

(ง)



รายงานการวิจัย

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่
จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพ
ของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย

**The Available Capacity Assessment for Renewable Energy
Generation in PETCHABUN Province and an Impaction Study
to Thailand's Northern Power System stability**

นฤมล วันน้อย

สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2559

(จ)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่
จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพ
ของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย

**The Available Capacity Assessment for Renewable Energy
Generation in PETCHABUN Province and an Impaction Study
to Thailand's Northern Power System stability**

นฤมล วันน้อย

สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ งบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความ

เห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2559

(ก)

ชื่องานวิจัย	การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย
ผู้วิจัย	นฤมล วันน้อย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2560

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้ออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบในการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ โดยการออกแบบได้ใช้ชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) และโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ในการตรวจวัดและบันทึกค่า ซึ่งพื้นที่ในการศึกษาประกอบด้วย เขตพื้นที่ชุมชนอำเภอเขาค้อ และเขตพื้นที่ตำบลสะเดียง จังหวัดเพชรบูรณ์ และในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยหลังจากการเชื่อมต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เข้าในระบบกำลังไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าห่มสัก และสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ที่ระดับแรงดัน 115kV โดยกำลังไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 90MW ซึ่งผลการศึกษาพบว่า กำลังไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้าระบบนี้ช่วยให้ระบบไฟฟ้ามีความเสถียรภาพทางแรงดันเพิ่มขึ้นทั้งในสภาวะระบบปรกติและในสภาวะเกิดความผิดปกติในระบบและข้อมูลในการศึกษาวิจัยนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการสนับสนุนพัฒนาการการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในพื้นที่ เพื่อเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

คำสำคัญ : การประเมินศักยภาพ, การผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทน, ความเสถียรภาพแรงดัน, ระบบกำลังไฟฟ้า

Research title	The Available Capacity Assessment for Renewable Energy Generation in PETCHABUN Province and an Impaction Study to Thailand's Northern Power System stability
Researcher Name	Narumon Wannoi
Department	Electrical Technology Phetchabun Rajabhat University Year 2017

ABSTRACT

This paper presents the renewable generation capacity assessment in Phetchabun province which has designed the prototype device for power generation capacity assessment from Wind and Solar power with Data acquisition (DAQ) and LabVIEW Program for measurement and record data. The areas of study are Khao Kho district and Tambon Sa-Dieng community in Phetchabun Province. In this research has stability impaction studied to Thailand's Northern power system after integration of Wind and Solar power generation 90MW to system at 115 KV Lomsak and Phetchabun substation. The study results found that the voltage stability of the power system enhancement in the system normal and have occurred fault conditions. The study results data can be used as a database to support the development of electricity from renewable energy in order to increase the Thailand power system stability.

Keywords: Capacity Assessment, Renewable Generation, Voltage Stability, Power System

(ช)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา, ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินโหวและคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ซึ่งเป็นอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งให้คำแนะนำต่าง ๆ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัย และคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมที่ให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีและขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องและทำให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากการงานวิจัยฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นฤมล วันน้อย

28 กุมภาพันธ์ 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	6
1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 พลังงานลม	8
2.2 พลังงานแสงอาทิตย์	10
2.3 ระบบกำลังไฟฟ้า	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	15
3.1 การออกแบบชุดตรวจวัดความเร็วลมและกำลังแสงอาทิตย์	15
3.2 การศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย	42
4.1 ผลการทดสอบสร้างเครื่องต้นแบบในการวัดพลังงานลมและแสงอาทิตย์	42
4.2 ผลการประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์	45
4.3 ผลการศึกษผลกระทบต่อบริบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย	47

(ญ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการวิจัย	55
5.2 อภิปรายผล	55
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ประวัตินักวิจัย	59

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	ข้อมูลระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยปี 2014 โดยรวม	19
3-2	แรงดันบัสของสถานีไฟฟ้าหลักที่ระดับแรงดัน 115KV, 230kV และ 500kV	22
4-1	ผลการทดสอบค่าความผิดพลาด	43
4-2	ผลการทดสอบค่าความผิดพลาด	45
4-3	การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ ถูกปลดออกในระบบสภาวะปกติ	49
4-4	การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อถูก ปลดออกในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย	2
1-2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย	3
1-3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ประเทศไทย	3
1-4 ผังและกรอบแนวคิดในการทำงานวิจัย	5
2-1 การส่งระบบกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิต มาถึงผู้ใช้ไฟฟ้า	12
3-1 บล็อกการดำเนินงานในการศึกษาวิจัย	15
3-2 ชุดเซ็นเซอร์ตัววัดความเร็วลมจะเป็นแบบสามก้าน	17
3-3 ชุดเซ็นเซอร์ตัววัดกำลังแสงอาทิตย์	17
3-4 ส่วนของโปรแกรมในการรับค่าและการทำสเกล	18
3-5 ส่วนของโปรแกรมบันทึกผล	18
3-6 ส่วนของโปรแกรมแสดงผล	19
3-7 ระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย	20
4-1 Digital Anemometer version A0	43
4-2 การทดสอบเปรียบเทียบค่า	43
4-3 Solar meter Tenmars TM207	44
4-4 การทดสอบเปรียบเทียบค่า	44
4-5 ผลการตรวจวัดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์	45
4-6 ผลการตรวจวัดปริมาณลม	46
4-7 ผลการตรวจวัดปริมาณแสงในหน่วยของแรงดัน	46
4-8 บัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ในสภาวะปกติ	47
4-9 บัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-AKR ถูกปลดออกในระบบสภาวะปกติ	48
4-10 บัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-LS ถูกปลดออกในระบบสภาวะปกติ	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-11 การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE ถูกปลดออกในระบบสภาวะปกติ	49
4-12 บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน เข้าระบบที่บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ 90MW	51
4-13 บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-AKR ถูกปลดออก ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน	51
4-14 บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-LS ถูกปลดออก ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน	52
4-15 การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE ถูกปลดออกในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลักการทางปฏิบัติในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีเครื่องวัดในการประเมินศักยภาพพลังงาน ณ สถานที่จริงก่อนมีการติดตั้ง ถึงแม้ว่าจะสามารถศึกษาข้อมูลจากแผนที่ศักยภาพพลังงานลมหรือแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย แต่ข้อมูลดังกล่าวนี้ทำให้ทราบถึงศักยภาพเบื้องต้นเท่านั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้และเพื่อเป็นการรองรับการขยายตัวหรือการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนตามนโยบายของรัฐบาลจากแผนพัฒนาการการผลิตประเทศไทยปี 2553-2573 (PDP2010 rev.3) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2555-2564 (AEDP 2012-2021) ซึ่งสนับสนุนให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำงานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) และโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW Program) ในการตรวจสอบแสดงผลและบันทึกค่า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยได้ทำการศึกษาวิจัยและประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในพื้นที่ อ.เขาค้อ และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตชุมชนตำบลสะเตียง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งจังหวัดเพชรบูรณ์นั้นมีขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้งสองชนิดนี้และหากมีโรงไฟฟ้าดังกล่าวเกิดขึ้นจริงจึงได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพต่อระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์

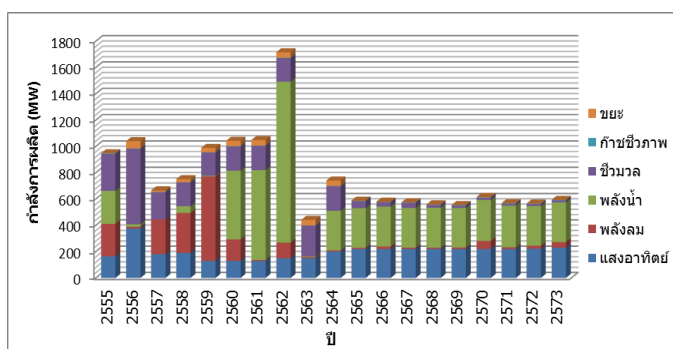
1.2.2 เพื่อศึกษาและประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์

1.2.4 เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเผยแพร่เพื่อสร้างองค์ความรู้การตรวจวัดและประเมินการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและเป็นฐานข้อมูลเพื่อสร้างแรงจูงใจและสนับสนุนพัฒนาการการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

1.3 สมมติฐานการวิจัย

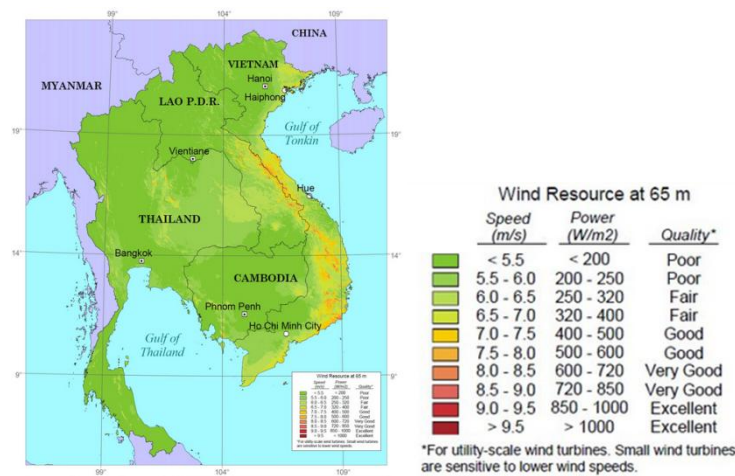
เนื่องจากแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งสวนทางกับปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และอื่นๆ นอกจากจะมีปริมาณลดลงแล้วราคาของเชื้อเพลิงก็เพิ่มเป็นเงาตามตัวเช่นเดียวกันและที่สำคัญมลพิษต่างๆที่เกิดจากเชื้อเพลิงเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็น CO, SO₂, NO_x และอื่นๆ ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การขยายกำลังการผลิตหรือสร้างโรงไฟฟ้าตามประเภทแต่ละเชื้อเพลิงเหล่านี้ค่อนข้างยากซึ่งดูได้จากข้อจำกัดด้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้างั้นทางทีมวิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาวิจัย การศึกษาศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์โดยเน้นในกลุ่มเทคโนโลยีสะอาดคือ พลังงานทดแทนจากพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้งสองประเภทดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งเมื่อทำการศึกษา นโยบายของรัฐบาลจากแผนพัฒนากำลังการผลิตประเทศไทยปี 2553-2573 (PDP2010 rev.3) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2555-2564 (AEDP 2012-2021) ซึ่งสนับสนุนให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นเรื่อยดังแสดงในรูปที่ 1.1



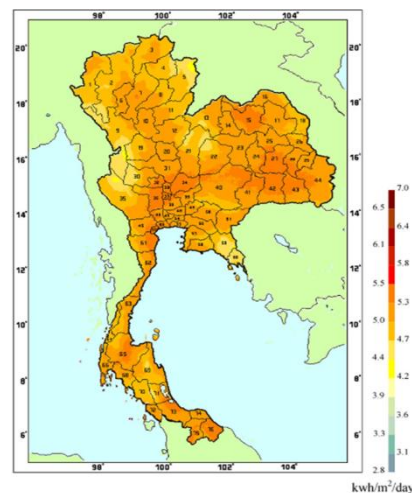
รูปที่ 1-1 แผนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

และเมื่อทำการศึกษาภูมิประเทศของจังหวัดเพชรบูรณ์นั้นมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากทั้งสองประเภทนี้ เนื่องจากพื้นที่ในจังหวัดเพชรบูรณ์นั้นเป็นพื้นที่ที่เป็นภูเขาและเป็นพื้นที่ราบซึ่งเหมาะในการ

ติดตั้งทั้งฟาร์มกังหันลมและฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ และจากผลการวิจัยของปี 2545 ธนาคารโลกได้ตีพิมพ์รายงาน แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งรวมกับประเทศไทยโดยใช้วิธี Mesomapping ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และถ้าพิจารณาโดยละเอียดจากแผนที่ลมของธนาคารโลกเอง จะพบพื้นที่ที่น่าสนใจว่า บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยมีบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงหลายแห่ง เช่น แนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ ที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงมาก ตั้งแต่ ภูหลวง ภูหินร่องกล้า ภูกระดึง จ.เลย เขาค้อ จ. เพชรบูรณ์ ภูเขียว ป่าหินงาม จ.ชัยภูมิ เรือขลงมาจด เขาเขายเทียง จ. นครราชสีมา ที่มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 8-9 เมตร/วินาที และจากข้อมูลการไฟฟ้าฝ่ายผลิตประเทศไทยจังหวัดเพชรบูรณ์สามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 4.4-5.5 kWh/m²/day ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1-2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย



รูปที่ 1-3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ประเทศไทย

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบถึงศักยภาพเบื้องต้นเท่านั้นแต่ในทางปฏิบัติการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องมีเครื่องวัดในการประเมินศักยภาพ ณ สถานที่จริงก่อนมีการติดตั้ง ด้วยเหตุผลดังกล่าวและเพื่อเป็นการรองรับการขายตัวหรือการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน

จึงได้ทำการวิจัยสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับประเมินศักยภาพพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำงานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) และ โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW Program) ในการตรวจสอบ แสดงผลและบันทึกค่า และในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยจากการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์กล่าวคือสถานีไฟฟ้าหล่มสัก และสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ ที่ระดับแรงดัน 115kV

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

ในการทำวิจัยการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยได้แบ่งขั้นตอนในการศึกษาไว้ทั้งหมด 5 ขั้นตอนด้วยกันซึ่งประกอบด้วย

1.4.1 ศึกษาและออกแบบเครื่องต้นแบบการประเมินศักยภาพพลังงานลมซึ่งใช้งานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) และ โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)

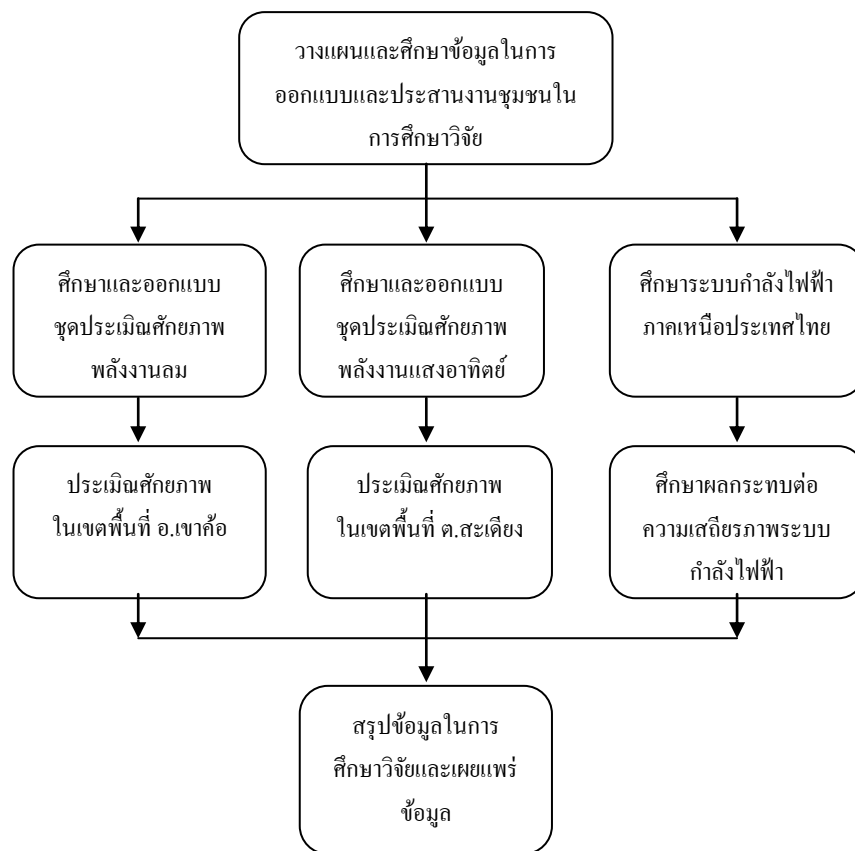
1.4.2 ศึกษาและประเมินศักยภาพพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และพัฒนาเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดค่า โดยจะทำการศึกษาและวัดค่าจริงในพื้นที่จริง

