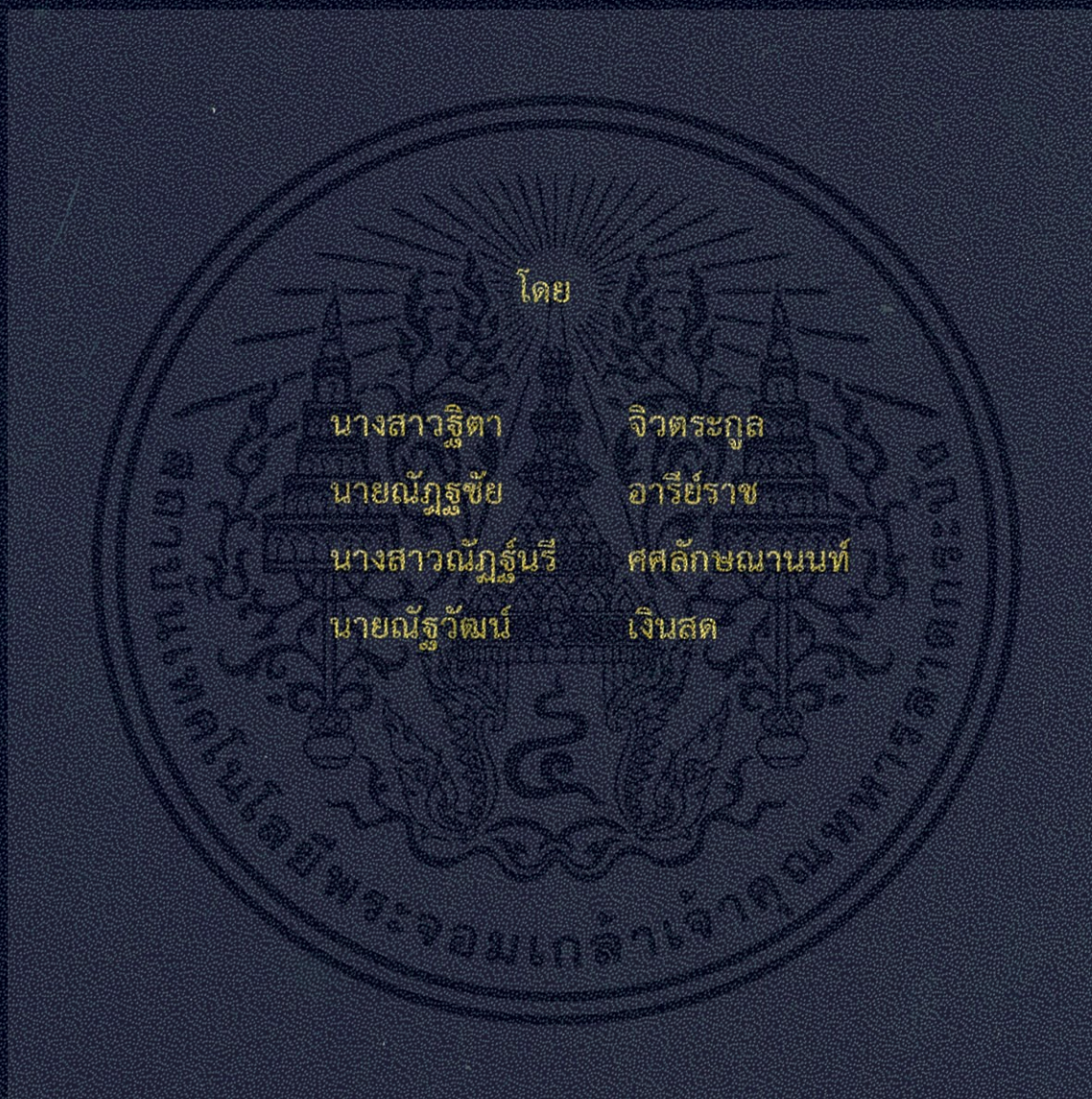


การศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กทำการติดตั้ง
ทุ่งกังหันลมเข้าสู่ระบบ

System Impact Study after a Small Power Producer install
a Wind Farm into Distribution System



โดย

นางสาวฐิตา

จิวัตรระกูล

นายณัฐชัย

อารีย์ราช

นางสาวณัฐนรี

ศศลักษณ์านนท์

นายณัฐวัฒน์

เงินสด

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

การศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กทำการติดตั้ง
ทุ่งกังหันลมเข้าสู่ระบบ
System Impact Study after a Small Power Producer install
a Wind Farm into Distribution System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System Impact Study after a Small Power Producer install a Wind Farm into Distribution System



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

การศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กทำการติดตั้ง
ฟุ้งกังหันลมเข้าสู่ระบบ
(System Impact Study after a Small Power Producer install
a Wind Farm into Distribution System)



โดย

นางสาวฐิตา

จิวัตรระกุล

นายณัฐชัย

อารีย์ราช

นางสาวณัฐนรี

ศศลักษณ์านนท์

นายณัฐวัฒน์

เงินสด

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชาย

ชมภูอินไหว

รศ.ดร.มณฑล

ลีลาจินดาไกรฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กทำกาติดตั้ง
ฟุ้งกิ้งหันลมเข้าสู่ระบบ

ผู้จัดทำ

1. นางสาวฐิตา จิวตระกูล
2. นายณัฐชัย อารีรัช
3. นางสาวณัฐนรี ศศลักษณ์านนท์
4. นายณัฐวัฒน์ เงินสด


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาย ชมภูอินไหว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์)

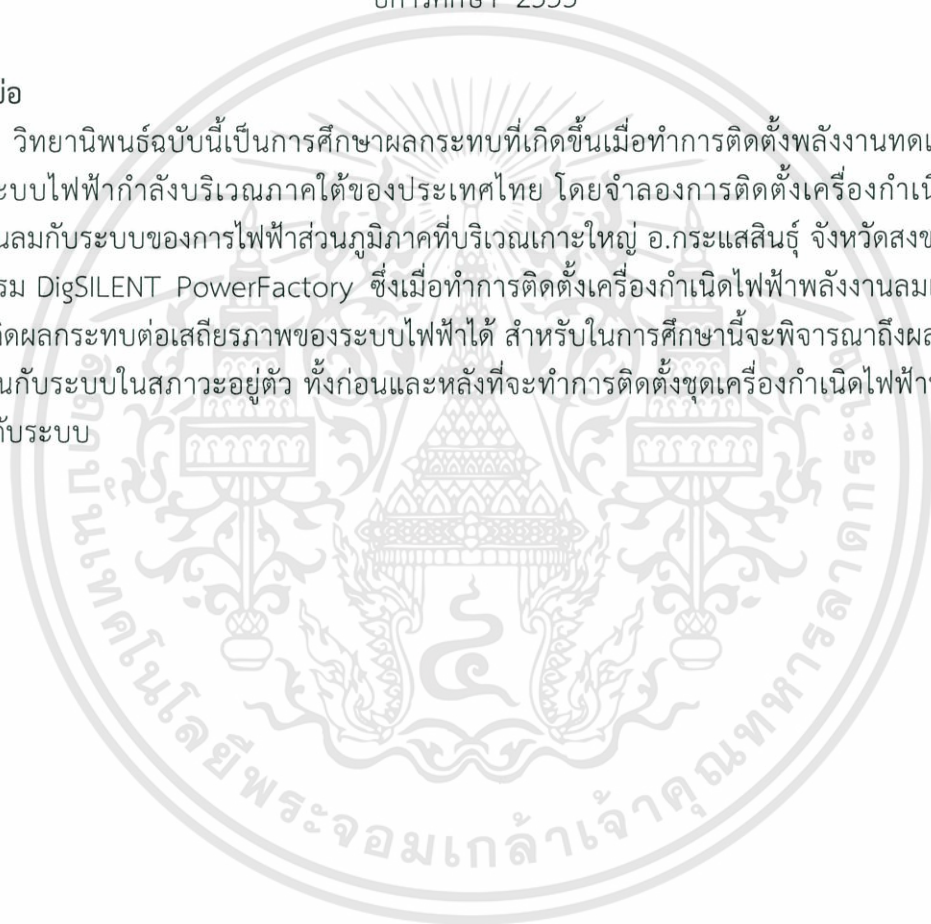
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กทำกาติดตั้ง
ทุ้งกั้งหันลมเข้าสู่ระบบ

นางสาวจิตตา จิวตระกูล
นายณัฏฐชัย อารีรัชช
นางสาวณัฏฐ์นรี ศศลักษณ์านนท์
นายณัฐวัฒน์ เงินสด
ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งพลังงานทดแทนเพิ่ม
เข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย โดยจำลองการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
พลังงานลมกับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา ด้วย
โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมแล้วอาจ
ทำให้เกิดผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ สำหรับในการศึกษานี้จะพิจารณาถึงผลกระทบ
ที่เกิดขึ้นกับระบบในสถานะอยู่ตัว ทั้งก่อนและหลังที่จะทำการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงาน
ลมเข้ากับระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System Impact Study after a Small Power Producer install a Wind Farm into Distribution System

Thita Jewtrakul

Nattachai Arrerath

Natnaree Sasaluksananon

Natthawat Ngoensot

Assist. Prof. Dr. Chai Chompoo-inwai Supervisor

Assoc. Prof. Dr. Monthon Leelajindakairek Supervisor

Year 2012

ABSTRACT

This thesis is study about Impact Study while connected renewable energy to the electrical system where located in the south region of Thailand. By simulating the installed wind power generator with Provincial Electricity Authority (PEA) grid system by DigSILENT PowerFactory program in area of Khaoyai ,Songkhla . Due to when integrated wind generation to grid may be occur unexpected accidents which involved in system stability during fault or specify condition. Therefore this thesis purposes effect of impacts in Steady-State and consider in voltage stability during specify dynamic condition which compared the results before and after install wind generator.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาย ชมพูอินทิว และรองศาสตราจารย์ ดร. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมไปถึงคุณ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณรัตติยา หารราชพิพัฒน์ คุณเผด็จ ไชยมงคล คุณพัฒนพันธ์ บุญทอง และคุณพรทิพย์ ศรีมงคล กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่คอยสละเวลา และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมากในปริญญานิพนธ์เรื่องนี้

ขอขอบพระคุณพี่ๆทุกท่านที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและนอกภาควิชาที่ทำให้กำลังใจในการทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณกมลวรรณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจ จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	V
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีการเกิดลมและความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานลม	4
2.2 สถานการณ์ของพลังงานลมในปัจจุบัน	4
2.2.1 การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทน อย่างกว้างขวาง	4
2.2.2 การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับ สถานการณ์	4
2.2.3 การแก้ไขกฎหมายและกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน	4
2.2.4 การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน	4
2.2.5 การประชาสัมพันธ์และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน	4
2.2.6 การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรม พลังงานทดแทนแบบครบวงจร	4
2.3 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า	5
2.4 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	5
2.4.1 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง	6
2.4.2 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน	6
2.5 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า (ชนิดแกนหมุนแนวนอน)	6
2.5.1 ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade)	7
2.5.2 ชุดห้องเครื่อง (Nacelle)	7
2.5.3 ชุดเสา (Tower)	9
2.5.4 ฐานราก (Foundation)	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน	10
2.7 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	11
2.7.1 กังหันลมขนาดไมโคร (Micro Wind Turbine)	12
2.7.2 กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	12
2.7.3 กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	12
2.7.4 กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	12
2.7.5 กังหันลมขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	12
2.8 ความเร็วลมและกำลังลม	12
2.9 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเร็ว	14
2.10 พลังงานลมที่มีอยู่ในประเทศไทย	15
2.10.1 ลักษณะของลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	15
2.10.2 ลักษณะของลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	16
2.11 ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมจากการใช้กังหันลม	17
2.12 ระบบการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า	18
2.12.1 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว	18
2.12.2 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง	19
2.13 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า	20
2.14 โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองผลการศึกษา (DigSILENT)	20
2.14.1 คุณลักษณะทั่วไปของโปรแกรม DigSILENT PowerFactory	20
2.15 วิธีการแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีนิวตันราฟสัน	21
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	26
3.1 พื้นที่ที่ศึกษาผลกระทบ	26
3.1.1 สาเหตุการศึกษา	26
3.1.2 สาเหตุของการเลือกพิกัดของทุ่งกังหันลมที่พิกัดรวม 30 MW ซึ่งเป็นระดับ SPP	28
3.2 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้า.....	28
3.2.1 ผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 33 kV (ตอนที่ 1)	28
3.2.1.1 การคำนวณหาจำนวนกังหันลมที่สามารถติดตั้งได้สูงสุด	28
3.2.1.2 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะคงตัว	31
3.2.2 ผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 115 kV (ตอนที่ 2)	32
3.2.2.1 การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 kV ของ 3 สถานีไฟฟ้า	32
3.2.2.2 การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 kV ที่พิกัด 30 MW, 14MW, 4MW	39
3.3 สภาวะอยู่ตัว (Steady – State)	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ...	39
3.4 ชุดกั้นหม้อที่ใช้ในการศึกษา	40
3.4.1 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับลิเฟด	40
3.4.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับลิเฟด	41
3.5 วิธีทำการทดลอง	42
3.5.1 ศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ้งกั้นหม้อเข้ากับระบบ 33 kV (ตอนที่ 1)	42
3.5.2 ศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ้งกั้นหม้อเข้ากับระบบ 115 kV (ตอนที่ 2)	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง	49
4.1 ผลการจำลองติดตั้งทุ้งกั้นหม้อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ระดับแรงดัน 33 kV บริเวณพื้นที่สายสาย	49
4.2 ผลการจำลองติดตั้งทุ้งกั้นหม้อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ระดับแรงดัน 115 kV	54
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	67
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	67
5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 1	67
5.1.1.1 เปรียบเทียบผลกระทบจากปัญหาการใช้งานเกินพิกัด ของสายส่งในแต่ละเฟส	67
5.1.1.2 เปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า	67
5.1.1.3 เปรียบเทียบผลกระทบจากปัญหาแรงดันไฟฟ้าในระบบ (แรงดันตก, แรงดันเกิน)	67
5.1.1.4 เปรียบเทียบขนาดของกำลังไฟฟ้า และขนาดของกระแสขณะเกิดการลัดวงจร	67
5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง ตอนที่ 2	68
5.1.2.1 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ของระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW	68
5.1.2.2 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW	69
5.1.2.3 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัด 30 MW ทั้ง 3 สถานี ..	69
5.1.2.4 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 30 MW	69
5.1.2.5 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าระบบ 115 kV ในกรณี Base case และกรณีต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30, 14, 4 MW	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2.6 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW, 14 MW และ 4 MW เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC)	70
5.1.2.7 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดกำลัง 30 MW (ลมแรง) , กำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และกำลัง 4 MW (ลมเบา) เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC)	71
5.1.2.8 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาดพิกัด 30 MW, พิกัด 14 MW และพิกัด 4 MW ที่สถานีส่งขลา 3 (SLC)	71
5.1.2.9 เปรียบเทียบขนาดของกำลังไฟฟ้าและขนาดของกระแส ขณะเกิดการลัดวงจร	72
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	73
6.1 ที่มาและแนวคิดที่ใช้ในการทดลอง	73
6.2 สรุปผลการทดลอง	73
6.2.1 สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 1	73
6.2.2 สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 2	73
6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	74
6.3.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น	74
6.3.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา	75
6.4 ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก	ก
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการจำลอง Power Flow Analysis	ก-1
ภาคผนวก ข ข้อมูลการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ.	ข-1
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ	ค-1
ประวัติผู้เขียน	111

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า	5
2.2 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้งและกังหันลมแกนหมุนแนวนอน	6
2.3 องค์ประกอบของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน	7
2.4 เสากลมกลวงและเสาโครงถัก	9
2.5 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน	11
2.6 ลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ	13
2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่าง	13
2.8 พื้นที่หน้าตัดของใบพัดกังหันลมที่ตั้งรับกระแสลม	14
2.9 ลักษณะลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลักษณะลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	16
2.10 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว	19
2.11 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่ง	19
2.12 แผนภาพเส้นเดียวแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส I	22
2.13 Flow Chart ขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	25
3.1 แผนที่ความเร็วลมเฉลี่ยรายปีของประเทศไทย	27
3.2 Flow chart การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มตู้กังหันลม เข้ากับระบบ 33 kV (ตอนที่ 1)	29
3.3 ผังสถานีไฟฟ้าย่อยระยะโหนด feeder1	31
3.4 Flow chart การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มตู้กังหันลม เข้ากับระบบ 115 kV (ตอนที่ 2)	33
3.5 Terminal ที่ทำการศึกษา	36
3.6 Line ที่ทำการศึกษา	38
3.7 แผนผังการศึกษาวิเคราะห์ระบบในสถานะคงตัว	40
3.8 ระบบของกังหันลมที่ความเร็วปรับเปลี่ยนได้ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบดับลิเฟด	41
3.9 บัสที่ทำการสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory	42
3.10 การกำหนดจำนวนกังหันลมสูงสุด	43
3.11 การกำหนดค่ากำลังไฟฟ้า	43
3.12 การคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	44
3.13 วิธีการ Short-Circuit Calculation	44
3.14 แผนผังระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับตู้กังหันลม	45
3.15 การคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	46
3.16 วิธีการ Output Calculation Analysis	47
3.17 วิธีการ Short-Circuit Calculation	48
ก-1 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Light Load	ก-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก-2 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Light Load	ก-3
ก-3 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Light Load	ก-4
ก-4 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมเบา (4 MW)	ก-5
ก-5 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมเบา (4 MW)	ก-6
ก-6 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมปานกลาง (14 MW)	ก-7
ก-7 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมปานกลาง (14 MW)	ก-8
ก-8 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมแรง (30 MW)	ก-9
ก-9 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมแรง (30 MW)	ก-10
ก-10 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Peak Load	ก-11
ก-11 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Peak Load	ก-12
ก-12 ค่า P flow ช่วง Peak Load ลมเบา (4 MW)	ก-13
ก-13 ค่า P flow ช่วง Peak Load ลมเบา (4 MW)	ก-14
ก-14 ค่า P flow ช่วง Peak Load ลมปานกลาง (14 MW)	ก-15
ก-15 ค่า P flow ช่วง Peak Load ลมปานกลาง (14 MW)	ก-16
ก-16 ค่า P flow ช่วง Peak Load ลมแรง (30 MW)	ก-17
ก-17 ค่า P flow ช่วง Peak Load ลมแรง (30 MW)	ก-18

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ	2
2.1 ข้อมูลของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดต่างๆ	11
3.1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดของสถานีไฟฟ้าในระบบ	34
4.1 จำนวนสายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 kV	49
4.2 วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า	50
4.3 ค่าขนาดของแรงดัน (p.u.) ของระบบไฟฟ้า	51
4.4 ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ก่อนติดตั้งชุดกังหันลม	52
4.5 ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ หลังติดตั้งชุดกังหันลม	53
4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ของระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW	55
4.7 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW	56
4.8 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW	57
4.9 ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 30 MW	58
4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้าระบบ 115 kV ในกรณี Base case และกรณีต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30, 14, 4 MW	59
4.11 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า Active Power (MW)	60
4.12 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า Apparent Power (MVA)	61
4.13 ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 30, 14 และ 4 MW ที่สถานีส่งขลาร 3 (SLC)	62
4.14 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณี Base case	63
4.15 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกังหันลม 30 MW	64
4.16 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกังหันลม 14 MW	65
4.17 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกังหันลม 4 MW	66
6.1 การเปรียบเทียบการเลือกจุดที่ควรต่อชุดกังหัน DFIG	74
6.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบ	75
6.3 จำนวนสายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัดในระบบไฟฟ้า 115 kV	76
ข-1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และ THEVENIN IMPEDANCE ในระบบไฟฟ้าเขต กพต.3	ข-6

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า เช่น น้ำมันดีเซล ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติก็ลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้มีราคาสูงขึ้นมาก ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อนำมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงดังกล่าวที่กำลังจะหมดไปในการผลิตไฟฟ้า

พลังงานลม ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ สามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด และยังสามารถจัดได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการจะติดตั้งชุดกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเร็วลมในบริเวณพื้นที่ที่จะติดตั้ง สภาพพื้นที่ที่จะติดตั้ง จำนวนหน่วยผลิตที่เหมาะสมในการติดตั้งเข้ากับระบบไฟฟ้า รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศน์ที่ระบบทำงานปกติ และนิเวศน์ที่ระบบเกิดความขัดข้อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถเป็นแนวทางในการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาถึง System Base Case ของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งชุดกังหันลม
2. เพื่อศึกษาถึงจำนวนสูงสุดของกังหันลมที่สามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ศึกษาโดยไม่ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าเกิดความเสียหาย
3. เพื่อศึกษาผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าบริเวณพื้นที่ศึกษาในสภาวะคงตัว (Steady State)
4. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบทางด้านกริดของกำลังไฟฟ้า เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า ค่าความสูญเสียของระบบไฟฟ้า และผลทางด้านสมรรถนะการผิดพ่วงของระบบ เมื่อทำการเชื่อมต่อชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้า
5. เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น และเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า เมื่อเชื่อมต่อชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ศึกษาถึงผลกระทบในการติดตั้งชุดกังหันลมขนาด 30 MW เข้ากับระบบไฟฟ้าในพื้นที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีศักยภาพพลังงานลมที่เพียงพอที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ช่วยในการพิจารณาถึงผลกระทบของระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัว (Steady-state) ในการศึกษาการจำลอง

การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีฐานของระบบ (System base case) โดยที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องกำเนิดกังหันลมเข้าไปในระบบ และขณะทำการติดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้า

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาถึง System Base Case ของระบบไฟฟ้าในพื้นที่เกาะใหญ่ อ.กระแสมัญญ์ จังหวัดสงขลา บริเวณที่จะทำการติดตั้งชุดกังหันลม
2. หาจำนวนของชุดกังหันลมสูงสุดที่สามารถติดตั้งได้ในพื้นที่เกาะใหญ่ ในระบบ 33 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory
3. ศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าเมื่อทำการติดตั้งชุดกังหันลมขนาด 30 MW เข้ากับระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัว (Steady-state) โดยวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis) ,วิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis) ,ค่าความสูญเสียของระบบไฟฟ้า และวิเคราะห์ผลทางด้านสภาวะการณืผิดปกติ (Fault Analysis) ซึ่งได้แก่สภาวะการณืผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ($1\Phi-G$) , สภาวะการณืผิดปกติ 2 เฟส (2Φ) และสภาวะการณืผิดปกติสามเฟส (3Φ)
4. ศึกษาและเปรียบเทียบระบบไฟฟ้าทั้งก่อนและหลังการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบ

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

แผนการดำเนินโครงการ	ปี 2555						ปี 2556			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	■	■								
ศึกษาการใช้งานโปรแกรมต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า		■	■							
ศึกษาและรวบรวมข้อมูล			■	■	■	■	■	■		
ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง			■	■	■	■	■	■	■	
จัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์			■	■	■	■	■	■	■	■

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้เรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม
2. ได้เรียนรู้ศักยภาพของประเทศไทยว่ามีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ได้เรียนรู้การใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory เพื่อใช้ในวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน
4. ทำให้รู้ถึงปัญหา และผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าเมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมเข้ากับระบบไฟฟ้า
5. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปใช้ในการตัดสินใจที่จะติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการเกิดลมและความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานลม

ลม (Wind) สาเหตุหลักของการเกิดลมมาจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังแต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในแต่ละตำแหน่ง บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำอากาศในบริเวณนั้นก็เลยลอยตัวสูงขึ้น ส่วนอากาศที่เย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลม นั่นเอง เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญแนะนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องหาซื้อ เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม

2.2 สถานการณ์ของพลังงานลมในปัจจุบัน

[1] กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์ในการจัดทำ Roadmap เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือกให้ได้ 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ AEDP (2012-2021) โดยมีเป้าหมายของพลังงานลมในปี 2564 คือ 1,200 MW ซึ่งปัจจุบันมีกำลังการผลิตรวม 7.28 MW ซึ่งการมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP ที่สำคัญ มีดังนี้

2.2.1 การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง

- กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าอื่นในชุมชนห่างไกล และเกาะที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้
- กังหันลมเพื่อการเกษตรโดยเฉพาะกังหันลมสูบน้ำและระเหยดินน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค

2.2.2 การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์

- การอำนวยความสะดวกให้เอกชนสามารถที่จะขอใช้พื้นที่และดำเนินติดตั้งกังหันลมในพื้นที่ห่างไกลได้

2.2.3 การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน

- ผลักดันแก้ไข ปรับปรุง ข้อกฎหมายและระเบียบปฏิบัติบางอย่างที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานลม เช่น ระเบียบปฏิบัติของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับการขอใช้พื้นที่เพื่อพัฒนาโครงการพลังงานลม

2.2.4 การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน

- การจัดทำแผนขยายระบบสายส่ง และระบบเก็บสะสมพลังงาน เช่น ระบบสูบลมกลับในพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูง เช่น บริเวณภาคอีสาน

2.2.5 การประชาสัมพันธ์ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน

- ส่งเสริมให้มีการสร้างเครือข่ายผู้ใช้และผลิตพลังงานลม

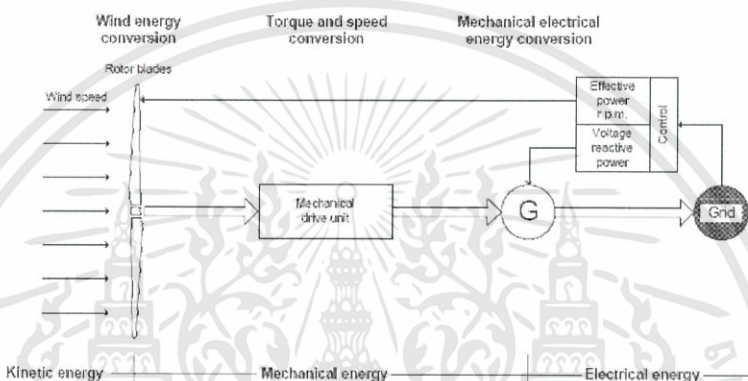
2.2.6 การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร

- ผลักดันให้มีอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ส่วนควบเพื่อการกักเก็บไฟฟ้า และระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

- พัฒนารูปแบบกังหันลมที่เหมาะสมกับความเร็วลมของประเทศ

2.3 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลม จะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมาด้วยแรงบิด และความเร็วรอบของ แกนหมุนกังหัน (torque and speed conversion) พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยน รูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้า ผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับ ความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม [2]



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า [3]

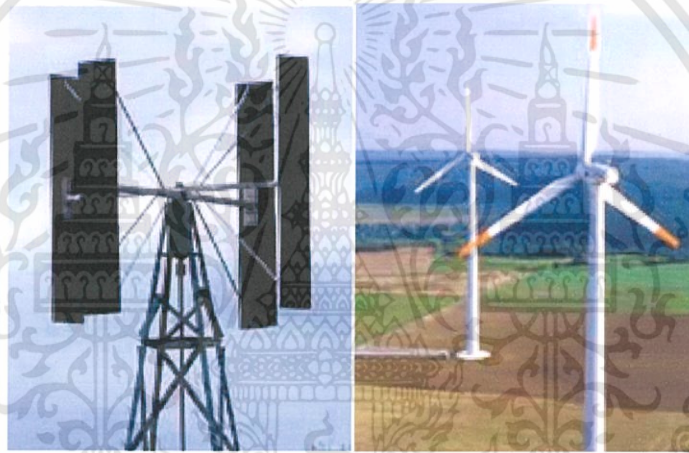
เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานที่ สม่ำเสมอเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว จะต้องมิตัวกักเก็บพลังงาน และใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือ ได้เป็นแหล่งสำรอง หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่นๆ โดยตัวกักเก็บพลังงานมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับ การใช้งาน เช่น ถ้าเป็นกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้แบตเตอรี่เป็นตัวกักเก็บพลังงาน โดยกังหัน ลมจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้ตลอดเวลาที่มีความเร็วลมเพียงพอ หากความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ แหล่ง พลังงานชนิดอื่นจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานทดแทน หรือการมีแหล่งพลังงานชนิดอื่นจ่ายพลังงานอยู่ก่อน แล้ว และใช้กังหันลมช่วยจ่ายพลังงานเมื่อมีความเร็วลมเพียงพอ ซึ่งในขณะเดียวกันก็ลดการจ่ายพลังงาน จากแหล่งพลังงานอื่น

2.4 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งกังหันลม ออกได้เป็น 2 ชนิดตามแกนหมุน ได้แก่ กังหันลมแกน หมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิต ไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความ แตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด [2]

2.4.1 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยสามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามกังหันลมชนิดนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยมีการใช้งานอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของกังหันลมที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

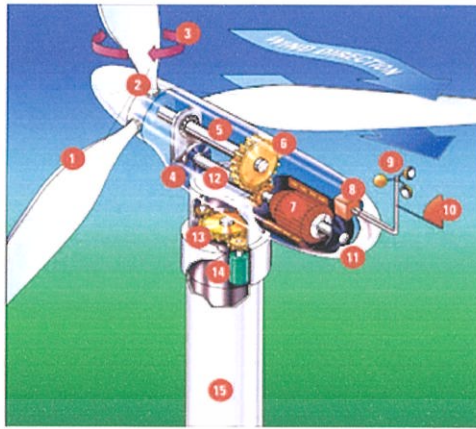
2.4.2 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอนแบบสามใบพัดซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เป็นกังหันลมที่ได้รับความนิยมใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลายมากที่สุดถึงร้อยละ 75 ของกังหันลมที่มีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง (ซ้าย) และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน (ขวา) [2]

2.5 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า (ชนิดแกนหมุนแนวนอน)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรายละเอียดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนหมุนแนวนอนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน มีส่วนแบ่งทางการตลาดขนาดใหญ่ และมีส่วนสำคัญในการกำหนดอนาคตของเทคโนโลยีพลังงานลมเป็นอย่างสูง โดยมีองค์ประกอบที่ประกอบขึ้นเป็นชุดกังหันลมผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักใหญ่ ๆ ได้แก่ ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade), ชุดห้องเครื่อง (Nacelle), ชุดเสา (Tower) และฐานราก (Foundation) [6]



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน [6]

2.5.1 ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade) [หมายเลข 2] เป็นส่วนแรกของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ทำหน้าที่รับหรือปะทะกับแรงลม โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ดุมแกนหมุน (Nose Cone) เป็นตัวครอบแกนหมุนที่อยู่ส่วนหน้าสุด มีรูปร่างเป็นวงรีคล้ายไข่เพื่อการลู่ลมและมองดูสวยงาม

- ใบพัด (Blade) [หมายเลข 1] เป็นส่วนที่ยึดติดกับแกนหมุน (Rotor Hub) ทำหน้าที่รับพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการเคลื่อนที่ของลม และหมุนแกนหมุนเพื่อส่งถ่ายกำลังไปยังเพลาแกนหมุนหลัก ถูกออกแบบโดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของอากาศ เพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอเหมาะและเหนียวทนทานรับกับแรงลมได้ดี ใบกังหันลมถือเป็นหัวใจของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และมีความละเอียดสูงในการออกแบบ เพราะหากสามารถออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง ก็จะทำให้กังหันลมสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีที่ความเร็วเปลี่ยนไป

