที่ 3.20 การเปลี่ยนรูปพลังของกังหันลมขนาด 2 MW 80 ยูนิต โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (wake effect) กรณีที่ 2	36
ภาพที่ 3.21 ทิศทางกระแสลมที่ใช้พิจารณาในกรณีศึกษาที่ 3	37
ภาพที่ 3.22 วงจรสมมูลของวินฟาร์ม (wind farm) ที่อยู่ในแถวเดียวกันกรณีศึกษาที่ 3	38
ภาพที่ 3.23 การเปลี่ยนรูปพลังของกังหันลมขนาด 2 MW 80 ยูนิต โดยพิจารณาผลของเวกเอฟเฟกต์ (wake effect) กรณีที่ 3	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.24	ค่าความต้องการโหลดประเภทครัวเรือน
ภาพที่ 3.25	แผนภาพการปรับปรุงการจ่ายโหลดที่น่าเสนอ
ภาพที่ 3.26	ภาระการจ่ายโหลดที่ลดลง
ภาพที่ 3.27	แผนภาพขั้นตอนการคำนวณความเร็วลมด้วยโปรแกรม HOMER
ภาพที่ 3.28	แผนภาพขั้นตอนการคำนวณความต้องการใช้พลังงาน HOMER
ภาพที่ 4.1	วิธีการหาคำตอบ HS
ภาพที่ 4.2	วิธีการหาคำตอบด้วย GA
ภาพที่ 4.3	เส้นทางการลู่เข้าของคำตอบแบบ ITP
ภาพที่ 4.4	วิธีการหาคำตอบด้วย ITP
ภาพที่ 5.1	ระบบการเชื่อมต่อกังหันลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำลอง
ภาพที่ 5.2	แผนผังระบบทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2
ภาพที่ 5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิตของกังหันลม 1 MW
ภาพที่ 5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิตของกังหันลม 1.5 MW
ภาพที่ 5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิตของกังหันลม 2 MW
ภาพที่ 5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังการผลิตของกังหันลม 2.5 MW
ภาพที่ 5.7	ความเร็วลมรายชั่วโมงของประเทศไทย
ภาพที่ 5.8	ความเร็วลมรายชั่วโมงของประเทศไอร์แลนด์
ภาพที่ 5.9	พลังงานลมที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยความเร็วลมของประเทศไอร์แลนด์
ภาพที่ 5.10	พลังงานลมที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยความเร็วลมของประเทศไทย
ภาพที่ ก.1	รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 1
ภาพที่ ก.2	รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 2
ภาพที่ ก.3	รูปร่างแผนภาพระบบทดสอบที่ 3
ภาพที่ ก.4	ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส
ภาพที่ ง.1	แผนภาพการทำงานของโปรแกรมที่คำนวณในบทที่ 3
ภาพที่ ง.2	แผนภาพการทำงานของโปรแกรมที่คำนวณในบทที่ 5