1.4.3 ศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยในสภาวะคงตัวโดยใช้โปรแกรม POWER World ในการจำลองและศึกษาวิจัยโดยใช้ข้อมูลระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยปี 2556 ช่วงโหลดสูงสุด (Peak load) เป็นกรณีศึกษา โดยใช้ห้องวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นที่ศึกษาวิจัย

1.4.4 ศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและนวัตกรรมเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าแบบสะอาดสู่ชุมชน โรงเรียน มหาวิทยาลัย โดยจัดทำสัมมนาวิชาการการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและนวัตกรรมเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าแบบสะอาดและผลการศึกษาวิจัย โดยจัดทำเอกสารประกอบการบรรยายในการจัดทำสัมมนาวิชาการพร้อมจัดทำเล่มเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนางานวิจัยและเพื่อสนับสนุนการสร้างและผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ตามนโยบายและแผนผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของรัฐบาลสู่ห้องสมุดโรงเรียน

ชุมชนต่างๆที่สนใจพร้อมจัดทำแผนการศึกษาและดูงานการตรวจวัด ณ สถานที่จริงสำหรับผู้สนใจ

1.4.5 สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ เผยแพร่ โดยผังและกรอบแนวคิดในการทำงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1-4 ผังและกรอบแนวคิดในการทำงานวิจัย

1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1.5.1 กำลังไฟฟ้า (Electrical Power) คือคุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

1.5.2 แรงดันไฟฟ้า (Voltage) คือแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนเพื่อให้อิเล็กตรอนไหลในสายไฟ

1.5.3 กระแสไฟฟ้า (Current) คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ เมื่อเกิดสภาพขาดอิเล็กตรอนจึงจ่ายประจุไฟฟ้าลบออกไปแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟจนกว่าประจุไฟฟ้าบวกจะถูกทำให้เป็นกลางหมด การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟ

1.5.4 กังหันลม (Wind Turbine) คือเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง

1.5.5 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) คือกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ

1.5.6 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) คือกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม

1.5.7 กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind Turbine for Pumping) คือกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็น พลังงานกล เพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร

1.5.8 กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric) คือกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็น พลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้ง กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และกังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)

1.5.9 กำลังลม (Wind Power) คือกำลังลมต่อหน่วยพื้นที่ หรือเรียกว่า ความหนาแน่นของกำลังลม

1.5.10 ความหนาแน่นของกำลังลม (Wind Power Density) คืออัตราเร็วลมที่เคลื่อนที่ตั้งฉากกับพื้นที่รับแรงลม แรงดันไม่ได้คู่ (Voltage Unbalance)

1.5.11 ค่าสัมพันธ์ สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) คือค่าดัชนีชี้ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรวมและชั่วโมงที่มีแดด แรงดันผิดเพี้ยน (Voltage Distortion)

1.5.12 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) คือระบบส่งกำลังไฟฟ้าหมายถึง ระบบขนส่งพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าไปยังระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นศูนย์กลางการจ่ายโหลด

1.5.13 ความถี่ไฟฟ้ากำลัง (Power Frequency) คือจำนวนรอบของกระแสไฟฟ้าสลับต่อวินาทีมีหน่วยเป็น (Hz)

1.5.14 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) คือ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหมายถึง ระบบที่ถูกลดแรงดันให้ต่ำจนมีค่าเหมาะสมที่จะบริการให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้แล้ว

1.5.15 สถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า (Substation) คือ สถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นสถานีกลางที่รับพลังงานจากระบบหนึ่งส่งต่อไปให้อีกระบบหนึ่ง พร้อมกับเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมกับที่ใช้ในระบบนั้น ๆ

1.5.16 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) (Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)) คือหน่วยงานที่มีหน้าที่ผลิตและจัดหาแหล่งพลังงานที่เหมาะสมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับการใช้งานภายในประเทศ

1.5.17 การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) (Metropolitan Electricity Authority (MEA)) คือหน่วยงานที่มีหน้าที่บริการและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ในเขตจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงคือ กรุงเทพฯ นนทบุรี และสมุทรปราการ

1.5.18 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) (Provincial Electricity Authority (PEA)) คือหน่วยงานที่มีหน้าที่เช่นเดียวกับการไฟฟ้านครหลวง แต่มีเขตรับผิดชอบอยู่ทุกจังหวัดในส่วนที่เหลือนอกเขตจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงทั้งหมด

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.6.1 สามารถสร้างเครื่องประเมินขีดศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเพื่อรองรับและสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

1.6.2 ทำให้ทราบถึงขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์

1.6.3 ทำให้ทราบผลกระทบต่อระบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์

1.6.4 สามารถนำไปเป็นพื้นฐานข้อมูลในการเผยแพร่เพื่อสร้างองค์ความรู้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและนวัตกรรมเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าแบบสะอาดสู่ชุมชนเพื่อการพัฒนาพลังงานให้ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.6.5 สามารถนำไปเป็นพื้นฐานข้อมูลในการเผยแพร่เพื่อสร้างแรงจูงใจและสนับสนุนพัฒนาด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

1.6.6 สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบกำลังไฟฟ้าจังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

1.6.7 สามารถนำไปเป็นองค์ประกอบการศึกษา เรียนรู้ และใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ต่างเพื่อพัฒนาพลังงานไฟฟ้าให้ยั่งยืน

1.6.8 ตีพิมพ์เผยแพร่งานวิจัยในระดับชาติ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นจึงได้แบ่งส่วนการศึกษาในบทนี้ออกเป็นสองส่วนใหญ่คือส่วนเอกสารเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยและส่วนที่สองคือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยนี้

2.1 พลังงานลม

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศ และแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่า ลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ซึ่งในบางครั้งแรงที่เกิดจากลมอาจทำให้บ้านเรือนที่อยู่อาศัยพังทลาย ต้นไม้ หักโค่นลง สิ่งของวัตถุต่างๆ ล้มหรือปลิวลอยไปตามลม ฯลฯ ในปัจจุบันมนุษย์ยังได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น

2.1.2 เทคโนโลยีกังหันลม

กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้ เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การบดสีเมล็ดพืช การสูบน้ำ หรือในปัจจุบัน ใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์มีมาตั้งแต่ชนชาวอียิปต์โบราณและมีความต่อเนื่องถึงปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

2.1.2 รูปแบบเทคโนโลยีกังหันลม

กังหันลมสามารถแบ่งออกตาม ลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ

1. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ
2. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม

2.1.3 ส่วนประกอบของ เทคโนโลยีกังหันลม

2.1.3.1 กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind Turbine for Pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็น พลังงานกล เพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบระหัด และ แบบสูบชัก

2.1.3.2 กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็น พลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้ง กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และ กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)

2.1.4 อัตราเร็วลมเฉลี่ย

การวิเคราะห์อัตราเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งสามารถนำมาคำนวณอัตราเร็วลมเฉลี่ยได้จากสมการที่ 1

$$V_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad (1)$$

เมื่อ V_{avg} คือ อัตราเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
 V_i คือ อัตราเร็วลมราย 10 นาที
 N คือ จำนวนข้อมูล

2.1.5 กำลังลม (Wind Power)

กำลังลมต่อหน่วยพื้นที่ หรือเรียกว่า ความหนาแน่นของกำลังลม (Wind Power Density) คืออัตราเร็วลมที่เคลื่อนที่ต่งจากกับพื้นที่รับแรงลม สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 ดังนี้ [9]

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของลม (1.225 kg/m³)
 V คือ อัตราเร็วลมเฉลี่ย (m/s)

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจาก สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันในประเทศไทย มีหลายหน่วยงาน ได้ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน

2.2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m²-day พื้นที่

ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ/m²-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีความเท่ากับ 18.2MJ/m²-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.2.2 การประมาณค่ารังสีรวม

การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องทราบศักยภาพของพลังงาน โดยเฉพาะค่ารังสีรวม ถ้าการวัดรังสีรวมทำได้สะดวก เราจะทำการวัด เพราะทำให้ทราบค่าที่แน่นอน ในสถานที่ซึ่งไม่มีการวัดรังสีรวม เราอาจจะประมาณค่าของรังสีรวมได้จากค่าชั่วโมงที่มีแดด เนื่องจากรังสีรวมมีความสัมพันธ์กับชั่วโมงที่มีแดดอย่างสูง นอกจากนั้น ชั่วโมงที่มีแดดเป็นข้อมูลที่วัด ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป ปรกติเราใช้ค่าสัมพัทธ์ สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เป็นดัชนีชี้ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรวมและชั่วโมงที่มีแดด เราสร้างสมการสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง สมการดังกล่าวอาจอยู่ในรูปสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression Equation) หรือแบบไม่เส้นตรง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์และสมการถดถอยสามารถหาได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางสถิติทั่วไป การพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจะให้กราฟที่เรียกว่าไดอะแกรมกระจ่าย (Scatter diagram) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนี้จะมีความเชื่อถือได้สูงถ้าใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ครอบคลุมช่วงเวลานาน ตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์อาจเป็นข้อมูลดิบหรือข้อมูลที่ถูกลดให้ไร้มิติ (Dimensionless) การเปลี่ยนให้ข้อมูลไร้มิติหลายแบบแล้วแต่ผู้วิเคราะห์ เช่น

2.2.2.1 ค่ารังสีรวมรายวัน เปลี่ยนให้ไร้มิติโดยการหารด้วยค่ารังสีนอกบรรยากาศหรือด้วยค่าเฉลี่ยของรังสีรวมบนผิวโลกในช่วงเวลาหนึ่งๆ (เช่นค่าเฉลี่ยรายเดือน)

2.2.2.2 ค่าชั่วโมงที่มีแดดเปลี่ยนให้ไร้มิติโดยการหารด้วยเวลาดังแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนตกหรือเรียกว่าความยาวนานของวัน (day length) หรือหารด้วยค่าเฉลี่ยความยาวนานของวันแต่ละเดือน ดังนั้นเป็นต้น รูปสมการถดถอยที่สำคัญ คือ Angstrom Type Regression Equation ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ไร้มิติละมีรูปสมการที่ 3

$$\frac{G}{G_m} = a_o + a_1 \frac{S}{S_m} \quad (3)$$

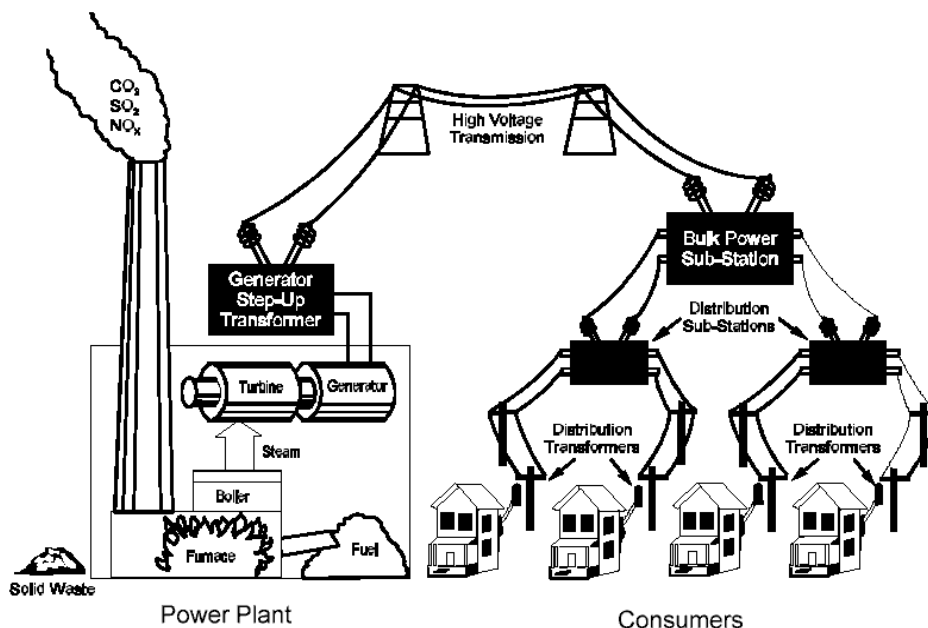
เมื่อ G และ S เป็นข้อมูลดิบหรือค่าวัดของรังสีรวม(MJ/m²) และชั่วโมงที่มีแดด(hour) G_m และ S_m เป็นตัวแปรที่เลือกหารให้ได้ตัวแปรไร้มิติ

2.3 ระบบกำลังไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้ากำลังในประเทศไทยประกอบไปด้วย 3 ระบบหลัก ๆ ได้แก่ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบจำหน่าย และระบบผลิตกำลังไฟฟ้า

2.3.1. ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System)

ระบบส่งกำลังไฟฟ้าหมายถึง ระบบขนส่งพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าไปยังระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นศูนย์กลางการจ่ายโหลด (Load Center) โดยคำนึงถึงระยะทางที่ใกล้ที่สุดและประหยัดที่สุดในการส่งพลังงานไฟฟ้า อาจใช้สายอากาศเดินเหนือศีรษะ (Overhead Aerial Line) หรือใช้สายเคเบิลเดินใต้ดิน (Underground Cable) ก็ได้ ในกรณีที่ส่งด้วยสายอากาศเดินเหนือศีรษะจะมีสายเส้นเล็ก ๆ ขึงอยู่ข้างบนสายส่งไฟฟ้า เรียกว่า สายดินเหนือศีรษะ (Overhead Ground Wire) สายดินเส้นนี้จะต่อตรงอยู่กับเสาโครงเหล็ก (Steel Tower) มีหน้าที่ป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้าผ่านสายส่งและเป็นตัวนำกระแสผ่านลงสู่ดิน



รูปที่ 2-1 การส่งระบบกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิต มาถึงผู้ใช้ไฟฟ้า

2.3.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหมายถึง ระบบที่ถูกลดแรงดันให้ต่ำจนมีค่าเหมาะสมที่จะบริการให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้แล้ว แรงดันที่ใช้ในระบบจำหน่ายมีหลายระดับ เช่น 11 kV , 22 kV และ 33 kV เป็นระบบแรงดันที่ใช้ใน กฟภ. และ 12 kV กับ 24 kV เป็นระดับแรงดันที่ใช้ใน กฟน. สายจำหน่ายชนิดนี้ เรียกว่า สายจำหน่ายแรงสูงหรือสายป้อนปฐมภูมิ (Primary Feeder) ซึ่งแรงดันระดับนี้สามารถจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมได้ สายจำหน่ายแรงสูงนี้ จะเห็นเดินอยู่รอบ ๆ ตัวเมืองและจะแปลงระดับแรงดันให้ต่ำลงอีกโดยใช้หม้อแปลงจำหน่าย สายจำหน่ายชนิดนี้เรียกว่า สายจำหน่ายแรงต่ำหรือสายป้อนทุติยภูมิ (Secondary Feeder) ในประเทศไทยได้กำหนดระดับแรงดันใช้งานขนาด 220 V สำหรับระบบ 1 เฟส และ 380 V สำหรับระบบ 3 เฟส

2.3.3 สถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า (Substation)

สถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นสถานีกึ่งกลางที่รับพลังงานจากระบบหนึ่งส่งต่อไปให้อีกระบบหนึ่ง พร้อมกับเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมกับที่ใช้ในระบบนั้น ๆ เช่น รับแรงดันจากระบบผลิตเข้ามาเปลี่ยนระดับแรงดันให้สูงขึ้นและส่งผ่านไปยังระบบส่งกำลัง หรือรับแรงดันสูงจากระบบส่งกำลังเข้ามาลดแรงดันให้ต่ำลงแล้วส่งผ่านไปยังระบบจำหน่าย เป็นต้น ภายในสถานีเปลี่ยนแรงดันมีส่วนประกอบที่จำเป็นดังนี้คือ หม้อ

แปลงเปลี่ยนแรงดัน อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน สถานีเปลี่ยนแรงดันมีหน้าที่และการทำงานพอสรุปได้ดังนี้คือ