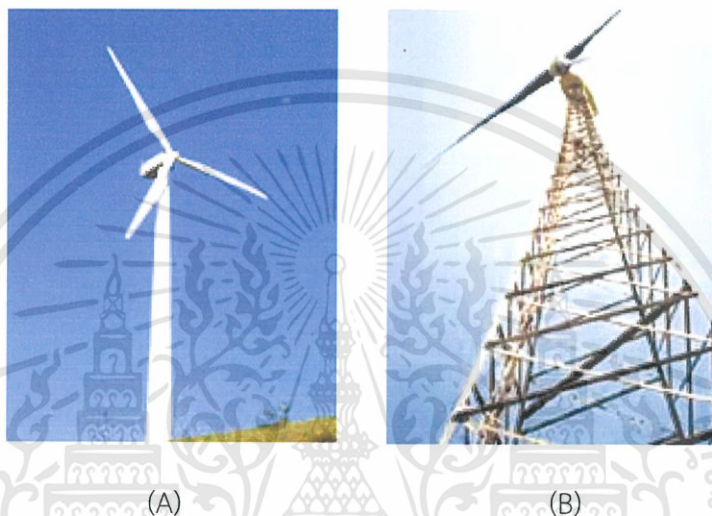
- จุดปรับหมุนใบพัด (Pitch Drive) [หมายเลข 3] อยู่ระหว่างช่วงรอยต่อระหว่างใบพัดกับแกนหมุน ทำหน้าที่ในการปรับใบพัดให้มีความพร้อม และเหมาะสมเมื่อเริ่มรับแรงลมต่ำๆ เพื่อการเริ่มหมุนใบพัด (Cut In) และปรับใบพัดให้ลู่ลมโดยอัตโนมัติเพื่อช่วยในการหยุดหมุนของแกนหมุนเมื่อได้รับแรงลมเกินพิกัด (Cut Out) หรือกรณีซ่อมบำรุงรักษา

- ชุดปรับยึดแกนหมุน (Rotor Lock) เป็นงานหมุนที่ยึดติดส่วนท้ายของแกนหมุน มีระบบยึดแน่นไม่ให้แกนหมุนมีการหมุน เมื่อได้รับแรงลมเกินพิกัดหรือกรณีซ่อมบำรุงรักษา

2.5.2 ชุดห้องเครื่อง (Nacelle) [หมายเลข 11] เป็นส่วนที่สำคัญของกังหันลมเพราะมีองค์ประกอบย่อยมากที่สุด ถูกออกแบบมาให้มีความเหมาะสมเพื่อเป็นตัวป้องกันสภาพอากาศภายนอกให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน และมีพื้นที่ภายในเพียงพอสำหรับการขึ้นไปติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ได้ องค์ประกอบย่อยที่ติดตั้งอยู่ภายในชุดห้องเครื่องมีดังนี้

- เพลาแกนหมุนหลัก (Main Shaft) [หมายเลข 5] ทำหน้าที่รับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านเข้าสู่ห้องปรับเปลี่ยนทดรอบกำลัง (Gear Box)
- ห้องทดรอบกำลัง (Gear Box) [หมายเลข 6] ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปรับเปลี่ยนทดรอบการหมุนและถ่ายแรงของเพลาแกนหมุนหลักที่มีความเร็วรอบต่ำ ไปยังเพลาแกนหมุนเล็ก (Small Shaft) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้มีความเร็วรอบที่สูงขึ้นและมีความเร็วสม่ำเสมอในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เบรก (Brake) [หมายเลข 4] เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมและยึดการหยุดหมุนอย่างสิ้นเชิงของใบพัดและเพลาแกนหมุนของกังหันลม
- เพลาแกนหมุนเล็ก (Small Shaft) [หมายเลข 12] ทำหน้าที่รับแรงที่มีความเร็วรอบสูงจากห้องทดรอบกำลัง (Gear Box) เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) [หมายเลข 7] ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลที่ได้รับเป็นพลังงานไฟฟ้า มีใช้ 2 ประเภท คือ
 - Synchronous Generator เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ คือความเร็ว Synchronous Speed (50 Hz) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีความถี่และแรงดันไฟฟ้าเท่ากับความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบสายส่ง
 - Induction Generator เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีโครงสร้างเหมือน Induction Motor โดยบ่อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ชุดสเตเตอร์ ทำให้เกิดฟลักซ์เป็นขั้วแม่เหล็กหมุนตามสภาวะกระแสสลับ ไปเหนี่ยวนำแกนโรเตอร์ให้หมุนตามในตอนเริ่มต้น และเมื่อมีแรงมาขับโรเตอร์ให้หมุนเกินกว่า Synchronous Speed จะเกิดการเหนี่ยวนำย้อนกลับ ทำให้เกิดกระแสไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายย้อนกลับเข้าระบบสายส่ง
- ระบบควบคุมไฟฟ้า (Controller System) [หมายเลข 8] เป็นระบบควบคุมการทำงานและการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกสู่ระบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์
- ระบบระบายความร้อน (Cooling) เป็นระบบที่ใช้ระบายความร้อนจากการทำงานของกลไกภายในห้องทดรอบกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา
- เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม (Anemometer and Wind Vane) [หมายเลข 9, 10] เป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกห้องเครื่อง โดยเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์สำหรับเป็นตัวชี้วัดปริมาณความเร็วและทิศทางลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกการทำงานอื่น ๆ ของกังหันลมได้อย่างถูกต้อง

2.5.3 ซุตเสา (Tower) [หมายเลข 15] เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นซุตแกนหมุนใบพัดและตัวห้องเครื่องที่อยู่ข้างบน ปัจจุบันมีใช้งาน 2 แบบ คือ แบบเสากลมกลวง (Tubular) และเสาโครงถัก (Lattice) โดยปัจจุบันนิยมใช้เสาแบบกลมกลวงมากกว่า ทั้งนี้ซุตเสาจะต้องมีการออกแบบในเชิงวิศวกรรมมาเป็นอย่างดีก่อนการติดตั้ง เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักและแรงปะทะของลมต่อพื้นที่กวาดใบพัด ขณะที่ความสูงของเสาจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะความสูงในการรับแรงลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด และขนาดของกังหันลม องค์ประกอบย่อยของซุตเสามีดังนี้



รูปที่ 2.4 เสากลมกลวง (A) และเสาโครงถัก (B) [5]

- แกนคอกหมุนรับทิศทางลม (Yaw Drive) [หมายเลข 13] เป็นตัวขับเคลื่อนหมุนแกนหมุนใบพัดเพื่อให้ใบพัดรับแรงลมตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลม
- ระบบควบคุมการหมุน (Yaw Motor หรือ Hydraulic System) [หมายเลข 14] เป็นตัวบังคับและควบคุมกลไกการขับเคลื่อนหมุนเพื่อให้ใบพัดรับแรงลมตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลม และชะลอการหมุนและหยุดหมุนของใบพัด
- บันไดหรือลิฟต์ (Stair or Lift) ใช้ในการขึ้นลงสำหรับการตรวจหรือซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่อยู่ด้านบนเสา
- ระบบอุปกรณ์ควบคุมและจอภาพ ติดตั้งอยู่ด้านล่างสุดของเสาเพื่อให้เจ้าหน้าที่ใช้ในการติดต่อตรวจสอบ และตรวจดูข้อมูลระบบการทำงานต่าง ๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ฐานราก (Foundation) เป็นส่วนที่รับน้ำหนักทั้งหมดของชุดกังหันลม ทำเป็นฐานคอนกรีตเสริมเหล็กตั้งอยู่บนเสาเข็มที่ได้รับการคำนวณออกแบบ และทำการก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรมโยธา

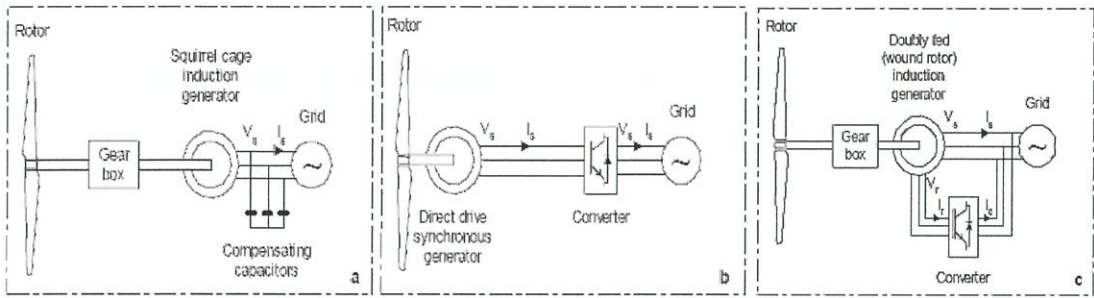
2.6 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน

กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ a) fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage induction generator b) variable speed with doubly fed induction generator และ c) variable speed based on a direct drive synchronous generator แสดงดังรูปที่ 2.5 [6]

กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัดกลองเกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ในความเป็นจริงกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมาก เพียง 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่ (fix speed turbine) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำมักจะดึงพลังงาน (reactive power) จากสายส่งมาใช้ โดยเฉพาะในกรณีที่ระบบสายส่งที่ไม่เสถียรภาพ สำหรับเหตุการณ์ลักษณะดังกล่าวสามารถแก้ไขโดยการชดเชยพลังงานจากตัวเก็บประจุซึ่งติดตั้งอยู่ภายในตัวกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิดนี้

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่(variable speed) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัดกลองเกียร์เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟ็ด(doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (Variable speed with direct drive) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วยใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรง และมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอน [6]

- a) Fixed speed with directly grid-couple (asynchronous) squirrel cage induction generator
- b) Variable speed based on a direct drive and synchronous generator
- c) Variable speed with doubly fed induction generator

2.7 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่รับลมของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น ๆ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดต่างๆ [5]

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่รับลม (m ²)
ขนาดไมโคร (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5 - 20	3 - 10	7 - 80
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20 - 200	10 - 25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200 - 1,500	25 - 70	500 - 3,850
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 กังหันลมขนาดไมโคร (Micro Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น การใช้กับเครื่องมือสื่อสาร หรือแสงสว่างในบางเวลา

2.7.2 กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.5 - 20 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น ใช้ตามครัวเรือนหรือสำนักงานขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล

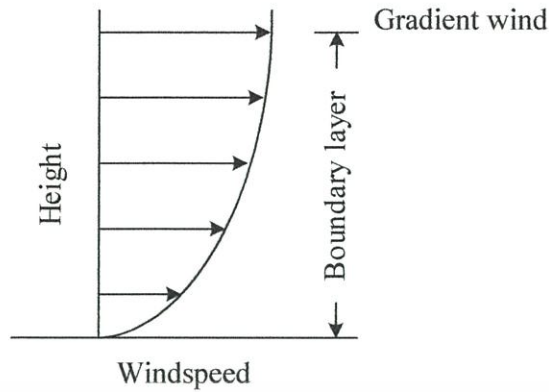
2.7.3 กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 20 - 200 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในระบบผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ระบบผสมผสานดีเซล-เซลล์แสงอาทิตย์-กังหันลม เพื่อใช้ในระบบ Minigrid ตามชุมชนห่างไกล

2.7.4 กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200 - 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ่งกังหันลมบนฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

2.7.5 กังหันลมขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตมากกว่า 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ่งกังหันลมบนฝั่งและนอกชายฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

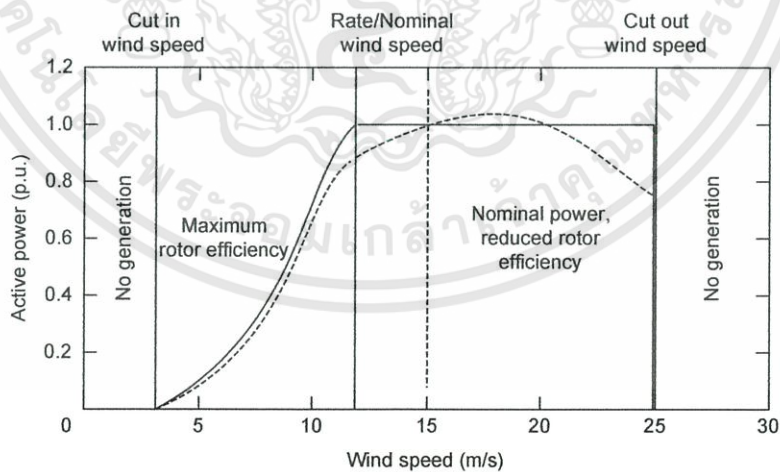
2.8 ความเร็วลมและกำลังลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่า ลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป แรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.6 จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลมจากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้น จะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่ความเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพท์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



รูปที่ 2.6 ลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ [6]

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1 - 3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 - 5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12 - 15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ในช่วงที่ความเร็วลมไต่ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเร็วลม

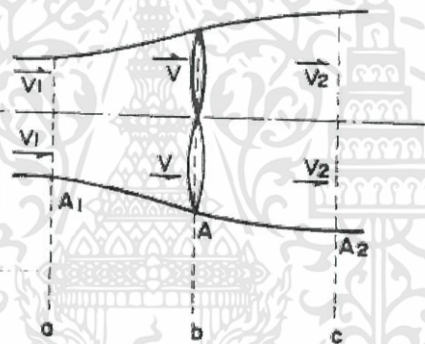
พิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วลม V พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในช่วงหนึ่งหน่วยเวลา จะมีกำลังลม P_1 ที่ได้จากพลังงานจลน์ ดังนี้

$$P_1 = \frac{1}{2}(\rho AV)V^2 = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (2.1)$$

กังหันลมจะทำหน้าที่สกัดกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น กำหนดให้ C_p เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่ง C_p จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันจะสามารถสกัดได้จากกระแสลม ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนี้

$$P = C_p P_1 = \frac{1}{2}C_p \rho AV^3 \quad (2.2)$$

พิจารณากังหันลมที่มีพื้นที่หน้าตัดรับลม A ตั้งรับกระแสลมซึ่งมีความเร็วลม V ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 พื้นที่หน้าตัดของใบพัดกังหันลมที่ตั้งรับกระแสลม [7]

ณ พื้นที่หน้าตัด A_1 , A และ A_2 ของตำแหน่ง a, b, และ c มีค่าความเร็วลม V_1 , V และ V_2 ตามลำดับ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ต่อเนื่อง (Continuity Equations) ได้ดังนี้

$$A_1 V_1 = AV = A_2 V_2 \quad (2.3)$$

การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของกระแสลม ณ หน่วยเวลา t

$$P = \frac{1}{2}(\rho AV)(V_1^2 - V_2^2) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปริมาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมที่มีต่อกังหัน โดยแรง F

$$F = \rho AV (V_1 - V_2) \quad (2.5)$$

คิดเป็นกำลังงาน $P = FV = \rho AVPV^2 (V_1 - V_2)$ (2.6)

ดังนั้น $\rho AV^2 (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} (\rho AV) (V_1^2 - V_2^2)$ (2.7)

และ $V = \frac{1}{2} (V_1 + V_2)$ (2.8)

Betz Coefficient Betz เสนอแนวทางการหาค่าสูงสุดของการสกัดกำลังงานจากกระแสลมให้ได้สูงสุด โดยพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความเร็วลม V_1 และ V_2 ถ้ากำหนดให้ $V_2 = dV_1$ แทนค่าลงในสมการ (2.4)

$$P = \frac{1}{2} \rho A \left\{ \frac{1}{2} (V_1 + dV_1) \right\} (V_1^2 - d^2 V_1^2) \quad (2.9)$$

$$= \frac{1}{4} \rho AV_1^3 (1+d)(1-d^2) \quad (2.10)$$

ค่า P มีค่าสูงสุดเมื่อ $dP/dd = 0$ และ ณ จุดนี้พบว่า $d = \frac{1}{3}$

ดังนั้น $P_{\max} = \frac{1}{4} \rho AV_1^3 \left(1 + \frac{1}{3} \right) \left(1 - \frac{1}{9} \right)$ (2.11)

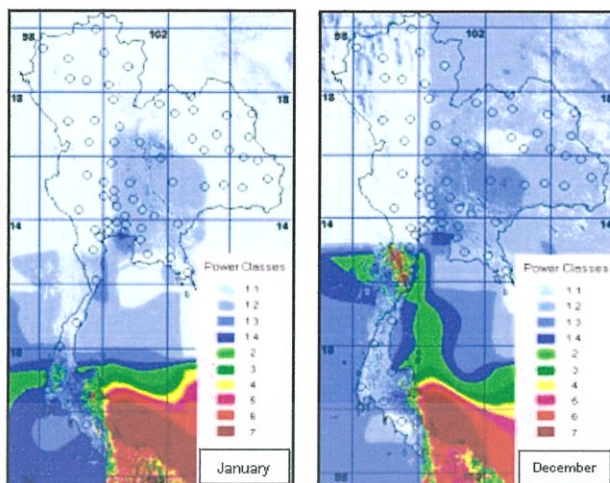
หรือ $= \frac{1}{2} \left(\frac{16}{27} \right) \rho AV_1^3$ (2.12)

ค่า $\left(\frac{16}{27} \right)$ ก็คือค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด $C_{p_{\max}}$ เรียกว่า Betz Coefficient

2.10 พลังงานลมที่มีอยู่ในประเทศไทย

2.10.1 ลักษณะของลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ลักษณะลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ซ้าย)
และลักษณะลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ขวา) [8]

ลมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านประเทศไทย มีกำลังแรง พัดจากแหลมมาลายู และทะเลอันดามัน เข้าสู่ประเทศไทยทางตอนใต้ฝั่งตะวันตกทำให้ชายฝั่งของจังหวัดกระบี่ ภูเก็ต และ พังงา มีกำลังลมค่อนข้างแรง มีความเร็วลมประมาณ 5.6 เมตร/วินาที ขึ้นไป ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งทะเลตะวันออกแต่มีกำลังลมปานกลาง มีความเร็วลมประมาณ 5.1 เมตร/วินาที ขึ้นไป อนึ่งจากอิทธิพลลมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีลมพัดแรงโดยเฉพาะบนที่สูง และในภาคใต้ตอนบนมีกำลังลมแรงบนยอดเขาที่มีความเร็วประมาณ 7.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป และที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดเข้าสู่ประเทศไทยจากอ่าวเบงกอลทางทิศตะวันตกทำให้มีกำลังลมปานกลางบนยอดเขา มีความเร็วลมประมาณ 5.6 เมตร/วินาที ขึ้นไป

2.10.2 ลักษณะของลมในประเทศไทยช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมที่พัดผ่านประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีนซึ่งจะมีกำลังแรงปกคลุมภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ทำให้สภาพอากาศบนยอดเขาของประเทศไทย มีอากาศเย็นจัด มีกำลังแรง มีความเร็วลมประมาณ 8.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป และในภาคกลางได้แก่อุทยานแห่งชาติเขาเขียว เขาใหญ่ มีกำลังแรงมีความเร็วลมประมาณ 7.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป นอกจากนี้อิทธิพลตะวันออกเฉียงเหนือ ยังส่งผลให้บริเวณที่สูงในภาคใต้ได้แก่ อุทยานแห่งชาติเขาลง อุทยานแห่งชาติได้ร่มเย็น จังหวัดนครศรีธรรมราช และอุทยานแห่งชาติเขาปู่-เขาย่า ในรอยต่อของจังหวัดพัทลุง-ตรัง มีกำลังลมแรงบนยอดเขา มีความเร็วลมประมาณ 8.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป ความกดอากาศยังแผ่ปกคลุมมายังทะเลในอ่าวไทยทำให้ในทะเลของภาคใต้ตอนกลาง และตอนล่างมีคลื่นลมแรง ทิศทางลมพัดจากทะเลเข้าสู่ทางฝั่ง ได้แก่ จังหวัด นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และ นราธิวาส มีกำลังลมแรงบริเวณชายฝั่งมีความเร็วลมประมาณ 7.5 เมตร/วินาที ขึ้นไป

2.11 ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมจากการใช้กังหันลม

ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้ากันอยู่ในหลายประเทศ อย่างไรก็ตาม กังหันลมยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบข้างเคียงอื่นๆ ดังต่อไปนี้ [6]

- **พื้นที่** : กังหันลมจะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันห่างถึงสิบเท่าของความสูงกังหัน เพื่อที่กระแสลมจะได้ลดความปั่นป่วนหลังจากที่ผ่านกังหันลมตัวอื่นมา อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ติดตั้งจริงของกังหันลมจะใช้เพียง 1% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นส่วนของเสาและฐานรากและเส้นทางสำหรับการเข้าไปติดตั้งและดูแลรักษา กังหันลมขนาดใหญ่ซึ่งมีความสูงของเสากังหันมาก จะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันเป็นระยะทางไกล ตัวอย่างเช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดระดับเมกะวัตต์ ต้องการระยะห่างระหว่างกันถึง 0.5 - 1 กิโลเมตร ดังนั้นจะพบว่าการติดตั้งกังหันลมจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ต่างๆ เช่น พื้นที่ทางการเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรม หรือแม้แต่พื้นที่ป่าธรรมชาติ ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวยังคงสามารถใช้ประโยชน์ จากที่ดินได้อย่างปกติ

- **ทัศนวิสัย** : สำหรับผลกระทบทางด้านสายตาหรือการมองเห็นของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า นั้น ยังไม่ได้มีการประเมินผลออกมาอย่างชัดเจน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีความสูงมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ทำให้สามารถมองเห็นได้จากระยะไกล กังหันลมสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อเทคโนโลยีการบินหรืออากาศยานได้

- **เสียง** : เสียงของกังหันลมเกิดจากการหมุนของปลายใบพัดตัดกับอากาศ จากการที่ใบพัดหมุนผ่านเสากังหัน จากความปั่นป่วนของลมบริเวณใบกังหันลม และจากตัวเครื่องจักรกลภายในตัวกังหันลม โดยเฉพาะส่วนของเกียร์ เสียงดังของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่ง que แสดงถึงประสิทธิภาพของกังหันลม ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตกังหันลมจึงพยายามพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากเสียงของกังหันลม ในช่วงห้าปีที่ผ่านมาระดับของเสียงในบริเวณอาคาร บ้านเรือน หรือที่พักอาศัยที่จะเป็นอันตราย ต่อมมนุษย์อยู่ที่ไม่เกิน 40 dB ที่ระยะห่างไม่เกิน 250 เมตร ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมหากต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างจากเขตที่พักอาศัยของมนุษย์ให้มากขึ้น

- **นก** : มีการรายงานว่านกในบริเวณใกล้ๆ ฟาร์มกังหันลมมักจะชนกังหันลมอยู่บ่อยครั้ง แต่จากการศึกษาการตายของนกจากการบินชนกังหันลมที่กำลังหมุนอยู่นั้น พบว่ามีอัตราที่น้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่นกบินชนรถ หน้าต่างของอาคาร หรือสายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นอยู่เสมอๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากังหันลมแทบจะไม่มีผลต่อจำนวนนกเลย ยกเว้นในบางกรณี จำนวนการตายของนกในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมอาจสูงอันเนื่องมาจาก มีฝูงนกที่อพยพย้ายถิ่นฐานในบางฤดู การผ่าน

พื้นที่ดังกล่าวในเวลากลางคืน หรือพื้นที่นั้นเป็นแหล่งอาหารของนกนักล่าบางชนิด นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าในบริเวณพื้นที่ติดตั้งกังหันลม กลับมีอัตราการผสมพันธุ์ของเกสรดอกไม้ที่สูงมาก เนื่องจากการปั่นป่วนของกระแสลมในบริเวณนั้น

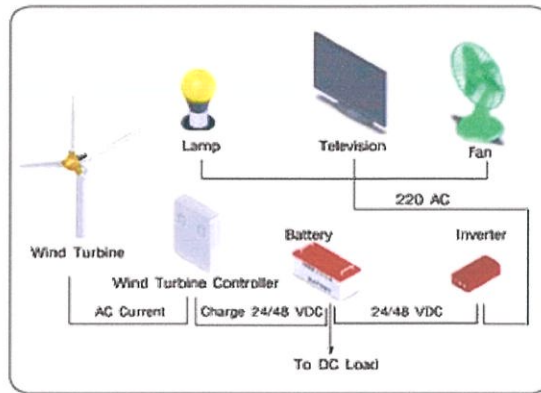
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า : สัญญาณโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ และเรดาร์ สามารถถูกรบกวนได้จากการหมุนของกังหันลม ซึ่งสร้างคลื่นรบกวนสัญญาณเหล่านั้น การถูกรบกวนของคลื่นวิทยุหรือโทรทัศน์นั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ ที่ตั้งของกังหันและเสาส่ง, คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์และทางกายภาพของใบพัดกังหัน, ลักษณะความถี่ของสัญญาณ และคลื่นแม่เหล็กความถี่สูงในชั้นบรรยากาศ แต่ในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุแบบใหม่มาใช้ทำเป็นใบพัด เช่น ไฟเบอร์กลาส และพลาสติก ซึ่งวัสดุเหล่านี้ช่วยลดปัญหาการรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมาก

2.12 ระบบการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ระบบการติดตั้งของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ระบบการติดตั้งแบบเดี่ยว (Stand Alone System) และระบบการติดตั้งแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System) การเชื่อมต่อทั้งสองระบบมีทั้งข้อดี-ข้อเสีย และการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป การตัดสินใจในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ จึงควรมีการศึกษาอย่างรอบคอบในการเลือกชนิดของการติดตั้งให้เหมาะสมกับกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน [6]

2.12.1 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว (Stand Alone System)

ระบบนี้เหมาะสำหรับการติดตั้งใช้งานในที่พักอาศัย ชุมชน หรือพื้นที่ที่ห่างไกลจากสายส่งหลัก เช่น บนเกาะหรือชนบทห่างไกลที่ระบบสายส่งเข้าไปไม่ถึงและไม่คุ้มค่ากับการติดตั้งระบบสายส่งเข้าไปสู่พื้นที่ที่ต้องการใช้งาน โดยในระบบการติดตั้งแบบเดี่ยวนั้นจะต้องใช้ชุดเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับเป็นที่เก็บพลังงาน (Battery Bank) ซึ่งอาจเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 12 - 48 โวลต์ แล้วเก็บพลังงานที่ได้ เข้าสู่ชุดแบตเตอรี่ โดยจะต้องทำงานให้สัมพันธ์กับระบบควบคุมการทำงานของกังหันลม (Wind Turbine Controller) ได้อย่างเหมาะสม เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เป็นไปตามความต้องการ ที่ความเร็วลมต่างกันออกไป นอกจากนี้ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลมยังมีระบบป้องกันตัวเอง (Self Protection) ซึ่งอาจจะมีการทำงานคู่กันระหว่างระบบทางกลและระบบทางไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ความเร็วลมของกังหันลมมากเกินไปกว่าที่ออกแบบไว้

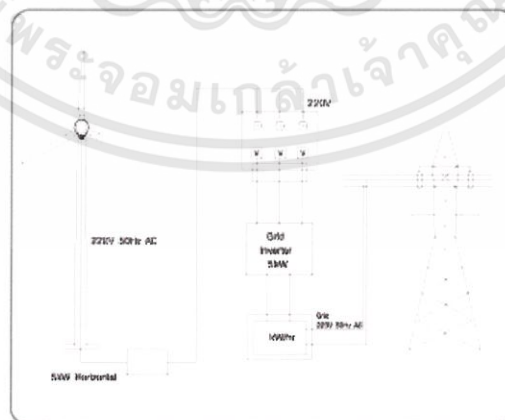


รูปที่ 2.10 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว [6]

การใช้ไฟฟ้าในระบบการใช้งานแบบเดี่ยวนี้อาจใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยหากต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบกระแสสลับก็จะต้องมีตัวแปลงไฟฟ้า (Inverter) จากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC/DC) โดยอุปกรณ์ Inverter ในแต่ละรุ่นจะทำงานแตกต่างกันออกไปตามความสามารถและภาระทางไฟฟ้าที่นำไปใช้งาน ดังนั้นหากต้องการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับก็จะต้องมีการคำนวณภาระทางไฟฟ้าที่จะใช้งานเพื่อการคัดเลือก Inverter ที่มีความเหมาะสมต่อไป

2.12.2 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System)

การติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าในระบบนี้เป็นการติดตั้งใช้งานในกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องมีชุดเก็บพลังงานหรือแบตเตอรี่ (Battery Bank) โดยชุดแปลงไฟฟ้า (Inverter) ของระบบนี้จะมีราคาสูงกว่าชุดแปลงไฟฟ้าทั่วไป เนื่องจากมีระบบควบคุมที่ซับซ้อนและต้องสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบสายส่งได้ (Grid Tie Transfer) นอกจากนั้นชุดแปลงไฟฟ้าของระบบนี้ยังมีหน้าที่สำคัญที่จะต้องควบคุมแรงดันหรือความถี่ทางไฟฟ้าให้เหมาะสมและสามารถป้อนกระแสไฟฟ้าขนานไปกับไฟฟ้าจากสายส่งหลักได้



รูปที่ 2.11 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของระบบควบคุมกังหันลมนั้นจะมีการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างชุดควบคุมการปล่อยไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายใต้ชุดแปลงไฟฟ้า (Inverter) และระบบควบคุมกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine Controller) เพื่อให้ระบบมีการปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อความเร็วลมขนาดต่าง ๆ กันออกไป

2.13 ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า

ในการจำลองระบบไฟฟ้าตามรูปแบบของโปรแกรม สามารถแบ่งประเภทของบัสที่สำคัญๆ ออกเป็น 4 ชนิดด้วยกันคือ

1. Load Bus เป็นบัสที่มีโหลดต่ออยู่และไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ สำหรับบัสโหลด มีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า บัส PQ เหตุที่เรียกเช่นนี้ก็เพราะว่า ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนถูกกำหนดโดยบัสนี้

2. Voltage – Controlled Bus หรือ Generator Bus เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ เราสามารถควบคุมขนาดของแรงดัน โดยการควบคุมการกระตุ้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บัสนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า บัส PV

3. Swing Bus ในการจำลองระบบไฟฟ้าจะต้องมี Swing Bus 1 บัส และกำหนดให้เป็นบัสที่ 1 โดยกำหนดขนาดแรงดันมีค่าเท่ากับหนึ่งและมุมของแรงดันเป็นศูนย์ โดยปกติ Swing Bus จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ แต่แตกต่างกับ Generator Bus ตรงที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนได้อย่างไม่จำกัดจำนวน

4. Isolate Bus เป็นบัสที่ไม่ได้ใช้งานอยู่ในระบบ และอุปกรณ์ทุกชนิดที่ต่ออยู่กับบัสประเภทนี้ถูกปลดออกจากระบบทั้งหมด รวมทั้งจะต้องไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าจะไม่นำบัสประเภทนี้มาคิด

2.14 โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองผลการศึกษา (DigSILENT)

2.14.1 คุณลักษณะทั่วไปของโปรแกรม DigSILENT PowerFactory (Digital Simulator for Electrical Network calculation program)

DigSILENT PowerFactory เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ที่สามารถสร้างแบบจำลองด้วยรูปภาพหรือป้อนข้อมูลด้วย Text file สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และภาคอุตสาหกรรม ซึ่งความสามารถของโปรแกรมนี้อย่างนี้

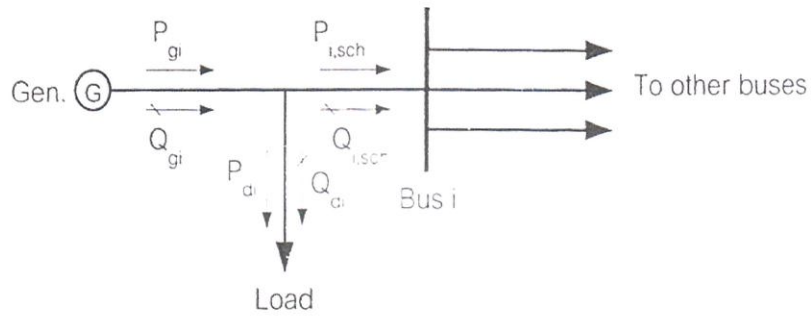
- Load Flow and Fault Analysis of complete AC/DC network representation , meshed & mixed 1-,2-and 3-phase AC and /or DC networks
- Low Voltage Network Analysis
- Distribution Network Optimization