- 2.3.3.1 เปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมและรักษาแรงดันให้คงที่ ก่อนส่งต่อไปยังระบบอื่น ถ้าอยู่ในบริเวณแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะเรียกว่า ลานไถไฟฟ้า (Switch Yard) ถ้าอยู่ระหว่างสายส่งไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้าย่อยเรียกว่า สถานีไฟฟ้าย่อยต้นทาง (Bulk Power Substation) แต่ถ้าอยู่ใกล้ระบบจำหน่ายเรียกว่า สถานีไฟฟ้าย่อยจำหน่าย (Distribution Substation)
- 2.3.3.2 เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมระบบแรงดันสูงกับระบบแรงดันต่ำเข้าด้วยกันและทำการนำพลังงานเข้าหรือออกจากระบบ
- 2.3.3.3 เป็นจุดติดตั้งเครื่องมือวัด อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน
- 2.3.3.4 เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสารและโทรมาตร (Telemeter)

2.3.4 หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการส่งจ่ายไฟฟ้าในประเทศไทย

หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับไฟฟ้าภายในประเทศประกอบด้วยการไฟฟ้า 3 แห่ง ซึ่งแต่ละแห่งมีหน้าที่แตกต่างกันดังนี้ คือ

2.3.4.1 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) มีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) มีหน้าที่ผลิตและจัดหาแหล่งพลังงานที่เหมาะสมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับการใช้งานภายในประเทศ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ดูแลบำรุงรักษาโรงจักร สายส่งกำลังไฟฟ้า และสถานีเปลี่ยนแรงดัน ให้อยู่ในสภาพที่ดีและสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ตลอดเวลา พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นี้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ เป็นผู้จำหน่ายให้กับการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยตรง

2.3.4.2 การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Metropolitan Electricity Authority (MEA) ซึ่งมีหน้าที่บริการและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ในเขตจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงคือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ นอกจากนี้ยังรับผิดชอบในการดูแลรักษาสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูง สถานีเปลี่ยนแรงดันสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง หม้อแปลงระบบจำหน่ายและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำให้อยู่ในสภาพดี พลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้านครหลวงจำหน่ายให้กับประชาชนในเขตรับผิดชอบทั้งหมดนั้น รับซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูง ขนาด 69 kV , 115 kV และ 230 kV

2.3.4.3 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Provincial Electricity Authority (PEA) มีหน้าที่เช่นเดียวกับการไฟฟ้านครหลวง แต่มีเขตรับผิดชอบอยู่ทุกจังหวัดในส่วนที่เหลือนอกเขตจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงทั้งหมด พลังงานไฟฟ้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมินำมาจำหน่ายให้กับประชาชนนั้นส่วนใหญ่รับซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ในระบบจำหน่ายแรงสูง 11kV 22 kV หรือ 33 kV และรับซื้อแรงดันสูงขนาด 69 kV และ 115 kV บ้างเล็กน้อยจากสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ นอกจากนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังได้ติดตั้งเครื่องชนิดดีเซลเพื่อให้กำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ 25 kW ถึง 1400 kW เพื่อจ่ายให้กับชุมชนอำเภอหรือจังหวัดที่อยู่ห่างไกลจากระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ไม่สามารถรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ โดยตรงได้อีกด้วย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนั้นได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการศึกษาเพื่อพัฒนางานวิจัยโดยประกอบไปด้วย

2.4.1 กิจไพบูรณ์ ชิวพันธุ์ศรี, Lab VIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม, พ.ศ. 2554

2.3.2 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, เอกสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์

2.3.3 นฤมล วันน้อย, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ปีที่พิมพ์ 2558, [ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”](#)

2.3.4 นฤมล วันน้อย, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน, ปีที่พิมพ์ 2558, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม3

2.3.5 วรณช แจงสว่าง พ.ศ. 2551 Renewable Energy: พิมพ์ครั้งที่ 1

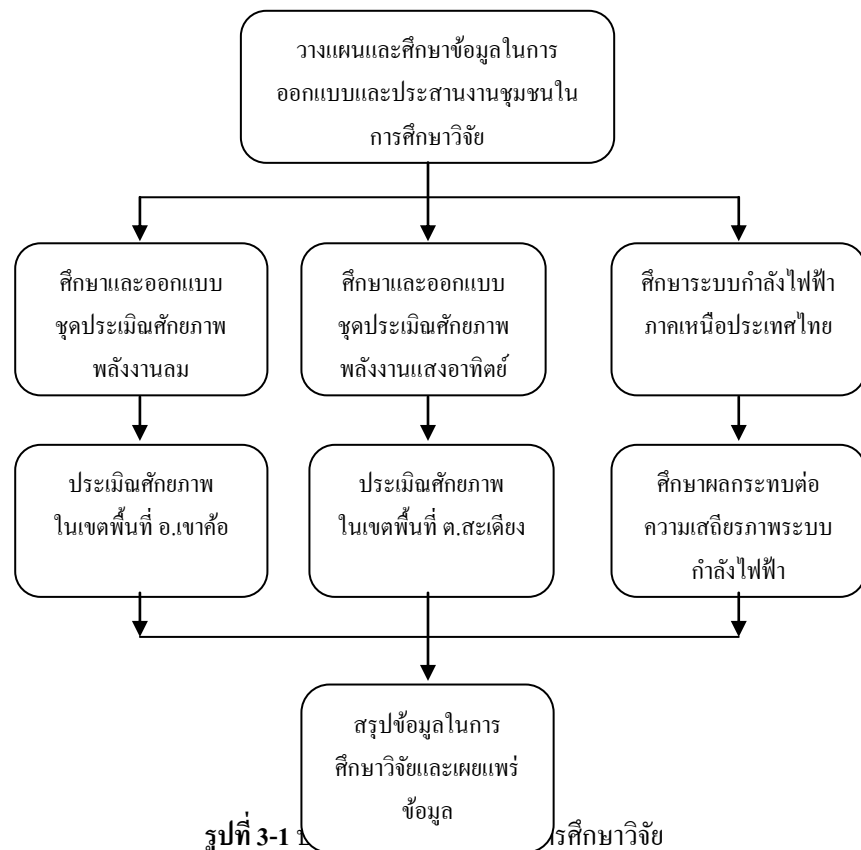
2.3.6 Chompoo-inwai, Chow and Mungkornassawakul, Jade, Japan July 8-12 2012, The Data Acquisition system and lab view program in being a smart and low cost three phase disturbance measuring unit, international conference on electrical engineering (ICEEE 2012).

2.3.7 Chow chompoo-inwai and Jade Mungkornassawakul, USA April 4-5 2013. A smart recording power analyzer prototype using Lab view and low cost data acquisition (DAQ) in being a smart renewable monitoring system, IEEE green tech.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการการศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยซึ่งใช้เป็น เครื่องต้นแบบโดยเนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย การออกแบบชุดตรวจวัดความเร็วลม ชุดตรวจวัดความเข้ม แสงอาทิตย์ เพื่อทำการประเมินพลังงานไฟฟ้าพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการสำหรับการออกแบบ โปรแกรมนั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW)



รูปที่ 3-1 วิธีการศึกษาวิจัย

ในการออกแบบและโดยใช้งานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) และนอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ศึกษา ผลกระทบต่อความเสถียรภาพระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยโดยเฉพาะระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย หากมีการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไม่ว่าจะเป็นพลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์หากมีการ เชื่อมต่อเข้ากับระบบที่ จังหวัดเพชรบูรณ์ ขนาด 90MW โดยในการศึกษานั้นได้ใช้โปรแกรม POWER WORLD VERSION 8.0 ในการจำลองและวิเคราะห์ผล โดยระบบและวิธีการการทำงานหรือดำเนินงานสามารถอธิบายได้

ดังแสดงบล็อกการทำงานได้ดังรูปที่ 3-1 ซึ่งได้แสดงระบบการตรวจวัดของเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายไปด้วยชุดตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1 เฟสและทำการส่งสัญญาณมายังชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) โดยจะมีชุดป้องกันแรงดันและกระแสไฟฟ้าเกิน ซึ่งสัญญาณที่ได้ ชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) ก็จะทำการแปลงสัญญาณ อนุลอกเป็นดิจิตอลส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการติดต่อสื่อสารและใช้ออกแบบในการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและสามารถออกแบบโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าจากสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า รวมถึงยังสามารถแปลงสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้เป็นสัญญาณดิจิตอลและส่งสัญญาณผ่านชุดจัดเก็บข้อมูล#1 (DAQ-1) และส่งต่อไปยังชุดส่งสัญญาณ เอ็กบี (X-Bee Transmitter) เพื่อส่งสัญญาณไปยังชุดรับสัญญาณ เอ็กบี (X-Bee receiver) โดยการส่งจะเป็นแบบไร้สายโดยสัญญาณที่รับมาจากชุดรับสัญญาณก็จะส่งสัญญาณมายังชุดจัดเก็บข้อมูล#2 (DAQ-2) และสัญญาณนี้ก็จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์กลางเพื่อบันทึกและวิเคราะห์ปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องอุปกรณ์

3.1 การออกแบบชุดตรวจวัดความเร็วลมและกำลังแสงอาทิตย์

ในการออกแบบชุดตรวจวัดความเร็วลมนั้นได้ใช้ชุดเซ็นเซอร์ตัววัดความเร็วลมที่สามารถส่งกระแส 4-20ma ได้โดยข้อดีในการส่งเป็นแบบ 4-20ma นั้นค่อนข้างจะเป็นแบบเชิงเส้นและสัญญาณในการส่งนี้ถือได้ว่าเป็นสัญญาณมาตรฐานในการส่งสัญญาณโดยชุดเซ็นเซอร์ตัววัดความเร็วลมจะเป็นแบบสามก้าน โดยสามารถแสดงลักษณะรูปร่างได้ดังรูปที่ 3-2



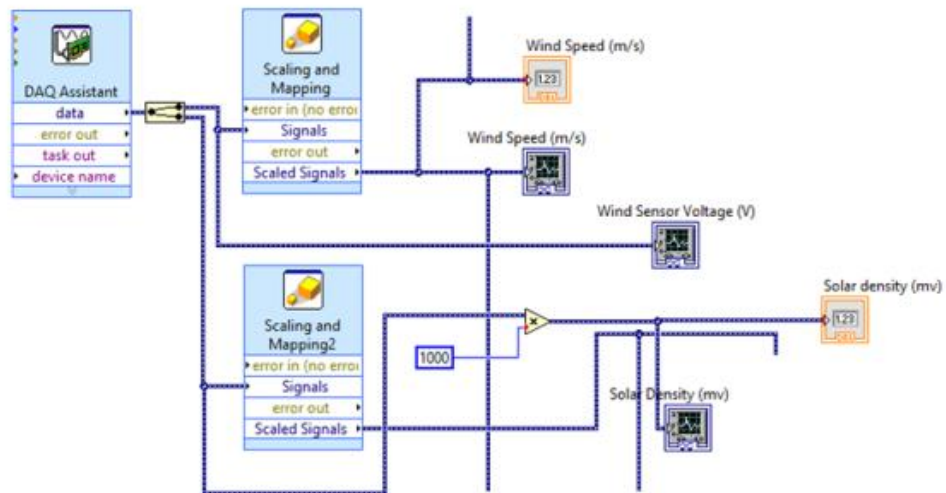
รูปที่ 3-2 ชุดเซ็นเซอร์ตัววัดความเร็วลมจะเป็นแบบสามก้าน

สำหรับในส่วนของชุดตรวจวัดกำลังแสงอาทิตย์นั้นจะใช้เซ็นเซอร์ชุดเดียวกันกับอุปกรณ์ที่นำมาเป็นเครื่องสอบเทียบโดยรูปลักษณะชุดเซ็นเซอร์ดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-3 ซึ่งจะจ่ายแรงดันออกมาตามกำลังแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลง

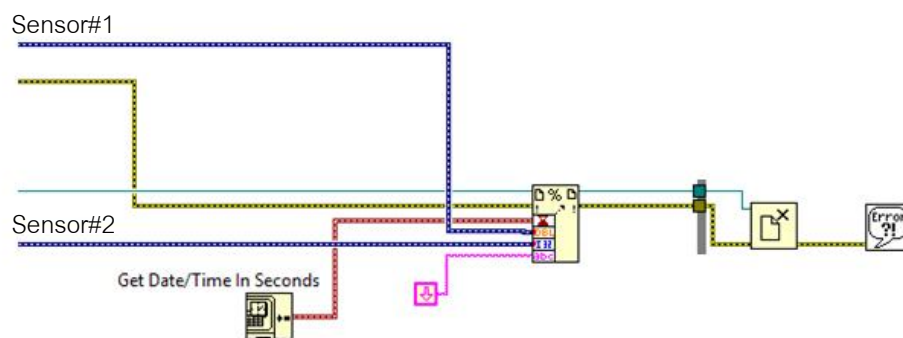


รูปที่ 3-3 ชุดเซ็นเซอร์ตัววัดกำลังแสงอาทิตย์

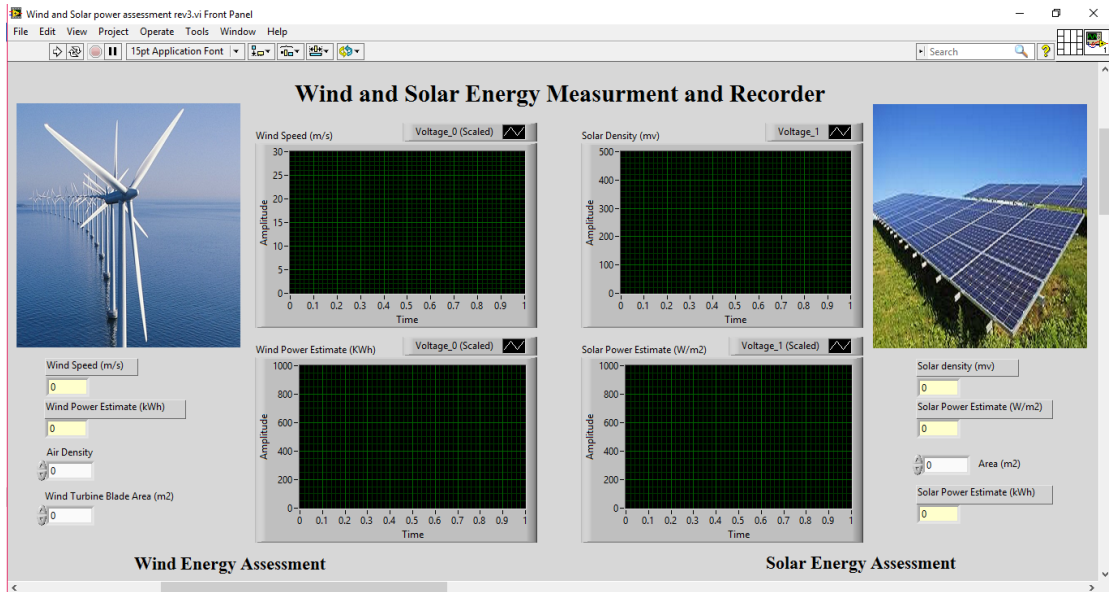
ในการออกแบบนั้นชุดวัดความเร็วลมและกำลังแสงอาทิตย์นั้นได้ใช้โปรแกรมแลปวิวในการประมวลผลและแสดงผล พร้อมบันทึกค่าโดยส่วนย่อยของโปรแกรมในการรับค่าข้อมูลจากชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-4 ซึ่งกำหนดรับสัญญาณจากอุปกรณ์ทั้งสองชุดทั้งชุดวัดความเร็วลมและกำลังแสงอาทิตย์จากนั้นนำมาทำสเกลตามคุณลักษณะของสมการเชิงเส้นของแต่ละอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์โดยสมการพื้นฐานของสมการเส้นตรง ($Y=mX+b$) โดยที่ m คือค่าความชันและ b คือจุดตัดบนแกน y จากนั้นค่าที่ได้จึงนำไปบันทึกผลแสดงผลซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 3-5 และรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-4 ส่วนของโปรแกรมในการรับค่าและการทำสเกล