- IEC Cable Sizing
- Dynamic Simulation
- EMT Simulation
- Eigenvalue Analysis
- System Identification
- Protection Analysis
- Harmonic Analysis
- Reliability
- Production Planning
- Voltage Stability Analysis
- Contingency analysis
- Power Electronic Device Modeling
- DPL User Script
- A/D Interfacing
- DOLE Interface for SCADA/GIS
- PSS/E & PSS/U Compatibility
- Multi-User Database
- Virtual Instruments

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรแกรมนี้ มีความสามารถในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าได้ทั้งในสภาวะคงตัว (Steady state) และสภาวะทรานเซียน (Transient state)

2.15 วิธีการแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างหนึ่งก็คือ สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นสมการไม่เชิงเส้น และต้องใช้วิธีอิตเทอเรทีฟ (Iterative) ในการแก้สมการ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยจะกล่าวถึง วิธีนิวตัน-ราฟสัน เนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 2.12 แผนภาพเส้นเดียวแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่บัส i [9]

จากรูปที่ 2.12 แสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i ที่ใช้ในการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยเมื่อกำหนดให้ $v_i = |v_i| \angle \delta_i$, $v_n = |v_n| \angle \delta_n$ และ $Y_{in} = |Y_{in}| \angle \theta_{in}$ สามารถเขียนสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i ได้ดังสมการ (2.13) และสมการ (3.2) ตามลำดับ

$$P_i = |V_i|^2 G_{ii} + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2.13)$$

$$Q_i = -|V_i|^2 G_{ii} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2.14)$$

เมื่อพิจารณาที่บัสควบคุมแรงดันโดยจะกำหนดให้บัสอื่นๆ ทั้งหมดในระบบเป็นโหนดบัส (ยกเว้น Swing Bus) ซึ่งทราบค่าความต้องการใช้ไฟฟ้า P_{di} และ Q_{di} และกำหนดขนาดและมุมของแรงดัน Swing Bus เป็น $|V_i| \angle \delta_i$ และบัสอื่นๆในระบบจะมีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอยู่ 2 ตัวแปร คือ $|V_i|$ และมุม δ_i และในการประมาณค่าขนาดและมุมของแรงดันที่โหนดบัสจะมี Power mismatch ดังนี้

$$\Delta P_i = P_{i,sch} - P_{i,calc} \quad (2.15)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i,sch} - Q_{i,calc} \quad (2.16)$$

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จึงเขียนสมการของ Power mismatch ให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ของระบบ

ไฟฟ้าที่มี 3 บัสได้ตั้งสมการที่ (2.13) เมื่อบัสที่ 1 เป็น Swing Bus ในการคำนวณจะเริ่มจากบัสที่ 2 เนื่องจากที่ Swing Bus ได้กำหนดทั้งขนาดและมุมของแรงดันไว้แล้ว

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta |V_2| \\ \Delta |V_3| \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

ระบบไฟฟ้าแต่ละระบบจะมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงเขียนสมการให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ของระบบไฟฟ้าทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta |V_i| \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

เมื่อ $[J]$ คือ จาคอบีเนียนเมทริกซ์ (Jacobian matrix)

สรุปขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยใช้วิธีนิวตัน ราฟสัน มีขั้นตอนดังนี้

1. สมมุติค่าเริ่มต้นของแรงดันที่ไม่ทราบค่าทุกบัส โดยการประมาณค่าขนาด $|V_i|$ และมุม $\delta_i^{(0)}$ ของแรงดันในการคำนวณแรก
2. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า $P_{i,calc}$ และ $Q_{i,calc}$ จากสมการที่ (2.13) และ (2.14), Power mismatch ΔP_i และ ΔQ_i จากสมการที่ (2.15) และ (2.16)
3. ตรวจสอบเงื่อนไข
 - ถ้า ΔP_i และ $\Delta Q_i \leq \epsilon$ (Tolerance ϵ เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ซึ่งมีค่าเป็นบวกเสมอ เช่น 0.0001 p.u.) แล้วให้ไปคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เป็นอันสิ้นสุดการคำนวณ
 - แต่ถ้า ΔP_i และ $\Delta Q_i > \epsilon$ ให้ไปคำนวณต่อในขั้นตอนที่ 4
4. คำนวณหาค่าจากจาโคเบียนเมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณหาค่า $\Delta\delta_i$ และ $\Delta|V_i|$ ของรอบการคำนวณถัดไป โดยการอินเวอร์สจาโคเบียนเมตริกซ์ ดังสมการ (3.7)

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_i \\ \Delta|V_i| \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

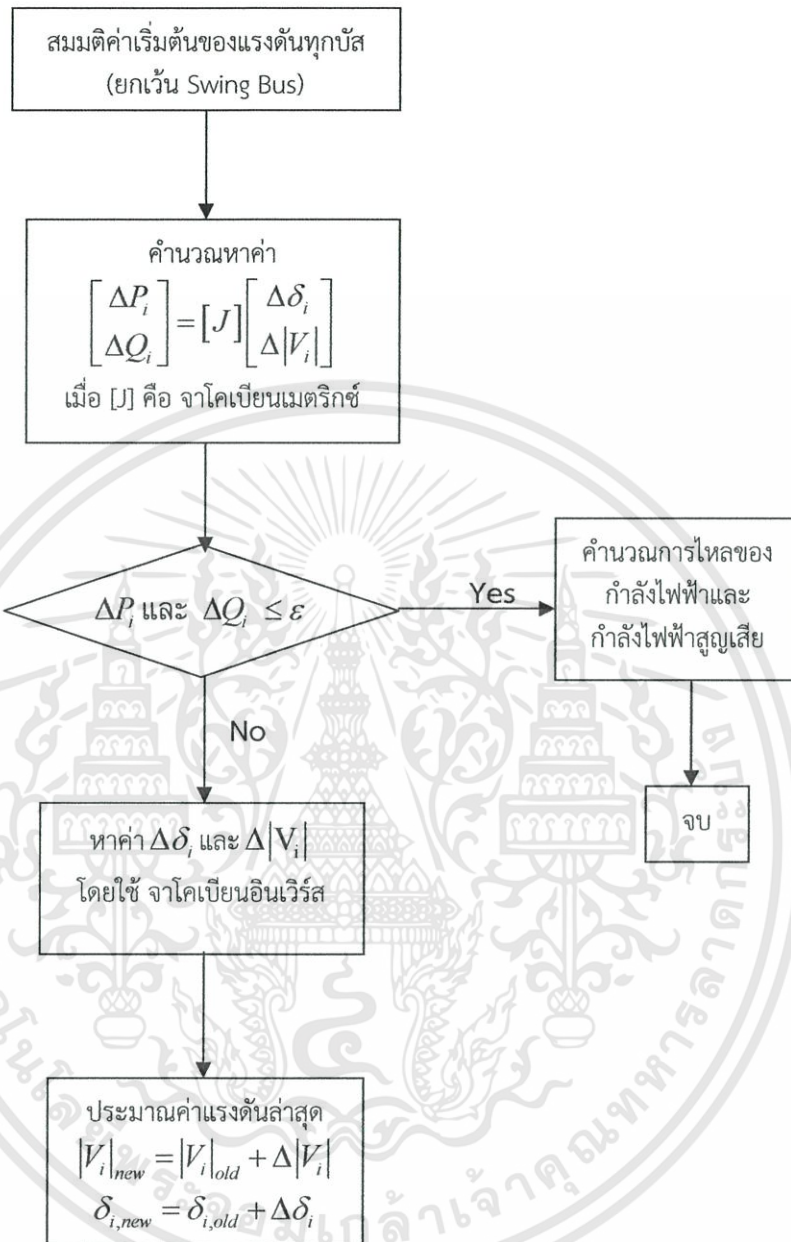
6. คำนวณหาค่าขนาด $|V_i|$ และมุม δ_i ของแรงดันใหม่ล่าสุด (Update) โดยใช้ $\Delta|V_i|$ และ $\Delta\delta_i$ ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 5

$$|V_{i,new}| = |V_{i,old}| + \Delta|V_i| \quad (2.20)$$

$$\delta_{i,new} = \delta_{i,old} + \Delta\delta_i \quad (2.21)$$

7. กลับไปคำนวณซ้ำที่ข้อที่ 2 โดยใช้ขนาด $|V_{i,new}|$ และมุม $\delta_{i,new}$ ของแรงดันที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 และสามารถเขียน Flow chart ขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตันราฟสัน ได้ดังรูปที่ 2.13





รูปที่ 2.13 Flow Chart ขั้นตอนการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

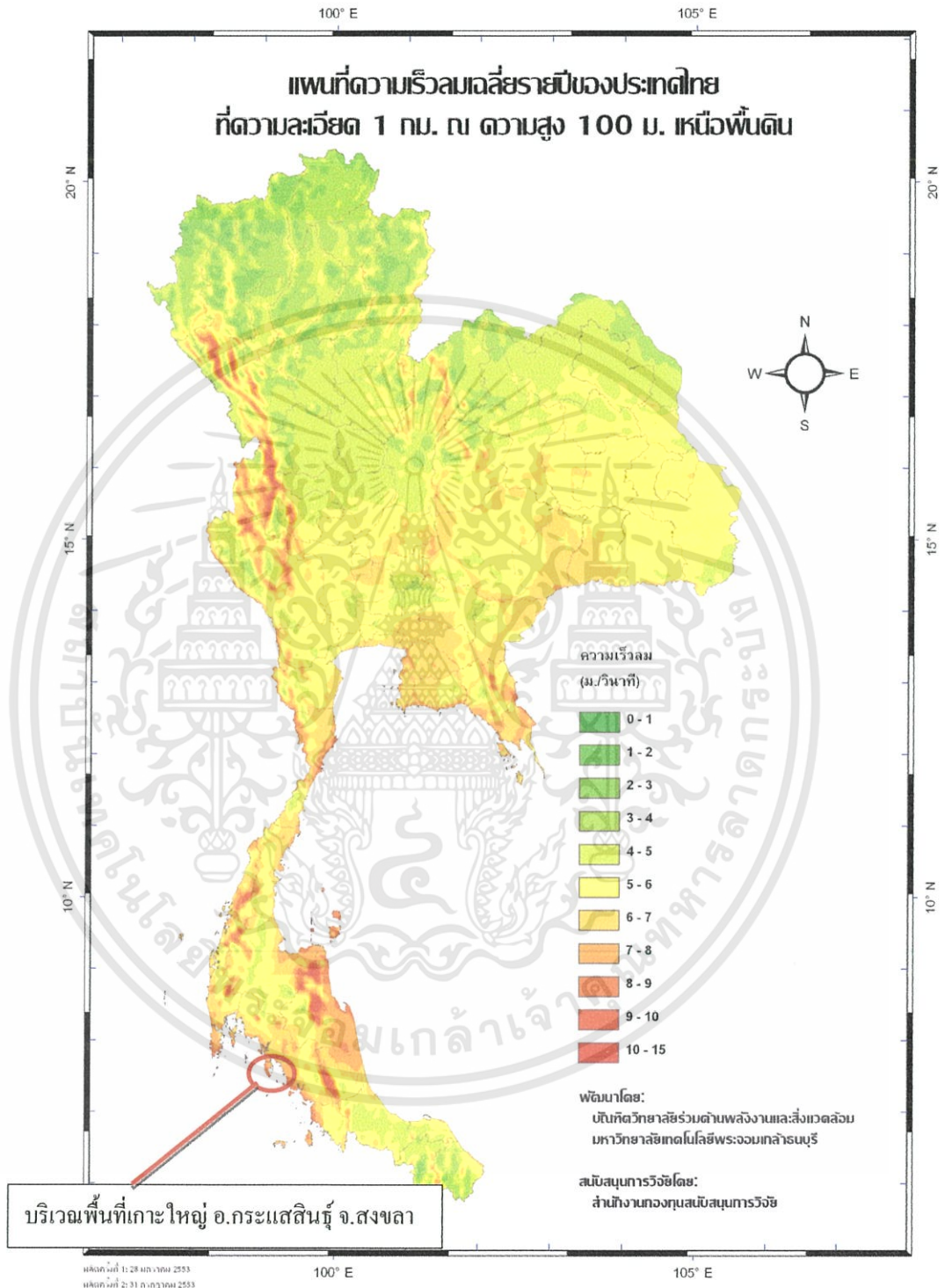
3.1 พื้นที่ที่ศึกษาผลกระทบ และขนาดพิกัดของทุ่งกังหันลม

3.1.1 สาเหตุที่เลือกศึกษาผลกระทบที่พื้นที่เกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จ.สงขลา

เนื่องจากภาคใต้ของประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดผ่านไทย จากทะเลจีนใต้ในเดือนพฤศจิกายน ถึงปลายเดือนมีนาคม ทำให้มีคลื่นลมแรงทางภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย ทิศทางของลมพัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่ง ซึ่งจากการศึกษาเพื่อจัดทำแผน ที่ศักยภาพพลังงานลมพบว่าพื้นที่ ส่วนใหญ่ของประเทศไทยกว่า 90 % มีความเร็วลมอยู่ใน Class 1 (ความเร็วลมอยู่ในช่วง 0-5.2 เมตรต่อวินาที) ส่วนพื้นที่ที่มีความเร็วลมอยู่ใน Class 3 (ความเร็วลม 5.9 เมตรต่อวินาที) ขึ้นไปมีอยู่ประมาณ 2 % เท่านั้น [11]

โดยจากการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับเลือกพื้นที่ และความเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์จาก พลังงานลมพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่อยู่ติดชายทะเล เพราะได้รับทั้งลมบก ลมทะเล และลมประจำ ฤดู คือพื้นที่บริเวณแนวชายฝั่ง จ.นครศรีธรรมราช และ จ.สงขลา ตามแนวถนนทางหลวง 4031 และ 408 นับแต่ อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ถึง อ.สิงหนคร จ.สงขลา ระยะทางประมาณ 140 กิโลเมตร พื้นที่กว้างประมาณ 2 กิโลเมตร หรือ 280 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะเป็นที่ราบชายฝั่ง ถนนลาดยาง ตลอดทั้งสาย ซึ่งได้รับลมเป็นระยะยาวนานในหนึ่งปี ทั้งลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ [12]

[13] จากการศึกษาพบว่า บริเวณพื้นที่เกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ มีศักยภาพในการพัฒนาติดตั้ง กังหันลมผลิตไฟฟ้าในรูปแบบทุ่งกังหันลมได้ เนื่องจากบริเวณพื้นที่เกาะใหญ่ จังหวัดสงขลา มีศักยภาพ พลังงานลมดี โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 5.6-6.4 เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถนำไปส่งเสริมการพัฒนาการ ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมได้ในอนาคต ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนที่ความเร็วลมเฉลี่ยรายปีของประเทศไทย [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สาเหตุของการเลือกพิกัดของทุ่งกังหันลมที่พิกัดรวม 30 MW ซึ่งเป็นระดับ SPP

เนื่องจากพื้นที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จ.สงขลา มีศักยภาพพลังงานลมสูงซึ่งใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ประกอบกับกระทรวงพลังงานได้กำหนดแผนเพื่อส่งเสริมการพัฒนาทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) โดยมีเป้าหมายของพลังงานลม คือ 1,200 MW ซึ่งปัจจุบันมีกำลังการผลิตลมเพียง 7.28 MW ดังนั้นจึงทำการศึกษาที่ระดับ SPP โดยเลือกพิกัดที่ทำการศึกษา คือ 30 MW เพื่อมีส่วนช่วยในแผนพัฒนาดังกล่าว

3.2 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้า

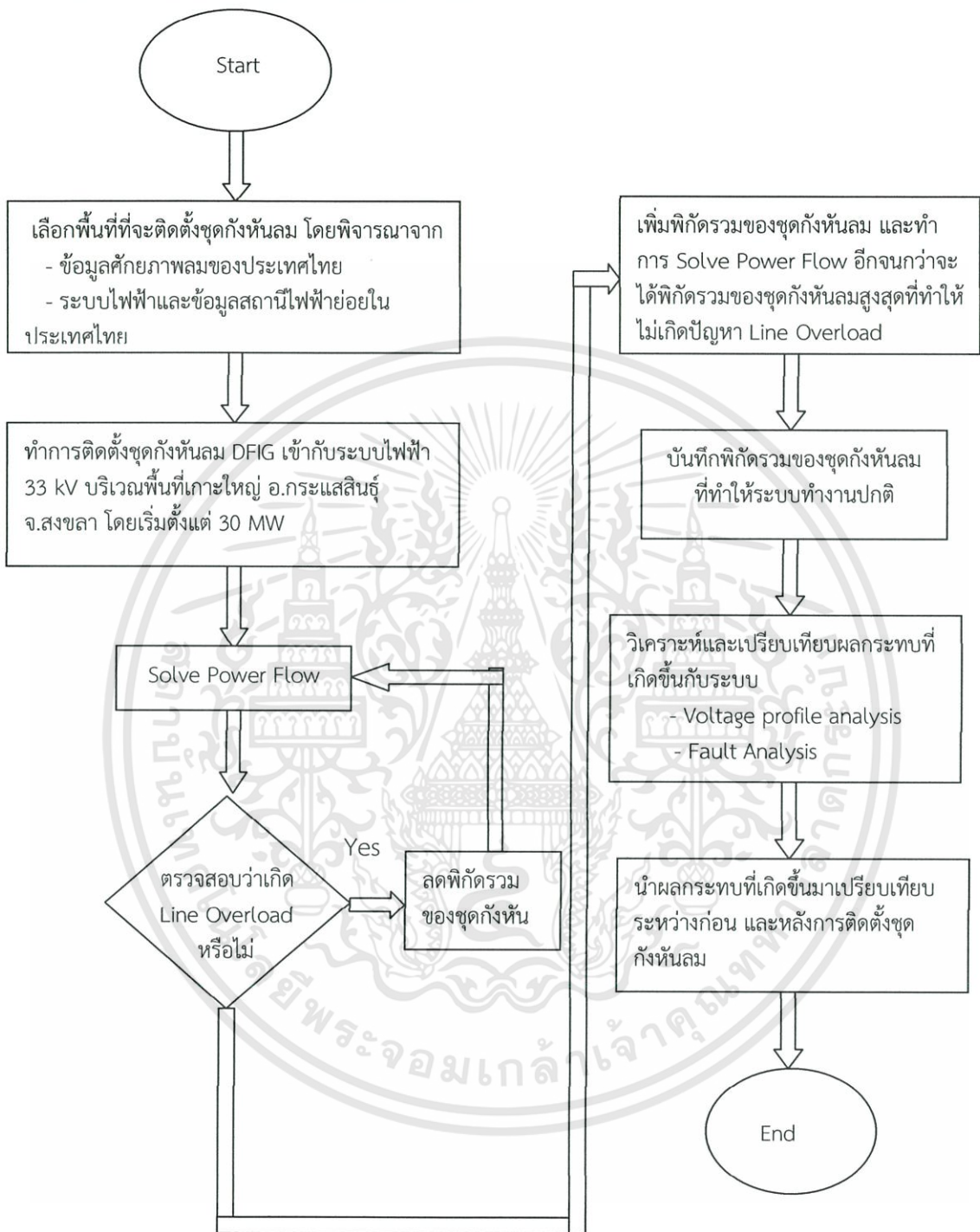
เนื่องจากปัจจุบันนี้ความต้องการของพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนพัฒนา เพื่อหาแหล่งพลังงานอื่นๆ ให้มีเพียงพอกับปริมาณความต้องการพลังงาน

ในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลม จำเป็นที่จะต้องมีการคำนึงถึงเสถียรภาพของระบบที่ได้ทำการติดตั้งนั้นด้วย ดังนั้นเราจึงได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน โดยในตอนแรกจะทำการศึกษาวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น และเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 33 kV ในพื้นที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จังหวัดสงขลา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำทุ่งกังหันลมบนพื้นที่สันเขา และมีลมกระโชกตลอดปี สำหรับการศึกษานี้ในตอนแรก 2 นั้นจะทำการศึกษาผลกระทบของสายส่งระดับแรงดัน 115 kV บริเวณเกาะใหญ่ที่ทำการติดตั้งทุ่งกังหันลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าสงขลา 2, สงขลา 3 และสถานีจะนะ

3.2.1 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 33 kV (ตอนที่ 1)

จากรูปที่ 3.2 แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1.1 ทำการคำนวณหาจำนวนกังหันลมที่สามารถติดตั้งได้สูงสุด และศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบโดยจะทำการศึกษาในพื้นที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จังหวัดสงขลา ดังรูปที่ 3.1 โดยในการทดลองนี้จะใช้ชุดกังหันลมติดตั้งเข้ากับบัส 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 3.2 Flow chart การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 33 kV (ตอนที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด Terminal ที่ใช้ศึกษา ดังต่อไปนี้

บริเวณสถานีไฟฟ้าย่อยระโนด Feeder 1 (ROA01)

- Terminal 190_441

บริเวณต้นสาย

- Terminal 471_258440

- Terminal 471_208647

- Terminal 203_4314

- Terminal 471_208523

บริเวณกลางสาย

- Terminal 471_258403

- Terminal 471_270676

- Terminal 471_257025

- Terminal 471_269528

บริเวณปลายสาย

- Terminal 471_243184

- Terminal 471_228292

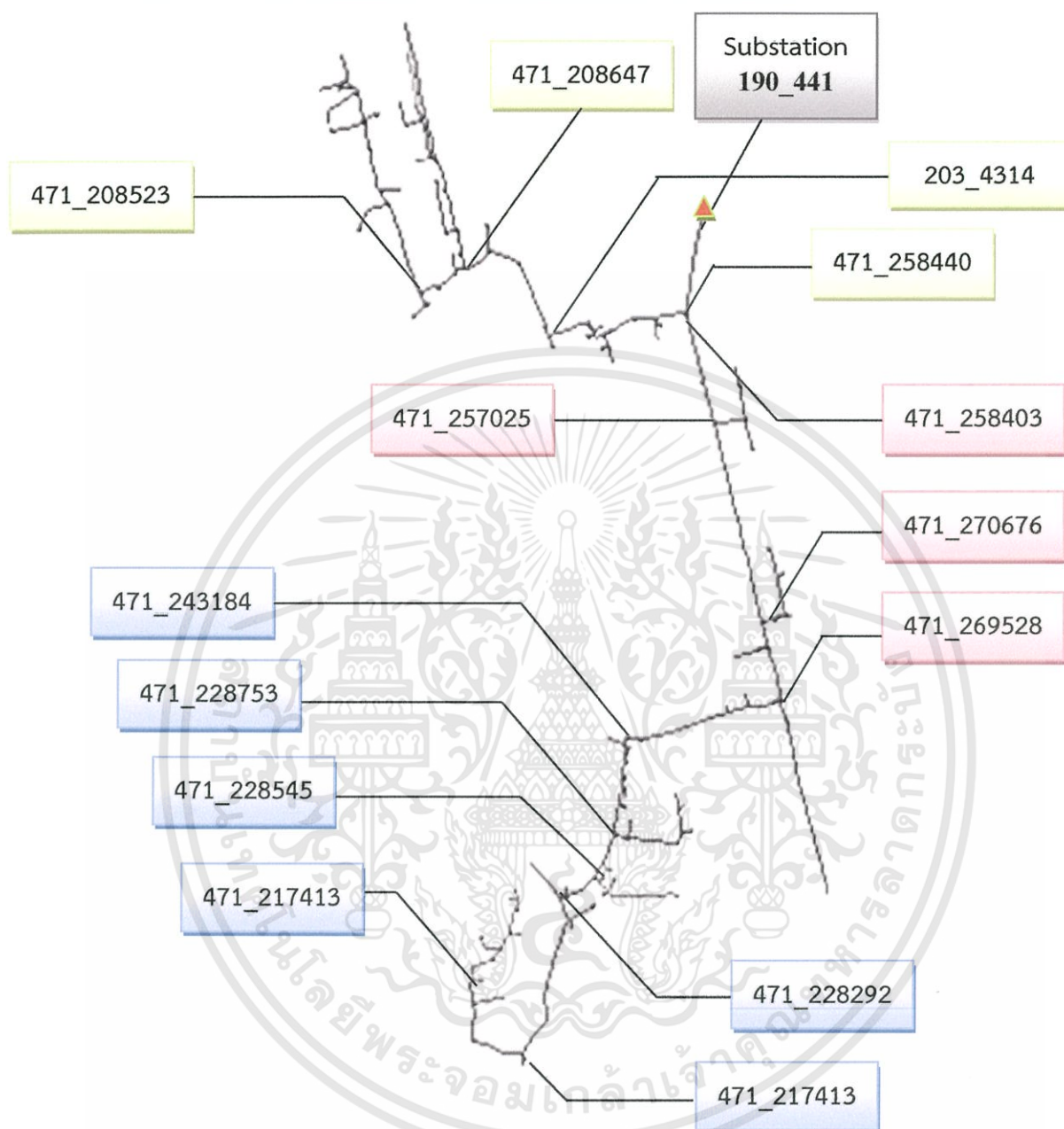
- Terminal 471_228753

- Terminal 471_217413

- Terminal 471_228545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ผังสถานีไฟฟ้าย่อยระยะโนด feeder1

3.2.1.2 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะคงตัวโดยใช้โปรแกรม DlgSILENT PowerFactory

- วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านกรไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis)
- วิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis)
- วิเคราะห์ผลทางด้านสภาวะการณ้ผิดพลาด (Fault Analysis) ซึ่งได้แก่ สภาวะการณ้ผิดพลาด 1 เฟสลงดิน ($1\Phi-G$), สภาวะการณ้ผิดพลาด 2 เฟส (2Φ) และสภาวะการณ้ผิดพลาดสามเฟส (3Φ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 115 kV (ตอนที่ 2)

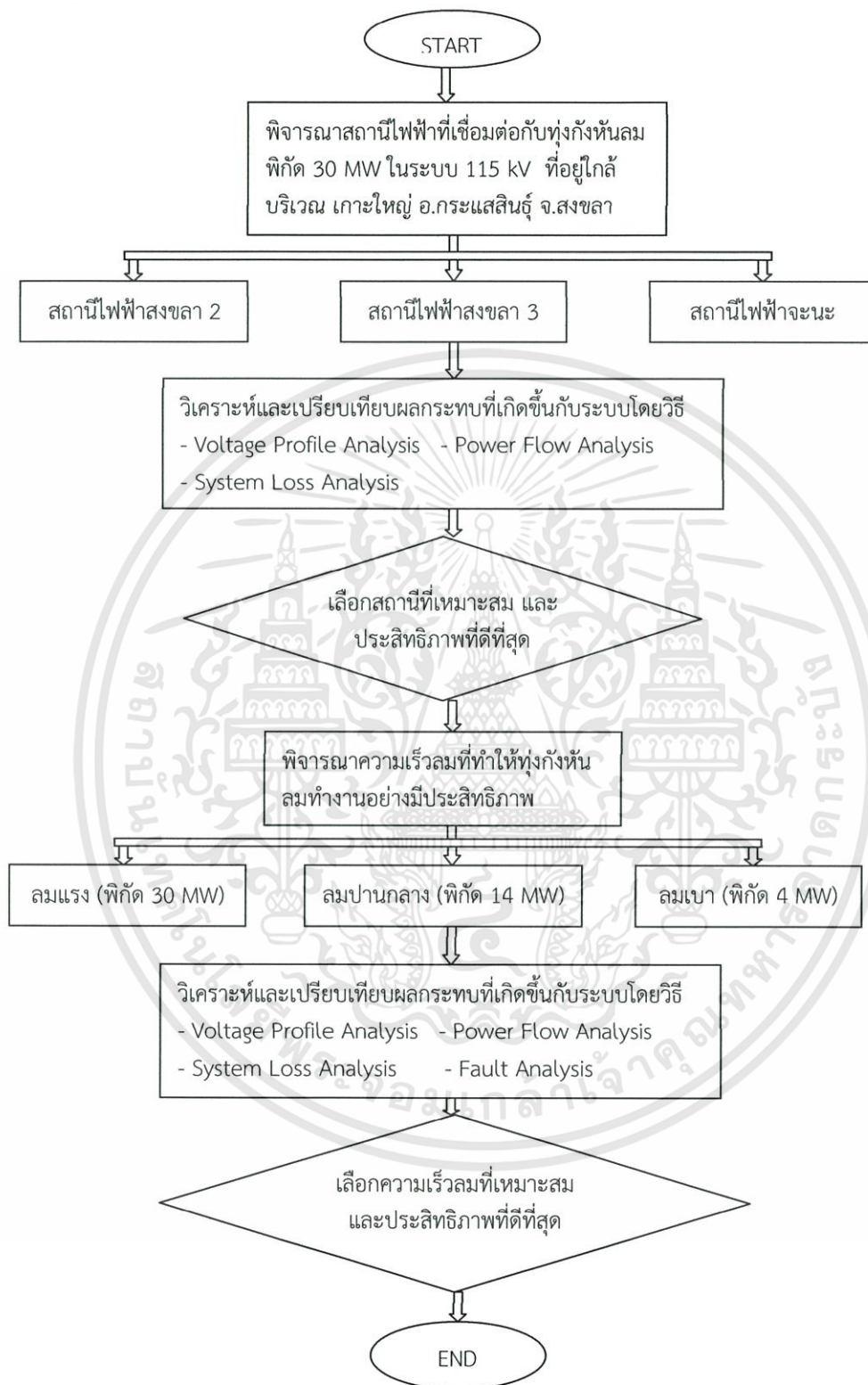
จากรูปที่ 3.4 แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.2.1 ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 kV บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา ที่ได้ทำการจำลองการติดตั้งทุ่งกังหันลมระดับ SPP เข้ากับระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ที่สถานีไฟฟ้าสงขลา 2 ,สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 และสถานีไฟฟ้าจะนะ เพื่อนำผลการศึกษามาประกอบการพิจารณาเลือกสถานที่ที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดในการติดตั้งทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 kV ของ กฟภ. โดยมีข้อพิจารณา ดังนี้

1. ระยะทางระหว่างทุ่งกังหันลมกับสถานีไฟฟ้า (Distance)
2. ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- 3.ค่าความสูญเสียในระบบไฟฟ้า (Loss)
- 4.ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow)

ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะคงตัวโดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory

- วิเคราะห์ผลกระทบทางการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis)
- วิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis)
- วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความสูญเสียในระบบ (System losses analysis)



รูปที่ 3.4 Flow chart การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 115 kV (ตอนที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุของการเลือก Terminal ที่ใช้ศึกษา

1. ทำการเลือกจากระยะห่างจากจุดเชื่อมต่อกับตู้กึ่งหันลม โดยจะทำการศึกษาและวิเคราะห์จากแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่ Terminal เหล่านั้นว่าส่งผลอย่างไรบ้างกับระยะทางการติดตั้งของตู้กึ่งหันลม

2. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น ณ จุด Terminal ต่างๆ ในบริเวณที่มีการเชื่อมต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยพิจารณาว่าการเชื่อมต่อบนระบบ 115 kV กับตู้กึ่งหันลม ขนาดพิกัดของหม้อแปลงต่างกันจะมีผลหรือไม่ อย่างไร

3. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น ณ จุด Terminal ที่มีการเชื่อมต่อกับกลุ่ม Load ขนาดต่างๆ โดยพิจารณาว่าการเชื่อมต่อบนระบบ 115 kV กับตู้กึ่งหันลม ขนาด Load ต่างกันจะมีผลหรือไม่ อย่างไร

4. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบว่า สถานีไฟฟ้าที่สามารถรับระดับความรุนแรงของ Fault ได้สูง เมื่อทำการเชื่อมต่อบนระบบ 115 kV กับตู้กึ่งหันลมแล้ว ถ้าสถานีไฟฟ้าที่รับระดับความรุนแรงได้สูงเกิดผลกระทบ แสดงว่าสถานีไฟฟ้าที่รับระดับความรุนแรงได้ต่ำกว่าก็จะมีผลกระทบเช่นกัน

ตาราง 3.1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดของสถานีไฟฟ้าในระบบ

รายชื่อสถานีไฟฟ้า	BUS (kV)	หม้อแปลง (MVA)	3 Phase fault (kA)
1. ฉลุ้ง	115		5.463
	33-TP1	50	4.865
2. ทาดใหญ่ 3	115		2.679
	33-TP1	50	3.767
3. ทาดใหญ่ 4	115		8.440
	33-TP1	50	5.399
4. จะนะ	115		3.506
	33-TP1	50	4.211
	33-TP2	50	4.211
5. สงขลา 2 (ชั่วคราว)	115		2.178
	33-TP1	25	2.272

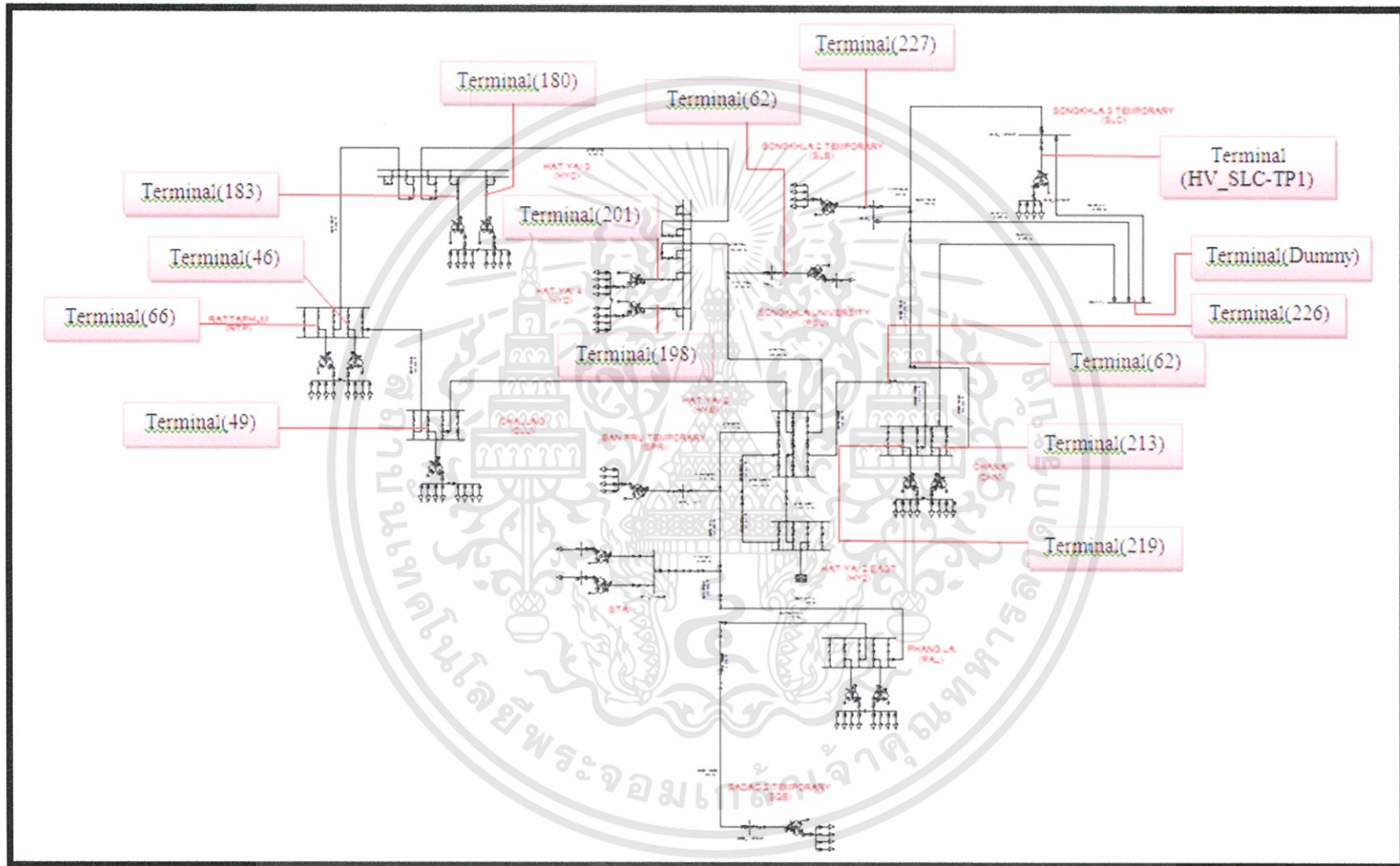
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สงขลา 3 (ชั่วคราว)	115		2.140
	33-TP1	25	2.259
7. รัตภูมิ	115		3.693
	33-TP1	50	4.289
	33-TP2	50	4.289
8. ม.สงขลานครินทร์ (หาดใหญ่)	115		8.520

โดยได้กำหนด Terminal ที่ใช้ศึกษา ดังต่อไปนี้

- Terminal (226)
- Terminal (180)
- Terminal (219)
- Terminal (183)
- Terminal (213)
- Terminal (46)
- Terminal (227)
- Terminal (49)
- Terminal (205)
- Terminal (66)
- Terminal (201)
- Terminal (62)
- Terminal (198)
- HV_SLC-TP1
- Dummy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Terminal ที่ทำการศึกษา

สาเหตุของการเลือกสายส่งที่ใช้ทำการศึกษา

1. ทำการพิจารณาจาก ตำแหน่งของสายส่งที่อยู่บริเวณจุดเชื่อมต่อกับทุ่งกังหันลม และในบริเวณไกลออกไป เพื่อศึกษาถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ ทั้งก่อนและหลังการเชื่อมต่อกับทุ่งกังหันลม ว่ามีการไหลของกำลังไฟฟ้าไปในทิศทางใด และมีขนาดของกำลังไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด

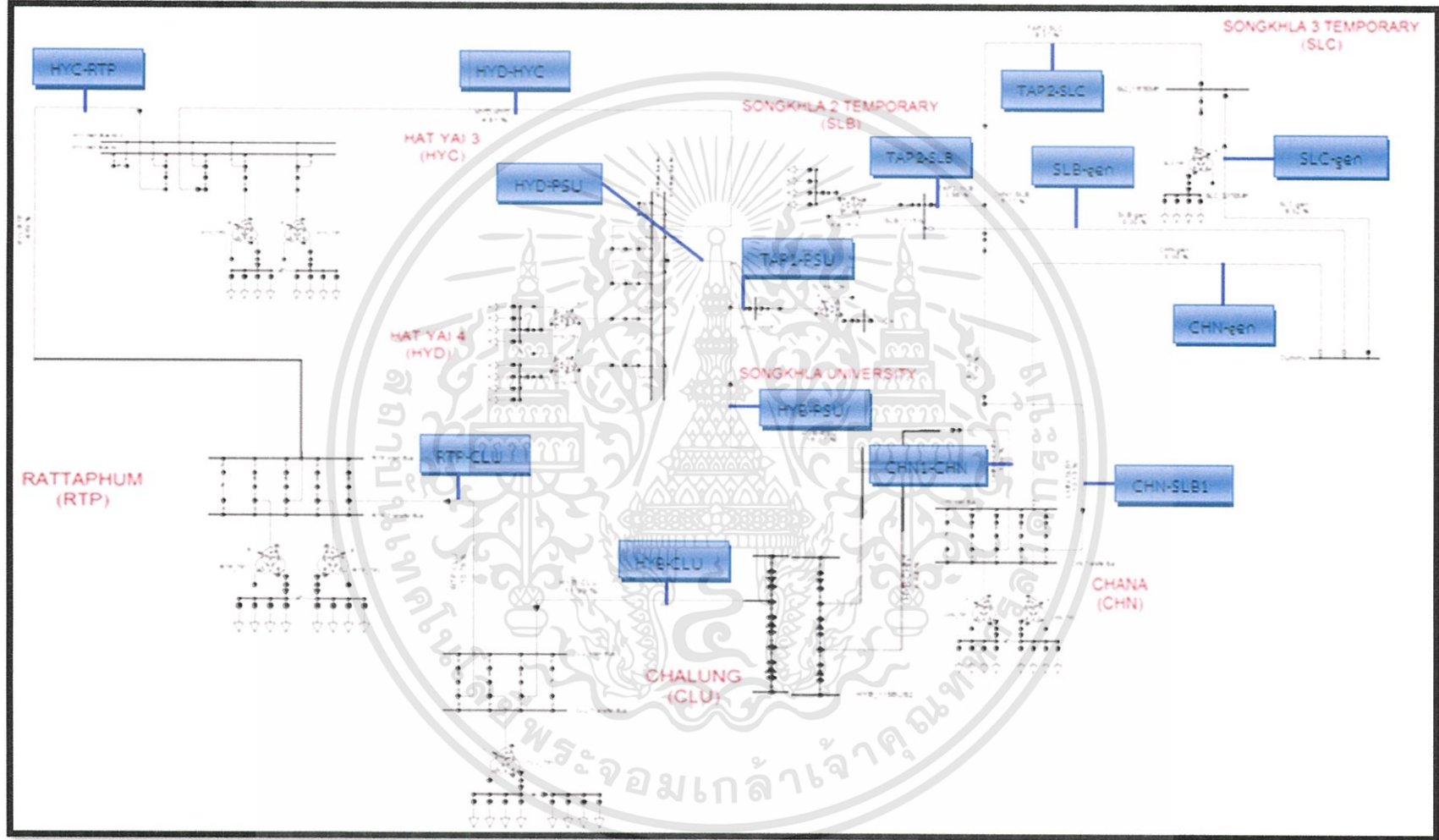
2. เพื่อศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ในบริเวณที่มีการเชื่อมต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยพิจารณาว่าการเชื่อมต่อระบบ 115 kV กับทุ่งกังหันลม ขนาดพิกัดของหม้อแปลงต่างกันจะมีผลหรือไม่ อย่างไร

3. ทำการพิจารณาถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งกำลังไฟฟ้าว่ามีความสัมพันธ์อย่างไรกับ Load ในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากในแต่ละพื้นที่นั้นความต้องการ Load ไม่เท่ากัน

กำหนดสายส่งที่ใช้ทำการศึกษา ดังต่อไปนี้

- SLB-gen
- HYB-PSU
- SLC-gen
- TAP1-PSU
- CHN-gen
- HYD-PSU
- TAP2-SLB
- HYD-HYC
- TAP2-SLC
- HYC-RTP
- CHN-SLB1
- RTP-CLU
- CHN1-CHN (จุดที่ PEA รับไฟฟ้าที่จ่ายมาจาก EGAT)
- HYB-CLU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Line ที่ทำการศึกษา

3.2.2.2 ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 kV บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา ที่ได้ทำการจำลองการติดตั้งทุ้งกั้นลมนระดับ SPP เข้ากับระบบไฟฟ้าของ กฟภ. โดยทำการติดตั้งกับสถานีไฟฟ้าที่มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่เนื่องจากความเร็ว ลมมีการเปลี่ยนแปลงจึงต้องทำการศึกษาความเร็วลมซึ่งแปรผันกับประสิทธิภาพของทุ้งกั้นลมได้ดังนี้

สมมติให้ - ลมแรง (ทำงานเต็มพิกัด 30 MW)

- ลมปานกลาง (14 MW)

- ลมเบา (4 MW)

โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะคงตัว

- วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านกระแสของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis)
- วิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis)
- วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความสูญเสียในระบบ (System losses analysis)
- วิเคราะห์ผลทางด้านสภาวะการณ์ผิดปกติ (Fault Analysis) ซึ่งได้แก่ สภาวะการผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ($1\Phi-G$), สภาวะการผิดปกติ 2 เฟส (2Φ) และสภาวะการผิดปกติสามเฟส (3Φ)

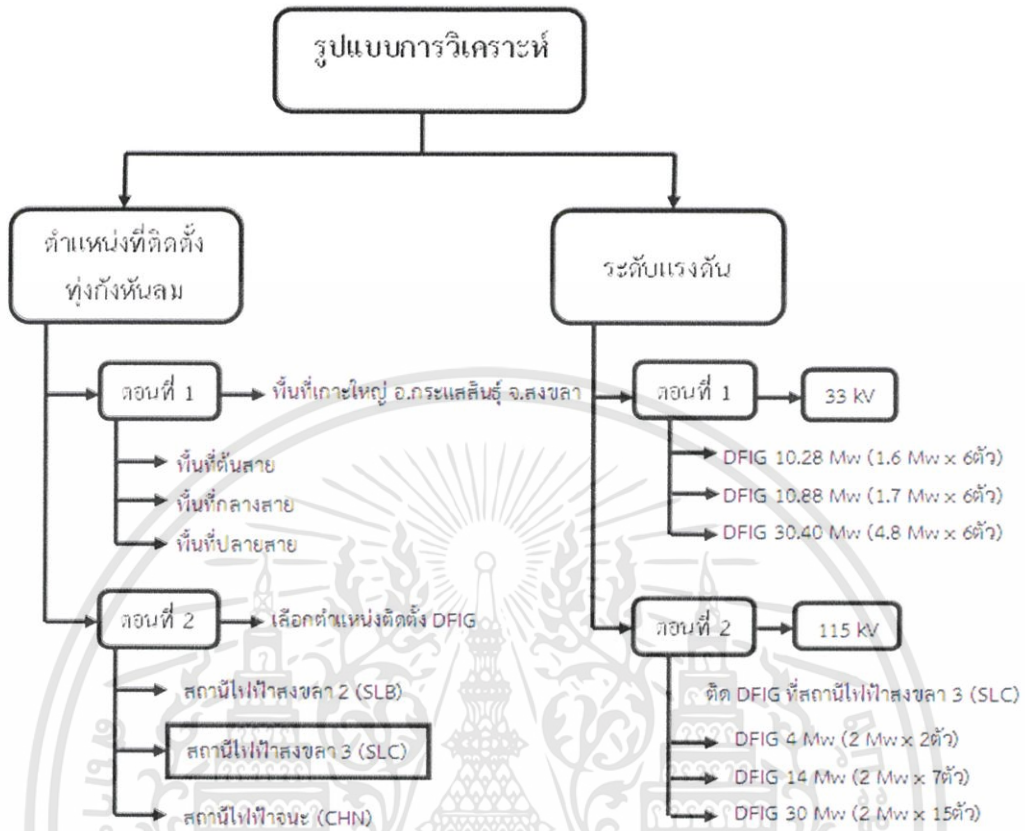
3.3 สภาวะอยู่ตัว (Steady – State)

สภาวะอยู่ตัว (Steady-state) หมายถึงสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณใดๆ ภายในระบบ ไม่ว่าจะเวลาจะผ่านไปนานเท่าใดก็ตาม หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นสภาวะที่ไม่มีการรบกวนอันเนื่องมาจาก ความผิดปกติทั้งภายนอกและภายในระบบเลย

3.3.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q)

ในการทดสอบระบบในสภาวะอยู่ตัวจะมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ภายในกังหันลมเป็นค่าที่สภาวะอยู่ตัวโดยจะไม่พิจารณาการทำงานในสภาวะไดนามิกและให้ถือว่าค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าคงที่ตลอดการทดลองและกำหนดให้ค่าความเร็วลมมีค่าคงที่ที่ 15 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วที่ทำให้กังหันลมทำงานที่พิกัด
2. ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถทำงานได้ คือ $\pm 5\%$ หรือ ± 0.05 p.u. ของแรงดันปกติ ยกเว้นในกรณีที่ไม่สามารถปรับแท็ป (Tap Changer) ของหม้อแปลง
3. ความถี่ของของระบบไฟฟ้าอยู่ในช่วง $\pm 1\%$ ของความถี่มูลฐาน 50 Hz



รูปที่ 3.7 แผนผังการศึกษาวิเคราะห์ระบบในสภาวะคงตัว

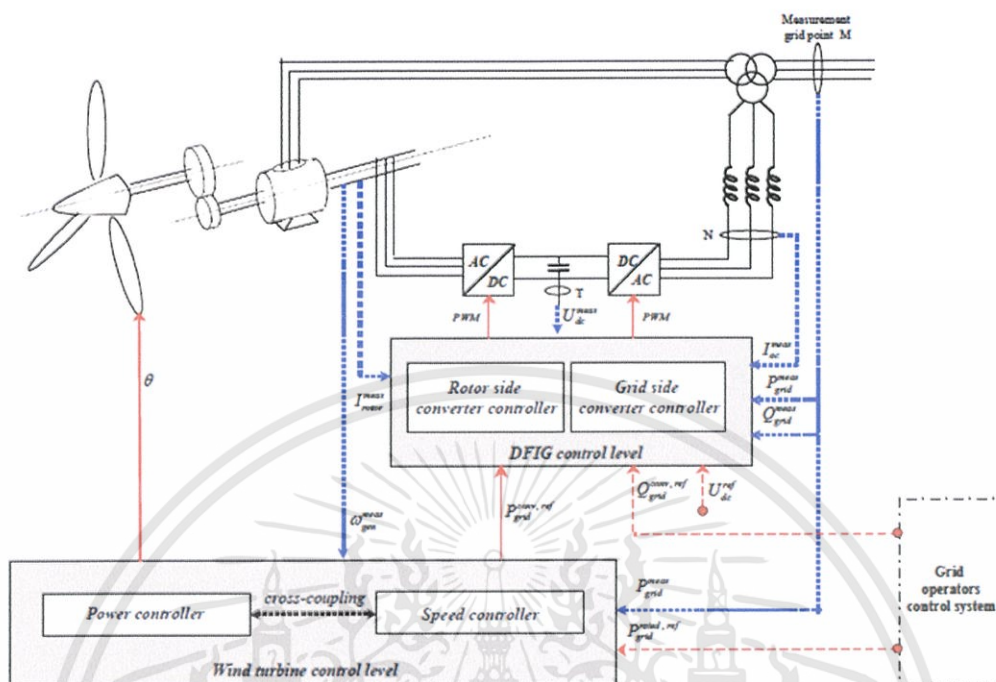
3.4 ชุดกังหันลมที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาใช้กังหันลมที่ความเร็วปรับเปลี่ยนได้ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับ-บลีเฟด (Variable Speed Wind Turbine with Doubly-Fed Induction Generator, DFIG)

3.4.1 การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับบลีเฟด

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับบลีเฟด หรือ DFIG ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ ที่มีขดลวดสเตเตอร์เชื่อมต่อโดยตรงกับระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟส มีความถี่คงที่ และที่ขดลวดโรเตอร์ต่อกับคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันสองทิศทาง (Back To Back) โดยคอนเวอร์เตอร์จะชดเชยความแตกต่างระหว่างความถี่ทางกลและความถี่ทางไฟฟ้าโดยการส่งกระแสโรเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนความถี่ทั้งในสภาวะปกติ และขณะเกิดฟอลต์

โดยคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ร่วมกับ DFIG จะประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ 2 ส่วนคือ คอนเวอร์เตอร์ด้านโรเตอร์ และคอนเวอร์เตอร์ด้านระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีควบคุมแบบอิสระซึ่งกันและกัน คอนเวอร์เตอร์ด้านโรเตอร์เป็นตัวควบคุมกำลังแอกทีฟและกำลังรีแอกทีฟโดยการควบคุมกระแสโรเตอร์ ในขณะที่คอนเวอร์เตอร์ด้านระบบไฟฟ้ากำลังเป็นตัวควบคุม DC-link



รูปที่ 3.8 ระบบของกังหันลมที่ความเร็วปรับเปลี่ยนได้ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับบลิวเฟด [10]

3.4.2 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับบลิวเฟด

ข้อดีของ DFIG

- มีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอกทีฟ และแอกทีฟดีคัปเปิล
- สามารถสร้างสนามแม่เหล็กจากวงจรโรเตอร์ที่ได้รับการควบคุมจากคอนเวอร์เตอร์ด้านโรเตอร์
- สามารถผลิตกำลังรีแอกทีฟส่งไปยังสเตเตอร์โดยคอนเวอร์เตอร์ด้านระบบไฟฟ้ากำลัง
- สามารถควบคุมให้มีการผลิตหรือดึงกำลังไฟรีแอกทีฟไปยังระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อช่วยรักษาระดับแรงดันของระบบไฟฟ้ากำลังให้มีเสถียรภาพ
- ขนาดของคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมใช้เพียง 30% ของพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อเสียของ DFIG

- ต้องใช้ชุดเกียร์ในการทดรอบความเร็วระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วของกังหัน ให้มีความเหมาะสม
- มีการใช้แปร่งถ่าน ซึ่งต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และเพิ่มความเสี่ยงเสียหายไฟฟ้า

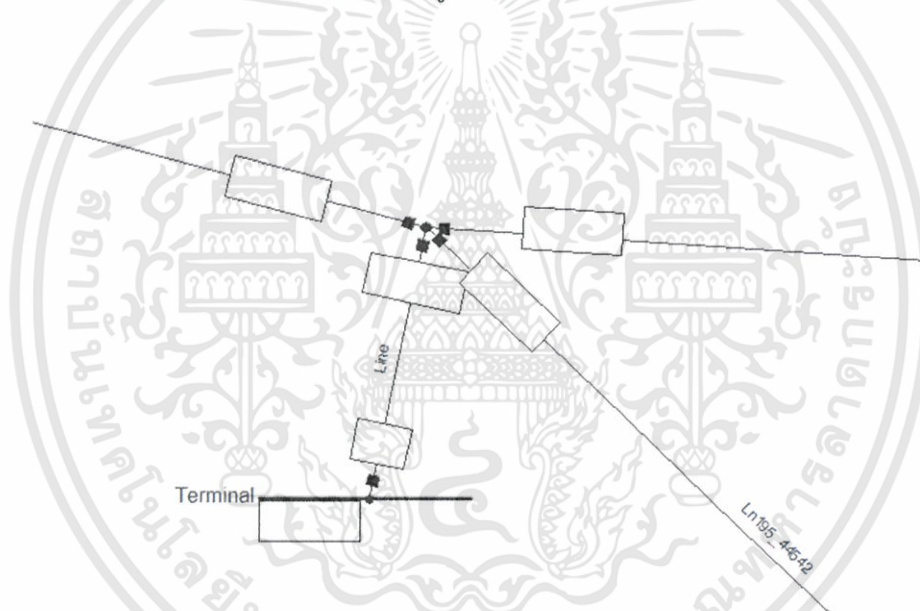
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลอง

ในโครงการนี้จะทำการทดลอง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยละเอียด ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ผลในกรณีที่สภาวะคงตัวเปรียบเทียบกับกรณีฐานของระบบปกติ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ดังมีรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

3.5.1 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 33 kV (ตอนที่ 1)

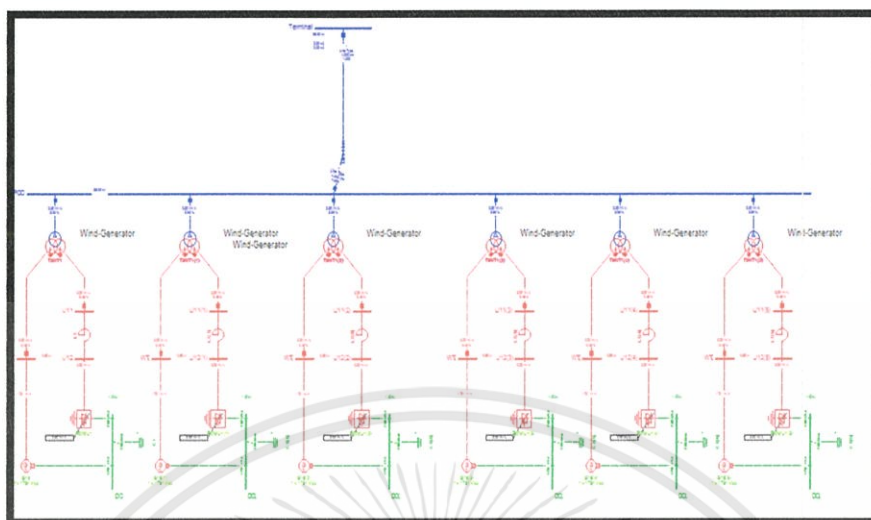
1. ทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณด้วยวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson) ในกรณีฐานของระบบปกติ (System Base Case)
2. เลือกตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งชุดกังหันลม DFIG เข้ากับระบบไฟฟ้า
3. สร้างบัสของชุดกังหันลมเพื่อทำการเชื่อมต่อเข้ากับบัสของระบบไฟฟ้าในตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 บัสที่ทำการสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory

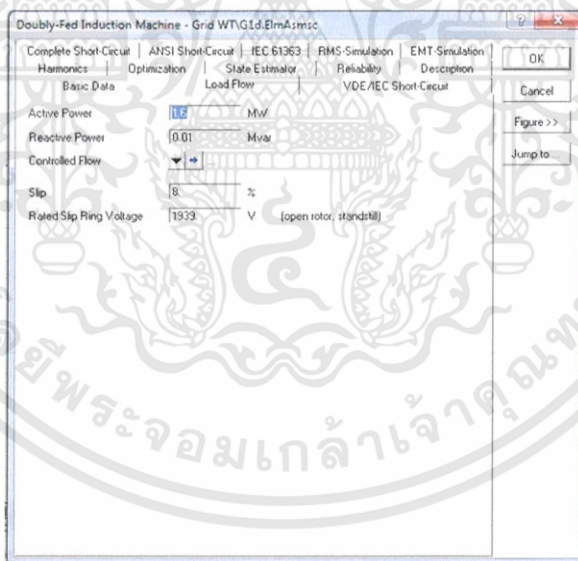
4. ติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับบัสที่สร้างขึ้นให้ได้กำลังผลิตที่สูงที่สุด โดยระบบยังคงมีเสถียรภาพอยู่ โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 ติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับบัสที่สร้างขึ้นและจำนวนของกังหันลม ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การกำหนดจำนวนกังหันลมสูงสุด

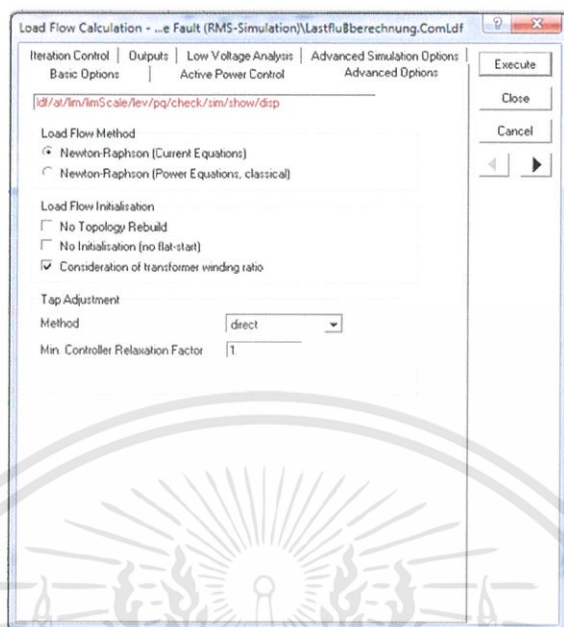
4.2 กำหนดค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ DFIG ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การกำหนดค่ากำลังไฟฟ้า

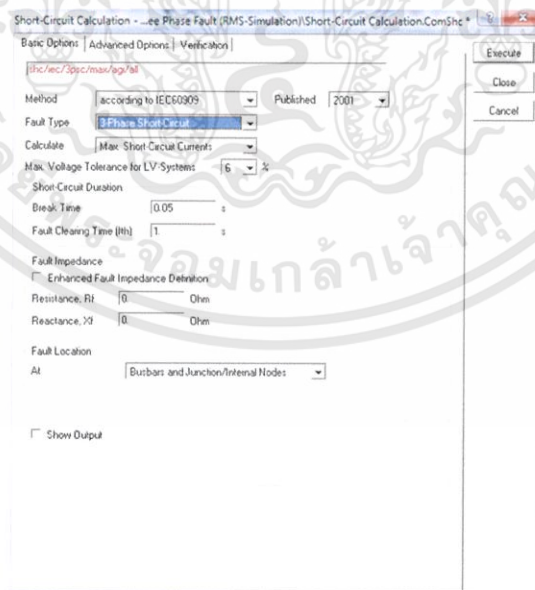
4.3 ทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณด้วยวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson) เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว (Steady - State) ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

5. ศึกษาผลทางด้านสภาวะการณืผิดพ่วง ซึ่งได้แก่ สภาวะการณืผิดพ่วง 1 เฟสลงดิน (1Φ -G), สภาวะการณืผิดพ่วง 2 เฟส (2Φ), สภาวะการณืผิดพ่วง 2 เฟสลงดิน (2Φ -G) และสภาวะการณืผิดพ่วงสามเฟส (3Φ) โดยวิธีการ Short-Circuit Calculation



รูปที่ 3.13 วิธีการ Short-Circuit Calculation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ โดยพิจารณาที่จำนวนสายส่งที่มีกระแสไหลเกินพิกัด (Line Overload), จำนวนบัสที่เกิดแรงดันเกิน (Over-voltage) จำนวนบัสที่เกิดแรงดันตก (Under-voltage) ค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบ (Power Flow) และค่าการลัดวงจร (Fault) เมื่อทำการติดตั้งชุดกักหน้ลมเข้าไป

จากการศึกษาการผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีสภาวะคงตัวของระบบเมื่อติดตั้งกักหน้ลมเข้ากับระบบ 33 kV ได้ผลสรุปออกมาจากมาว่า กักหน้ลมขนาดรวม 30 MW นั้นซึ่งเป็นระดับ SPP ไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบดังกล่าวได้ จึงได้แก้ไขปัญหาโดยการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในสภาวะคงตัวในระบบ 115 kV ต่อไป ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

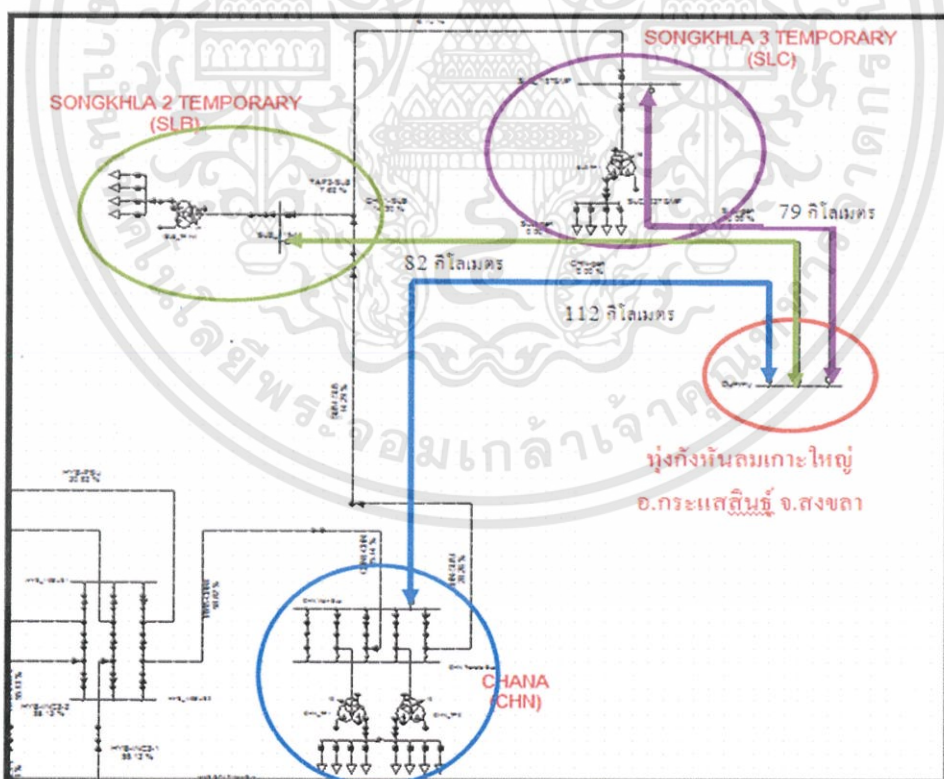
3.5.2 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มกักหน้ลมเข้ากับระบบ 115 kV (ตอนที่ 2)