รูปที่ 3-5 ส่วนของโปรแกรมบันทึกผล



รูปที่ 3-6 ส่วนของ โปรแกรมแสดงผล

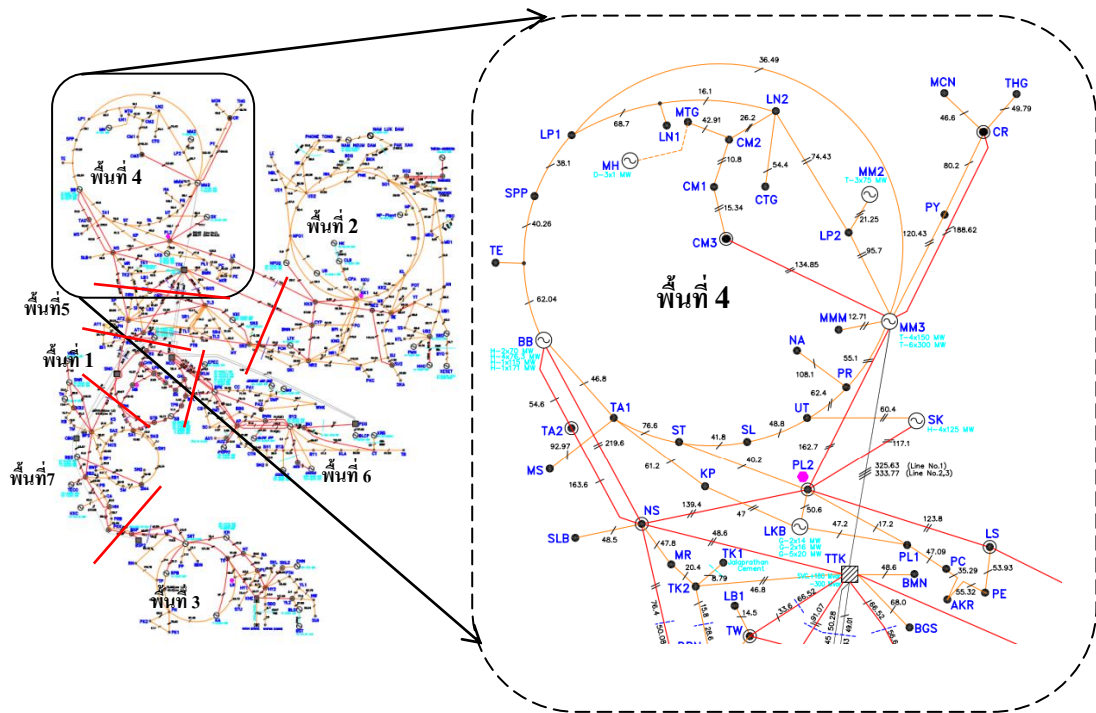
3.2 การศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

ในการศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยนั้นได้ใช้ข้อมูลระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยในช่วงเวลาที่มีปริมาณความต้องการโหลดสูงสุด (Peak-Load) ซึ่งเป็นข้อมูลในปี 2014

ตารางที่3-1 ข้อมูลระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยปี 2014 โดยรวม

Area	Generations	Loads	Losses	Inter-area
1	2379.00	9821.98	84.00	-7527.64
2	2073.22	2924.00	178.54	-1029.32
3	1661.92	2001.66	56.48	-396.22
4	3329.57	2727.37	113.93	490.26
5	3870.11	2862.14	70.70	937.28
6	9748.80	3677.23	46.70	6024.87
7	4381.13	2836.20	44.16	1500.77
Total	27443.75	26848.58	595.17	0

โดยอ้างอิงข้อมูลตามแผนพัฒนากำลังผลิตประเทศไทยฉบับปรับปรุงที่ 3 ในปี 2010 ซึ่งในการศึกษานั้นได้แบ่งระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยออกเป็น 7 ส่วนด้วยกัน โดยข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้านั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-1 และดังแสดงในรูปที่ 3-6 โดยระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยนั้นจะอยู่ในพื้นที่ที่ 4 โดยในการศึกษาจะมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในสภาวะคงตัว

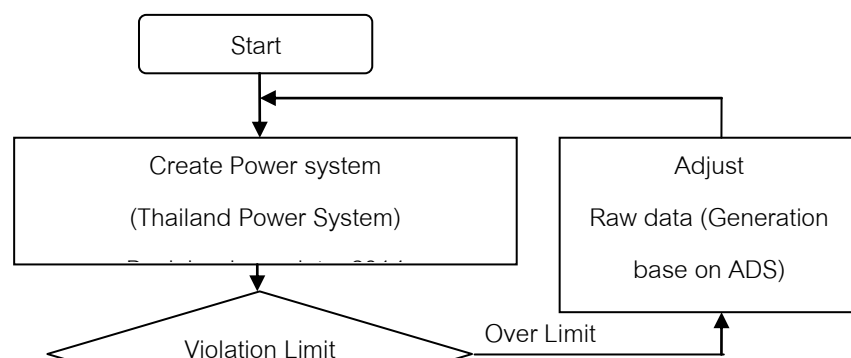


รูปที่ 3-7 ระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย

ในการศึกษานั้นจะเริ่มทำการศึกษาคูมูลระบบกำลังไฟฟ้าและทำการสร้างระบบกำลังไฟฟ้าขึ้นมา ก่อนที่จะทำการกำหนดกรณีศึกษาโดยขั้นตอนนี้สามารถอธิบายการสร้างระบบกำลังไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3-8 ซึ่ง ขบวนการจะเริ่มตั้งแต่การสร้างระบบกำลังไฟฟ้าจากฐานข้อมูลจริงซึ่งข้อจำกัดหรือค่าลิมิตในการสร้างระบบ กำลังไฟฟ้านั้นจะประกอบด้วยสองข้อลิมิตซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ค่าลิมิตด้านแรงดันไฟฟ้านั้น จะควบคุมในช่วง 0.9-1.1 เปอรียูนิต
2. ค่าลิมิตของสายส่งจะควบคุมการรับภาระโหลดของสายส่งไม่ให้เกิน 100 เปอรืเซนต์

โดยการควบคุมหรือปรับแตงนั้นสามารถกระทำได้โดยการปรับค่าเทปของหม้อแปลง การประมวลค่า ควบคุมแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์แฟลคในระบบกำลังไฟฟ้าเช่นการปรับในส่วนอง Static VAR ดังนั้นเมื่อค่าแรงดันและค่าภาระโหลดของสายส่งทั้งหมดนั้นอยู่ในข้อกำหนดหรือค่าควบคุมโดยมีส่วนใดเกินค่า ควบคุม แสดงว่าระบบนั้นสามารถและพร้อมที่จะทำการศึกษาวิจัยได้หรือเรียกว่าระบบในกรณีฐาน โดยผล การศึกษาในการสร้างระบบกำลังไฟฟ้านั้นเมื่อวิเคราะห์ความเสถียรภาพแรงดัน



Check

รูปที่ 3-8 ขบวนการสร้างและปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

ดังนั้นผลการศึกษาในการสร้างและปรับปรุงระบบกำลังไฟฟ้าตามข้อมูลปี 2014 นั้นสามารถแสดงผลของระดับแรงดันของระบบกำลังไฟฟ้าในสภาวะหรือระบบในกรณีฐานได้ดังแสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งจะประกอบด้วยระดับแรงดัน 115KV, 230kV และ 500kV ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 7 พื้นที่ด้วยกัน

ตารางที่3-2 แรงดันบัสของสถานีไฟฟ้าหลักที่ระดับแรงดัน 115KV, 230kV และ 500kV

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
1	105	ON-2J	1	0.94195	108.324		
1	129	SB-6J	1	0.95361	109.665		
1	126	SB-3J	1	0.95542	109.874		
1	166	CHW-1J	1	0.95712	110.068		
1	181	CHW-2J	1	0.9573	110.09		
1	104	ON-1J	1	0.95895	110.279		
1	148	RS-6J	1	0.96226	110.66		
1	150	RS-8J	1	0.96246	110.682		
1	142	SNO-1J	1	0.96852	111.38		
1	180	SNO-2J	1	0.96863	111.392		

1	155	NCO-4J	1	0.96875	111.406		
1	154	TPR-2J	1	0.97151	111.724		
1	141	TPR-1J	1	0.97176	111.753		
1	160	NCO-5J	1	0.97264	111.854		
1	192	NCO-6J	1	0.97276	111.867		
1	138	BN-6J	1	0.98042	112.748		
1	137	BN-4J	1	0.98049	112.756		
1	1711	ON-1	1	1.00347	115.399	321.28	90.4
1	1715	SB-6	1	1.00464	115.534	145.32	47.12
1	1707	BN-46	1	1.00527	115.606	186	12.5
1	1705	SB-3	1	1.00651	115.749	114.17	61.36
1	1717	CHW-12	1	1.01041	116.197	481.92	179.5
1	118	BPL-2J	1	1.01054	116.212		
1	119	BPL-3J	1	1.0108	116.242		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
1	1704	BPL-235	1	1.01295	116.489	588.5	258.15
1	121	BPL-5J	1	1.01399	116.609		
1	5722	RS-PEA	1	1.0147	116.691	455.01	235.07
1	1709	RS-568	1	1.01494	116.718	86.11	25.67
1	1710	NCO-456	1	1.02	117.3	556.2	330.14
1	17081	SNO-PEA	1	1.0228	117.621	281.15	151.71
1	1708	SNO-12	1	1.02294	117.639	225.82	160.9
1	147	RS-5J	1	1.02332	117.681		
1	1763	TPR-12	1	1.0245	117.817	321.13	187.65
1	6662	NCO-1J	1	0.94091	216.409		

1	6664	NCO-2J	1	0.94559	217.485		
1	904	SNO-5J	1	0.95015	218.535		
1	905	SNO-6J	1	0.95331	219.261		
1	913	SNO-7J	1	0.95458	219.553		
1	1802	LPR	1	0.97621	224.528	332.68	91.77
1	1834	RPS	1	0.97759	224.846		
1	1835	CHW	1	0.97765	224.86		
1	1801	NB	1	0.97839	225.03		
1	1809	RS	1	0.98237	225.945		
1	1803	BK	1	0.98389	226.295	401.4	35.58
1	1807	BN	1	0.98601	226.783		
1	1806	STB	1	0.98692	226.993	462.9	221.63
1	24	SNO-SPL	1	0.98714	227.041		
1	25	SNO-SPL	1	0.98714	227.043		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
1	1811	ON	1	0.98902	227.475		
1	1804	BPL	1	0.99022	227.75		
1	1813	TPR	1	0.99225	228.218		
1	1805	SB	1	1.00224	230.516		
1	1808	SNO	1	1.00751	231.727		
1	1810	NCO	1	1.01346	233.095		
1	6661	NCO	1	1.00338	501.689		
1	1908	SNO	1	1.01746	508.73		
2	2748	BNN	2	0.97289	111.883	9.4	2.76
2	2750	SKA	2	0.97536	112.166		

2	2740	BKN	2	0.9841	113.172	7.55	7.93
2	2746	MD2	2	0.98638	113.434	40.1	10.9
2	2736	NK	2	0.98737	113.547	26.81	8.27
2	2726	MD1	2	0.98928	113.767		
2	2706	PKC	2	0.99124	113.993		
2	2739	PHK	2	0.99374	114.28	82.44	7.52
2	2743	SD	2	0.99526	114.455		
2	2751	SO2	2	0.99637	114.583		
2	2715	PYK	2	0.99655	114.603	54.76	9.9
2	219	SO2-3J	2	0.99793	114.762		
2	218	SO2-2J	2	0.99793	114.762		
2	2747	TH	2	0.99862	114.841		
2	2718	MK	2	0.99944	114.935	2.76	-0.38
2	2742	NP	2	0.99945	114.936		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
2	2741	SO1	2	1.00057	115.066		
2	2717	POT	2	1.00072	115.083		
2	2707	SU	2	1.00078	115.089		
2	2749	KTL	2	1.00233	115.268		
2	206	CYP-2J	2	1.00258	115.297		
2	260	CYP-4J	2	1.00258	115.297		
2	2710	CYP	2	1.004	115.46	95.1	22.43
2	2721	UB1	2	1.00566	115.651		
2	2737	NH	2	1.00665	115.764	0	0
2	2705	BR	2	1.00714	115.821		

2	2701	PCH	2	1.00993	116.142		
2	2714	KL	2	1.01017	116.17		
2	2738	BDG	2	1.01087	116.25		
2	2723	SRD	2	1.01129	116.298		
2	2711	BPI	2	1.01171	116.347		
2	2716	RE	2	1.01219	116.402		
2	207	RE-5J	2	1.01274	116.465		
2	205	RE-4J	2	1.01274	116.465		
2	204	RE-3J	2	1.01274	116.465		
2	2732	UD1	2	1.01313	116.51		
2	2709	PO	2	1.01344	116.546		
2	2733	UD2	2	1.01345	116.546	28.07	11.65
2	221	UB2-3J	2	1.01442	116.659		
2	222	UB2-4J	2	1.01442	116.659		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
2	2722	UB2	2	1.01456	116.674	150.61	27.31
2	2708	KNG	2	1.01462	116.682	32.95	3.63
2	2704	NR1	2	1.01544	116.775		
2	2720	SS	2	1.01573	116.809	44.98	12.78
2	220	NR2-4J	2	1.01658	116.906		
2	230	NR2-5J	2	1.01658	116.906		
2	210	NR2-3J	2	1.01658	116.906		
2	224	NN-5J	2	1.01736	116.996		
2	223	NN-4J	2	1.01736	116.996		
2	2703	NR2	2	1.01785	117.052	257.73	130.31

2	2725	AN	2	1.01792	117.061		
2	2744	NN	2	1.01893	117.177	65.78	18.54
2	2702	SKI	2	1.02192	117.521		
2	2719	YT	2	1.0229	117.633		
2	215	YT_1	2	1.023	117.645		
2	214	YT_1	2	1.023	117.645		
2	2728	CPA	2	1.02311	117.658		
2	2734	NBL	2	1.02607	117.998		
2	2713	KK2	2	1.02651	118.049		
2	2752	KKU	2	1.02887	118.32		
2	203	KK1-5J	2	1.02981	118.428		
2	202	KK1-4J	2	1.02981	118.428		
2	201	KK1-3J	2	1.02988	118.436		
2	2712	KK1	2	1.03056	118.514	54.51	23.06

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
2	2730	NPO1	2	1.03601	119.141	55.13	12.03
2	2735	LE	2	1.03603	119.144	15.94	1.51
2	2731	NPO2	2	1.03678	119.23		
2	209	NPO2-2J	2	1.03762	119.326		
2	208	NPO2-1J	2	1.03762	119.326		
2	2727	CLB	2	1.04361	120.015		
2	2729	UR	2	1.05259	121.047		
2	2724	PMN	2	1.06589	122.578		
2	2811	NN	2	0.96893	222.853		
2	2801	NR2	2	0.97998	225.396		

2	2810	SO2	2	0.98353	226.211		
2	2807	LTK	2	1.005	231.15		
2	2808	UB2	2	1.01675	233.852		
2	2802	CYP	2	1.0174	234.003		
2	2804	NPO2	2	1.02	234.6		
2	2806	KK1	2	1.02509	235.771		
2	2803	KK3	2	1.02695	236.198		
2	2813	RE2	2	1.03357	237.722		
2	2805	RE	2	1.03401	237.823		
2	2812	YT_2	2	1.03538	238.136		
3	3722	STU	3	0.94847	109.074	0.02	0.02
3	315	HY2-5J	3	0.97486	112.109		
3	314	HY2-4J	3	0.97486	112.109		
3	313	HY2-3J	3	0.97486	112.109		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
3	310	KN-4J	3	0.97963	112.658		
3	301	KN-2J	3	0.97963	112.658		
3	316	TS-1J	3	0.98009	112.71		
3	317	TS-2J	3	0.98009	112.71		
3	3710	PK2	3	0.98261	113	98.41	24.95
3	309	PU-4J	3	0.98438	113.203		
3	307	PU-2J	3	0.98438	113.203		
3	312	SRT-3J	3	0.98647	113.443		
3	304	SRT-2J	3	0.98647	113.443		
3	303	SRT-1J	3	0.98647	113.443		

3	3709	PK1	3	0.9865	113.447		
3	311	SRT-4J	3	0.98954	113.797		
3	321	KA-4J	3	0.99083	113.946		
3	320	KA-3J	3	0.99083	113.946		
3	305	RPB-3J	3	0.99279	114.171		
3	302	RPB-1J	3	0.99279	114.171		
3	3707	TP	3	0.99627	114.572	0.02	0.02
3	3734	SUK	3	1.00306	115.352		
3	3706	RN	3	1.00596	115.686	27.5	13.23
3	3708	PN1	3	1.00648	115.745	37.72	15.9
3	3712	LR	3	1.00761	115.875	71.6	28.43
3	3724	NW	3	1.00906	116.042		
3	3725	PTN	3	1.01286	116.479	27.97	11.49
3	3736	RA	3	1.01496	116.72		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
3	3721	SKL	3	1.01517	116.745		
3	3728	SDO	3	1.01621	116.864		
3	3719	HY1	3	1.01875	117.156		
3	3798	PU-SPL	3	1.02272	117.613		
3	3720	HY2	3	1.02534	117.915	255.54	108.62
3	325	LSN-4J	3	1.02575	117.961		
3	324	LSN-3J	3	1.02575	117.961		
3	3702	LSN	3	1.02698	118.102		
3	327	CP-4J	3	1.02816	118.239		
3	326	CP-3J	3	1.02816	118.239		

3	3723	YL1	3	1.02848	118.275	12.88	3.6
3	3701	CP	3	1.02861	118.29	23.56	-16.94
3	319	YL2-2J	3	1.02893	118.326		
3	318	YL2-1J	3	1.02893	118.326		
3	3727	YL2	3	1.02927	118.367		
3	3715	BDN	3	1.02963	118.408		
3	3716	KN	3	1.03	118.45	108.74	16.01
3	3713	TS	3	1.03152	118.624	65.6	20.77
3	3717	PU	3	1.03348	118.85		
3	3714	NT	3	1.03582	119.119	83.32	1.16
3	308	NT-4J	3	1.03584	119.122		
3	306	NT-3J	3	1.03584	119.122		
3	3704	PP	3	1.0375	119.312		
3	3703	SRT	3	1.04	119.6	114.08	64.52

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
3	3711	KA	3	1.04177	119.804	59.88	33.31
3	3705	RPB	3	1.04291	119.934		
3	3726	BLG	3	1.045	120.175	14.85	0.7
3	342	SDO-3J	3	1.01621	134.14		
3	341	SDO-2J	3	1.01621	134.14		
3	3811	KA	3	1.00619	231.423		
3	3806	HY2	3	1.01307	233.007		
3	38033	SKL2	3	1.01744	234.011		
3	3808	TS	3	1.02024	234.656		
3	3823	YL2	3	1.02086	234.798		

3	3805	PU	3	1.02098	234.824		
3	3804	NT	3	1.02422	235.569		
3	3846	KNE	3	1.02731	236.282	0	0
3	3801	RPB	3	1.0275	236.325		
3	3802	SRT	3	1.03004	236.91		
3	3812	SRTTP	3	1.03029	236.967		
3	3807	LSN	3	1.03469	237.979		
3	3803	KN	3	1.035	238.05		
3	38032	KN-10&14	3	1.035	238.051		
3	38031	KN-11-13	3	1.03501	238.052		
3	3809	CP	3	1.0444	240.212		
4	4721	CTG	4	0.96978	111.525	34.4	-3.01
4	4703	MS	4	0.96999	111.549		
4	4757	BGS	4	0.97128	111.697		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
4	4709	PE	4	0.97838	112.513		
4	4754	THG	4	0.97912	112.599		
4	4733	LN1	4	0.98199	112.928		
4	4726	AKR	4	0.98322	113.071		
4	4755	MCN	4	0.98557	113.34	14.11	7.05
4	4742	SL	4	0.98608	113.399		
4	4714	NA	4	0.98776	113.592	19.38	1.2
4	4713	PR	4	0.98885	113.718	26.7	4.81
4	4756	BMN	4	0.98981	113.828	8.86	2.4
4	4758	MTG	4	0.99115	113.982	8.15	5.96

4	4720	LN2	4	0.99148	114.02		
4	4708	PC	4	0.99173	114.049		
4	4705	ST	4	0.99217	114.099		
4	4702	TA1	4	0.99589	114.527		
4	4744	MR	4	0.99698	114.653	86.7	28.4
4	4712	UT	4	0.99732	114.692		
4	4723	CM2	4	0.99933	114.923		
4	4732	LP1	4	0.99993	114.992		
4	4734	CM1	4	1.00188	115.216		
4	4777	LPPP	4	1.0039	115.449		
4	4751	TK2	4	1.00493	115.567	11.35	2.7
4	4731	TE	4	1.00609	115.701		
4	4722	CM3	4	1.00686	115.789	196.37	107.48
4	4707	PL1	4	1.009	116.035		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
4	4717	PY	4	1.01005	116.156		
4	4743	SLB	4	1.01412	116.624	14.11	7.05
4	4718	CR	4	1.01442	116.659	30.8	5.56
4	4710	LS	4	1.01611	116.853	13.8	-0.6
4	4704	KP	4	1.01783	117.051	11.42	0.45
4	4706	PL2	4	1.01985	117.283	130.88	34.26
4	4752	TTK	4	1.02524	117.903		
4	4725	MMM	4	1.02714	118.121		
4	4719	LP2	4	1.02974	118.421	32.2	1.05
4	4711	SK	4	1.03002	118.453	16.1	3.7

4	4730	LKB	4	1.032	118.68		
4	4741	NS	4	1.03479	119	54.99	14.43
4	4701	BB	4	1.03936	119.527		
4	4715	MM3	4	1.0419	119.819		
4	4716	MM2	4	1.046	120.29		
4	4812	CM3	4	0.96583	222.142		
4	4813	CR	4	1.00206	230.474		
4	4805	SK	4	1.008	231.84		
4	4806	PL2	4	1.01924	234.424		
4	4803	NS	4	1.02103	234.837		
4	4807	LS	4	1.02654	236.104		
4	4802	TA2	4	1.0283	236.508	77.04	43.14
4	4804	TTK	4	1.04187	239.63		
4	4808	MM3	4	1.04309	239.91		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
4	4801	BB	4	1.049	241.27		
4	4441	TTK	4	1.0163	508.152		
4	8881	MM3	4	1.047	523.5		
5	526	TWG-2	5	0.96278	110.72		
5	525	TWG-1	5	0.96282	110.725		
5	5714	CBD	5	0.97013	111.565		
5	5702	TL-SIAM	5	0.97664	112.313	44.44	26.9
5	5703	TL1	5	0.97666	112.316	146.2	24.67
5	513	SR2-4J	5	0.97678	112.329		
5	512	SR2-3J	5	0.97678	112.329		

5	511	SR2-2J	5	0.97678	112.329		
5	5715	SP	5	0.98384	113.141		
5	5713	LB2	5	0.99319	114.217	69	24.57
5	5721	LB1	5	0.99926	114.914		
5	505	AT1-10J	5	1.0054	115.621		
5	504	AT1-7J	5	1.0054	115.621		
5	5701	AT1	5	1.00588	115.676		
5	5720	SI	5	1.00799	115.919	19.7	15
5	5711	NY	5	1.00858	115.986		
5	5716	DBN	5	1.01063	116.223		
5	5718	BI1	5	1.01457	116.675	207.3	237.2
5	5710	SR4	5	1.01483	116.705	190.98	115.18
5	5723	TW	5	1.01541	116.773	83	50.8
5	5717	AY1	5	1.01839	117.114		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
5	520	BI2-4J	5	1.02108	117.424		
5	510	BI2-3J	5	1.02108	117.424		
5	509	BI2-2J	5	1.02108	117.424		
5	508	BI2-1J	5	1.02108	117.424		
5	5719	BI2	5	1.02364	117.719	461.5	202.7
5	5709	SR3	5	1.02407	117.768	49.19	6.98
5	5708	SR2	5	1.02578	117.964	374.81	134.45
5	507	AT2-3J	5	1.02625	118.019		
5	506	AT2-1J	5	1.02625	118.019		
5	565	TL3-4J	5	1.03088	118.551		

5	560	TL3-3J	5	1.03088	118.551		
5	559	TL3-2J	5	1.03088	118.551		
5	558	TL3-1J	5	1.03088	118.551		
5	5706	PTB	5	1.03299	118.794		
5	5707	SR1	5	1.03345	118.847		
5	5712	AT2	5	1.03474	118.995	154.9	48.95
5	5704	TL2	5	1.0387	119.451	2.38	2.23
5	5705	TL3	5	1.03916	119.504	436.59	217.89
5	5802	AT2	5	0.98481	226.507		
5	5805	TL3	5	0.98654	226.904		
5	5807	TW	5	0.99293	228.374		
5	5810	KKI	5	1	230		
5	5804	BI2	5	1.00387	230.891		
5	5803	SR2	5	1.00416	230.958		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
5	910	WN-1J	5	1.01452	233.339		
5	5801	AT1	5	1.01468	233.377		
5	5808	WN-SPL	5	1.018	234.14		
5	5806	WN	5	1.02	234.6		
5	911	WN-2J	5	1.02563	235.896		
5	5906	WN	5	1.01517	507.585		
6	606	AP-1J	6	0.94117	108.234		
6	608	AP-3J	6	0.94144	108.266		
6	607	AP-2J	6	0.94219	108.352		
6	646	PA2-2J	6	0.96581	111.068		

6	645	PA2-1J	6	0.96581	111.068		
6	633	KLM-3J	6	0.96679	111.18		
6	632	KLM-2J	6	0.96679	111.18		
6	631	KLM-1J	6	0.96679	111.18		
6	621	BWN-1J	6	0.96799	111.319		
6	622	BWN-2J	6	0.96881	111.413		
6	623	BWN-3J	6	0.97026	111.58		
6	624	BWN-4J	6	0.97034	111.59		
6	6704	WNK	6	0.99258	114.147	42.4	15.84
6	6718	TR	6	0.99297	114.191	11.91	2.03
6	6719	CTN	6	0.99348	114.25		
6	6710	BL	6	0.9963	114.575	122.1	98.23
6	6715	RY1	6	0.99733	114.693	0	0
6	6905	MTP2	6	1.00026	115.03	278.3	100.35

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
6	6703	PA1	6	1.00315	115.362		
6	602	BPK-4J	6	1.00371	115.427		
6	601	BPK-1J	6	1.00419	115.482		
6	6712	SH2	6	1.00537	115.617		
6	6706	CB	6	1.0066	115.759		
6	6702	CC	6	1.01094	116.258		
6	6708	BBG	6	1.01105	116.27	70.09	42.33
6	6711	SH1	6	1.012	116.381		
6	6716	KLA	6	1.01316	116.513	6.34	2.54
6	692	MTP-2J	6	1.01355	116.559		

6	691	MTP-1J	6	1.01355	116.559		
6	672	MTP-5J	6	1.01376	116.582		
6	671	MTP-4J	6	1.01376	116.582		
6	6753	MTP	6	1.01395	116.604		
6	674	TCC-7J	6	1.01397	116.607		
6	673	TCC-6J	6	1.01397	116.607		
6	6754	TCC	6	1.01496	116.721		
6	6904	RYB1	6	1.01568	116.803	147.82	43
6	6901	MTP1	6	1.01608	116.85	107.51	35.34
6	613	RY2-4J	6	1.01689	116.943		
6	612	RY2-3J	6	1.01708	116.964		
6	6705	BPK	6	1.01778	117.045		
6	6912	IP	6	1.01786	117.054		
6	6714	RY2-A	6	1.01811	117.083		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
6	6724	KLM	6	1.01875	117.156	609.05	357.5
6	6726	PA2	6	1.01899	117.184	252.36	124.72
6	6977	TNP	6	1.02153	117.476		
6	6717	CT	6	1.02205	117.536	146.52	47.91
6	6707	SC	6	1.02237	117.573		
6	642	CT-5J	6	1.02478	117.85		
6	6731	KRD	6	1.025	117.875		
6	6727	SMP	6	1.02545	117.927		
6	6723	BWN	6	1.02573	117.959	497.36	253.5
6	6748	AAP2	6	1.0258	117.967		

6	641	CT-4J	6	1.02585	117.972		
6	6747	NPS2	6	1.026	117.99		
6	6744	NPS1	6	1.026	117.99		
6	6713	RY3	6	1.02608	118		
6	6745	AA	6	1.0264	118.036		
6	6752	COCO2	6	1.027	118.105		
6	6709	AP	6	1.02707	118.114	282.7	232.84
6	6722	AU1	6	1.02849	118.276		
6	611	RY2-1J	6	1.02871	118.302		
6	644	AU2-2J	6	1.02915	118.353		
6	643	AU2-1J	6	1.02915	118.353		
6	615	RY2-6J	6	1.02925	118.364		
6	6902	RYB2	6	1.03099	118.564	177.45	77.46
6	6940	TLP	6	1.03221	118.704		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
6	6734	RY2-B	6	1.03256	118.745		
6	6810	CT	6	0.97881	225.125		
6	681	PDG-1J	6	0.97949	225.282		
6	682	PDG-2J	6	0.98904	227.479		
6	6812	PA2	6	0.99613	229.111		
6	6806	BWN	6	1.00262	230.604		
6	6824	BW2	6	1.00387	230.89		
6	6803	RY2-B	6	1.00455	231.047		
6	6853	NKM	6	1.00457	231.052		
6	6800	AP-B	6	1.00946	232.176		

6	6802	AP	6	1.00956	232.199		
6	6822	AU2	6	1.00973	232.239		
6	6808	KLM	6	1.01138	232.618		
6	6821	IPT	6	1.012	232.76		
6	6891	BPK-B	6	1.013	232.99		
6	6801	BPK-A	6	1.018	234.14		
6	6823	EPEC	6	1.01861	234.279		
6	6809	SSM	6	1.02088	234.801	101.4	25.35
6	6807	BKI	6	1.02094	234.816		
6	6804	RY2	6	1.024	235.52		
6	6811	PDG	6	1.03943	239.068		
6	6911	PDG	6	1.00494	502.472		
6	6914	BLCP	6	1.01353	506.767		
7	701	BP2-1J	7	0.94509	108.686		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
7	703	BP2-5J	7	0.95482	109.804		
7	702	BP2-2J	7	0.95482	109.804		
7	7709	KS	7	0.97952	112.645	19.33	9.73
7	716	SNR-1J	7	0.98394	113.153		
7	7716	PB	7	0.99822	114.796		
7	7719	PRB	7	1.00494	115.569		
7	7707	BP1	7	1.00551	115.634		
7	710	SN4-3J	7	1.00558	115.642		
7	709	SN4-2J	7	1.00558	115.642		
7	708	SN4-1J	7	1.00558	115.642		

7	7717	CA	7	1.00641	115.737		
7	7704	SN2	7	1.00679	115.781	114.52	59.38
7	7708	BP2	7	1.00708	115.815	212.07	148.95
7	7710	TM	7	1.00788	115.906		
7	7705	SM	7	1.00802	115.922		
7	7703	SN1	7	1.00841	115.967	0	0
7	7723	RB3-WP	7	1.00937	116.078		
7	7714	RB1	7	1.01018	116.17		
7	7720	PKK	7	1.01088	116.251	12.47	12.47
7	711	PKK-2J	7	1.01089	116.253		
7	712	PKK-3J	7	1.0109	116.254		
7	7701	SN4	7	1.01169	116.345	269.58	165.29
7	7715	RB2	7	1.01195	116.375	230.16	83.21
7	707	RB2-4J	7	1.01408	116.62		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
7	706	RB2-1J	7	1.01408	116.62		
7	705	RB2-5J	7	1.01408	116.62		
7	7725	SN3	7	1.01612	116.853		
7	7711	KB	7	1.01709	116.966	10	0.02
7	732	SA1-4J	7	1.01819	117.092		
7	731	SA1-3J	7	1.01819	117.092		
7	730	SA1-2J	7	1.01819	117.092		
7	729	SA1-1J	7	1.01819	117.092		
7	7718	KKC	7	1.02	117.3		
7	726	HH-3J	7	1.02004	117.305		