จากรูปที่ 3.14 แสดงแผนผังระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับกักหน้ลมบริเวณพื้นที่เกาะใหญ่ อ.กระแสดินทร์ จ.สงขลา ซึ่งเป็นระดับ SPP โดยมีสถานี่ดังนี้ สถานี่ไฟฟ้าสงขลา 2, สถานี่ไฟฟ้าสงขลา 3 และสถานี่ไฟฟ้าจะนะ ซึ่งมีระยะห่างดังต่อไปนี้

เกาะใหญ่ – สถานี่ไฟฟ้าสงขลา 2 มีระยะทาง 82 km

เกาะใหญ่ – สถานี่ไฟฟ้าสงขลา 3 มีระยะทาง 79 km

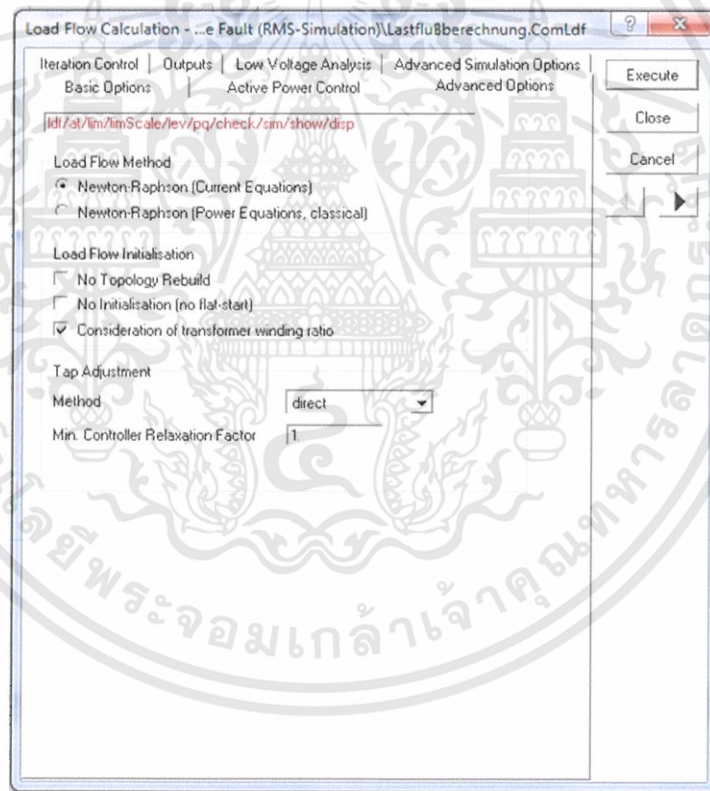
เกาะใหญ่ – สถานี่ไฟฟ้าจะนะ มีระยะทาง 112 km



รูปที่ 3.14 แผนผังระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับกักหน้ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

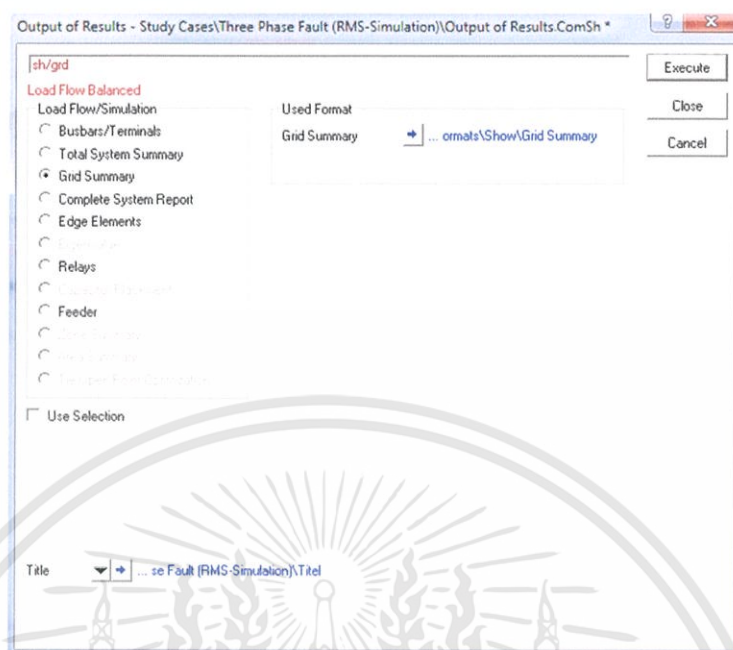
1. ทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) ในกรณีฐานของระบบปกติ (System Base Case) ทั้งในช่วงของ Peak Load และในช่วงของ Light Load
2. ทำการเลือกจุด Terminal และสายส่ง ที่ต้องการทำการศึกษาดังผลกระทบของการติดตั้งกังหันลม DFIG ขนาดพิกัด 30 MW (2 MW ×15 ตัว)
3. ทำการติดตั้งกังหันลม DFIG เข้ากับระบบไฟฟ้าระบบ 115 kV โดยติดตั้งเข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขลา2 (SLB) ,สถานีไฟฟ้าส่งขลา3 (SLC) และสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN)
4. ศึกษาผลกระทบของการติดตั้งชุดกังหันลมทั้งในช่วงของ Peak Load และในช่วงของ Light Load โดยการคำนวณแรงดันไฟฟ้า (p.u.) กำลังไฟฟ้าจริง (MW) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (MVA) ที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) โดยวิธีการคำนวณแบบวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson) ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

5. ศึกษาผลกระทบของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ โดยวิธีการ Output Calculation Analysis เพื่อเรียกดู Grid Summary ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วิธีการ Output Calculation Analysis

6. ทำการวิเคราะห์ค่าข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ,กำลังไฟฟ้า (MW) ,กำลังไฟฟ้าปรากฏ (MVA) ,ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ (Loss) และค่ากระแส ค่ากำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจร หลังติดตั้งชุดกักหน้ลม DFIG ขนาดพิกัด30 MW (2MW ×15 ตัว) ในช่วง Peak Load และ Light Load เข้ากับระบบ 115 kV กับทั้ง 3 สถานีไฟฟ้า

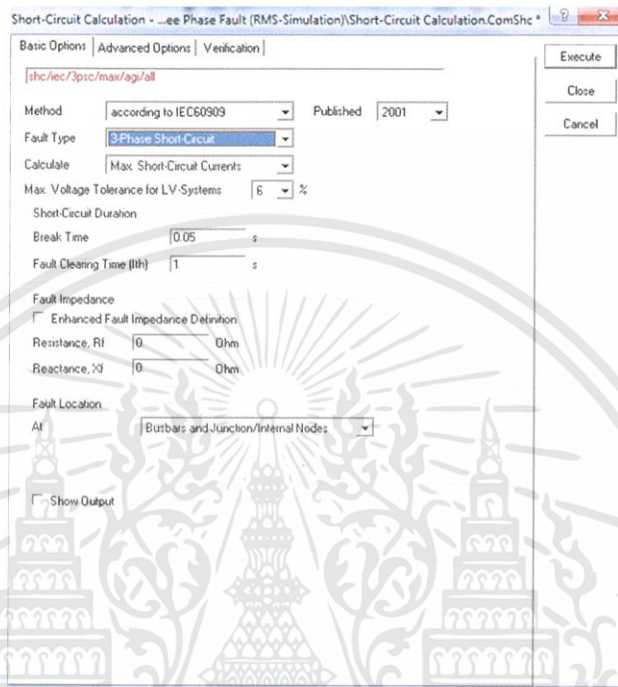
7. เลือกตำแหน่งสถานีที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการติดตั้งทุ้งกักหน้ลม DFIG

8. ติดตั้งทุ้งกักหน้ลม DFIG ขนาดพิกัด30MW (2MW ×15 ตัว), 14MW (2MW ×7 ตัว), 4MW (2MW ×2 ตัว) ในช่วงของ Peak Load และในช่วงของ Light Load เข้ากับระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV เชื่อมต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC)

9. ทำการศึกษามลกระทบที่เกิดขึ้นของการติดตั้งทุ้งกักหน้ลมในช่วงของ Peak load และในช่วงของ light load ที่ติดตั้งเข้ากับสถานีสงขลา3 (SLC) โดยการคำนวณแรงดันไฟฟ้า (p.u.) กำลังไฟฟ้า (MW) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (MVA) ที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยวิธีการคำนวณแบบวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson)

10. คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจากการคำนวณ Output calculation analysis ในการติดตั้งทุ้งกักหน้ลม DFIG ขนาดพิกัด 30 MW (2MW ×15 ตัว), 14 MW (2MW ×7 ตัว), 4 MW (2MW ×2 ตัว)

11. คำนวณค่ากระแส และค่ากำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจร จากการคำนวณแบบ Short-Circuit Calculation ในการติดตั้งตู้กังหันลม DFIG ขนาดพิกัด 30 MW (2MW ×15 ตัว), 14 MW (2MW ×7 ตัว), 4 MW (2MW ×2 ตัว) ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วิธีการ Short-Circuit Calculation

12. ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลค่าที่ได้จากการคำนวณ
13. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงถึงผลการทดลอง ซึ่งจะแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ตอน ตามวิธีทำการทดลอง เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการศึกษา กล่าวคือ ในตอนที่ 1 จะเป็นการหาพิกัดสูงสุดของชุดกังหันลมที่สามารถติดตั้งเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังได้ โดยที่ระบบยังคงมีเสถียรภาพอยู่ และศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบ 33 kV ในสภาวะอยู่ตัว โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ส่วนในตอนที่ 2 จะเป็นการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในการเชื่อมต่อกังหันลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV และศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบ 115 kV ในสภาวะอยู่ตัว โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการทดลองทั้งในตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ได้ดังรูปที่ 3.5

4.1 ผลการจำลองติดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่ายที่ระดับแรงดัน 33 kV บริเวณพื้นที่ปลายสาย

ระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 33 kV บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จ.สงขลา ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory เป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 จำนวนสายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 kV

ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า (Mw)	พื้นที่ติดตั้ง	จำนวนสายจำหน่ายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัด	
		ก่อนติดตั้ง DFIG	หลังติดตั้ง DFIG
DFIG 1.6 Mw x 6	ต้นสาย	0	0
	กลางสาย	0	0
	ปลายสาย	0	0
DFIG 1.7 Mw x 6	ต้นสาย	0	0
	กลางสาย	0	0
	ปลายสาย	0	14
DFIG 4.8 Mw x 6	ต้นสาย	0	0
	กลางสาย	0	11
	ปลายสาย	0	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

		การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า			
พื้นที่	Terminal	Active Power (MW)		Reactive Power (Mvar)	
		ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง
สถานีไฟฟ้า	190_441	7.0	1.85936	4.338209	5.899695
ต้นสาย	471_258440	3.290795	3.945247	2.040769	2.649864
	203_4314	1.851552	1.946039	1.113247	1.272694
	471_208647	1.58914	1.640641	0.957319	1.075127
	471_208523	0.60162	0.5126031	0.3533824	0.3250977
กลางสาย	471_258403	6.956395	5.82963	4.256318	5.861655
	471_257025	3.649259	6.937036	2.199533	3.151894
	471_270676	2.789031	8.047705	1.64625	2.217493
	471_269528	1.989487	8.429088	1.1366	1.380518
ปลายสาย	471_243184	1.637602	8.834251	0.992107	0.9525111
	471_228753	1.146308	9.482561	0.6832879	0.4778032
	471_228545	0.9193082	9.6701	0.5458381	0.3528923
	471_228292	0.6351448	10.24598	0.3701301	0.1686971
	471_217413	0.3381214	0.1297744	0.1995211	0.07377673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าขนาดของแรงดัน (p.u.) ของระบบไฟฟ้า

พื้นที่	Terminal	ขนาดของแรงดัน (p.u.) ของระบบไฟฟ้า	
		ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง
สถานีไฟฟ้า	190_441	1	1
ต้นสาย	471_258440	0.9890719	0.99241
	203_4314	0.9823114	0.98435
	471_208647	0.9782893	0.97994
	471_208523	0.9776939	0.97940
กลางสาย	471_258403	0.9892037	0.99258
	471_257025	0.9822703	0.99206
	471_270676	0.9723895	0.99560
	471_269528	0.9695438	0.99882
ปลายสาย	471_243184	0.9641203	1.00691
	471_228753	0.9609587	1.01927
	471_228545	0.9592279	1.02988
	471_228292	0.9580853	1.03936
	471_217413	0.9553558	1.03828

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ก่อนติดตั้งชุดกั้นล้ม

ตำแหน่งเกิด Fault		ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ							
		3 ϕ Fault		1 ϕ -G Fault		2 ϕ Fault		2 ϕ -G Fault	
				เฟส A		เฟส B และ C		เฟส C	
Terminal		Sk" (MVA)	Ik" (kA)	Sk" (MVA)	Ik" (kA)	Sk" (MVA)	Ik" (kA)	Sk" (MVA)	Ik" (kA)
บัส Terminal		131.11	2.2938	16.051	0.8424	37.848	1.9865	38.971	2.0455
ต้นสาย	471_258440	667.54	11.678	116.21	6.0996	192.70	10.114	202.75	10.641
	203_4314	262.98	4.6001	44.246	2.3223	75.916	3.9845	80.288	4.2140
	471_208647	166.32	2.9099	28.378	1.4894	48.014	2.5201	50.712	2.4725
	471_208523	145.60	2.5472	24.918	1.3078	42.030	2.2060	44.379	2.3293
กลางสาย	471_258403	682.42	11.939	119.47	6.2707	196.99	10.339	207.21	10.876
	471_257025	343.07	6.0220	58.072	3.0479	99.036	5.1981	104.24	5.4710
	471_270676	197.69	3.4588	30.836	1.6184	57.070	2.9954	59.765	3.1368
	471_269528	174.27	3.0492	26.165	1.3733	50.312	2.6407	52.558	2.7586
ปลายสาย	471_243184	146.73	2.5671	20.114	1.0557	42.357	2.2231	44.009	2.3099
	471_228753	137.37	2.4033	17.862	0.9375	39.654	2.0813	41.085	2.1564
	471_228545	133.47	2.3352	16.836	0.8837	38.531	2.0223	39.810	2.0895
	471_228292	131.11	2.2938	16.051	0.8420	37.848	1.9865	38.971	2.0454
	471_217413	83.077	1.4535	12.327	0.6470	23.982	1.2587	25.451	1.2121

ตารางที่ 4.5 ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ หลังติดตั้งชุดกักกันลม

ตำแหน่งเกิด Fault		ค่ากระแสลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ							
		3 ϕ Fault		1 ϕ -G Fault		2 ϕ Fault		2 ϕ -G Fault	
				เฟส A		เฟส B และ C		เฟส C	
Terminal		Sk" (MVA)	Ik" (kA)	Sk" (MVA)	Ik" (kA)	Sk" (MVA)	Ik" (kA)	Sk" (MVA)	Ik" (kA)
ต้นสาย	471_258440	674.91	11.808	118.09	6.1984	194.83	10.226	205.55	10.788
	203_4314	264.02	4.6192	44.514	2.3364	76.217	4.0004	80.692	4.2352
	471_208647	166.76	2.9175	28.488	1.4952	48.138	2.5266	50.877	2.6704
	471_208523	145.93	2.5531	25.0031	1.3123	42.126	2.2110	44.507	2.3360
กลางสาย	471_258403	690.18	12.075	121.47	6.3753	199.24	10.457	210.16	11.031
	471_257025	314.99	5.5109	56.719	2.9770	90.930	4.7726	96.329	5.0559
	471_270676	157.86	2.7618	28.691	1.5059	45.569	2.3918	48.360	2.5382
	471_269528	131.34	2.2978	23.907	1.2548	37.913	1.9899	40.246	2.1124
ปลายสาย	471_243184	96.960	1.6964	17.6884	0.9284	27.990	1.4691	29.725	1.5602
	471_228753	82.367	1.441	15.295	0.8028	23.777	1.2480	25.433	1.3349
	471_228545	75.023	1.3126	14.172	0.7439	21.657	1.1367	23.368	1.2239
	471_228292	69.515	1.2162	13.312	0.6989	20.067	1.0532	21.714	1.1397
	471_217413	52.197	0.9258	10.608	0.5568	15.276	0.8018	16.793	0.8814

4.2 ผลการจำลองติดตั้งหุ่่งกั้ห้ันลมเข้ากับระบบจำหน่ายที่ระดับแรงดัน 115 kV

ระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 115 kV บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จ.สงขลา ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม DlgSILENT PowerFactory เป็นดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ของระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW

Terminal	ค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.)							
	Light Load				Peak Load			
	Base case	SLB	SLC	CHN	Base case	SLB	SLC	CHN
226	1.005787	1.012626	1.012626	1.013527	0.9800265	0.9890912	0.9890256	0.9888819
219	0.9994705	1.008779	0.9994705	1.010126	0.9626464	0.9748825	0.9747842	0.9745834
213	0.9994705	1.008779	0.9994705	1.010126	0.9626464	0.9748825	0.9747842	0.9745834
227	0.9906596	1.007484	0.9906596	1.001451	0.9344308	0.955081	0.9548825	0.9467681
205	1.015347	1.015364	1.015347	1.015367	1.010667	1.010692	1.010692	1.010692
201	1.015183	1.015201	1.015183	1.015203	1.010251	1.010277	1.010277	1.010276
198	1.015183	1.015201	1.015183	1.015203	1.010251	1.010277	1.010277	1.010276
183	0.9954207	0.9954376	0.9954207	0.9954406	0.9586505	0.9586782	0.958678	0.9586776
180	1.012729	1.012747	1.012729	1.012749	1.005178	1.005204	1.005203	1.005203
46	1.000246	1.000263	1.000246	1.000265	0.9691873	0.9692146	0.9692144	0.9692139
49	1.009294	1.009311	1.009294	1.009314	0.9922275	0.9922539	0.9922537	0.9922532
66	1.000246	1.000263	1.000246	1.000265	0.9691873	0.9692146	0.9692144	0.9692139
62	0.9949808	1.008582	0.9949808	1.00571	0.9478617	0.9650061	0.9648649	0.9600156
HV_SLC_TP1	0.9905884	1.007729	0.9905884	1.00138	0.9338377	0.9544881	0.9500905	0.9461827
Dummy	0	1.017247	0	1.025122	0	0.9648925	0.9569838	0.9892918

ตารางที่ 4.7 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW

Line	ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW)							
	Light Load				Peak Load			
	Base case	SLB	SLC	CHN	Base case	SLB	SLC	CHN
CHN-gen	0	0	0	31.81	0	0	0	31.78
SLB-gen	0	31.91	0	0	0	31.88	0	0
SLC-gen	0	0	31.92	0	0	0	31.89	0
TAP2-SLB	11.94	11.95	28.71	11.94	20.73	20.73	20.73	20.73
TAP2-SLC	3.20	3.20	11.94	3.20	18.30	18.30	18.40	18.30
CHN-SLB1	15.20	16.71	16.71	15.19	39.43	7.25	7.24	39.42
CHN1-CHN	31.91	0	0	0.09	71.57	39.39	39.38	39.78
HYB-PSU	49.65	49.71	49.65	49.65	92.57	92.57	92.57	92.57
TAP1-PSU	12.75	12.75	12.75	12.75	12.77	12.77	12.74	12.77
HYD-PSU	36.90	36.90	36.90	36.90	79.80	79.80	79.80	79.80
HYD-HYC	14.67	14.67	14.67	14.67	27.86	27.86	27.86	27.86
HYC-RTP	14.67	14.67	14.67	14.67	27.86	27.86	27.86	27.86
RTP-CLU	33.10	33.10	33.10	33.10	71.92	71.92	71.92	71.92
HYB-CLU	37.40	37.40	37.40	37.40	80.18	80.18	80.18	80.18

*** หมายถึง Line CHN1-CHN (เป็น Line ที่อยู่ระหว่างจุดที่ PEA รับไฟฟ้าที่จ่ายมาจาก EGAT)

ตารางที่ 4.8 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW

Line	ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA)							
	Light Load				Peak Load			
	Base case	SLB	SLC	CHN	Base case	SLB	SLC	CHN
CHN-gen	0	0	0	32.03	0	0	0	31.94
SLB-gen	0	32.00	0	0	0	31.93	0	0
SLC-gen	0	0	32.01	0	0	0	31.93	0
TAP2-SLB	13.67	13.67	28.72	13.66	24.26	24.28	24.28	24.26
TAP2-SLC	3.59	3.59	13.67	3.59	21.30	21.28	21.28	21.30
CHN-SLB1	16.55	17.18	17.02	16.52	46.02	21.26	21.71	45.96
CHN1-CHN	35.28	12.51	12.67	11.25	82.42	54.39	54.45	54.81
HYB-PSU	55.91	55.98	55.91	55.91	106.09	106.09	106.09	106.09
TAP1-PSU	14.60	14.61	14.60	14.61	14.64	14.64	14.64	14.64
HYD-PSU	41.31	41.31	41.31	41.31	91.45	91.45	91.45	91.45
HYD-HYC	16.59	16.59	16.59	16.59	32.05	32.05	32.05	32.05
HYC-RTP	16.59	16.59	16.59	16.59	32.08	32.08	32.08	32.08
RTP-CLU	36.72	36.72	36.72	33.10	82.00	82.00	82.00	82.00
HYB-CLU	41.21	41.21	41.21	37.40	92.05	92.05	92.05	92.05

ตารางที่ 4.9 ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 30 MW

ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV		
กรณี	Active Power (MW)	
	Peak Load	Light Load
Base case (ไม่ต่อ DFIG)	4.59	1.04
ต่อDFIG ที่ SLC	3.70	1.07
ต่อDFIG ที่ SLB	3.71	1.07
ต่อDFIG ที่ CHN	4.11	1.16

*** ค่าความสูญเสียของทุ่งกัณฑ์ลมช่วง Peak Load มีค่า 0.13 MW และค่าความสูญเสียของทุ่งกัณฑ์ลมช่วง Light Load มีค่า 0.13 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ 115 kV ในกรณี Base case และกรณีต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 ,14 ,4 MW

Terminal	ค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.)							
	Light Load				Peak Load			
	Base case	30 MW	14 MW	4 MW	Base case	30 MW	14 MW	4 MW
226	1.005787	1.012626	1.011238	1.009605	0.9800265	0.9890256	0.986647	0.9842056
219	0.9994705	1.008779	1.007147	1.005033	0.9626464	0.9747842	0.9718668	0.9686919
213	0.9994705	1.008779	1.007147	1.005033	0.9626464	0.9747842	0.9718668	0.9686919
227	0.9906596	1.007484	1.004579	1.009045	0.9344308	0.9548825	0.9904065	0.9453589
205	1.015347	1.015364	1.015362	1.015359	1.010667	1.010692	1.010686	1.01068
201	1.015183	1.015201	1.015199	1.015195	1.010251	1.010277	1.010271	1.010264
198	1.015183	1.015201	1.015199	1.015195	1.010251	1.010277	1.010271	1.010264
183	0.9954207	0.995437	0.9954357	0.9954318	0.9586505	0.958678	0.9586716	0.9586643
180	1.012729	1.012747	1.012745	1.012741	1.005178	1.005203	1.005197	1.005191
46	1.000246	1.000263	1.000261	1.000257	0.9691873	0.9692144	0.9692081	0.9692009
49	1.009294	1.009311	1.009309	1.009305	0.9922275	0.9922537	0.9922476	0.9922406
66	1.000246	1.000263	1.000261	1.000257	0.9691873	0.9692144	0.9692081	0.9692009
62	0.9949808	1.008582	1.006062	1.002999	0.9478617	0.9648649	0.9608319	0.9564711
HV_SLC-TP1	0.9905884	1.007729	1.004783	1.001094	0.9338377	0.9946055	0.9500905	0.9449861
Dummy	0	1.017247	1.011747	1.005777	0	0.9639784	0.9569838	0.9495236

ตารางที่ 4.11 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า Active Power (MW)

Line	การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า Active Power (MW)							
	Light Load				Peak Load			
	Base case	30 MW	14 MW	4 MW	Base case	30 MW	14 MW	4 MW
SLC-gen	0	31.92	15.02	4.29	0	31.89	15.02	4.29
TAP2-SLB	11.94	28.71	11.94	11.94	20.73	20.73	20.73	20.73
TAP2-SLC	3.20	11.94	11.94	1.05	18.30	18.40	3.34	14.02
CHN-SLB1	15.20	16.71	0.18	10.88	39.43	7.24	24.25	35.04
CHN1-CHN	31.91	0	16.89	27.59	71.57	39.38	56.39	67.18
HYB-PSU	49.65	49.65	49.65	49.65	92.57	92.57	92.57	92.57
TAP1-PSU	12.75	12.75	12.75	12.75	12.77	12.74	12.77	12.77
HYD-PSU	36.90	36.90	36.90	36.90	79.80	79.80	79.80	79.80
HYD-HYC	14.67	14.67	14.67	14.67	27.86	27.86	27.86	27.86
HYC-RTP	14.67	14.67	14.67	14.67	27.86	27.86	27.86	27.86
RTP-CLU	33.10	33.10	33.10	33.10	71.92	71.92	71.92	71.92
HYB-CLU	37.40	37.40	37.40	37.40	80.18	80.18	80.18	80.18

***หมายเหตุ Line CHN1-CHN (เป็น Line ที่อยู่ระหว่างจุดที่ PEA รับไฟฟ้าที่จ่ายมาจาก EGAT)

ตารางที่ 4.12 ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า Apparent Power (MVA)

Line	ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA)							
	Light Load				Peak Load			
	Base case	30 MW	14 MW	4 MW	Base case	30 MW	14 MW	4 MW
SLC-gen	0	32.01	15.02	4.29	0	31.93	15.02	4.29
TAP2-SLB	13.67	28.72	12.04	13.66	24.26	24.28	24.25	24.27
TAP2-SLC	3.59	13.67	13.66	3.19	21.30	21.28	8.06	15.60
CHN-SLB1	16.55	17.02	2.17	11.04	46.02	21.71	30.72	39.93
CHN1-CHN	35.28	12.67	19.98	29.48	82.42	54.45	66.97	76.36
HYB-PSU	55.91	55.91	55.91	55.91	106.09	106.09	106.09	106.09
TAP1-PSU	14.60	14.60	14.60	14.60	14.64	14.64	14.64	14.64
HYD-PSU	41.31	41.31	41.31	41.31	91.45	91.45	91.45	91.45
HYD-HYC	16.59	16.59	16.59	16.59	32.05	32.05	32.05	32.05
HYC-RTP	16.59	16.59	16.59	16.59	32.08	32.08	32.08	32.08
RTP-CLU	36.72	36.72	36.72	36.72	82.00	82.00	82.00	82.00
HYB-CLU	41.21	41.21	41.21	41.21	92.05	92.05	92.05	92.05

ตารางที่ 4.13 ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้งDFIG ขนาด 30, 14 และ 4 MW ที่สถานีส่งขลา3 (SLC)

ค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV				
กรณี	Active Power (MW)			
	Peak Load		Light Load	
	ที่ All terminal	ที่ Grid WT	ที่ All terminal	ที่ Grid WT
Base case	4.59	0.13	1.04	0.13
พิกัด 30 MW	3.70	0.13	1.07	0.13
พิกัด 14 MW	3.9	0.05	0.93	0.01
พิกัด 4 MW	4.26	0.01	0.93	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณี Base case

ตำแหน่งเกิด Fault	ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณี base case							
	3 ϕ Fault		1 ϕ -G Fault		2 ϕ Fault		2 ϕ -G Fault	
	Terminal	Ik"(kA)	Sk" (MVA)	เฟส A		เฟส B และ C		เฟส C
Ik"(kA)				Sk" (MVA)	Ik"(kA)	Sk" (MVA)	Ik"(kA)	Sk" (MVA)
Dummy	0	0	0	0	0	0	0	0
226	4.984297	992.8014	4.432718	294.3116	4.314982	286.4944	4.747786	315.2306
219	3.862323	769.3201	3.998847	265.5046	3.343942	222.0219	3.949574	262.2331
213	3.862323	769.3201	3.998847	265.5046	3.343942	222.0219	3.949574	262.2331
227	2.397889	477.6255	2.489068	165.2624	2.076275	137.8549	2.426438	161.1041
205	9.389176	1870.191	9.662228	641.5264	8.125746	539.5112	9.328998	619.4015
201	9.301597	1852.747	9.556522	634.5079	8.050004	534.4823	9.238729	613.408
138	6.700566	1334.658	6.744435	447.7986	5.800053	385.0961	6.623818	439.7903
183	2.949847	587.5678	2.775287	184.266	2.5541	169.5802	2.870915	190.6152
180	6.491098	1292.935	5.411721	359.3128	5.618821	373.0632	6.004874	398.6953
46	4.067085	810.1058	4.156894	275.9981	3.521166	233.7888	4.107332	272.7075
49	6.018466	1198.793	5.500823	365.2287	5.209879	345.9114	5.730596	380.4845
66	4.067085	810.1058	4.156894	275.9981	3.521166	233.7888	4.107332	272.7075
62	2.952355	588.0673	2.863271	190.1077	2.556273	169.7245	2.911412	193.304
HV_SLC-TP1	2.355949	469.2716	2.432009	161.4739	2.039967	135.4442	2.37613	157.7638

ตารางที่ 4.15 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกังหันลม 30 MW

ตำแหน่งเกิด Fault	ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกังหันลม 30 MW							
	3 ϕ Fault		1 ϕ -G Fault		2 ϕ Fault		2 ϕ -G Fault	
			เฟส A		เฟส B และ C		เฟส C	
Terminal	I _k "(kA)	S _k " (MVA)	I _k "(kA)	S _k " (MVA)	I _k "(kA)	S _k " (MVA)	I _k "(kA)	S _k " (MVA)
Dummy	3.294782	656.2739	1.501848	99.71562	2.853243	189.4419	2.92799	194.4047
226	5.943094	1183.78	4.906263	325.7527	5.145323	341.6252	5.557691	369.0045
219	4.877859	971.6005	4.680496	310.7629	4.223421	280.4152	4.818611	319.933
213	4.877859	971.6005	4.680496	310.7629	4.223421	280.4152	4.818611	319.933
227	3.605438	718.1523	3.298273	218.9897	3.122044	207.289	3.463362	229.9509
205	9.880207	1967.997	10.00239	664.1118	8.551167	567.7572	9.757802	647.872
201	9.783225	1948.68	9.889155	656.5932	8.467282	562.1876	9.659556	641.3489
138	6.945674	1383.48	6.907731	458.6408	6.012491	399.201	6.840654	454.1871
183	2.99602	596.7647	2.802428	186.068	2.594139	172.2386	2.912534	193.3785
180	6.720758	1338.68	5.51623	366.2517	5.817876	386.2795	6.207492	412.1482
46	4.155606	827.7379	4.218212	280.0694	3.597917	238.8847	4.187436	278.026
49	6.215196	1237.979	5.608852	372.4013	5.380405	357.2335	5.904654	392.0412
66	4.155606	827.7379	4.218212	280.0694	3.597917	238.8847	4.187436	278.026
62	4.058451	808.386	3.500395	232.4097	3.51418	233.325	3.849698	255.6018
HV_SLC-TP1	3.577697	712.6266	3.24403	215.3883	3.098031	205.6947	3.426964	227.5342

ตารางที่ 4.16 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกึ่งหันลม 14 MW