7	725	HH-1J	7	1.02004	117.305		
7	7728	HH	7	1.02165	117.489	78.09	29.82
7	7702	SA1	7	1.02313	117.66	408.18	199.6
7	736	BSP1-2J	7	1.02355	117.709		
7	735	BSP1-1J	7	1.02355	117.709		
7	7721	BSP1	7	1.02428	117.792	121.26	-2.49
7	720	KB2-2J	7	1.0272	118.128		
7	719	KB2-1J	7	1.0272	118.128		
7	7727	KB2	7	1.02793	118.212		
7	7712	TTN	7	1.03011	118.462		
7	7706	NCS	7	1.03139	118.61	126.12	43.41
7	7726	SA2	7	1.03159	118.633		
7	7713	SNR	7	1.03255	118.743		
7	7724	VRK	7	1.03307	118.803		

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

Bus Voltage Profile							
Area	Number	Name	Area Name	PU Volt	Volt (kV)	Load MW	Load Mvar
7	7903	BSP2	7	1.0303	515.152		
7	737	NCS-5J	7	1.03373	118.879		
7	722	VRK-4J	7	1.03958	119.552		
7	721	VRK-1J	7	1.03958	119.552		
7	7816	SA1	7	0.9767	224.642		
7	7808	SN4	7	0.99122	227.981		
7	7805	NCS	7	0.99519	228.893		
7	7801	BP2	7	0.99758	229.443		
7	7811	KB2	7	1.00667	231.534		
7	7802	RB2	7	1.01283	232.95		

7	7809	TECO	7	1.015	233.45		
7	715	RB3-2J	7	1.01761	234.051		
7	714	RB3-1J	7	1.01761	234.051		
7	7812	HH	7	1.02045	234.704		
7	7807	RB3	7	1.02184	235.022		
7	7804	SNR	7	1.03	236.9		
7	7803	PKK	7	1.03665	238.429		
7	7806	VRK	7	1.0415	239.545		
7	7830	BSP2	7	1.04265	239.809		
7	7829	BSP1	7	1.04268	239.815		
7	717	BSP2-1J	7	1.04313	239.919		
7	7901	RB3	7	1.022	511		
7	7902	CBG	7	1.02267	511.335		

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยซึ่งใช้เป็นเครื่องต้นแบบโดยเนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย การออกแบบชุดตรวจวัดความเร็วลมโดยสามารถแบ่งผลการศึกษาวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยโดยผลการศึกษาสามารถแบ่งได้ดังนี้

- เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในการประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์
- เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในพื้นที่เพชรบูรณ์
- เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเผยแพร่เพื่อสร้างองค์ความรู้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและนวัตกรรมเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าแบบสะอาดสู่ชุมชน
- เพื่อการพัฒนาพลังงานให้ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและใช้เป็นฐานข้อมูลในการเผยแพร่เพื่อสร้างแรงจูงใจและสนับสนุนพัฒนาด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อพัฒนาและเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

4.1 ผลการทดสอบสร้างเครื่องต้นแบบในการวัดพลังงานลมและแสงอาทิตย์

4.1.1 ผลการทดสอบเครื่องในส่วนของการวัดพลังงานลม

ในส่วนของการทดสอบความถูกต้องของการตรวจวัดในส่วนของการวัดพลังงานลมนั้นได้ทำการทดสอบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานแบบพกพาี่ห้อ Digital Anemometer version A0

ซึ่งสามารถวัดได้ในย่าน 0-30 m/s ค่าความถูกต้อง $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 4-1 และรูปการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-2 โดยผลการทดสอบค่าสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-1 Digital Anemometer version A0



รูปที่ 4-2 การทดสอบเปรียบเทียบค่า

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบค่าความผิดพลาด ความเร็วลม (m/s)

Digital Anemometer	เครื่องต้นแบบ	ผลต่าง	%ค่าผิดพลาด
2.6	2.59213	0.00787	0.30
2.9	2.84943	0.05057	1.74
2.3	2.34256	-0.04256	-1.85
2.6	2.59011	0.00989	0.38
2.2	2.17732	0.02268	1.03

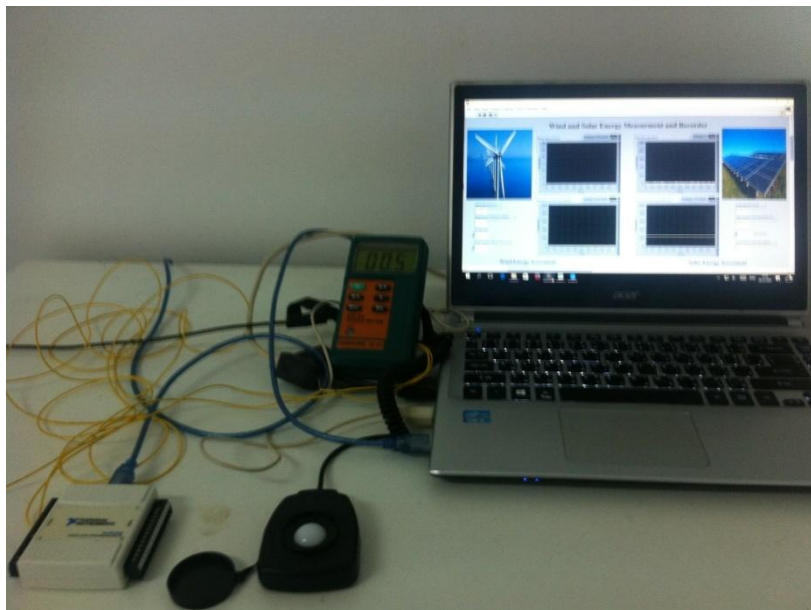
2.3	2.32712	-0.02712	-1.18
2.1	2.04921	0.05079	2.42
2.3	2.32214	-0.02214	-0.96
2.4	2.44712	-0.04712	-1.96
2.3	2.28342	0.01658	0.72

4.1.2 ผลการตรวจวัดเครื่องในส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์

ในส่วนของการทดสอบความถูกต้องของการตรวจวัดในส่วนของการวัดพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้ทำการทดสอบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานแบบพกพาหือ Tenmars TM207 ซึ่งสามารถวัดได้ในย่าน 2000 W/m^2 หรือ $634 \text{ BTU} / (\text{ft}^2 \times \text{h})$ ค่าความถูกต้อง $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 4-3 และรูปการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-4 โดยผลการทดสอบค่าสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-2



รูปที่ 4-3 Solar meter Tenmars TM207

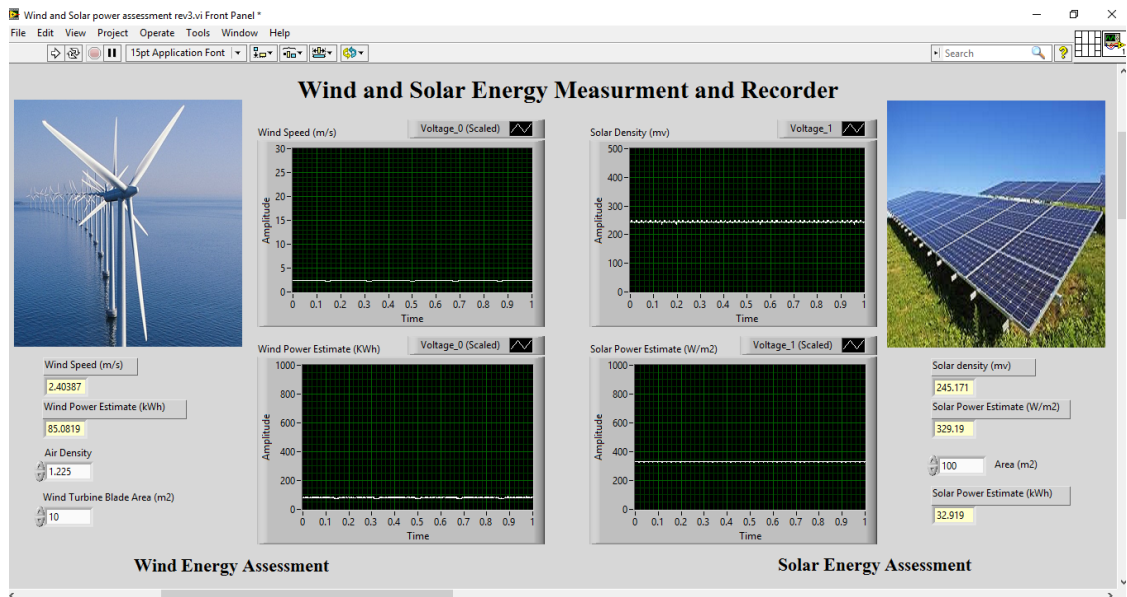


รูปที่ 4-4 การทดสอบเปรียบเทียบค่า

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบค่าความผิดพลาด กำลังแสงอาทิตย์ (w/m^2)

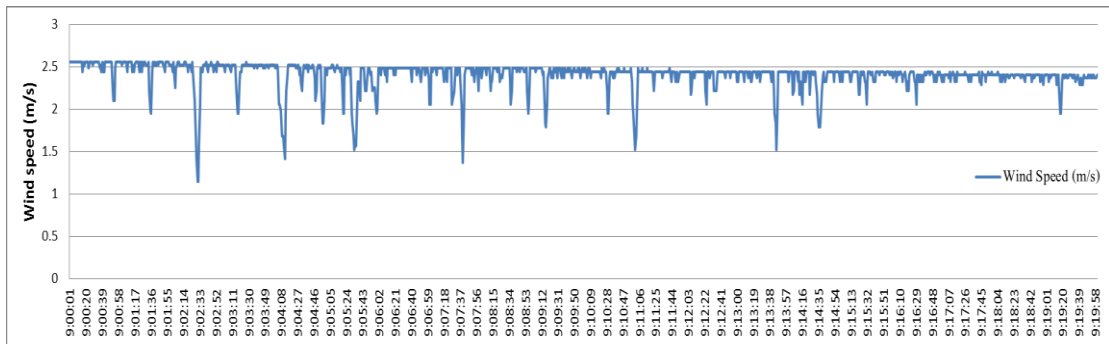
TM207	เครื่องต้นแบบ	ผลต่าง	%ค่าผิดพลาด
630	611.342	18.658	2.961587302
624	610.154	13.846	2.218910256
628	612.643	15.357	2.445382166
611	623.433	-12.433	-2.034860884
624	610.743	13.257	2.124519231
632	612.265	19.735	3.122626582
622	608.881	13.119	2.109163987
618	625.153	-7.153	-1.157443366
615	624.092	-9.092	-1.478373984
610	626.322	-16.322	-2.675737705

4.2 ผลการประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์

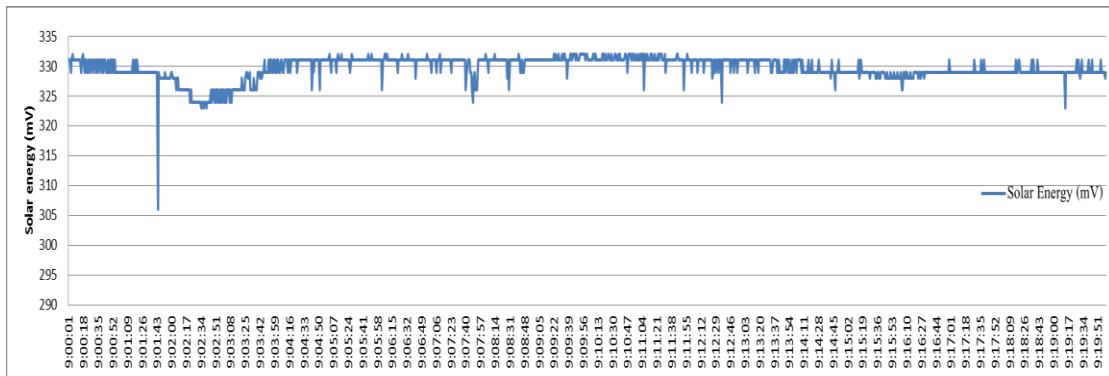


รูปที่ 4-5 ผลการตรวจวัดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4-5 เป็นผลการศึกษาเป็นเพียงผลตัวอย่างในการลงพื้นที่ในการทดสอบการตรวจวัดในแปลงเกษตรบนเขาเพื่อศึกษาขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ ในแปลงเกษตรว่ามีปริมาณเพียงใด ซึ่งผลการศึกษานั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจวัดพลังงานในพื้นที่แปลงเกษตรในขณะเวลาเดียวกัน ซึ่งทดสอบตั้งเสาสูงประมาณ ๑ เมตรและในที่โล่งผลการทดสอบพบว่าปริมาณลมและปริมาณแสงอาทิตย์นั้นมีน้อยเนื่องจากสภาพอากาศบนเขาช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งยังมีกลุ่มเมฆค่อนข้างมากในช่วงวันตรวจสอบประกอบกับพื้นที่แปลงเกษตรนั้นเป็นที่ราบไม่ใช่เนินสูงลมและปริมาณแสงยังมีน้อยดังผลการตรวจวัดและบันทึกผลในช่วงเวลา 20 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4-6, 4-7



รูปที่ 4-6 ผลการตรวจวัดปริมาณลม

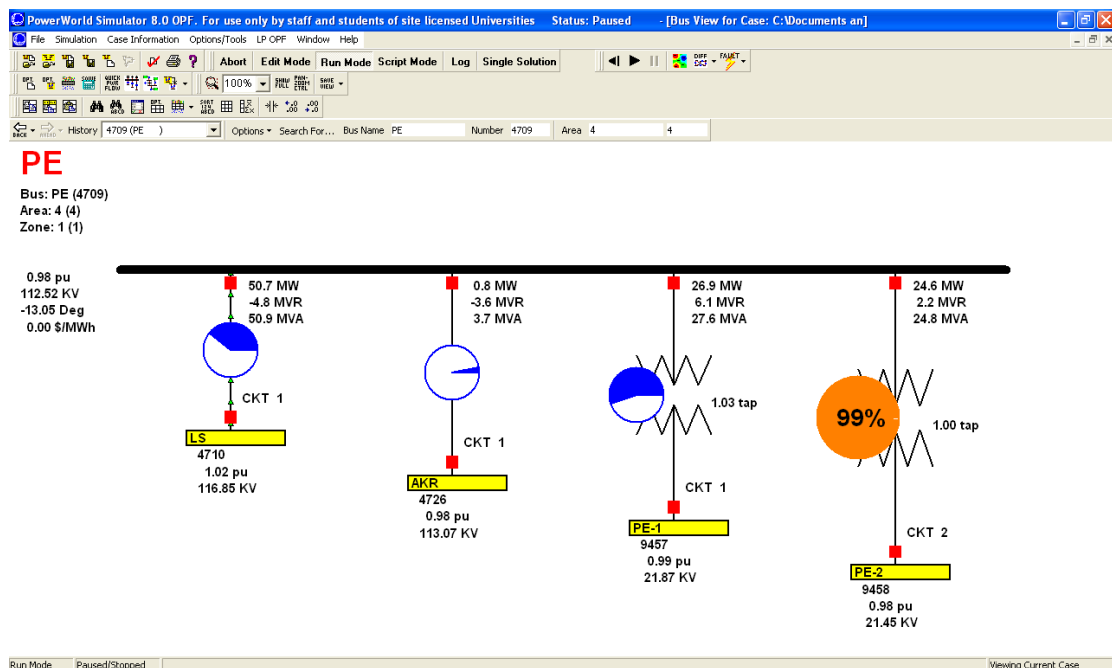


รูปที่ 4-7 ผลการตรวจวัดปริมาณแสงในหน่วยของแรงดัน

4.3 ผลการศึกษาผลกระทบต่อระบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทย

ในผลการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรแรงดันต่อระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยก่อนและหลังจากที่มีการเชื่อมต่อกำลังการไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้าในระบบในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) นั้นจะรับไฟฟ้ามาจากสถานีไฟฟ้า อัคราไมนิ่ง (AKR) และสถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) และสถานี

ไฟฟ้าเพชบูรณ์ (PE) นั้นสามารถแสดงบัสดของสถานีย่อยได้ดังในรูปที่ 4-8 ซึ่งส่วนบัสนี้หนึ่งในระบบกำลังไฟฟ้าจากรูปที่ 4-8 นั้นแสดงกำลังไฟฟ้าไหลในสภาวะปกติซึ่งพบว่าแรงดันบัสนั้นอยู่ที่ 0.98 pu และพบว่าภาระโหลดของหม้อแปลงที่บัสนี้มีส่วนหนึ่งได้ระบบภาระโหลดสูง ในส่วนของขีดความสามารถในการถ่ายโอนพลังงานของสายส่งคงเหลือของสายส่งที่เชื่อมต่อจากสถานีไฟฟ้า อัคราไมนิ่ง (AKR) และสถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) นั้นยังมีขีดความสามารถคงเหลือค่อนข้างสูง ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบปลดสายส่งทั้งสองเส้นนี้ทีละสายส่งโดยดูผลกระทบต่อแรงดันระบบในสภาวะปกติและในสภาวะที่ระบบมีการเชื่อมต่อกำลังการผลิตจากพลังงานทดแทนในขนาด 90MW