ตำแหน่งเกิด Fault	ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกึ่งหันลม 14 MW							
	3 ϕ Fault		1 ϕ -G Fault		2 ϕ Fault		2 ϕ -G Fault	
			เฟส A		เฟส B และ C		เฟส C	
Terminal	Ik”(kA)	Sk”(MVA)	Ik”(kA)	Sk”(MVA)	Ik”(kA)	Sk”(MVA)	Ik”(kA)	Sk”(MVA)
Dummy	2.394557	476.9618	1.348092	89.50697	2.073626	137.679	2.157793	143.2673
226	5.644112	1124.227	4.7672	316.5196	4.886397	324.4337	5.310626	352.6005
219	4.548503	905.9974	4.473256	297.0031	3.93819	261.4772	4.545362	301.7906
213	4.548503	905.9974	4.473256	297.0031	3.93819	261.4772	4.545362	301.7906
227	3.16668	630.7578	3.041203	201.9215	2.742067	182.0603	3.104195	206.1039
205	9.738495	1939.77	9.905207	657.659	8.428391	559.6054	9.637046	639.8544
201	9.644269	1921.002	9.794144	650.285	8.346893	554.1943	9.54108	633.4827
138	6.875554	1369.513	6.861358	455.5618	5.951718	395.166	6.780124	450.1682
183	2.982965	594.1644	2.794786	185.5606	2.582818	171.487	2.901046	192.6158
180	6.655101	1325.602	5.486641	364.287	5.76097	382.5012	6.150776	408.3825
46	4.130492	822.7355	4.200899	278.9198	3.576142	237.439	4.165269	276.5542
49	6.159039	1226.793	5.57826	370.3702	5.331728	354.0016	5.856099	388.8173
66	4.130492	822.7355	4.200899	278.9198	3.576142	237.439	4.165269	276.5542
62	3.679346	732.8736	3.304606	219.4103	3.185865	211.5264	3.538176	234.9182
HV_SLC-TP1	3.130956	623.6421	2.986367	198.2807	2.711142	180.007	3.061085	203.2416

ตารางที่ 4.17 ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกั้นหมอม 4 MW

ตำแหน่งเกิด Fault	ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าขณะลัดวงจรจาก Fault ชนิดต่างๆ ในระบบ 115 kV กรณีต่อกั้นหมอม 4 MW							
	3 ϕ Fault		1 ϕ -G Fault		2 ϕ Fault		2 ϕ -G Fault	
			เฟส A		เฟส B และ C		เฟส C	
Terminal	Ik"(kA)	Sk" (MVA)	Ik"(kA)	Sk" (MVA)	Ik"(kA)	Sk" (MVA)	Ik"(kA)	Sk" (MVA)
Dummy	1.703546	339.3222	1.169732	77.66466	1.475193	97.94585	1.562524	103.7442
226	5.251522	1046.029	4.574502	303.7253	4.546405	301.8598	4.979534	330.6175
219	4.133779	823.3903	4.196966	278.6588	3.579029	237.6306	4.192139	278.3382
213	4.133779	823.3903	4.196966	278.6588	3.579029	237.6306	4.192139	278.3382
227	2.681425	534.102	2.725363	180.9513	2.321825	154.1582	2.696399	179.0282
205	9.537206	1899.676	9.765795	648.4027	8.253997	548.0265	9.461408	628.1929
201	9.446836	1881.676	9.65782	641.2337	8.175837	542.837	9.368711	622.0382
138	6.77509	1349.502	6.794437	451.1186	5.864644	389.3847	6.691335	444.2731
183	2.964044	590.3956	2.783665	184.8222	2.566411	170.3976	2.884012	191.4848
180	6.56097	1306.852	5.443816	361.4437	5.679382	377.0842	6.067805	402.8736
46	4.094214	815.5096	4.175773	277.2516	3.544689	235.3506	4.13248	274.3772
49	6.078406	1210.732	5.533993	367.431	5.261836	349.3611	5.784831	384.0854
66	4.094214	815.5096	4.175773	277.2516	3.544689	235.3506	4.13248	274.3772
62	3.230393	643.4485	3.05062	202.5468	2.79706	185.7116	3.160719	209.8568
HV_SLC-TP1	2.640639	525.978	2.670943	177.338	2.286516	151.8138	2.649046	175.8842

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการศึกษาและทำความเข้าใจ เราจะแบ่งการวิเคราะห์การทดลองนี้ออกเป็น 2 ตอน ตามวิธีการทดลอง โดยในตอนที่ 1 จะเป็นการศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มฟุ้งกัณฑ์ลมนเข้ากัณฑ์ระบบ 33 kV ในสภาวะอยู่ตัว ส่วนตอนที่ 2 จะเป็นการศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มฟุ้งกัณฑ์ลมนเข้ากัณฑ์ระบบ 115 kV ในสภาวะอยู่ตัว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง ตอนที่ 1

ในการวิเคราะห์ระบบที่สภาวะอยู่ตัว เมื่อติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนระบบ DFIG เข้ากัณฑ์ระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 33 kV ที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา ในพิกัดต่างๆกัน โดยการจำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory

5.1.1.1 เปรียบเทียบผลกระทบจากปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายส่งในแต่ละเฟส

จากตารางที่ 4.1 ผลการจำลองพบว่าก่อนติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนระบบไม่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่าย และเมื่อติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนขนาดรวม 10.25 Mw (1.6 Mw x 6) พบว่าที่ตำแหน่งพื้นที่ดังกล่าวไม่มีปัญหาจากการใช้งานสายจำหน่ายเกินพิกัด แต่เมื่อติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนขนาดรวม 10.88 Mw (1.7 Mw x 6) เข้ากัณฑ์บริเวณพื้นที่ศึกษาดังกล่าว พบว่ามีปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่ายเกิดขึ้นที่พื้นที่ปลายสาย จำนวน 14 เส้น และเมื่อติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนขนาดรวม 30.40 Mw (4.8 Mw x 6) เข้ากัณฑ์บริเวณพื้นที่ศึกษาดังกล่าว พบว่ามีปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่ายเกิดขึ้นที่พื้นที่ปลายสาย จำนวน 11 เส้น และพื้นที่ปลายสาย จำนวน 36 เส้น

5.1.1.2 เปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.2 ผลการจำลองพบว่าเมื่อติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนขนาด 10.25 Mw (1.6 x 6 Mw) พบว่ากำลังไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าย่อย Feeder1 จ่ายนั้นลดลงจาก 7 Mw เหลือเพียง 1.85936 Mw แต่ปัญหาที่พบนั้นคือ ค่า Reactive Power ที่จุดต่างๆมีค่าเพิ่มขึ้นมากบริเวณพื้นที่ต้นสาย และกลางสาย ส่วนบริเวณพื้นที่ปลายสาย ค่า Reactive Power มีค่าลดลง และบางจุดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

5.1.1.3 เปรียบเทียบผลกระทบจากปัญหาแรงดันไฟฟ้าในระบบ (แรงดันตก, แรงดันเกิน)

จากตารางที่ 4.3 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบทำการติดตั้งฟุ้งกัณฑ์ลมนเข้าสู่บริเวณพื้นที่ที่ศึกษาพบว่าค่าแรงดันในระบบที่พื้นที่ปลายสายมีค่าแรงดันเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่ต้นสาย และกลางสายมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเปลี่ยนแปลงนั้น ไม่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าขึ้นในระบบ

5.1.1.4 เปรียบเทียบขนาดของกำลังไฟฟ้า และขนาดของกระแสขณะเกิดการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบขนาดของกำลังไฟฟ้าและกระแสขณะเกิดการลัดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรแบบต่างๆ ทั้งก่อนและหลังติดตั้งกักกันลม พบว่าขนาดของกระแสลัดวงจรสูงสุดมีขนาดดังนี้ กระแส 3ϕ Fault $>$ 2ϕ Fault, 2ϕ -G Fault $>$ 1ϕ -G Fault ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะแสดงขนาดกำลังไฟฟ้าและกระแสขณะเกิดการลัดวงจรชนิดต่างๆ ในทั้งสองพื้นที่

ก่อนการติดตั้งกักกันลมพบว่าขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุดจะมีค่าประมาณ 12.075 kA โดยเป็นการลัดวงจรแบบสามเฟสสมมูล แต่เมื่อทำการติดตั้งกักกันลมเข้าสู่พื้นที่ศึกษาดังกล่าวนี้อาจจะทำให้ค่ากระแสขณะเกิดการลัดวงจรมีค่าสูงขึ้นโดยพบว่าระดับการลัดวงจรสูงสุดมีค่าประมาณ 11.939 kA ซึ่งโดยผลของการติดตั้งกักกันลมไม่ว่าจะในบริเวณใดจะให้ผลของกระแสลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน

5.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง ตอนที่ 2

ในการวิเคราะห์ระบบที่สภาวะอยู่ตัว เมื่อติดตั้งกักกันลม DFIG เข้ากับระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV ที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา ในพิกัดต่างๆกัน โดยการจำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory

5.1.2.1 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ของระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW

จากตารางที่ 4.6 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ 115 kV เมื่อทำการติดตั้งกักกันลมเข้าสู่บริเวณพื้นที่ที่ศึกษาคือที่สถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) ,สถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) และสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ของระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจากกรณี Base case ทั้งในช่วง Peak Load และในช่วง Light Load

พบว่าหลังการเชื่อมต่อกักกันลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) นั้นมีค่าแรงดันของจุด Terminal ที่ทำการศึกษามากกว่า 1 p.u. ในช่วง Light Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 7 terminal เมื่อติดตั้งกักกันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ(CHN) พบว่ามีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่เพียง 1 terminal สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 11 terminal แต่เมื่อติดตั้งกักกันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจากกรณี base case

พบว่าหลังการเชื่อมต่อกักกันลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) นั้นมีค่าแรงดันของจุด Terminal ที่ทำการศึกษามากกว่า 1 p.u. ในช่วง Light Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 7 terminal เมื่อติดตั้งกักกันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ(CHN) พบว่ามีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่เพียง 1 terminal สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 11 terminal แต่เมื่อติดตั้งกักกันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจากกรณี base case

พบว่าหลังการเชื่อมต่อกักกันลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) นั้นมีค่าแรงดันของจุด Terminal ที่ทำการศึกษามากกว่า 1 p.u. ในช่วง Light Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 7 terminal เมื่อติดตั้งกักกันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ(CHN) พบว่ามีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่เพียง 1 terminal สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case

มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 11 terminal แต่เมื่อติดตั้งกังหันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจากกรณี base case

5.1.2.2 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW

จากตารางที่ 4.7 ผลการจำลองค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ที่สายส่งในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW ใน พบว่าทั้งในกรณี Light Load และ Peak Load มีค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (P flow) ที่สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) มีค่าลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) และสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) เมื่อพิจารณาจากสายส่ง CHN1-CHN ที่มาจาก EGAT ในช่วง Light Load ในกรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 31.91 MW เมื่อทำการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่ากำลังไฟฟาลดลงเหลือ 0.09 MW และสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) กับสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) มีค่ากำลังไฟฟาลดลงเป็น 0 MW ซึ่งเป็นการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ ทำให้รับไฟฟ้าจาก EGAT น้อยลง สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 71.57 MW เมื่อทำการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมที่สถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่ากำลังไฟฟาลดลงเหลือ 39.78 MW สถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) มีค่ากำลังไฟฟาลดลงเหลือ 39.39 MW และสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) มีค่ากำลังไฟฟาลดลงเหลือ 39.38 MW สังเกตได้ว่าทั้งสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) ,สถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) และสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) มีค่ากำลังไฟฟาลดลงจากกรณี Base case โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงของทั้งสามสถานีต่างกันเล็กน้อย ซึ่งสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) มีค่ากำลังไฟฟ้า Active Power ลดลงเหลือน้อยที่สุด

5.1.2.3 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW ทั้ง 3 สถานี คือ สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) ,สถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) และสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN)

จากตารางที่ 4.8 ผลการจำลองค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ที่สายส่งในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW จะเห็นว่าในกรณีของ Light load พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 55.91 MVA และในกรณีของ Peak load พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 106.09 MVA ที่ Line HYB-PSU ซึ่งมีค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าเท่ากันในทั้ง สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) ,สถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) และสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN)

5.1.2.4 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 30 MW

จากตารางที่ 4.9 ผลการจำลองค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV พบว่าในช่วง Peak Load กรณี Base case มีค่า Active Power 4.59 MW พบว่าเมื่อต่อ DFIG ที่สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) มีค่าลดลงมากที่สุด 3.70 MW และสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) กับสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่าลดลงเหลือ 3.71 MW และ 4.11 MW ตามลำดับ

ส่วนในช่วง Light Load กรณี Base case มีค่า Active Power 1.04 MW พบว่าเมื่อต่อ DFIG ที่สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) และสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 (SLB) มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากันเป็น 1.07 MW และสถานีไฟฟ้าจะนะ (CHN) มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากันเป็น 1.16 MW

5.1.2.5 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ 115 kV ในกรณี Base case และกรณีต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30, 14, 4 MW

จากตารางที่ 4.10 ผลการจำลองค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ 115 kV เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกั้นลมเข้าสู่บริเวณพื้นที่ที่ศึกษา และทำการเชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC) ที่พิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) , พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า (p.u.) ของระบบมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจากกรณี Base case ทั้งในช่วง Peak Load และในช่วง Light Load

พบว่าหลังการเชื่อมต่อทุ้งกั้นลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC) ที่พิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) นั้นมีค่าแรงดันของจุด Terminal ที่ทำการศึกษารวมใหญ่มีค่ามากกว่า 1 p.u. ในช่วง Light Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 7 terminal หลังการเชื่อมต่อ พบว่ามีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่เพียง 1 terminal สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 11 terminal

พบว่าหลังการเชื่อมต่อทุ้งกั้นลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC) พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) นั้นมีค่าแรงดันของจุด Terminal ที่ทำการศึกษารวมใหญ่มีค่ามากกว่า 1 p.u. ในช่วง Light Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 7 terminal หลังการเชื่อมต่อ พบว่ามีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่เพียง 1 terminal สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 11 terminal

พบว่าหลังการเชื่อมต่อทุ้งกั้นลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC) พิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) นั้นมีค่าแรงดันของจุด Terminal ที่ทำการศึกษารวมใหญ่มีค่ามากกว่า 1 p.u. ในช่วง Light Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 7 terminal หลังการเชื่อมต่อ พบว่ามีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่เพียง 1 terminal สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีจำนวน Terminal ที่มีค่าต่ำกว่า 1 p.u. อยู่ 11 terminal

5.1.2.6 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW, 14 MW และ 4 MW เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC)

จากตารางที่ 4.11 ผลการจำลองค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Active Power (MW) ที่สายส่งในระบบ 115 kV ค่า เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) เข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 (SLC) พบว่าทั้งในกรณี Light Load และ Peak Load มีค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (P flow) เมื่อพิจารณาจากสายส่ง CHN1-CHN ที่มาจาก EGAT ในช่วง Light Load ในกรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 31.91 MW เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกั้นลม พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าลดลงเป็น 0 MW ซึ่งเป็นการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ ทำให้รับไฟจาก EGAT น้อยลง สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 71.57 MW เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกั้นลม พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าลดลงเป็น 39.38 MW

เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) เข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 พบว่าทั้งในกรณี Light Load และ Peak Load มีค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (P flow) เมื่อพิจารณาจากสายส่ง CHN1-CHN ที่มาจาก EGAT ในช่วง Light Load ในกรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 31.91 MW เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกั้นลม พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าลดลงเป็น 16.89 MW ซึ่งเป็นการช่วยจ่าย

กำลังไฟฟ้าให้กับระบบ ทำให้รับไฟจาก EGAT น้อยลง สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 71.57 MW เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกัณฑ์ลม พบว่ามีค่ากำลังไฟฟาลดลงเป็น 56.39 MW เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) เข้ากับสถานีไฟฟ้าส่งขล 3 พบว่าทั้งในกรณี Light Load และ Peak Load มีค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (P flow) เมื่อพิจารณาจากสายส่ง CHN1-CHN ที่มาจาก EGAT ในช่วง Light Load ในกรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 31.91 MW เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกัณฑ์ลม พบว่ามีค่ากำลังไฟฟาลดลงเป็น 27.59 MW ซึ่งเป็นการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ ทำให้รับไฟจาก EGAT น้อยลง สำหรับช่วง Peak Load กรณี Base case มีค่าการไหลกำลังไฟฟ้า 71.57 MW เมื่อทำการติดตั้งทุ้งกัณฑ์ลม พบว่ามีค่ากำลังไฟฟาลดลงเป็น 67.18 MW

5.1.2.7 การเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) ในระบบ 115 kV เมื่อต่อ DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) , พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าส่งขล 3 (SLC)

จากตารางที่ 4.12 ผลการจำลองค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า Apparent Power (MVA) จะเห็นว่า ในกรณีของ Light load พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 55.91 MVA และในกรณีของ Peak load พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 106.09 MVA ตามลำดับ ที่ Line HYB-PSU มีค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าเท่ากันในทุกขนาดพิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) , พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา)

5.1.2.8 การเปรียบเทียบค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load และ Light Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาดพิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) , พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) ที่สถานีส่งขล 3 (SLC)

จากตารางที่ 4.13 ผลการจำลองค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV พบว่าในช่วง Peak Load กรณี Base case ที่ all terminal มีค่า 4.59 MW ที่ Grid WT 0.13 MW, พิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) ที่ all terminal มีค่า 3.70 MW ที่ Grid WT 0.13 MW, พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) ที่ all terminal มีค่า 3.9 MW ที่ Grid WT 0.05 MW และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) ที่ all terminal มีค่า 4.26 MW ที่ Grid WT 0.01 MW

ส่วนในช่วง Light Load กรณี Base case ที่ all terminal มีค่า 1.04 MW ที่ Grid WT 0.13 MW, พิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง) ที่ all terminal มีค่า 1.07 MW ที่ Grid WT 0.13 MW, พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) ที่ all terminal มีค่า 0.93 MW ที่ Grid WT 0.01 MW และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) ที่ all terminal มีค่า 0.93 MW ที่ Grid WT 0.01 MW

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ 115 kV ช่วง Peak Load เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 30 MW (ลมแรง) ที่สถานีไฟฟ้าส่งขล 3 (SLC) พบว่าหลังการติดตั้งทุ้งกัณฑ์ลม พบว่ามีค่ากำลังสูญเสียในระบบต่ำกว่า Base case และในช่วง Light Load มีค่าเพิ่มขึ้นจาก Base case แต่เมื่อติดตั้ง DFIG ขนาด 14 MW (ลมปานกลาง) หรือขนาด 4 MW (ลมเบา) พบว่าทั้งในช่วง Peak Load และ Light Load มีค่ากำลังสูญเสียในระบบต่ำกว่า Base case

5.1.2.9 เปรียบเทียบขนาดของกำลังไฟฟ้าและขนาดของกระแสขณะเกิดการลัดวงจร จากตารางที่ 4.14, ตารางที่ 4.15, ตารางที่ 4.16 และตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบขนาดของกำลังไฟฟ้าและขนาดของกระแสขณะเกิดการลัดวงจรจากการจำลองพบว่าขนาดของกำลังไฟฟ้าและกระแสขณะเกิดการลัดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรแบบต่างๆ ทั้งก่อนและหลังติดตั้งกักกันลมนขนาดพิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง), พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) พบว่าขนาดของกระแสลัดวงจรสูงสุดมีขนาดดังนี้ กระแส 3ϕ Fault > 2ϕ Fault, 2ϕ -G Fault > 1ϕ -G Fault ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะแสดงขนาดกำลังไฟฟ้าและกระแสขณะเกิดการลัดวงจรชนิดต่างๆ

ก่อนการติดตั้งกักกันลมนพบว่าขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุดจะมี ค่าประมาณ 9.389176 kA โดยเป็นการลัดวงจรแบบสามเฟสสมมูล แต่เมื่อทำการติดตั้งกักกันลมนเข้าสู่สถานีไฟฟ้าส่งชลา 3 จะทำให้ค่ากระแสขณะเกิดการลัดวงจรมีค่าสูงขึ้น เมื่อทำการติดตั้งกักกันลมนพิกัดกำลัง 30 MW (ลมแรง), พิกัดกำลัง 14 MW (ลมปานกลาง) และพิกัดกำลัง 4 MW (ลมเบา) พบว่าระดับการลัดวงจรสูงสุดมีค่าประมาณ 9.880207 kA, 9.738495 kA และ 9.537206 kA ตามลำดับ



บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

6.1 ที่มาและแนวคิดที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้น จึงทำให้ต้องหาแหล่งกำเนิดไฟฟ้าใหม่ๆ มาใช้มากขึ้น เช่น พลังงานลม ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด และสามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด โดยมีกังหันลมเป็นตัวต้นกำเนิด แต่ในการติดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้านั้น ย่อมทำให้เกิดผลกระทบทางด้านเสถียรภาพต่อระบบไฟฟ้า ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นของระบบไฟฟ้าในสถานะอยู่ตัวทั้งในช่วงขณะ Peak Load และ Light Load เพื่อเป็นแนวทางในการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด

6.2 สรุปผลการทดลอง

เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการศึกษาและทำความเข้าใจ เราจะแบ่งการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองนี้ออกเป็น 2 ตอน ตามวิธีการทำทดลอง โดยในตอนที่ 1 จะเป็นการศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มกังหันลมเข้ากับระบบ 33 kV ในสถานะอยู่ตัว ส่วนตอนที่ 2 จะเป็นการศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มกังหันลมเข้ากับระบบ 115 kV ในสถานะอยู่ตัว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.2.1 สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 1

ในการวิเคราะห์ระบบที่สถานะอยู่ตัว เมื่อติดตั้งกังหันลม DFIG เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดัน 33 kV ที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา ในพิกัดต่างๆกัน โดยการจำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory

สรุปได้ว่า การติดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 33 kV นั้น จากการศึกษาพบว่า พิกัดที่สามารถติดตั้งได้โดยไม่เกิดปัญหา คือกังหันลมขนาดพิกัด 10.25 Mw ($1.6 \text{ Mw} \times 6$) ส่วนกังหันลมขนาดพิกัด 10.88 Mw ($1.7 \text{ Mw} \times 6$) พบว่ามีปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่ายเกิดขึ้น แสดงว่าระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 33 kV นี้ไม่สามารถเชื่อมต่อกับกังหันลมที่มีขนาดพิกัด $\geq 10.88 \text{ MW}$ ได้ และเมื่อติดตั้งกังหันลมเข้าไปแล้วพบว่าระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในเรื่อง Voltage โดยไม่พบปัญหา Under Voltage หรือ Over Voltage อีกทั้งยังช่วยลดภาระของสถานีไฟฟ้าระนอง ทำให้สถานีไฟฟ้าระนองจ่ายโหลดน้อยลง และยังช่วยลดค่า Reactive Power ของระบบอีกด้วย

6.2.2 สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 2

ในการวิเคราะห์ระบบที่สถานะอยู่ตัว เมื่อติดตั้งกังหันลม DFIG เข้ากับระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV ที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา ในพิกัดต่างๆกัน โดยการจำลองด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สถานีที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเชื่อมตุงังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าที่มีระดับแรงดัน 115 kV คือสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) ดังตารางที่ 6.1 ซึ่งพิกัดที่เหมาะสมในการติดตั้งตุงังหันลมคือพิกัด 30 MW ดังตารางที่ 6.2 เนื่องจากผลการศึกษาด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory โดยวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านกระแสของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis) ,การวิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis) ,การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความสูญเสียในระบบ (System losses analysis) และการวิเคราะห์ผลทางด้านสมภาวะการผิดปกติ (Fault Analysis) ซึ่งได้แก่ สมภาวะการผิดปกติ 1 เฟสลงดิน (1 Φ -G), สมภาวะการผิดปกติ 2 เฟส (2 Φ) และสมภาวะการผิดปกติสามเฟส (3 Φ)

6.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

6.3.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น

- จากผลการจำลองการติดตั้งตุงังหันลมขนาด 10.88 Mw (1.7 x 6 Mw) เข้ากับบริเวณพื้นที่ศึกษาดังกล่าว แล้วพบว่ามีปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่ายเกิดขึ้นที่พื้นที่ปลายสาย จำนวน 14 เส้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1

- จากผลการจำลองการติดตั้งตุงังหันลมขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 30 MW , 14 MW และ 4 MW เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 (SLC) โดยสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 6.2 พบว่าเกิดปัญหา Under Voltage ที่ Terminal HV_SLC-TP1 ซึ่งเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับตุงังหันลม ในกรณีการติดตั้งตุงังหันลมพิกัด 4 MW ในช่วง Peak Load

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบการเลือกจุดที่ควรต่อชุดตุงังหัน DFIG

ข้อเปรียบเทียบ	สถานีไฟฟ้าที่ต่อกับชุดตุงังหัน DFIG		
	สถานีสงขลา 2	สถานีสงขลา 3	สถานีจะนะ
	(SLB)	(SLC)	(CHN)
1. ระยะทางใกล้ที่สุด	✓✓	✓✓✓	✓
2. ค่าสูญเสียในระบบ (Loss)	✓✓	✓✓✓	✓
3. ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage)	✓✓	✓	✓✓✓
4. ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow)	✓✓	✓✓✓	✓
5. การลงทุน (Cost)	✓✓	✓✓✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบ

Case	Problem					
	Voltage (p.u.)		Over Load (%)	Loss		Fault Max (kA)
	Over (Max)	Under (Min)		MW	% load	
1. Light load + Min rated	✓ (1.0154)	✓ (0.9954)	✓ (17.46)	0.93	0.0053	9.5372
2. Light load + Mean rated	✓ (1.0154)	✓ (0.9954)	✓ (17.46)	0.93	0.0053	9.7385
3. Light load + Max rated	✓ (1.0154)	✓ (0.9954)	✓ (17.46)	1.07	0.0061	9.8802
4. Peak load + Min rated	✓ (1.0103)	✗ (0.9449)	✓ (33.12)	4.26	0.0127	9.5372
5. Peak load + Mean rated	✓ (1.0107)	✓ (0.9501)	✓ (33.12)	3.90	0.0117	9.7385
6. Peak load + Max rated	✓ (1.0107)	✓ (0.9549)	✓ (33.12)	3.70	0.0111	9.8802

*** Under Voltage = ค่าแรงดันที่น้อยกว่า 0.95 p.u.

Over Voltage = ค่าแรงดันที่มากกว่า 1.05 p.u.

6.3.2 แนวทางการแก้ไข้ปัญหา

- จากการศึกษาพบว่าปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่ายเกิดขึ้นเป็นผลอันเนื่องมาจากระบบจำหน่าย 33 kV สามารถรับพิกัดกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 10 Mw จึงทำการแก้ปัญหาโดยการติดตั้งชุดกักหนัลดขนาด 10.88 Mw (1.7 x 6 Mw) เข้ากับระบบสายส่ง 115 kV ซึ่งทำให้จำนวนสายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัดในระบบเป็นศูนย์

- จากการศึกษาพบว่าเกิดปัญหา Under Voltage ที่ Terminal HV_SLC-TP1 ในกรณีการติดตั้งชุดกักหนัลดขนาด 4 MW ในช่วง Peak Load ควรแก้ไขโดย ในการติดตั้งชุดกักหนัลดขนาดให้เริ่มทำงานที่พิกัดอย่างน้อย 14 MW เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ และไม่เกิดปัญหา Under Voltage ในระบบ

ตารางที่ 6.3 จำนวนสายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัดในระบบไฟฟ้า 115 kV

ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า (Mw)	พื้นที่ติดตั้ง	จำนวนสายจำหน่ายที่เกิดปัญหาการใช้งานเกินพิกัด	
		ก่อนติดตั้ง DFIG	หลังติดตั้ง DFIG
DFIG 1.7 x 6 Mw	ต้นสาย	0	0
	กลางสาย	0	0
	ปลายสาย	0	0

6.4 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลอง จะทำให้ทราบถึงกำลังผลิตสูงสุดของชุดกังหันลมที่สามารถติดตั้งได้ในแต่ละพื้นที่ แต่เมื่อจะทำการติดตั้งจริง ไม่ควรจะติดตั้งที่กำลังผลิตสูงสุดเลย เนื่องจากระบบจะมีความเสถียรภาพน้อย หากเกิดความผิดปกติใดๆขึ้น อาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้
2. ในการเลือกพิกัดกำลังผลิตของทุ่กังหันลม เพื่อต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ด้วย เช่น ขนาด ตำแหน่งและลักษณะของพื้นที่นั้น
3. ในการเลือกสถานีไฟฟ้าที่จะเชื่อมต่อกับทุ่กังหันลมจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และประสิทธิภาพสูงสุด โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wind turbine. (2555). Available URL:<http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>
- [2] นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์, “เทคโนโลยีพลังงานลม”, วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 2547
- [3] H. Siegfried, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems. London: John Wiley & Sons. 1998
- [4] ศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมการส่องสว่าง, “โครงการวิจัยเพื่อการออกแบบและการควบคุมระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและการศึกษาผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมต่อระบบการจ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,” ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์, 31 ส.ค. 2552
- [5] About Wind Energy. (2555). Available URL: <http://www.prapai.co.th/listgroupknowledge.php?gid=3>
- [6] กังหันลม. (2555). Available URL: <http://www.region1.energy.go.th/0gkramrukanghanrom/wind/4.pdf>
- [7] Ddesir LE GOURIERES, Wind power plant Theory and Design, Headingtonhill Hall, Pergamon Press Ltd.1982
- [8] กฟผ.กับการศึกษาพลังงานลมเพื่อนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า. กองพัฒนาพลังงานลมและแสงอาทิตย์ สำนักวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- [9] Badrul H. Chowdhury, Loadflow Analysis Power Systems ,Electrical & Computer Engineering Department University of Missouri-Rolla. 1994
- [10] Anca D. Hansen, Clemens Jauch, Poul Sørensen, Florin Iov, Frede Blaabjerg, Dynamic wind turbine models in power system simulation tool DigSILENT :Risø National Laboratory, Roskilde. 2003
- [11] Wind Energy. (2555). Available URL: http://www.prapai.co.th/project_huasai.php
- [12] ศักยภาพพบบพลังงานลมประเทศไทย. (2555). Available URL: <http://www.newswit.com/gen/2010-0129/44b94990ca6120b33bca96ed5a290239/>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] เกษมสันต์ มโนมัยพิบูลย์ อริยวัฒน์ พระบำรุง วันวิสาข์ ชนะประเสริฐ ณีฐิติ ราชปรีชา และ ฟานทาน ทุง (2553) ระบบฐานข้อมูลคู่ด้านศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยเรื่อง การประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานลมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์ด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ, ดำเนินการโดยบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [14] นางรัตติยา ทรรษาพิพัฒน์ นางธิดารัตน์ มัทราช นายภูมิพัฒน์ มหาสุวีระชัย และคณะ (2555), รายงาน ค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ปี 2555 (2012), กองแผนงานระบบไฟฟ้า (กผพ.), ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (ฟวร.), การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

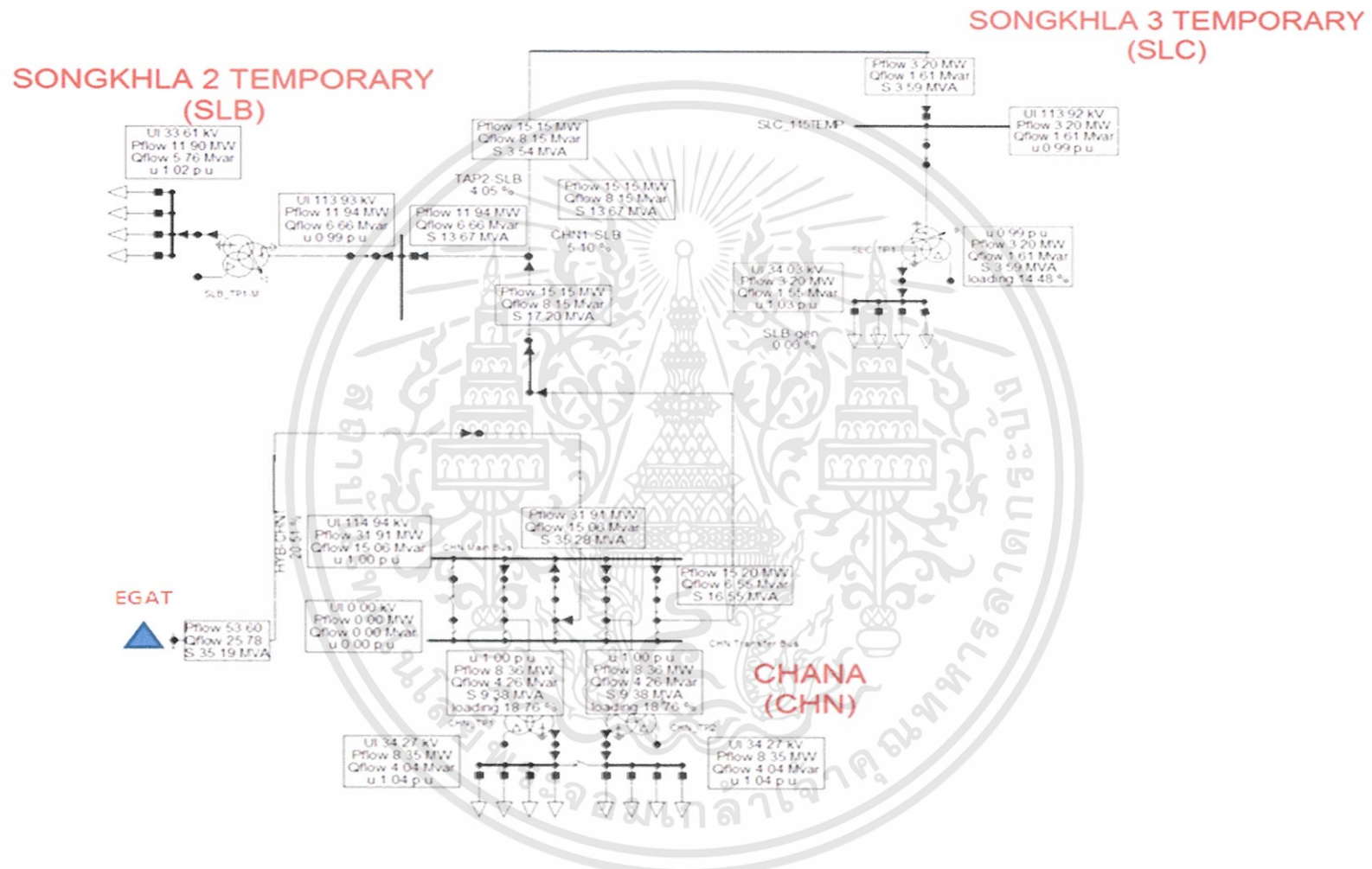




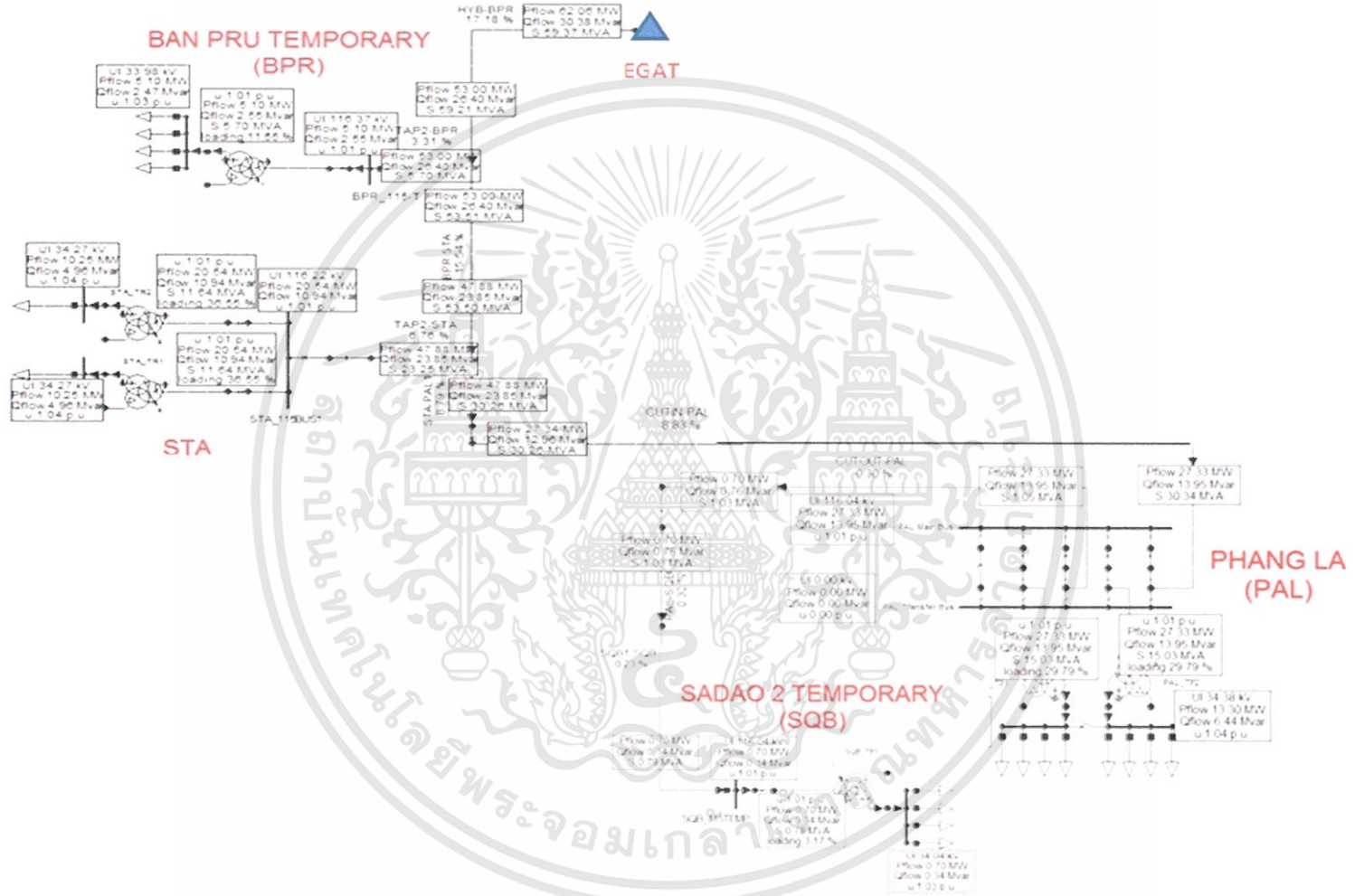
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



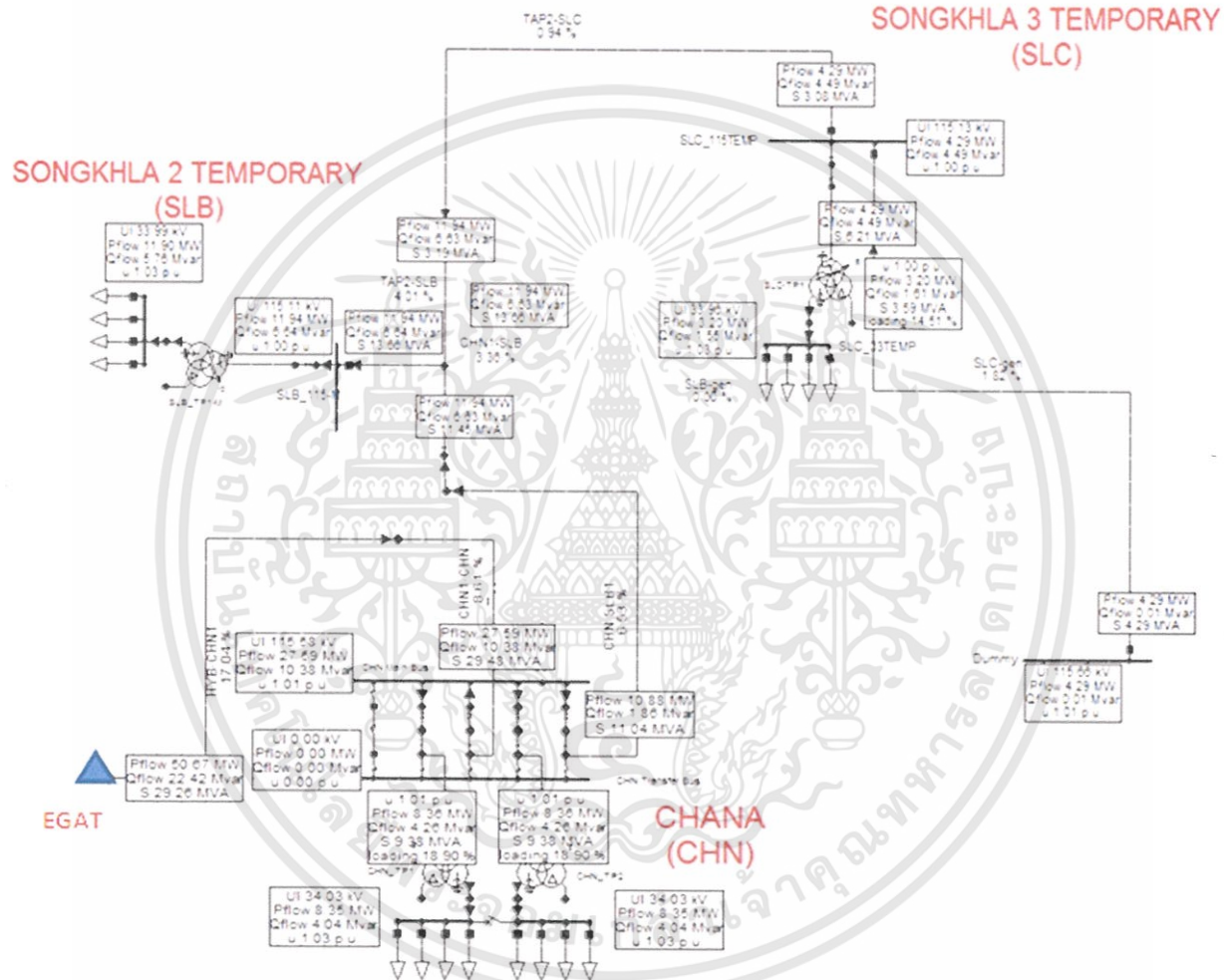
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



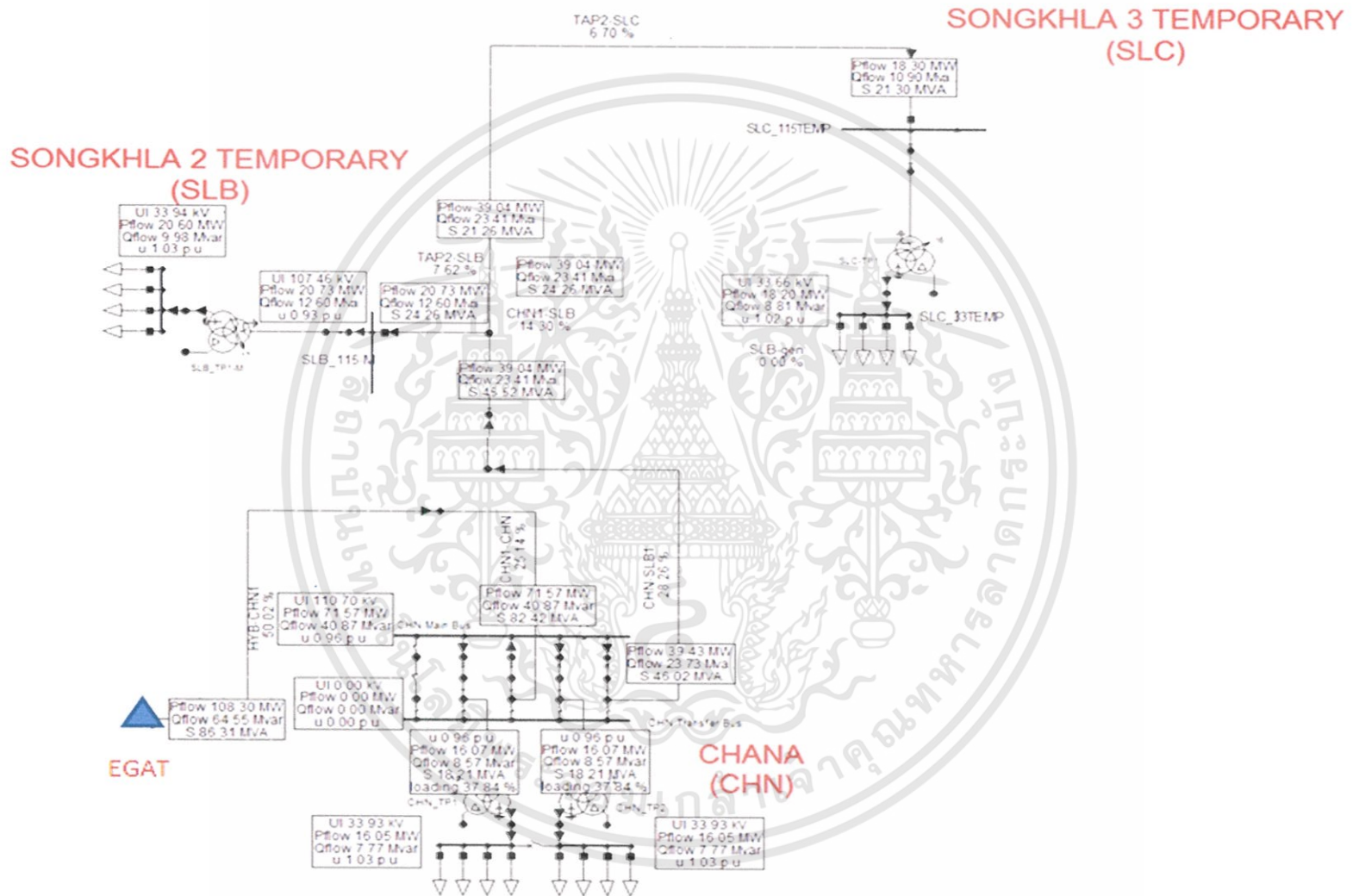
รูปที่ ก-1 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Light Load



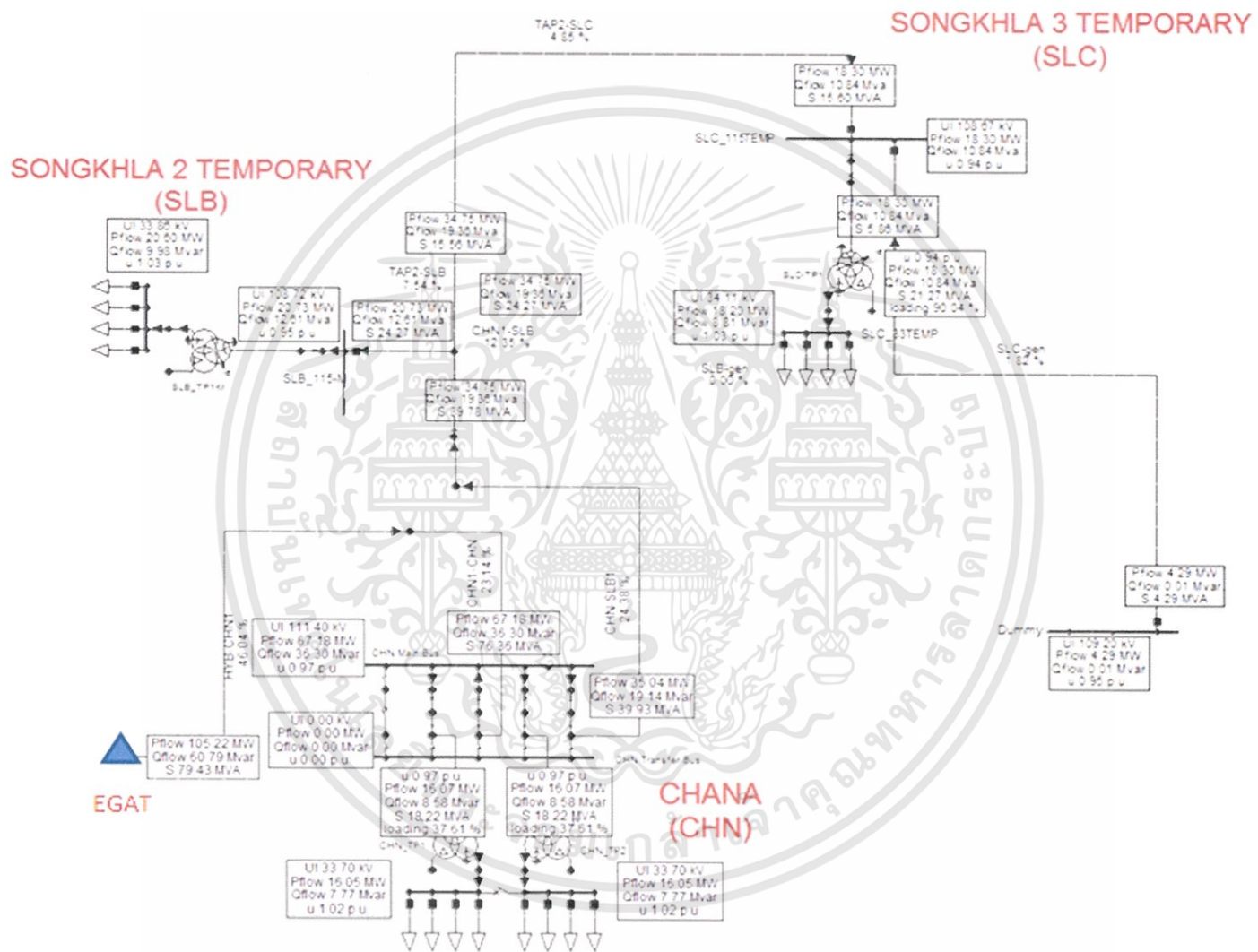
รูปที่ ก-3 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Light Load



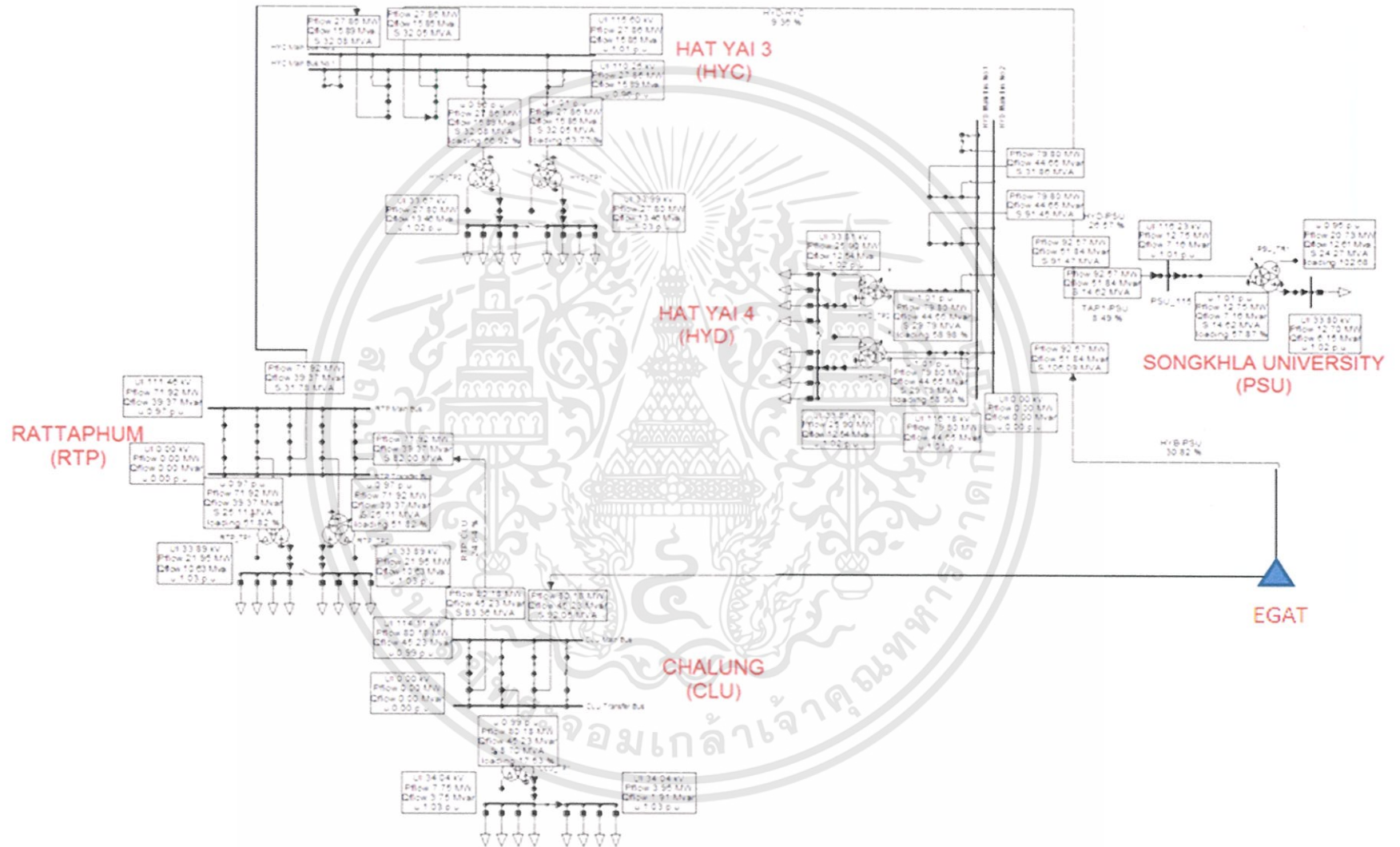
รูปที่ ก-4 ค่า P flow ช่วง Light Load ลมเบา (4 MW)



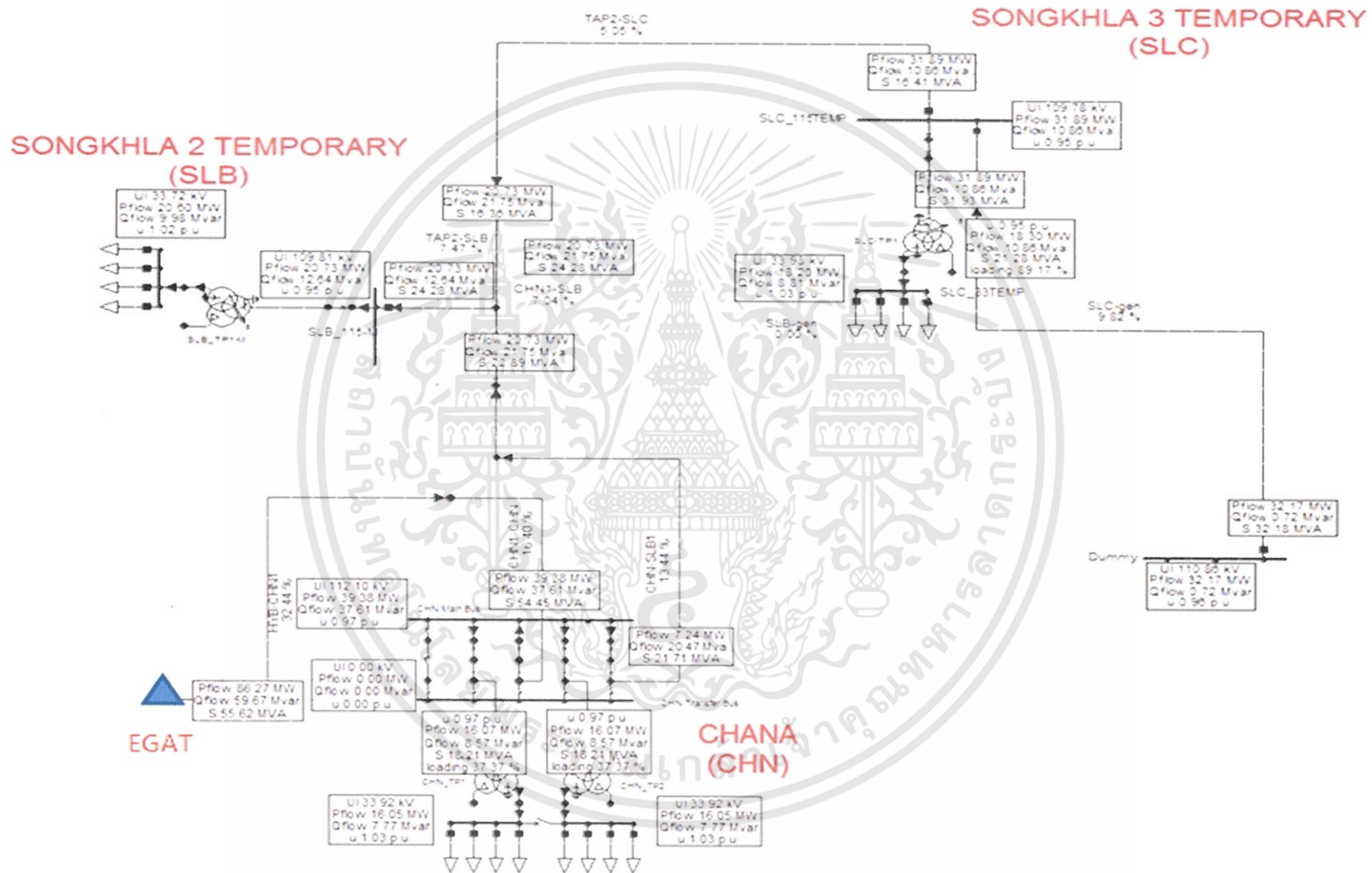
รูปที่ ก-10 ค่า P flow กรณี Base case ช่วง Peak Load



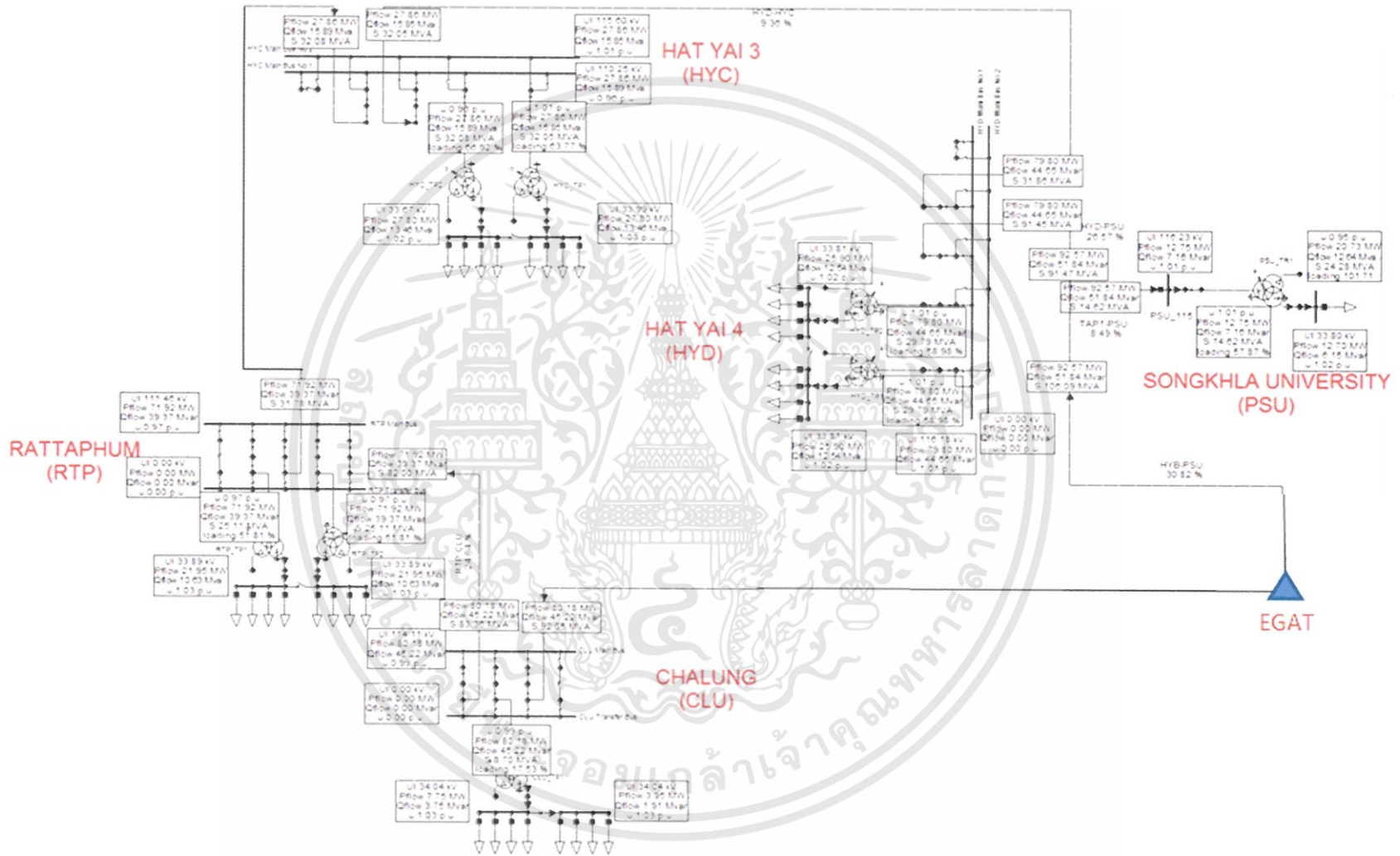
รูปที่ ก-12 ค่า P flow ช่วง Peak Load สมเบา (4 MW)



รูปที่ ก-13 ค่า P flow ช่วง Peak Load สมเบา (4 MW)



รูปที่ ก-16 ค่า P flow ช่วง Peak Load สมแรง (30 MW)



รูปที่ ก-17 ค่า P flow ช่วง Peak Load ตมแรง (30 MW)



ภาคผนวก ข
ข้อมูลการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ข้อมูลการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

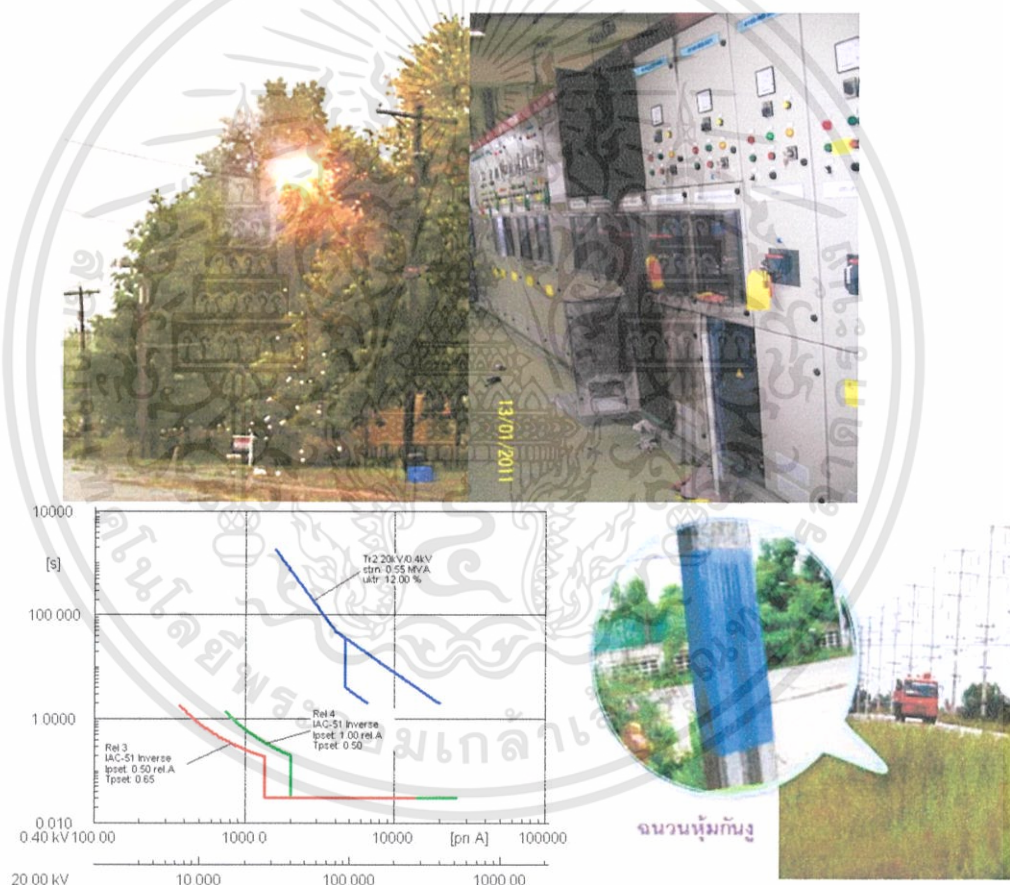
[14] ข้อมูลการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ที่ปรึกษาได้อ้างอิงจากรายงานค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ปี2555 (2012) โดยกองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค





รายงาน

ค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟผ. ปี 2555 (2012)



กองแผนงานระบบไฟฟ้า
ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ธันวาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กานำ

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานค่ากระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส และ 1 เฟสลงดิน รวมทั้งค่าThevenin Impedance ของสถานีไฟฟ้า กฟผ., กฟภ. และ ผู้ใช้ไฟ 115 เควี โดยสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. นั้น เป็นค่าที่ได้มาจาก กฟผ. ส่วนสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และผู้ใช้ไฟ 115 เควี จะคำนวณค่ากระแสลัดวงจรโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า DigSILENT ในรายงานฉบับนี้ประกอบไปด้วย ทฤษฎี และตัวอย่างการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร พร้อมทั้งการนำค่ากระแสลัดวงจรไปใช้งาน ค่ากระแสลัดวงจรนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ระบบไฟฟ้าสำหรับการวางแผน หรือการสั่งการจ่ายไฟ รวมทั้งเป็นข้อมูลที่จะให้หน่วยงานด้านวิศวกรรมป้องกันระบบนำไปใช้ในการกำหนดพิักตอุปกรณ์ป้องกัน, Coordination และตั้งค่า อุปกรณ์ป้องกัน

ค่ากระแสลัดวงจรนี้จะแม่นยำมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้ในการจำลองระบบไฟฟ้าในโปรแกรม DigSILENT เช่น ระยะทางสายส่ง, ชนิดสายส่ง และพารามิเตอร์ของหม้อแปลง ดังนั้นหากผู้ใช้งานเห็นว่า ค่าดังกล่าวมีความผิดปกติ โปรดแจ้งให้ผู้จัดทำตามพื้นที่รับผิดชอบทราบ ด้วยจักเป็นพระคุณยิ่ง

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิศวกรด้านระบบจำหน่ายที่จะมีข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่ากระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายต่อไป

คณะผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|--------------|-------------|
| 1. นางรัตติยา | หรรษาพิพัฒน์ | ทผ.вр.1 |
| 2. นางธิดารัตน์ | มัทราษ | ทผ.вр.2 |
| 3. นายภูมิพัฒน์ | มหาสุวีระชัย | ชผ.вр.1 |
| 4. นายเผด็จ | ไชยมงคล | ชผ.вр.2 |
| 5. น.ส.พรทิพย์ | ศรีมงคล | วศก.4 ผвр.1 |
| 6. น.ส.สโรษา | อุทัยพันธุ์ | วศก.4 ผвр.2 |
| 7. นายพัฒนพันธ์ | บุญทอง | วศก.4 ผвр.2 |

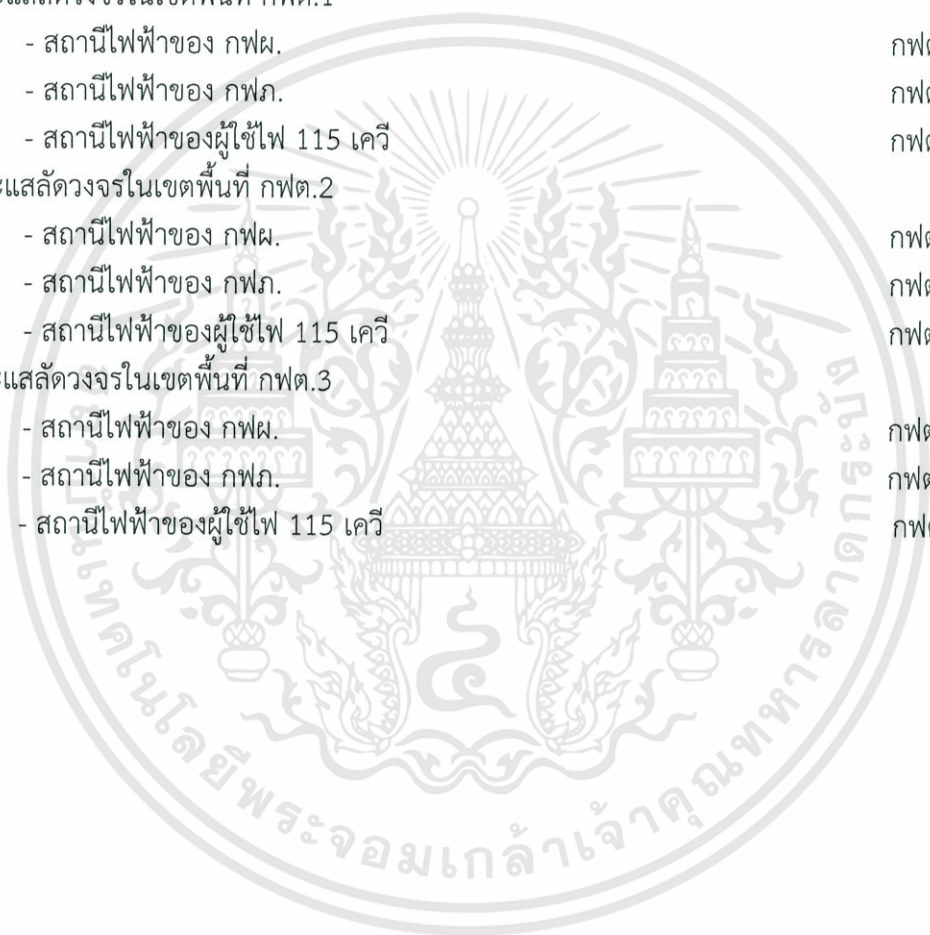
กองแผนงานระบบไฟฟ้า (กผพ.), ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า (ผวร.) โทร. 02-5905384, 02-5905386 โทรสาร 02-5905299

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ทฤษฎีกระแสลัดวงจร และตัวอย่างการคำนวณ	1 - 10
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟน.1	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟน.1- 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟน.1 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟน.1 - 5
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟน.2	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟน.2 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟน.2 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟน.2 - 4
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟน.3	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟน.3 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟน.3 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟน.3 - 5
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟฉ.1	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟฉ.1 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟฉ.1 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟฉ.1 - 5
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟฉ.2	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟฉ.2 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟฉ.2 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟฉ.2 - 4
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟฉ.3	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟฉ.3 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟฉ.3 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟฉ.3 - 5
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟก.1	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟก.1 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟก.1 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 69, 115 เควี	กฟก.1 - 8

	หน้า
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟภ.2	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟภ.2 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟภ.2 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟภ.2 - 8
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟภ.3	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟภ.3 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟภ.3 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟภ.3 - 7
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟต.1	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟต.1 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟต.1 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟต.1 - 5
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟต.2	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟต.2 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟต.2 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟต.2 - 5
ค่ากระแสลัดวงจรในเขตพื้นที่ กฟต.3	
- สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.	กฟต.3 - 1
- สถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	กฟต.3 - 3
- สถานีไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ 115 เควี	กฟต.3 - 5



ตารางที่ ข-1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และ THEVENIN IMPEDANCE ในระบบไฟฟ้าเขต กฟต.3

รายชื่อสถานีไฟฟ้า	BUS KV	หม้อแปลง MVA	3 P Fault kA	SLG Fault kA	R1 pu.	X1 pu.	R2 pu.	X2 pu.	R0 pu.	X0 pu.
1 ยุทธราชันย์	115		1.976	1.792	0.05257	0.24860	0.05247	0.24802	0.06438	0.32657
	33-IP1	25	2.872	3.890	0.03702	0.60807	0.03874	0.61042	0.08659	0.12086
2 ดลุง	115		5.463	4.991	0.01030	0.09132	0.01033	0.09166	0.01632	0.11654
	33-IP1	50	4.865	6.263	0.01781	0.35914	0.01783	0.35952	0.03518	0.11637
3 บ้านพรุ (ชั่วคราว)	115		7.333	7.599	0.00661	0.06815	0.00663	0.06848	0.00899	0.06032
	33-IP1	50	5.240	6.889	0.01373	0.33359	0.01376	0.33396	0.03165	0.09204
4 หาดใหญ่ 3	115		2.679	2.520	0.02543	0.18565	0.02546	0.18599	0.02892	0.22057
	33-IP1	50	3.767	4.931	0.03449	0.46314	0.03451	0.46351	0.04291	0.13194
	33-IP2	50	4.967	6.350	0.01664	0.35186	0.01666	0.35223	0.03659	0.11945
5 หาดใหญ่ 4	115		8.440	8.658	0.00516	0.05926	0.00518	0.05960	0.00764	0.05417
	33-IP1	50	5.399	6.933	0.01214	0.32379	0.01216	0.32417	0.03038	0.10712
	33-IP2	50	5.399	6.940	0.01214	0.32379	0.01216	0.32417	0.03039	0.10637
6 ฉะนะ	115		3.506	3.630	0.02325	0.14128	0.02327	0.14162	0.01825	0.12698
	33-IP1	50	4.211	5.516	0.03208	0.41423	0.03210	0.41460	0.03608	0.11738
	33-IP2	50	4.211	5.518	0.03208	0.41423	0.03210	0.41460	0.03611	0.11699
7 สะบ้าย้อย	115		1.928	1.836	0.04816	0.25595	0.05169	0.25961	0.03792	0.29295
	33-IP1	50	3.217	4.228	0.05955	0.54064	0.06344	0.54469	0.04812	0.14429
8 พังงา	115		6.081	6.117	0.00882	0.08208	0.00884	0.08242	0.01163	0.07998
	33-IP1	50	5.008	6.435	0.01617	0.34896	0.01620	0.34933	0.03226	0.11473
	33-IP2	50	5.008	6.435	0.01617	0.34896	0.01620	0.34933	0.03225	0.11474
9 สงขลา 2 (ชั่วคราว)	115		2.178	2.260	0.04028	0.22697	0.04031	0.22731	0.04065	0.20091
	33-IP1	25	2.272	3.116	0.07021	0.76671	0.07023	0.76708	0.10304	0.13300
10 สงขลา 3 (ชั่วคราว)	115		2.140	2.209	0.04093	0.23102	0.04096	0.23136	0.04215	0.20817
	33-IP1	25	2.259	3.098	0.07092	0.77117	0.07095	0.77155	0.10405	0.13380
11 ปัตตานี 2	115		3.892	3.791	0.02805	0.12592	0.02817	0.12643	0.02180	0.13720
	33-IP1	50	4.384	5.977	0.03737	0.39729	0.03750	0.39785	0.04241	0.07514
12 รัตภูมิ	115		3.693	3.773	0.01728	0.13484	0.01731	0.13518	0.01583	0.12592
	33-IP1	50	4.289	5.581	0.02550	0.40713	0.02553	0.40750	0.03533	0.12186
	33-IP2	50	4.289	5.581	0.02550	0.40713	0.02553	0.40750	0.03534	0.12184
13 ละงู	115		1.276	1.432	0.10587	0.37887	0.10596	0.37918	0.03281	0.26520
	33-IP1	50	2.546	3.448	0.12317	0.67616	0.12327	0.67651	0.04563	0.14128
14 หาดใหญ่ 2	115		11.092	14.021	0.00290	0.04517	0.00292	0.04551	0.00151	0.01649

แผนกวิเคราะห์ และวางแผนระบบไฟฟ้า 1, 2 กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า โทร 5384, 5386 โทรสาร 5299

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด และ THEVENIN IMPEDANCE ในระบบไฟฟ้าเขต กฟต.3(ต่อ)

รายชื่อสถานีไฟฟ้า	BUS kV	หม้อแปลง MVA	3 P Fault kA	SLG Fault kA	R1 pu.	X1 pu.	R2 pu.	X2 pu.	R0 pu.	X0 pu.
15 สะเตา 2 (Compact)	115		4.112	3.378	0.01509	0.12115	0.01511	0.12149	0.03424	0.19850
	33-IP1	25	2.686	3.601	0.04243	0.65004	0.04245	0.65041	0.09992	0.14524
16 สะเตา 2 (ชั่วคราว)	115		5.998	5.857	0.01019	0.08308	0.01175	0.08521	0.01293	0.08649
	33-IP1	25	2.872	3.890	0.03702	0.60807	0.03874	0.61042	0.08659	0.12086



แผนกวิเคราะห์ และวางแผนระบบไฟฟ้า 1, 2 กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า โทร 5384, 5386 โทรสาร 5299

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มพลังงานทดแทนเข้าสู่ระบบจำหน่าย

SYSTEM IMPACT STUDY OF RENEWABLE ENERGY INTEGRATION TO DISTRIBUTION SYSTEM

ฐิตา จิวตระกูล ณิชรุชชัย อริย์รัช ณิชฐันรี ศศลักษณ์านนท์ และ ณัฐวัฒน์ เงินสด
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: t.jewtrakul@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งพลังงานทดแทนเพิ่มเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย โดยจำลองการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมกับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จังหวัดสงขลา ด้วยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมแล้วอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ สำหรับในการศึกษานี้จะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบในสถานะอยู่ตัว และเสถียรภาพที่เกิดขึ้นทั้งก่อน และหลังที่จะทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับระบบ

คำสำคัญ : การศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบในสถานะอยู่ตัว และเสถียรภาพของระบบ

ABSTRACT

This project investigates the impact on the power system in the south of Thailand after the installation of the renewable energy, which is done by simulating the installed grid system of Provincial Electricity Authority (PEA) in the area of Kohyai, Krasaesin District, Songkhla Province by using DIgSILENT PowerFactory program. It is speculated that such installation may result in the instability of the power system. In this project, the impact on (1) steady-state and (2) on the stability of the system was examined by comparing the result before and after the installation of the wind power generator.

Keywords : impact on (1) steady-state and (2) on the stability of the system

1. บทนำ

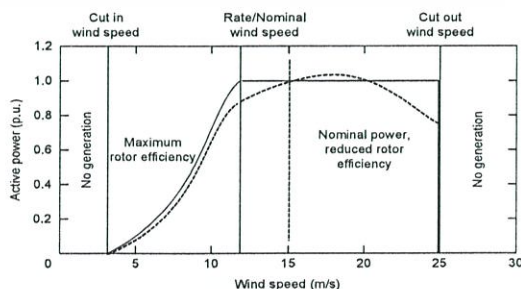
ในปัจจุบันพลังงานลม ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติสามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดและยังจัดได้ว่า

สามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด และเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการจะติดตั้งชุดกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเร็วลมในบริเวณพื้นที่ที่จะติดตั้ง สภาพพื้นที่ที่จะติดตั้ง จำนวนหน่วยผลิตที่เหมาะสมในการติดตั้งเข้ากับระบบไฟฟ้า รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบในยามที่ระบบทำงานปกติและในยามที่ระบบเกิดความขัดข้อง

บทความฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าในพื้นที่เกาะใหญ่ อ.กระเสสินธุ์ จ.สงขลา เพื่อที่จะสามารถเป็นแนวทางในการติดตั้งชุดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

2. กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1 - 3 m/s กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 - 5 m/s กังหันลมจะเริ่มทำงานในช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วง 2 - 15 m/s ซึ่งเป็นช่วงความเร็วลมปกติ (rate wind speed) ที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง โดยจะไต่ระดับความเร็วลมไปสู่ช่วงที่กังหันลมทำงานด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังรูปที่ 1 โดยค่าขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลขความเร็วลม (cut out wind speed) ที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 m/s กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้ [1]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ [2]

[3] การคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเร็วลม โดยพิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่น ρ และความเร็วลม V พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในหนึ่งหน่วยเวลา จะมีกำลังลม P_1 ที่ได้จาก

$$P_1 = \frac{1}{2}(\rho AV)V^2 = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (1)$$

กังหันลมจะทำหน้าที่สกัดกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น กำหนดให้ C_p เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่ง C_p จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันจะสามารถสกัดได้จากกระแสลม ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม ดังนั้น

$$P = C_p P_1 = \frac{1}{2}C_p \rho AV^3 \quad (2)$$

3. การออกแบบการทดลอง

การศึกษาคิดตั้งกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ในพื้นที่เกาะใหญ่ อ.กระเส็นธู จ.หวัดสงขลา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำกังหันลมบนพื้นที่ต้นเขา และมีลมกระโชกตลอดปี โดยใช้โปรแกรม DIGSILENT PowerFactory ช่วยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในสภาวะคงตัว โดยเริ่มจากการศึกษาการจำลองการไหลกำลังไฟฟ้าของกรณีฐานของระบบ (System base case) โดยที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องกำเนิดกังหันลมเข้าไปในระบบ แล้วทำการเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าภายหลังทำการติดตั้งกังหันลม [4]

3.1 สภาวะคงตัว (Steady – State)

สภาวะอยู่ตัว (Steady-state) หมายถึง สภาวะที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณใดๆ ภายในระบบ ไม่ว่าจะเวลาผ่านไปนานเท่าใดก็ตาม หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นสภาวะที่ไม่มีมีการรบกวนเนื่องมาจากความผิดปกติทั้งภายนอกและภายในระบบ โดยการทดสอบระบบในสภาวะอยู่ตัวจะมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ภายในกังหันลมเป็นค่าที่สภาวะอยู่ตัวโดยไม่พิจารณาการทำงานในสภาวะไดนามิกและให้ถือว่าค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตลอดการทดลองและกำหนดให้ค่าความเร็วลมมีค่าคงที่ที่ 15 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วที่ทำให้กังหันลมทำงานที่พิกัด
2. ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสมีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถทำงานได้คือ $\pm 5\%$ หรือ ± 0.05 p.u. ของแรงดันปกติ ยกเว้นในกรณีที่ไม่สามารถปรับแท็ป (Tap Changer) ของหม้อแปลง

3. ความถี่ของของระบบไฟฟ้าอยู่ในช่วง $\pm 1\%$ ของความถี่มาตรฐาน 50 Hz

3.2 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มกังหันลมเข้ากับระบบ 33 kV

3.2.1 วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการไหลของกำลังไฟฟ้า

(Power flow analysis)

3.2.2 วิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis)

3.2.3 วิเคราะห์ผลทางด้านสภาวะการผิดปกติพร้อม (Fault Analysis)

ซึ่งได้แก่ สภาวะการผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ($1\Phi-G$) , สภาวะการผิดปกติ 2 เฟส (2Φ) และสภาวะการผิดปกติสามเฟส (3Φ)

3.3 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มกังหันลมเข้ากับระบบ 115 kV

โดยศึกษาถึงความเหมาะสมของสถานีไฟฟ้า และพิกัดกำลังไฟฟ้าของกังหันลมที่ต้องการเชื่อมต่อกับระบบ

3.3.1 วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการไหลของกำลังไฟฟ้า

(Power flow analysis)

3.3.2 วิเคราะห์ผลทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage Profile Analysis)

3.3.3 วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านความสูญเสียในระบบ (System losses analysis)

3.3.4 วิเคราะห์ผลทางด้านสภาวะการผิดปกติพร้อม (Fault Analysis)

ซึ่งได้แก่ สภาวะการผิดปกติ 1 เฟสลงดิน ($1\Phi-G$) , สภาวะการผิดปกติ 2 เฟส (2Φ) และสภาวะการผิดปกติสามเฟส (3Φ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มตู้กักกันลมเข้ากับระบบ 33 kV

เมื่อวิเคราะห์ถึงปัญหาการใช้งานเกินพิกัดของสายจำหน่าย พบว่า หลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลมที่คิด 10.25 Mw ไม่เกิดปัญหา ที่พิกัด 10.88 Mw เกิดปัญหาที่ปลายสาย และที่พิกัด 30.40 Mw เกิดปัญหาที่กลางสาย และปลายสาย

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการไหลของกำลังไฟฟ้า พบว่า หลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลมที่คิด 10.25 Mw ช่วยลดการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (P) ของสถานีไฟฟ้าระโนดได้ ทำให้แบ่งเบาที่สถานีจ่ายได้ และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) มีค่าลดลงเล็กน้อยที่ปลายสายและมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่ต้นสาย และกลางสาย

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาแรงดันไฟฟ้าในระบบ พบว่าค่าแรงดันที่ปลายสายเพิ่มขึ้น ส่วนที่ต้นสาย และกลางสาย เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นขณะเกิดการลัดวงจร พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าและกระแสขณะเกิดการลัดวงจรทั้งก่อน และหลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลม มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด ดังนี้ 3φ Fault > 2φ Fault, 2φ-G Fault > 1φ-G Fault โดยหลังติดตั้งจะมีขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุดมีค่าสูงขึ้น ทั้งในพื้นที่ต้นสาย กลางสาย และปลายสาย

4.2 การศึกษาผลกระทบของการต่อเพิ่มตู้กักกันลมเข้ากับระบบ 115 kV

4.2.1 การพิจารณาเลือกสถานีที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดในการติดตั้งตู้กักกันลมที่คิด 30 MW เข้ากับระบบสายส่งระดับแรงดัน 115 kV (เชื่อมต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 , สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 และสถานีไฟฟ้าจะนะ) ดังตารางที่ 1

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าแรงดันไฟฟ้า พบว่า หลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลมเข้ากับสถานีไฟฟ้าจะนะ มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีปกติ

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) หลังการเชื่อมต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าสงขลา 3 พบว่าทั้งในช่วง Light Load และ Peak Load มีค่าลดลงจากกรณีปกติมากที่สุด เมื่อเทียบกับหลังเชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 และสถานีไฟฟ้าจะนะ

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) หลังการเชื่อมต่อ พบว่าในช่วง Light load มีค่าสูงสุดเท่ากับ 55.91 MVA คิดเป็น 17.46 % ของพิกัดสาย และช่วง Peak load พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 106.09 MVA คิดเป็น 33.12 % ของพิกัดสายทุกกรณี

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ หลังการเชื่อมต่อ พบว่าในช่วง Peak Load ที่สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 มีค่าลดลงมากที่สุด และในช่วง Light Load พบว่าที่สถานีไฟฟ้าสงขลา 3 และสถานีไฟฟ้าสงขลา 2 มีค่าลดลงเท่ากัน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการเลือกจุดติดตั้งตู้กักกันลม

ชื่อเปรียบเทียบ	สถานีไฟฟ้าที่ต่อกับตู้กักกันลม DFIG		
	สถานีสงขลา 2 (SLB)	สถานีสงขลา 3 (SLC)	สถานีจะนะ (CHN)
1. ระยะเวลาใกล้ที่สุด	✓✓	✓✓✓	✓
2. ค่าสูญเสียในระบบ (Loss)	✓✓	✓✓✓	✓
3. ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage)	✓✓	✓	✓✓✓
4. ค่าการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow)	✓✓	✓✓✓	✓
5. การลงทุน (Cost)	✓✓	✓✓✓	✓

4.2.2 การพิจารณาระดับความเร็วลมที่เหมาะสม ซึ่งแปรผันกับประสิทธิภาพของตู้กักกันลมที่คิด 30 MW เมื่อเชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าที่เหมาะสม (ลมแรง = ทำงานเต็มพิกัด 30 MW, ลมปานกลาง = 14 MW และลมเบา = 4 MW)

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าแรงดันไฟฟ้า หลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลม พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งในช่วง Peak Load และ Light Load มีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีปกติ โดยที่พิกัด 30 MW มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่พิกัด 14 MW และ 4 MW มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยลงมาตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง (P) พบว่าที่พิกัด 30 MW, 14 MW และ 4 MW นั้นเป็นการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (P) ให้กับระบบ

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) หลังการเชื่อมต่อ พบว่าในช่วง Light load มีค่าสูงสุดเท่ากับ 55.91 MVA คิดเป็น 17.46 % ของพิกัดสาย และช่วง Peak load พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 106.09 MVA คิดเป็น 33.12 % ของพิกัดสายทุกกรณี

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ หลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลม พบว่าในช่วง Peak Load ที่พิกัด 30 MW มีค่าต่ำกว่ากรณีปกติ และในช่วง Light Load มีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีปกติ แต่ที่พิกัด 14 MW และ 4 MW พบว่าทั้งในช่วง Peak Load และ Light Load มีค่าต่ำกว่ากรณีปกติ

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นขณะเกิดการลัดวงจร พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าและกระแสขณะเกิดการลัดวงจรทั้งก่อน และหลังการเชื่อมต่อตู้กักกันลม มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด ดังนี้ 3φ Fault > 2φ Fault, 2φ-G Fault > 1φ-G Fault กรณีปกติพบว่าขนาดกระแสลัดวงจรสูงสุดมีค่า 9.389176 kA

และหลังการเชื่อมต่อค่ากระแสขณะเกิดการลัดวงจรมีค่าสูงขึ้นดังนี้ ที่พิกัด 30 MW, 14 MW และ 4 MW กระแสลัดวงจรสูงสุดมีค่า 9.880207 kA, 9.738495 kA และ 9.537206 kA ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบ

Case	Problem					
	Voltage (p.u.)			Loss		Fault Max (kA)
	Over (Max)	Under (Min)	Over Load (%)	MW	% Load	
1. Light load + Min rated	✓ (1.0154)	✓ (0.9954)	✓ (17.46)	0.93	0.0053	9.5372
2. Light load + Mean rated	✓ (1.0154)	✓ (0.9954)	✓ (17.46)	0.93	0.0053	9.7385
3. Light load + Max rated	✓ (1.0154)	✓ (0.9954)	✓ (17.46)	1.07	0.0061	9.8802
4. Peak load + Min rated	✓ (1.0103)	✗ (0.9449)	✓ (33.12)	4.26	0.0127	9.5372
5. Peak load + Mean rated	✓ (1.0107)	✓ (0.9501)	✓ (33.12)	3.90	0.0117	9.7385
6. Peak load + Max rated	✓ (1.0107)	✓ (0.9549)	✓ (33.12)	3.70	0.0111	9.8802

*** Under Voltage = ค่าแรงดันที่น้อยกว่า 0.95 p.u.

Over Voltage = ค่าแรงดันที่มากกว่า 1.05 p.u.

จากผลการจำลองการติดตั้งกังหันลมพิกัด 30 MW (ลมแรง), 14 MW (ลมปานกลาง) และ 4 MW (ลมเบา) เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 โดยสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ได้ดังตารางที่ 2 พบว่าเกิดปัญหา Under Voltage ที่บัส 115 kV ซึ่งเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับกังหันลม เกิดปัญหาขึ้นในกรณีการติดตั้งกังหันลมพิกัด 4 MW (ลมเบา) ในช่วง Peak Load

5. สรุปผลการทดลอง

บทความฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มพลังงานทดแทนเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยมุ่งเน้นที่การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับกังหันลมที่บริเวณเกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา พิกัดกำลังไฟฟ้า 30 MW ซึ่งเป็นระดับ SPP โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory ช่วยในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเชื่อมต่อกับกังหันลมพิกัดกำลังไฟฟ้า 30 MW ซึ่งเป็นระดับ SPP เข้ากับระบบไฟฟ้า จำเป็นต้องต่อเข้ากับระบบแรงดันไฟฟ้า 115 kV โดยสถานีไฟฟ้าส่งขลา 3 เป็นสถานีไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด และกังหันลมทำงานเต็มพิกัดกำลัง จึงจะได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 จากการทดลอง จะทำให้ทราบถึงกำลังผลิตสูงสุดของชุดกังหันลมที่สามารถติดตั้งได้ในแต่ละพื้นที่ แต่เมื่อจะทำการติดตั้งจริง ไม่ควร

จะติดตั้งที่กำลังผลิตสูงสุดเลย เนื่องจากระบบจะมีความเสถียรภาพน้อย หากเกิดความผิดปกติใดๆขึ้น อาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้

6.2 ในการเลือกพิกัดกำลังผลิตของกังหันลม เพื่อต่อเชื่อมเข้ากับระบบไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ด้วย เช่น ขนาดตำแหน่งและลักษณะของพื้นที่นั้น

6.3 ในการเลือกสถานีไฟฟ้าที่จะเชื่อมต่อกับกังหันลมจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และประสิทธิภาพสูงสุด โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

7. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุน คำปรึกษาจาก ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินท ไหว และรศ.ดร. มณฑล ลีลาจินดา ไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา คุณรัตติยา หรรษาพิพัฒน์ คุณเผด็จ ไชยมงคล คุณพัฒนพันธ์ บุญทอง และคุณพรทิพย์ ศรีมงคล กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่คอยสละเวลาและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมากใน ปริญญาานิพนธ์เรื่องนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] “ศึกษาพลพลังงานลม,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.fio.co.th/institution/woodeconomy/main_web/data/wind%20energy.pdf
- [2] H. Siegfried, Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems. London : John Wiley & Sons, 1998
- [3] Anca D. Hansen, Clemens Jauch, Poul Sørensen, Florin Iov, Frede Blaabjerg, Dynamic wind turbine models in power system simulation tool DigSILENT :Riso National Laboratory, Roskilde, 2003
- [4] ศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมกรมการส่งสว่าง, “โครงการวิจัยเพื่อการออกแบบและการควบคุมระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและการศึกษาผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมต่อระบบการจ่ายไฟของกริดไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,” รายงานฉบับสมบูรณ์, 31 ส.ค. 2552

ประวัติผู้เขียน



นางสาวจิตตา จิวตระกูล (ตา)
 เกิดวันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2533
 ที่อยู่ 242/30 ถ.ลาดพร้าว ซอยลาดพร้าว 112 แขวงวังทองหลาง
 เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง
 E- Mail: t.jewtrakul@gmail.com Tel. 087-107-4182



นายณัฐชัย อารีรัช (เต้)
 เกิดวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2533
 ที่อยู่ 48/114 ถ.เสรีไทย ซอยเจริญกานัญ 4 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม
 กรุงเทพมหานคร 10240
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสุขุมวิทพณิชยการ
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสุขุมวิทพณิชยการ
 E- Mail: bigcan_9999@hotmail.com Tel. 088-894-2129



นางสาวณัฐนรี ศศลักษณ์านนท์ (พีช)
 เกิดวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2533
 ที่อยู่ 9/10 ถ.บรมราชินี 105 ซอยบรมราชินี 105 แขวงศาลาธรรมสพน์
 เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10170
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา
 พุทธรณchol (สตรีวิทยา 3)
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา
 พุทธรณchol (สตรีวิทยา 3)
 E- Mail: sn.natnaree@gmail.com Tel. 083-818-8558



นายณัฐวัฒน์ เงินสด (เอลฟ์)
 เกิดวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2533
 ที่อยู่ 2/152 ถ.มณฑา ต.ตาคลี อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ 60140
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนช่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
 E- Mail: elfpea39@gmail.com Tel. 089-924-1110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้