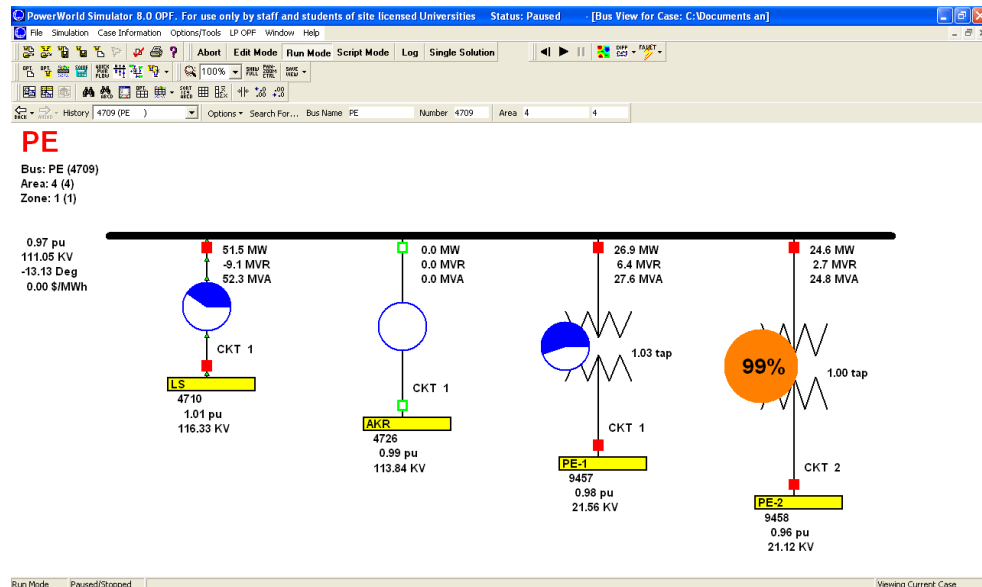


รูปที่ 4-8 บัสดสถานีไฟฟ้าเพชบูรณ์ (PE) ในสภาวะปกติ

4.3.1 ผลการศึกษาผลกระทบต่อบัสดสถานีไฟฟ้าเพชบูรณ์ (PE) ในระบบสภาวะปกติ

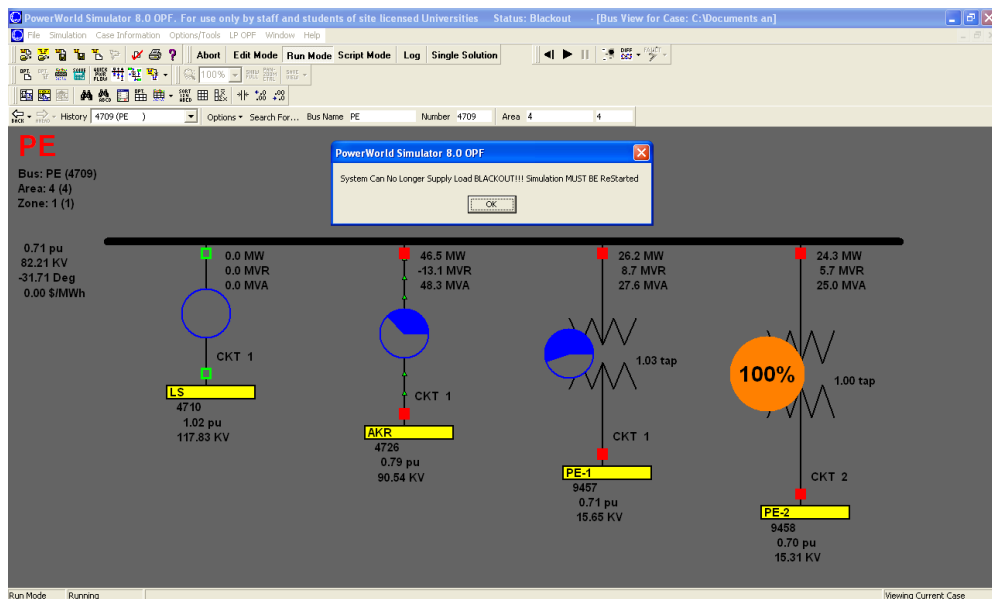
ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาผลกระทบจากการที่สายส่งที่เชื่อมต่อจากสถานีไฟฟ้า อัคราไมนิ่ง (AKR) และสถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) ถูกปลดออกทีละเส้นในระบบสภาวะปกติ

ยังไม่มี การเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเข้าระบบที่บัสสถานี่ไฟฟ้าเพชรบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4-9, 4-10, 4-11



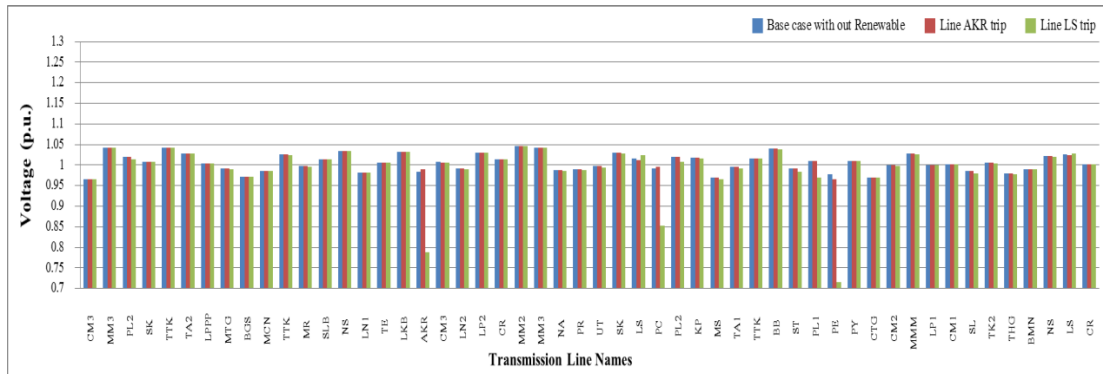
รูปที่ 4-9 บัสสถานี่ไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-AKR

ถูกปลดออกในระบบสภาวะปกติ



รูปที่ 4-10 บัสสถานี่ไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-LS

ถูกปลดออกในระบบสถานะปกติ



รูปที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE)

ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE ถูกปลดออกในระบบสถานะปกติ

ตารางที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อถูกปลดออกในระบบสถานะปกติ

Number	Name	Area Name	PU Volt	PU Volt	PU Volt
			Base case	Line AKR trip	Line LS trip
4812	CM3	4	0.96583	0.9658	0.96499
4808	MM3	4	1.04309	1.04306	1.04253
4806	PL2	4	1.01924	1.01898	1.01455
4805	SK	4	1.008	1.008	1.00801
4804	TTK	4	1.04187	1.04184	1.04161
4802	TA2	4	1.0283	1.02828	1.02816
4777	LPPP	4	1.0039	1.00389	1.0032
4758	MTG	4	0.99115	0.99111	0.99023
4757	BGS	4	0.97128	0.97124	0.97094
4755	MCN	4	0.98557	0.98553	0.98471
4752	TTK	4	1.02524	1.02521	1.02493
4744	MR	4	0.99698	0.99693	0.99616
4743	SLB	4	1.01412	1.01405	1.0131
4741	NS	4	1.03479	1.03472	1.03385
4733	LN1	4	0.98199	0.98196	0.9812
4731	TE	4	1.00609	1.00609	1.00534
4730	LKB	4	1.032	1.032	1.03213
4726	AKR	4	0.98322	0.98987	0.7873
4722	CM3	4	1.00686	1.00682	1.00592
4720	LN2	4	0.99148	0.99144	0.99067
4719	LP2	4	1.02974	1.02973	1.02939
4718	CR	4	1.01442	1.01439	1.01361

4716	MM2	4	1.046	1.046	1.04601
4715	MM3	4	1.0419	1.04188	1.04122

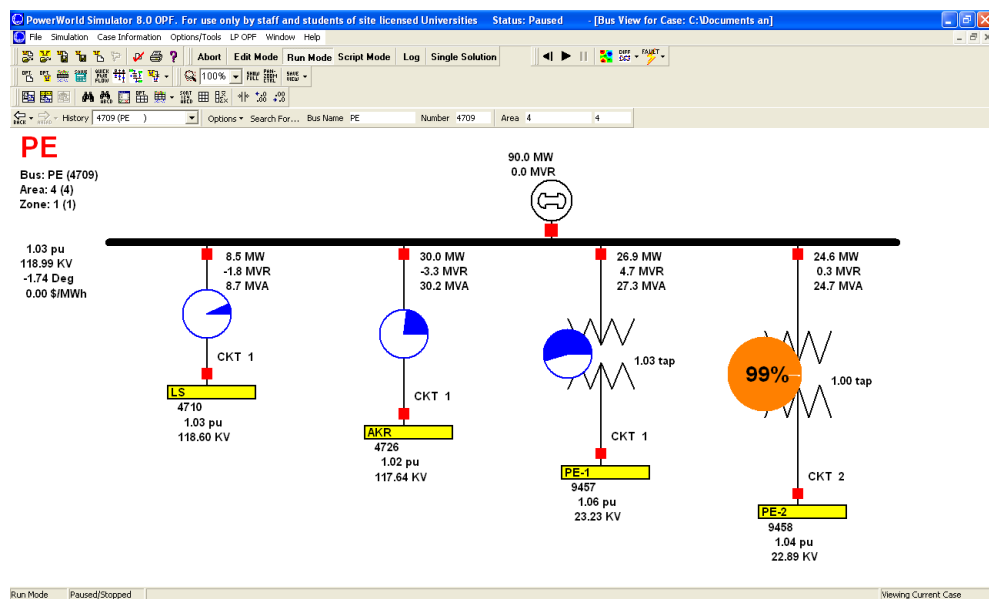
ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

Number	Name	Area Name	PU Volt	PU Volt	PU Volt
			Base case	Line AKR trip	Line LS trip
4714	NA	4	0.98776	0.98775	0.98492
4713	PR	4	0.98885	0.98884	0.98692
4712	UT	4	0.99732	0.99733	0.99471
4711	SK	4	1.03002	1.03002	1.02886
4710	LS	4	1.01611	1.01152	1.02458
4708	PC	4	0.99173	0.99614	0.85175
4706	PL2	4	1.01985	1.01995	1.00766
4704	KP	4	1.01783	1.01785	1.01635
4703	MS	4	0.96999	0.97003	0.96507
4702	TA1	4	0.99589	0.99592	0.99181
4441	TTK	4	1.0163	1.01629	1.0162
4701	BB	4	1.03936	1.03937	1.03828
4705	ST	4	0.99217	0.99223	0.98403
4707	PL1	4	1.009	1.01001	0.96954
4709	PE	4	0.97838	0.96563	0.7149
4717	PY	4	1.01005	1.01002	1.00925
4721	CTG	4	0.96978	0.96974	0.96886
4723	CM2	4	0.99933	0.99929	0.99842
4725	MMM	4	1.02714	1.02712	1.02644
4732	LP1	4	0.99993	0.99991	0.99917
4734	CM1	4	1.00188	1.00184	1.00095
4742	SL	4	0.98608	0.98612	0.98031
4751	TK2	4	1.00493	1.00489	1.00446
4754	THG	4	0.97912	0.97909	0.97823
4756	BMN	4	0.98981	0.98978	0.98948
4803	NS	4	1.02103	1.02097	1.02014
4807	LS	4	1.02654	1.02495	1.02901
4813	CR	4	1.00206	1.00203	1.00132

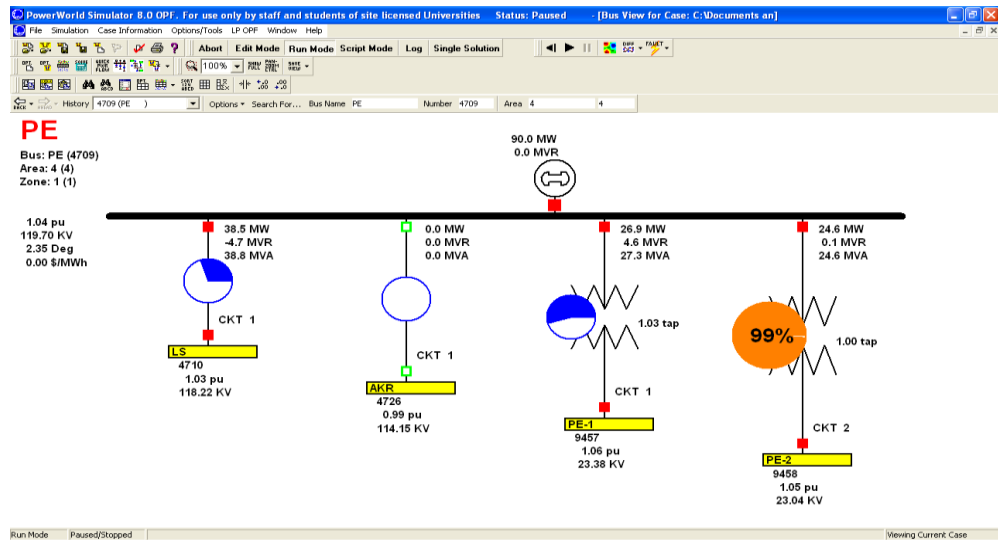
จากผลการศึกษาพบว่าสายส่งที่เชื่อมต่อสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์กับสถานีไฟฟ้า อัคราโมนัง (AKR) และสถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) ถูกปลดออกพบว่าสายส่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากคือสายส่งที่เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) กล่าวคือหากสายส่งเส้นนี้ถูกปลดออกไม่ว่ากรณีใดจะส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างสูง

4.3.2 ผลการศึกษาผลกระทบต่อบัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทนเข้าระบบที่บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์

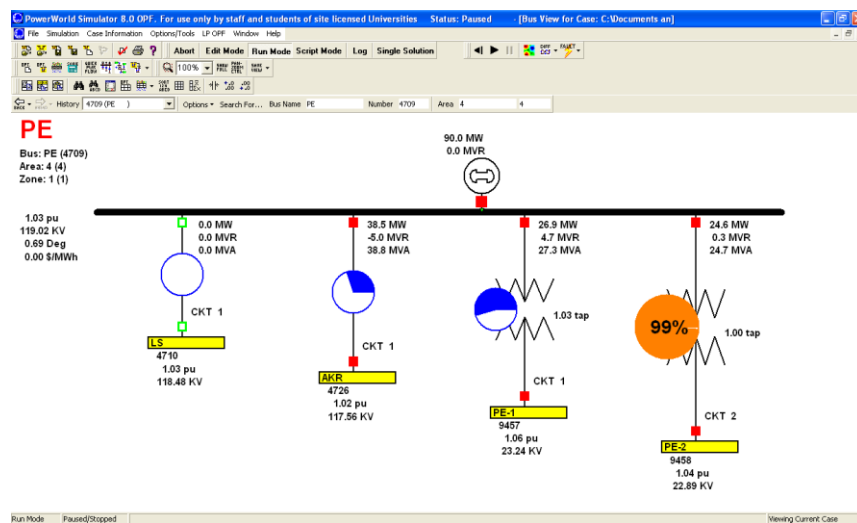
ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาผลกระทบจากการที่สายส่งที่เชื่อมต่อจากสถานีไฟฟ้า อัคราไมนิ่ง (AKR) และสถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) ถูกปลดออกทีละเส้นในระบบสถานะที่มีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทนเข้าระบบที่บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4-12, 4-13, 4-14



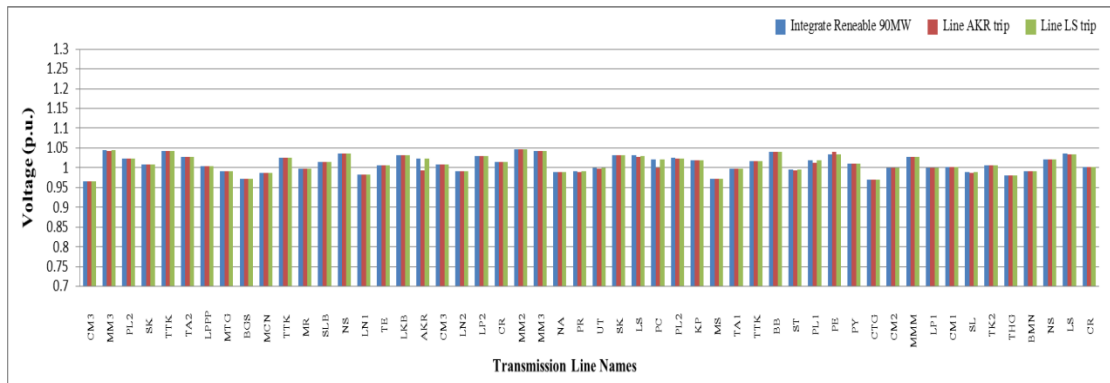
รูปที่ 4-12 บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน
เข้าระบบที่บัสสถานไฟฟ้าเพชรบูรณ์ 90MW



รูปที่ 4-13 บัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-AKR ถูกปลดออก
ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน



รูปที่ 4-14 บัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE-LS ถูกปลดออก
ในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน



รูปที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE)

ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อ PE ถูกปลดออกในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน

ตารางที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงแรงดันบัสสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ (PE) ขณะสายส่งที่เชื่อมต่อถูกปลดออกในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน

Number	Name	Area Name	PU Volt	PU Volt	PU Volt
			Integrate Renewable 90MW	Line AKR trip	Line LS trip
4812	CM3	4	0.96655	0.96639	0.96651
4808	MM3	4	1.0436	1.04349	1.04358
4806	PL2	4	1.02359	1.02258	1.02339
4805	SK	4	1.008	1.008	1.008
4804	TTK	4	1.04246	1.04242	1.04242
4802	TA2	4	1.0285	1.0285	1.02848
4777	LPPP	4	1.00395	1.0039	1.0039

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

Number	Name	Area Name	PU Volt	PU Volt	PU Volt
			Integrate Renewable 90MW	Line AKR trip	Line LS trip
4758	MTG	4	0.99182	0.99166	0.99177
4757	BGS	4	0.97192	0.97188	0.97188
4755	MCN	4	0.9863	0.98614	0.98626
4752	TTK	4	1.02583	1.02579	1.02579
4744	MR	4	0.99815	0.99798	0.9981
4743	SLB	4	1.01538	1.01519	1.01532
4741	NS	4	1.03594	1.03577	1.03589
4733	LN1	4	0.98243	0.98232	0.98238
4731	TE	4	1.0061	1.00604	1.00605
4730	LKB	4	1.032	1.032	1.032
4726	AKR	4	1.02294	0.99258	1.02222
4722	CM3	4	1.0076	1.00744	1.00756
4720	LN2	4	0.992	0.99188	0.99196
4719	LP2	4	1.02998	1.02993	1.02997
4718	CR	4	1.01511	1.01496	1.01508

4716	MM2	4	1.046	1.046	1.046
4715	MM3	4	1.04237	1.04226	1.04234
4714	NA	4	0.98987	0.98941	0.98981
4713	PR	4	0.99029	0.98997	0.99025
4712	UT	4	0.99886	0.99848	0.99879
4711	SK	4	1.03106	1.03091	1.03102
4710	LS	4	1.03132	1.02804	1.03025
4708	PC	4	1.02063	0.99884	1.02011
4706	PL2	4	1.02442	1.02292	1.024
4704	KP	4	1.01874	1.01833	1.01878
4703	MS	4	0.97262	0.97158	0.97265
4702	TA1	4	0.99807	0.9972	0.9981
4441	TTK	4	1.0166	1.01659	1.01659
4701	BB	4	1.03987	1.03969	1.03986
4705	ST	4	0.99546	0.99439	0.99521
4707	PL1	4	1.01872	1.01234	1.01852
4709	PE	4	1.03468	1.04088	1.03494
4717	PY	4	1.01064	1.0105	1.0106
4721	CTG	4	0.97038	0.97024	0.97033
4723	CM2	4	0.99999	0.99984	0.99995
4725	MMM	4	1.02761	1.0275	1.02758
4732	LP1	4	1.00027	1.00017	1.00022
4734	CM1	4	1.00258	1.00242	1.00253
4742	SL	4	0.98864	0.98787	0.98847

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

Number	Name	Area Name	PU Volt	PU Volt	PU Volt
			Integrate Reneable 90MW	Line AKR trip	Line LS trip
4751	TK2	4	1.00564	1.00557	1.0056
4754	THG	4	0.97988	0.97971	0.97984
4756	BMN	4	0.99043	0.99039	0.99039
4803	NS	4	1.02207	1.02191	1.02201
4807	LS	4	1.03525	1.03461	1.03457
4813	CR	4	1.00272	1.00257	1.00269

จากผลการศึกษาพบว่าสายส่งที่เชื่อมต่อสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์กับสถานีไฟฟ้า อัคราโมนัง (AKR) และ สถานีไฟฟ้า หล่มสัก (LS) ถูกปลดออกในระบบที่เชื่อมต่อพลังงานทดแทน 90MW พบว่าแรงดันไฟฟ้าของระบบ ยังมีความเสถียรภาพ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวិจัยการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือ ประเทศไทยซึ่งใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดพลังงานซึ่งจากการทดลองตรวจวัดในพื้นที่พบว่าปริมาณในการตรวจวัดนั้นสิ่งที่มีผลกระทบต่อค่าการตรวจวัดค่อนข้างมากคือ สภาพภูมิอากาศและสถานที่ตรวจวัดซึ่งผลการทดสอบในการตรวจวัดพื้นที่เกษตรบนเขา คือซึ่งพื้นที่เป็นที่ราบมีภูเขาบดบังลมและสภาพอากาศมีเมฆค่อนข้างมากเนื่องจากเป็นช่วง เดือนพฤศจิกายนยังมีฝนตกอยู่จึงทำให้ผลการสำรวจและประเมินค่อนข้างได้น้อยแต่ก็ สามารถแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถในการตรวจวัดของเครื่องต้นแบบนี้ได้ และเมื่อ ทำการศึกษาผลกระทบต่อความเสถียรภาพระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า ผลของการมีการเชื่อมต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าทดแทนเข้าที่สถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ทำให้ระบบมีความเสถียรภาพแรงดันเพิ่มขึ้นโดยวิเคราะห์จากผลการศึกษาในกรณีฉุกเฉินคือ สายส่งที่เชื่อมต่อกับสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์ถูกปลดออกเส้นใดเส้นหนึ่งทันทีทันใด

5.2 อภิปรายผล

การศึกษาวิจัยการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยสามารถอธิบายผลการศึกษาได้โดยจะ แยกการอธิบายตามหัวข้อตามวัตถุประสงค์เพื่อให้ครอบคลุมการศึกษาวิจัยโดยรวมคือ

5.2.1 ผลการศึกษานั้นสามารถสร้างเครื่องประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจาก พลังงานลมและแสงอาทิตย์ในการประเมินขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน ลมและแสงอาทิตย์ซึ่งจากผลการทดสอบนั้นชี้ให้เห็นว่าสามารถตรวจวัดและบันทึกผลได้ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการตรวจวัดค่อนข้างมากคือสภาพภูมิอากาศและสถานที่หรือ ลักษณะภูมิประเทศโดยเป็นการออกแบบเครื่องมือวัดโดยใช้โปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) ร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) ซึ่งเป็นการออกแบบเพื่อทำการวัดพลังงานลมและ

แสงอาทิตย์โดยสามารถแสดงระดับความเร็วและพลังงานลมรวมถึงสามารถแสดงกำลังผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในการตรวจวัดพร้อมกันได้และยังสามารถบันทึกค่าได้โดยละเอียดเป็นรายวินาทีซึ่งเป็นการประยุกต์และพัฒนาเครื่องมือวัดในการตรวจวัดและประเมินผลพลังงานทดแทน นอกจากมุ่งเน้นในการตรวจวัดและวิเคราะห์ด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวโดยข้อมูลและความละเอียดปริมาณในการตรวจวัดในหลักวินาทีนั้นทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน โดยผลกระทบนั้นคือการแกว่งของกำลังไฟฟ้า (Power Fluctuation) หรือ การแกว่งของแรงดันไฟฟ้า (Voltage fluctuation) และผลกระทบดังกล่าวนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบกำลังไฟฟ้าในเรื่องคุณภาพกำลังไฟฟ้า ดังนั้นด้วยความสามารถในการตรวจวัดอย่างละเอียดของเครื่องวัดต้นแบบนี้สามารถนำไปตรวจวัดและประเมินค่าพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนแล้วยังสามารถนำผลการตรวจวัดที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นเพื่อเลือกชนิดกังหันลม และออกแบบระบบควบคุมให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหาและผลกระทบดังกล่าว ซึ่งข้อมูลที่ได้จากความสามารถของเครื่องมือวัดต้นแบบนี้สามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลในการตรวจวัดและประเมินค่าพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับการใช้แผนที่พลังงานทดแทนไม่ว่าจะเป็นแผนที่พลังงานลมหรือแผนที่แสงแดดซึ่งจะไม่สามารถแสดงให้เห็นผลกระทบจากการไม่เสถียรภาพของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ในแต่ละวินาที และเป็นผลที่เกิดขึ้นจริงและเป็นข้อมูลที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและการประเมินผลเพื่อทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไม่ว่าจะเป็นพลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์

5.2.2 ผลการศึกษานั้นสามารถทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อระบบกำลังไฟฟ้าในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์และระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือประเทศไทยหากมีการเชื่อมต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่เพชรบูรณ์ ซึ่งผลกระทบดังกล่าวนี้ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในกรณีฉุกเฉิน (Contingency n-1) โดยมุ่งเน้นการศึกษผลกระทบจากการถูกปลดออกของสายส่งที่เชื่อมต่อเข้ากับสถานีไฟฟ้าเพชรบูรณ์เส้นใดเส้นหนึ่ง ซึ่งจากความเป็นจริงแล้วสายส่งทั้งสองเส้นดังกล่าวนี้สามารถและมีความเสี่ยงที่จะถูกปลดออกได้ตลอดเวลาเนื่องตำแหน่งและพื้นที่ในการเดินของสายส่งทั้งสองเส้นนั้นจากลากผ่านภูมิประเทศที่เป็น

ภูเขาซึ่งความเสี่ยงในการเกิดความผิดปกติ (Fault) นั้นสามารถเกิดขึ้นได้บ่อยกว่าเมื่อเทียบกับการเดินสายส่งในภูมิประเทศทั่วไปการเกิดความผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้ากับสายส่งนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นมีกิ่งไม้ไปแตะโดยตรงกับสายส่ง มีสัตว์เลื้อยคลานพาดไปตามสายส่งเช่น งู การเกิดฟ้าผ่าเข้าที่สายส่ง ต้นไม้ล้มทับ หรือเกิดพายุฝน ลมกระโชก ทำให้สายส่งแกว่งซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อลูกถ้วยที่แขวนสายส่ง หรือเกิดไฟฟ้าขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสายส่งทั้งสองเส้นนี้ได้ ดังนั้นจากการศึกษาวิจัยพบว่าระบบกำลังไฟฟ้าหากมีการเชื่อมต่อกำลังผลิตจากพลังงานทดแทนเข้าที่สถานีไฟฟ้าเพชบูรณ์นั้นจะทำให้สถานีไฟฟ้าเพชบูรณ์นั้นมีความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือมีความเสถียรภาพแรงดันเพิ่มขึ้นซึ่งดูได้จากผลการวิเคราะห์และศึกษาผลกระทบหลังจากเมื่อทำการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ากับระบบที่สถานีไฟฟ้าเพชบูรณ์ โดยผลการศึกษาวิจัยนี้ใช้เป็นฐานข้อมูลได้เป็นอย่างดีในการสนับสนุนให้มีการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไม่ว่าจะเป็นพลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดเพชบูรณ์

5.2.3 ผลการศึกษานั้นสามารถนำไปเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลและเป็นเครื่องมือในการเผยแพร่เพื่อสร้างองค์ความรู้ในส่วนของการตรวจวัดและการประเมินการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนซึ่งเป็นเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าแบบสะอาดและเพื่อการพัฒนาพลังงานให้ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมกันนี้ ยังใช้เป็นฐานข้อมูลในการเผยแพร่เพื่อสร้างแรงจูงใจและสนับสนุนพัฒนาด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่จังหวัดเพชบูรณ์เพื่อพัฒนาและเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยได้เป็นอย่างดี ซึ่งดูได้จากผลการศึกษาวิจัยต่อความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังที่จะมีการเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้ากับระบบ และที่สำคัญความสามารถของเครื่องตรวจวัดต้นแบบนี้ที่สามารถตรวจวัดและประเมินผลพร้อมบันทึกผลได้ละเอียดในหน่วยวินาทีนั้นข้อมูลที่ได้สามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในเขตพื้นที่ จังหวัดเพชรบูรณ์และผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือ ประเทศไทยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการตรวจวัดค่อนข้างมากคือสภาพภูมิอากาศและสถานที่หรือลักษณะภูมิประเทศ และยังพบว่าระบบกำลังไฟฟ้าภาคเหนือนั้นมีความเสถียรภาพแรงดันเพิ่มขึ้นหากมีการรณรงค์ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อจ่ายเข้าระบบเพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบมีความเสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเขตพื้นที่เพชรบูรณ์ และโดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่สะอาดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

บรรณานุกรม

หนังสือ

-กิจไพบูรณ์ ชิวพันธุ์ศรี. LabVIEW. ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม, 2554.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, เอกสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์

-ไชยะ เข้มชัย. คู่มือคุณภาพไฟฟ้า. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554. วรรณุช แจงสว่าง พ.ศ. 2551 Renewable Energy:

พิมพ์

ครั้งที่ 1

บทความในวารสาร

นฤมล วันน้อย, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ปีที่พิมพ์ 2558,

[ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”](#)

-นฤมล วันน้อย, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน, ปีที่พิมพ์ 2558, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

-Chompoo-inwai, Chow and Mungkornassawakul, Jade, Japan July 8-12 2012, The Data

Acquisition system and lab view program in being a smart and low cost three phase disturbance measuring unit, international conference on electrical engineering (ICEEE 2012).

-Chow chompoo inwai and Jade Mungkornassawakul, USA April 4-5 2013. A smart recording power analyzer prototype using Lab view and low cost data acquisition (DAQ) in being a smart renewable monitoring system, IEEE green tech.

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นาง นฤมล วันน้อย

Mrs. Narumon Wannoi

2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3409901105146

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะ

เทคโนโลยีการเกษตรและ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 76000

โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1702, 0910288008

E-mail : n_pue23@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

คุณทหารลาดกระบัง

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

7. ประสบการณ์เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ชื่อผลงานวิจัย, การควบคุมมุมต่างเฟสของแรงดันและกระแสขา

ออกของวงจรเรโซแนนซ์ แบบขนานโดยใช้ พีแอลแอล

ชื่อโครงการ, ระบบไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีโดยใช้แหล่งจ่ายไฟ

จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชื่อโครงการ, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและ
วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยี
อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ชื่อผลงานวิจัย, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและ
วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยี
อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ปีที่พิมพ์ 2558, [ประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”](#)

ชื่อโครงการ, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและ
บันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการ
อนุรักษ์พลังงาน

ชื่อผลงานวิจัย, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและ
บันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการ
อนุรักษ์พลังงาน, ปีที่พิมพ์ 2558, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครปฐม

ชื่อผลงานวิจัย, การประเมินความเพียงพอกำลังการผลิตจากกราฟ
กำลังของเครื่องกักหน้ลมต่อระบบกำลังไฟฟ้าด้วยการจำลองมอนติคาร์โล, ปีที่พิมพ์ 2559,
การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม