ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด

CONCEPT DESIGN OF POWER GENERATION WITH THE HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM

นายฉัตรชัย สุวรรณยาน รหัส 5736194

นายพิเชษฐ์ กองนิล รหัส 5736232

นายสิทธิชัย ลำใย รหัส 5736276

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด

ผู้ดำเนินโครงงาน นายฉัตรชัย สุวรรณยาน รหัส 57361944

นายพิเชษฐ์ กองนิล รหัส 57362323

นายสิทธิชัย ลำใย รหัส 57362576

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร. สิทธิโชค ผูกพันธุ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้**เป็นส่วนหนึ่ง**ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ดร. สิทธิโชค ผูกพันธุ์)

.....กรรมการ

(ผศ. นพรัตน์ สีหะวงษ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายฉัตรชัย สุวรรณยาน	รหัส 57361944
	นายพิเชษฐ์ กองนิล	รหัส 57362323
	นายสิทธิชัย ลำใย	รหัส 57362576
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร. สิทธิโชค ผูกพันธุ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2560	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และประเมินมูลค่าการลงทุนของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด ซึ่งประกอบด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโรงไฟฟ้าพลังงานลม เพื่อให้รองรับกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของชุมชน โดยขอบเขตของการวิจัยนี้คือ ศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าโดยพลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ จำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าของชุมชนอันประกอบไปด้วยบ้านเรือน ร้านค้า และโรงเรียนระดับประถมศึกษา วิเคราะห์ความเร็วลมเฉลี่ยและความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนจากข้อมูลของสถานีวัดวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นพื้นที่กรณีศึกษา คำนวณหาศักยภาพของแหล่งพลังงาน เพื่อนำมาใช้ออกแบบขนาดและอุปกรณ์ในระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพื่อสามารถรองรับกับความต้องการ รวมถึงการหาปริมาณเงินลงทุนตลอดทั้งโครงการเพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์พลังงานของระบบที่ออกแบบและนำมาประกอบการตัดสินใจ ผลจากการศึกษาพบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เมื่อสิ้นสุดอายุโครงการ เป็นบวก เนื่องจากข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ มีศักยภาพเพียงพอ ขณะที่ โรงไฟฟ้าพลังงานลม ขาดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เมื่อสิ้นสุดอายุโครงการ เป็นลบ อันเนื่องมาจากข้อมูลความเร็วลมจากพื้นที่กรณีศึกษา ที่นำมาประกอบการคำนวณมีศักยภาพต่ำ

Project title	Concept design of power generation with the Hybrid renewable energy system		
Name	Mr. Chatchai	Suwannayan	ID. 57361944
	Mr. Pichet	Kongnil	ID. 57362323
	Mr. Sittichai	Lamyai	ID. 57362576
Project advisor	ASST. PROF. Sitichoke Pookpun		
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2017		

Abstract

This project is to study and evaluate the hybrid renewable energy system including a solar powerplant and a wind powerplant providing electricity to a countryside. The process including study the solar and wind power generation system, model the electric requirement in community including houses, shops and primary school. Monthly average Wind speed and solar radiation used to evaluate hybrid renewable energy system potential was collected from School of Renewable Energy Technology, Naresuan University as the study area. The concept design is to sizing the component in hybrid renewable energy system. The investment cost of project is calculated and the cost of energy (COE) and net present value (NPV) are determined in order to make an investment decision. The result found that the solar power plant is feasible in financial analysis with plus NPV because of high solar radiation. While wind power plant is unfeasible in financial analysis with minus NPV because low wind speed data at the study area.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สามารถทำงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สิทธิโชค ผูกพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงงาน ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพรัตน์ สีหะวงษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูพงษ์ ช่วยเพ็ญ ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ต่างๆ เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

ขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจจนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน
นายฉัตรชัย สุวรรณยาน
นายพิเชษฐ์ กองนิล
นายสิทธิชัย ลำใย

มิถุนายน 2561

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
Abstract ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูปภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ ..... ก
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน ..... ก
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 พลังงานทดแทนพลังงานลม 4
2.1.1 กังหันลม 5
2.1.2 ส่วนประกอบของกังหันลม 6
2.1.3 ประเภทของกังหันลมผลิตไฟฟ้า 7
2.1.4 การทำงานของกังหันลม 9
2.1.5 ชั้นกำลังลม (Wind Power Class) 11
2.1.6 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย 12
2.1.7 ความถี่ของความเร็วลม 12

2.2 พลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ 13
2.3 พลังงานรวมและหน่วยที่ผลิตได้ต่อปีของแหล่งพลังงาน 16
2.3.1 การผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน 16
2.3.2 หน่วยที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อปี (AEP) 17
2.4 ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า System Implement 17
2.4.1 ระบบการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า 17
2.4.2 ระบบการติดตั้งโซล่าเซลล์ผลิตไฟฟ้า 19
2.4.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) 19
2.4.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 23
3.1 ข้อมูลเบื้องต้น 23
3.2 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในชุมชน 24
3.3 ศักยภาพของแหล่งพลังงาน 30
3.3.1 ศักยภาพของแผงโซล่าเซลล์ 30
3.3.2 ศักยภาพของกังหันลม 31
3.4 พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน 31
3.4.1 พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ 31
3.4.2 พลังงานไฟฟ้าจากกังหันลม 33
3.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน (Economic and Financial Analysis) 35
3.5.1 การวิเคราะห์ด้านการลงทุน (Initial Capital Cost) 35
3.5.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรายปี (Annual expenses) 37
3.5.3 การวิเคราะห์มูลค่าเมื่อสิ้นสุดโครงการ 38
3.5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย 39
3.6 แนวคิดในการออกแบบ (Conceptual design) 40
3.6.1 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ on-grid 40
3.6.2 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ off-grid สำรองไฟฟ้า 41

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 43
4.1 ผลจากการวิเคราะห์ ศักยภาพของพลังงานทดแทน 43
4.1.1 ศักยภาพจากพลังงานแสงอาทิตย์ 43
4.1.2 ศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือน 46
4.1.3 ศักยภาพจากพลังงานลม 46
4.2 ผลจากวิเคราะห์และการออกแบบโรงไฟฟ้าของแหล่งพลังงาน 49
4.2.2 การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานลม 52
4.3 ผลจากการวิเคราะห์ทางด้านความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ 54
4.3.2 วิเคราะห์ทางด้านความคุ้มทุนโรงไฟฟ้าพลังงานลม 57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการทดลอง 60
5.2 ข้อเสนอแนะ 60
เอกสารอ้างอิง 61
ภาคผนวก ก ข้อมูลการออกแบบ เวลาการใช้ไฟฟ้าในชุมชน 62
ภาคผนวก ข ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ 65
ภาคผนวก ค ข้อมูลตัวอย่างของแหล่งพลังงาน 68
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 71

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	2
2.1	การแบ่งกังหันลมตามขนาดกำลังผลิต	10
2.2	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของพลังงานลม	13
2.3	โรงไฟฟ้าพลังงานลมที่จ่ายไฟเข้าระบบแล้ว (COD) ในประเทศไทย	13
2.4	ชั้นกำลังลม Power Class	14
2.5	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของพลังงานแสงอาทิตย์	19
3.1	การประมาณเครื่องใช้ไฟฟ้าในชุมชน	24
3.2	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านเรือน	25
3.3	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของร้านค้าชุมชน	26
3.4	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนระดับประถมศึกษา	28
3.5	ค่าบำรุงรักษา (O&M) และค่าเช่าพื้นที่ติดตั้ง (LLC)	38
3.6	ค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนอุปกรณ์ (LRC)	38
3.7	อุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบ	40
4.1	ศักยภาพกำลังไฟฟ้าที่แผงโซล่าเซลล์ผลิตได้ เพื่อให้รองรับกับความต้องการใช้ไฟฟ้า	44
4.2	ศักยภาพกำลังติดตั้งสูงสุดในผลิตกระแสไฟฟ้าตามช่วงเวลาเฉลี่ยแต่ละเดือน	45
4.3	จำนวนของกังหันที่ใช้ในการออกแบบ	47
4.4	การคำนวณพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	49
4.5	แสดงการหาจำนวนแบตเตอรี่และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	49
4.6	แสดงการหาจำนวนอินเวอเตอร์และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	49
4.7	แสดงการหาจำนวนตู้คอนโทรลและราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	49
4.8	แสดงการหาจำนวนแผงโซล่าเซลล์และราคา	50
4.9	แสดงมูลค่ารวมในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	50
4.10	แสดงการคำนวณหาพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลม	51
4.11	แสดงการหาจำนวนแบตเตอรี่และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานลม	51
4.12	แสดงการหาจำนวนอินเวอร์เตอร์และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานลม	51
4.13	แสดงการหาจำนวนตู้คอนโทรลและราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานลม	52
4.14	แสดงการหาจำนวนกังหันลมและราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานลม	52

4.15 แสดงมูลค่าในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานลม 52
4.16 แสดงการคำนวณหามูลค่า ตลอดระยะเวลาโครงการของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 53
4.17 แสดงกระแสเงินสดของการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์..... 54
4.18 แสดงการคำนวณหามูลค่า ตลอดระยะเวลาโครงการของโรงไฟฟ้าพลังงานลม..... 55
4.19 แสดงกระแสเงินสดของการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานลม..... 56
ก.1 แสดงเวลาการใช้ไฟฟ้าในบ้านจำนวน 150 หลังคาเรือน..... 61
ก.2 แสดงเวลาการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าจำนวน 3 ร้าน..... 61
ก.3 แสดงเวลาการใช้ไฟฟ้าของโรงเรียนปฐมศึกษา..... 62
ข.1 แสดงยี่ห้อและราคาของอินเวอเตอร์..... 64
ข.2 แสดงยี่ห้อและราคาของแบตเตอรี่..... 64
ข.3 แสดงยี่ห้อและราคาของตู้คอนโทรล..... 64
ข.4 แสดงยี่ห้อและราคาของกังหันลม..... 65
ข.5 แสดงยี่ห้อและราคาของแผงโซล่าเซลล์..... 65
ค.1 แสดงข้อมูลตัวอย่างของความเข้มแสงอาทิตย์จากพื้นที่ศึกษา..... 67
ค.2 แสดงข้อมูลตัวอย่างความเร็วลมจากพื้นที่ศึกษา..... 68

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของกังหันลม	9
2.2	กังหันลมแนวแกนนอน	11
2.3	กังหันลมแนวแกนตั้ง	12
2.4	กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลม	12
2.5	กระแสลมที่พัดผ่านประเทศไทย	14
2.6	ศักยภาพความเร็วลมประเทศไทย	15
2.7	Wind Speed Frequency Distribution การแจกแจงความถี่ความเร็วลมใน 1 ปี	16
2.8	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย	17
2.9	การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ	18
2.10	แสดงระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว	21
2.11	แสดงระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง	21
2.12	PV Stand alone system	22
2.13	PV Grid connected system	22
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	23
3.2	กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน 150 หลังคาเรือน	25
3.3	กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าจำนวน 3 ร้าน	27
3.4	กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าของโรงเรียนประถมศึกษา	29
3.5	กราฟรวมแสดงการใช้ไฟฟ้าในชุมชน	29
3.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มแสง	30
3.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่	31
3.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเดือนกับอัตราการไหลของน้ำ	31
3.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความเร็วลม	34
3.10	การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ on-grid	41
3.11	การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ off-grid สำรองไฟฟ้า	42
4.1	แสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อหนึ่งแผงโซล่าเซลล์กับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	43
4.2	แสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนของแผงโซล่าเซลล์	45

4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละเดือน 46
4.4 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลมเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้..... 47
4.5 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลมเทียบกับกาลังไฟฟ้าที่ผลิตได้..... 48
4.6 การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์..... 50
4.7 การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานลม 52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

พลังงานหลักที่มนุษย์ใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันคือ พลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานรวมภายในประเทศ เพื่อใช้ในการพัฒนาในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ การจัดหาแหล่งพลังงานในประเทศ เช่น ถ่านหินลิกไนต์ แก๊สธรรมชาติและพลังน้ำ ยังไม่เพียงพอ อีกทั้งการนำเข้าแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหินและพลังงานไฟฟ้า ทำให้เราต้องสูญเสียเงินตราให้ต่างประเทศเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้กระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอจากแหล่งพลังงานเหล่านี้ยังก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาด้วย การแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนและเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและเป็นแหล่งพลังงานสำรอง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ประเทศไทยควรเร่งพัฒนาศักยภาพ ทั้งการใช้ทรัพยากรพลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

ปัจจุบันสัดส่วนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติมีร้อยละ 63.3 จากถ่านหินร้อยละ 24.16 และพลังงานพลังงานทดแทนอื่นๆ 12.54 [1] โดยประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานทดแทนต่าง ๆ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าบ้างแล้ว เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานความร้อนจากมหาสมุทร พลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงและคลื่นในทะเล ซึ่งถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับศักยภาพโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และอื่นๆ ซึ่งสวนทางกับศักยภาพของพลังงานทดแทนในไทย และสามารถในการกระจายแหล่งผลิตให้อยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศได้ ปัจจุบันพบว่าการจัดส่งกระแสไฟฟ้าให้เข้าถึงชุมชนที่เข้าถึงยาก ส่งผลให้การดำเนินชีวิตเป็นไปอย่างยากลำบากกว่าชุมชนที่กระแสไฟฟ้าเข้าถึงง่าย และส่งผลให้กระบวนการพัฒนาทั้งทางด้านการเรียนการสอน การสื่อสาร การเดินทาง และการพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชนเกิดความล่าช้า

โดยทั่วไปแล้วการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากสายส่งเพื่อเข้าถึงชุมชนที่เข้าถึงยากนั้น พบว่าดำเนินการเดินสายไฟทำได้ยากลำบาก พร้อมทั้งค่าใช้จ่ายในการสร้างและค่าการบำรุงรักษาที่มาก ซึ่งไม่คุ้มทุนหรือหากจะสร้างโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงในพื้นที่ พบว่าการดำเนินการสร้างยากเพราะสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย จึงมีความเป็นไปได้น้อยที่จะสร้าง แต่หากใช้พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามพลังงานประเภทนี้มีข้อเสียคือ ราคาต่อหน่วยที่แพง ศักยภาพของพลังงานมีเฉพาะแหล่งและมีขีดจำกัด ประกอบกับประชากรส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องพลังงานทดแทนน้อยมาก

การจัดการด้านพลังงานที่สมบูรณ์และครบถ้วนนั้น จะส่งผลดีอย่างมากต่อชุมชนที่ได้รับผลประโยชน์จากการนำเอาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเข้าไปใช้ในการช่วยเพิ่มโอกาสให้กับชุมชนนั้นๆ ทั้งนี้การจะใช้พลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด จะต้องมีการศึกษาข้อมูลเพื่อออกแบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ทั้งทางด้านการใช้พลังงานในชุมชน และวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันไป

ดังนั้นโครงงานนี้ จึงทำการจัดทำแนวคิดในการวิเคราะห์และออกแบบ ระบบพลังงานทดแทนชนิดไฮบริด สำหรับชุมชนที่ขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า เช่น หมู่บ้านชนบทที่ระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เป็นต้น และเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบพลังงานทดแทนให้มีการใช้มากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อดำเนินการวิเคราะห์ศักยภาพการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน

1.2.2 เพื่อดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์การผลิตกระแสไฟฟ้าให้รองรับการใช้ไฟฟ้าตามความต้องการของชุมชน

1.2.3 เพื่อจำลองแหล่งพลังงานทดแทนให้สอดคล้องกับการใช้ไฟฟ้าในชุมชน เพื่อดำเนินการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์และประเมินศักยภาพด้านความคุ้มทุน

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.3.1 โครงงานนี้เป็นการศึกษาและออกแบบขนาดเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบไฮบริดจากแหล่งพลังงานประกอบด้วย กังหันลม และแผงโซล่าเซลล์

1.3.2 คำนวณขนาดกำลังที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้เพียงพอต่อการใช้งานของชุมชน โดยทำการประมาณค่าการใช้พลังงาน (Load Profile) ของชุมชน เปรียบเทียบกับศักยภาพการทำงานของของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า (Power Potential)

1.3.3 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบการใช้พลังงานทดแทนให้แก่ชุมชน

1.4.2 สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนให้สอดคล้องกับการใช้งานของชุมชน

1.4.3 เพื่อเป็นการสนับสนุนให้พัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน

1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา										
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1.5.1	ศึกษาการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน											
1.5.2	ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง											
1.5.3	ศึกษา Diagram การผลิตไฟฟ้าของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์											
1.5.4	สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับตัวแปรตาม											
1.5.5	ประเมินและคำนวณการใช้ไฟฟ้าในชุมชน											
1.5.6	ประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทน											
1.5.7	ออกแบบระบบที่เหมาะสมระหว่าง load และ power (match กันระหว่าง load/supply)											
1.5.8	วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์พลังงานทดแทน											
1.5.9	จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์											

แผนดำเนินงาน ดำเนินงานจริง

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลังงานทดแทนที่สำคัญ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำขึ้นน้ำลงพลังงานคลื่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานเหล่านี้ตามแผนพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนมีแผนที่จะทำให้มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 20 [2] ของพลังงานทั้งหมด การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษาค้นคว้าทดสอบ เพื่อให้เกิดการพัฒนาและสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน เกิดการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจและสังคม งานศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทน เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานพัฒนาพลังงานทดแทนซึ่งมีโครงการที่เกี่ยวข้องโดยตรงภายใต้แผนงานนี้คือ โครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงานและมีความเชื่อมโยงกับแผนงานพัฒนาชนบทในโครงการจัดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน สำหรับหมู่บ้านชนบทที่กระแสไฟฟ้าเข้าถึงยาก ประโยชน์ของพลังงานทดแทนในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกพยายามศึกษาและค้นหาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และมีประสิทธิภาพดียิ่งกว่าพลังงานแบบเดิม เพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ลดปัญหามลพิษและสิ่งแวดล้อมของโลก รวมทั้งช่วยประหยัดพลังงาน ดังนั้นพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก จึงเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด ทั้งยังหาได้จากธรรมชาติและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เพื่อช่วยลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน รวมทั้งลดมลพิษอีกด้วย [2]

2.1 พลังงานทดแทนพลังงานลม

เป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ที่ ซึ่งใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลก ได้รับความสนใจนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวางกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้าและในการสูบน้ำ พลังงานลมเกิดจากพลังงานจากดวงอาทิตย์ตกระทบโลกทำให้อากาศร้อนและลอยตัวสูงขึ้น ซึ่งอากาศจากบริเวณอื่นเย็นและหนาแน่นมากกว่าจึงเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของอากาศเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดลมและมีอิทธิพลต่อสภาพลมฟ้าอากาศในบางพื้นที่ของประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวฝั่งทะเลอันดามันและด้านทะเลอ่าวไทยมีพลังงานลมที่อาจนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะพลังงานกล (กังหันสูบน้ำ,กังหันผลิตไฟฟ้า) ศักยภาพของพลังงานลมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

สำหรับประเทศไทยมีความเร็วอยู่ระหว่าง 3 - 5 เมตรต่อวินาที และความเข้มพลังงานลมที่ประเมินไว้ได้อยู่ระหว่าง 20 - 50 วัตต์ต่อตารางเมตร [3]

2.1.1 กังหันลม

กังหันลม คือเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับและแปลงพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ และนำพลังงานกลมาใช้เพื่อสูบน้ำโดยตรงหรือผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงานพลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุดกังหันลมได้รับกำลังงาน โดยการเปลี่ยนแรงของลมเป็นแรงบิด (Torque) ที่กระทำต่อใบกังหัน ปริมาณของพลังงานที่ลมส่งผ่านไปยังใบกังหันขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ ความหนาแน่นของอากาศ พื้นที่ของโรเตอร์ โดยปัจจัยแรกนั้น พลังงานจลน์ของลมขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ กังหันลมจะได้รับพลังงานจากอากาศมากขึ้นเมื่อความหนาแน่นของอากาศมีค่าสูงขึ้น

พลังงานลม (E_W) เป็นพลังงานจลน์ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ดังนั้นอากาศที่มีมวล m ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v จะก่อให้เกิดพลังงานจลน์ ตามสมการดังนี้

$$E_W = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2.1}$$

เมื่อ E_W = พลังงานจลน์ของลม [N.m]

m = มวลอากาศ [kg]

v = ความเร็วของมวลอากาศ [m/s]

ถ้าลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A สมการของอัตราการไหลอากาศเชิงมวลต่อเวลา $\dot{m}$ จะเป็นดังนี้คือ

$$\dot{m} = \rho AV \tag{2.2}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ พลังงานจลน์ของลม [kg/s]

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ [kg/m^3]

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่มวลไหลผ่าน [m^2]

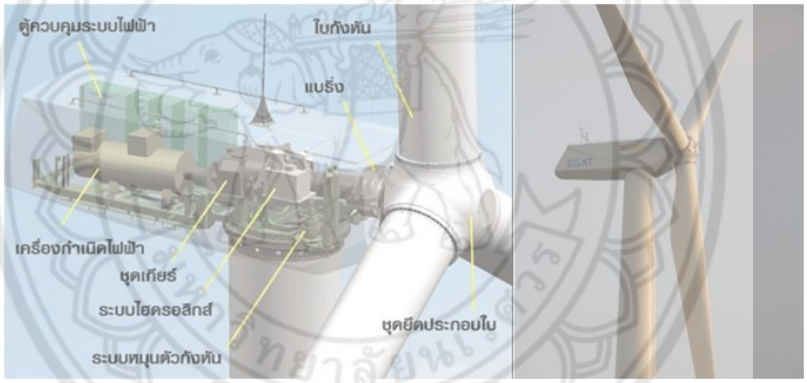
จะได้สมการพลังงานจลน์ต่อหน่วยเวลาคือสมการของกำลังลม (P_W)

$$P_w = \frac{1}{2}\rho AV^3 \qquad (2.3)$$

เมื่อ P_w คือ กำลังงานของลม [Watt]

2.1.2 ส่วนประกอบของกังหันลม [4]

พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในแนวแกนนอนโดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลักๆดังนี้ คือ ชุดโรเตอร์ ห้องเครื่อง และเสากังหันลม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่ง กังหันลมสามารถแยกส่วนประกอบต่างๆ ออกเป็น 10 ส่วนย่อย ดังนี้



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของกังหันลม

ที่มา : http://www.encos.co.th/articles/details/5

1. ใบพัด เป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลาแกนหมุน

2. เพลาแกนหมุน ซึ่งรับแรงจากแกนหมุนใบพัดและส่งผ่านระบบกำลังเพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. ห้องส่งกำลัง ซึ่งเป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุน ระหว่างเพลาแกนหมุนกับเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4. ห้องเครื่อง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อกังหันลม ใช้บรรจุระบบต่างๆ ของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม

5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

6. ระบบควบคุมไฟฟ้า ซึ่งใช้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

7. ระบบเบรค เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลาแกนหมุนของกังหัน เมื่อได้รับความเร็วลมเกินความสามารถของกังหันที่จะรับได้ และในระหว่างการซ่อมบำรุงรักษา

8. แกนคอหมุนรับทิศทางลม เป็นตัวควบคุมการหมุนห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดรับทิศทางลมโดยระบบอิเล็กทรอนิคส์ ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์ กับหางเสือรับทิศทางลมที่อยู่ด้านบนของเครื่อง

9. เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อเป็นตัวชี้ขนาดของความเร็วและทิศทางของลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกอื่นๆ ได้ถูกต้อง

10. เสา ซึ่งตั้งอยู่ที่พื้นที่ที่ทำการก่อสร้างอย่างถูกวิธีตามหลักวิศวกรรม และเป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน

2.1.3 ประเภทของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปการแบ่งประเภทของกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ แบ่งตามขนาดกำลังการผลิตและแบ่งตามลักษณะการวางตัวของแกนเพลา

2.1.3.1 แบ่งตามขนาดกำลังการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 การแบ่งกังหันลมตามขนาดกำลังผลิต

ขนาดของกังหันลม	กำลังการผลิต(kW)
ขนาดจิ๋ว (Micro Wind Turbine)	น้อยกว่า 1.5 kW
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5 kW - 20 kW
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20 kW – 200 kW
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200 kW - 1500 kW
ขนาดใหญ่มาก (Extra Large Wind Turbine)	มากกว่า 1500 kW

ที่มา : การศึกษาวิจัยพัฒนา สาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2.1.3.2 แบ่งตามลักษณะการวางตัวของแกนเพลา คือ กังหันที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวแกนนอนและกังหันที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวแกนตั้ง

ก. กังหันลมแนวแกนนอน เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม ทำงานโดยหันหน้าให้ลมและหันหลังให้ลม การหมุนคอของกังหันลมขนาดเล็กจะหันหน้าเข้าหาลมโดยใช้หางเสือ กังหันขนาดใหญ่ใช้เซ็นเซอร์วัดทิศทางลมร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ (servomotor) เพื่อขับเคลื่อนคอให้หันหน้าเข้าหาลม กังหันลมส่วนใหญ่มีกล่องเกียร์เพื่อช่วยเพิ่มความเร็วรอบของเพลาให้หมุนเร็วขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับเครื่องฉุดน้ำ กังหันลมแบบกงล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบ พรอบเพลเลอร์ (Propeller) ดังแสดงรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 กังหันลมแนวแกนนอน
ที่มา : https://sites.google.com/site/aowlaa/wind-power?

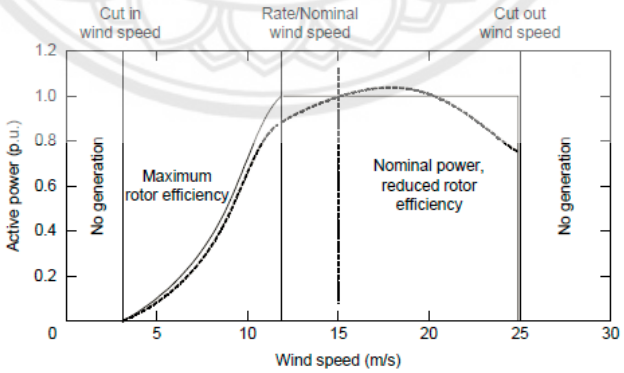
ข. กังหันลมแนวแกนตั้ง เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง กังหันลมแบบแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อรับแรงลมในปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแบบนี้น้อยมาก ดังแสดงรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 กังหันลมแนวแกนตั้ง

ที่มา : https://sites.google.com/site/changhawmanhexa/home/chnid-khxng-kanghan-lm/chnid-khxng-kanghan-lm-2

2.1.4 การทำงานของกังหันลม

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม ณ ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1-3 เมตรต่อวินาที กังหันลมยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ความเร็วลมระหว่าง 2.5-5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า Cut in wind speed และที่ความเร็วลมในช่วง 12-15 เมตรต่อวินาที เรียกว่า Nominal or Rate wind speed ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมมีกำลังสูงสุด และในช่วง Cut out wind speed คือช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกและระบบของกังหันลมได้ Power curve ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลม

ที่มา : http://powerplantkmutnb.blogspot.com

โดยจะสามารถคำนวณได้จากค่ากำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ที่ความเร็วต่างๆ ดังสมการดังนี้ [6]

$$P(v) = \begin{cases} 0, < V_{cutin} \\ \frac{1}{2}\rho A v^3, \geq V_{cutin} \\ P_{rated}, \leq V_{cutout} \\ 0, > V_{cutout} \end{cases} \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของพลังงานลม

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาถูก	1. สามารถใช้ได้ในบางพื้นที่เท่านั้น
2. นำกลับมาใช้ใหม่ได้	2. ความเร็วลมต้องมากกว่า 5 เมตรต่อวินาที
3. ไม่มีมลภาวะ	3. มีความจำเป็นต้องจัดหาระบบสำรองไว้ด้วย
4. เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กโดยเฉพาะที่มีลมแรงตลอดเวลา	4. ทำให้เกิดการรบกวนในการส่งสัญญาณโทรทัศน์และไมโครเวฟ

ที่มา : http://www.nst.or.th/powerplant/pp04.htm

ตารางที่ 2.3 โรงไฟฟ้าพลังงานลมที่จ่ายไฟเข้าระบบแล้ว (COD) ในประเทศไทย

ชื่อบริษัท	**ตำบล**	**อำเภอ**	**จังหวัด**	**กำลังการผลิตติดตั้ง (MW)**	**กำลังการผลิตที่ขาย (MW)**
พลังงานลมลำตะคอง	คลองไผ่	สีคิ้ว	นครราชสีมา	2.500	2.500
บริษัท เค.อาร์.ทู จำกัด	ห้วยบง	ด่านขุนทด	นครราชสีมา	103.500	103.500
แหลมพรหมเทพ	ราไวย์	เมืองภูเก็ต	ภูเก็ต	0.192	0.192
โครงการชั่งหัวมัน	เขากระปุก	ท่ายาง	เพชรบุรี	0.050	0.050
บริษัท เขาค้อ วินด์ พาวเวอร์ จำกัด	ทุ่งสมอ	เขาค้อ	เพชรบูรณ์	60.000	60.000

ที่มา : www.dede.go.th/download/state_58/en_land/Wind.pptx

จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่จะมีศักยภาพลมที่เหมาะสมนั้นส่วนมากจะเป็นพื้นที่บริเวณยอดเขาสูงที่มีการยกตัวของลมตามแนวเขา และพื้นที่เปิดโล่งได้แก่แนวชายฝั่งทะเลฝั่งตะวันออกซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดจากอ่าวไทยในเดือนพฤศจิกายนธันวาคม มกราคม และ

กุมภาพันธ์ แต่พื้นที่หลายแห่งในประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานลมค่อนข้างดี สามารถดำเนินการตั้งกังหันลมได้ ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 กระแสลมที่พัดผ่านประเทศไทย
ที่มา : https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52

2.1.5 ชั้นกำลังลม (Wind Power Class)

ชั้นกำลังลมเป็นช่วงที่แสดงค่าปริมาณกำลังลมตั้งแต่ต่ำที่สุดจนถึงสูงที่สุดจัดลำดับเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 7 แทนด้วยแถบสีต่างๆการจำแนกชั้นกำลังลม เพื่อแสดงศักยภาพของแหล่งพลังงานลมของพื้นที่นั้นๆ โดยใช้การวัดค่าความหนาแน่นกำลังลมที่ความสูงมาตรฐาน 2 ระดับ คือ 10 เมตร และ 50 เมตร ความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นตามความสูงเหนือพื้นดิน สำหรับทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่ต้องมีชั้นกำลังลมอยู่ที่ระดับ 4 หรือสูงกว่า

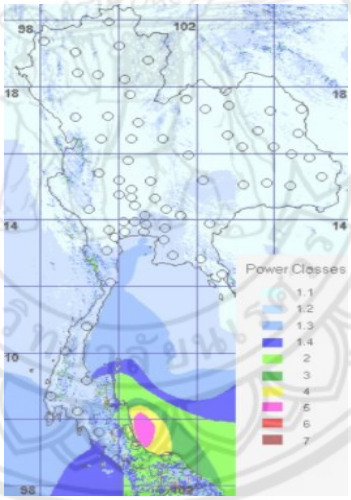
ตารางที่ 2.4 ชั้นกำลังลม Power Class

ชั้นกำลังลม	10 m (33ft)		50 m (164ft)	
	ความหนาแน่นของกำลังลม (w/m^2)	ช่วงความเร็วลมเฉลี่ย (b) m/s (mph)	ความหนาแน่นของกำลังลม (w/m^2)	ช่วงความเร็วลมเฉลี่ย (b) m/s (mph)
1	< 100	< 4.4 (9.8)	< 200	< 5.6 (12.5)
2	100 – 150	4.4 (9.8)/5.1 (11.5)	200 – 300	5.6 (12.5)/6.4 (14.3)
3	150 – 200	5.1 (11.5)/5.6 (12.5)	300 – 400	6.4 (14.3)/7.0 (15.7)
4	200 – 250	5.6 (12.5)/6.0 (13.4)	400 – 500	7.0 (15.7)/7.5 (16.8)
5	250 – 300	6.0 (13.4)/6.4 (14.3)	500 – 600	7.5 (16.8)/8.0 (17.9)
6	300 – 400	6.4 (14.3)/7.0 (15.7)	600 – 700	8.0 (17.9)/8.8 (19.7)
7	> 400	>7.0 (15.7)	> 800	>8.8 (19.7)

ที่มา : https://ienergyguru.com/2015/07/

2.1.6 ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย [6]

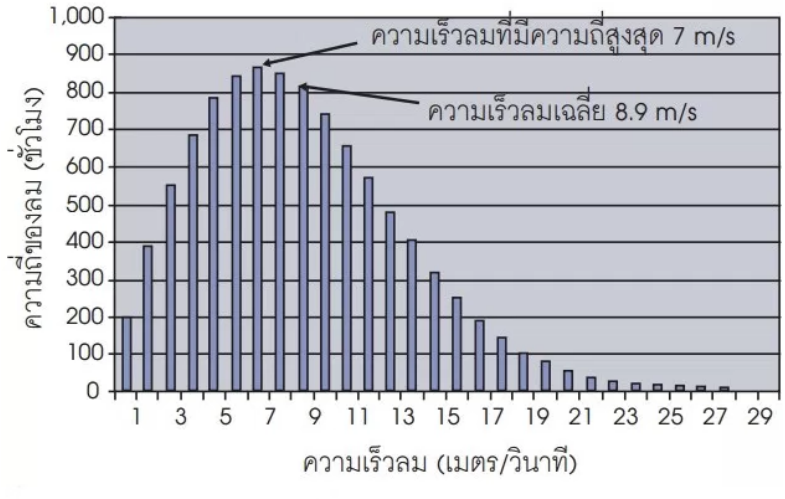
ศักยภาพพลังงานลมเป็นข้อมูลหรือแผนที่ซึ่งบ่งบอกถึงความเร็วลม พลังงานที่มีอยู่ในลมในบริเวณนั้นๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเร็วลม ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย ซึ่งจัดทำโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานลมบ้างค่อนข้างน้อย แม้ว่าพลังงานลมเป็นพลังงานค่อนข้างน้อย แม้ว่าพลังงานลมเป็นพลังงานสะอาด แต่พลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ยังคงต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านอื่นๆประกอบด้วย ยกเว้นในพื้นที่ที่มีลมพัดอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี เนื่องจากการที่ความเร็วของกังหันลมมีความจำเป็นต้องมีไฟฟ้าตอบสนองความต้องการตลอดเวลา คุณค่าของลมสำหรับระบบไฟฟ้าจึงต่ำ ซึ่งความเร็วลมเฉลี่ยภูมิประเทศของประเทศไทย มีความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศอยู่ในระดับปานกลาง - ต่ำ มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4-5 เมตร/วินาที พบว่าลมในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ 1.1-1.4 มีเพียงพื้นที่ทางชายฝั่งทะเลภาคใต้ตอนล่างที่อยู่ Power Class ระดับ 2 ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ศักยภาพความเร็วลมประเทศไทย
ที่มา : http://www.reca.or.th/library-wind-power.aspx

2.1.7 ความถี่ของความเร็วลม [7]

ความเร็วลม คือ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรงหรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก และแรงหรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม ความเร็วลมมีผลกระทบต่อการการพยากรณ์อากาศ เครื่องบิน การเดินทางทางทะเล โครงการก่อสร้าง และการเจริญเติบโตและอัตราการเผาผลาญของพืชหลายชนิด และผลกระทบอื่นๆอีกมากมาย วัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (anemometer) ซึ่งอาจจะมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.7 Wind Speed Frequency Distribution การแจกแจงความถี่ความเร็วลมใน 1 ปี
ที่มา : https://ienergyguru.com/2015/07/พลังงานลม

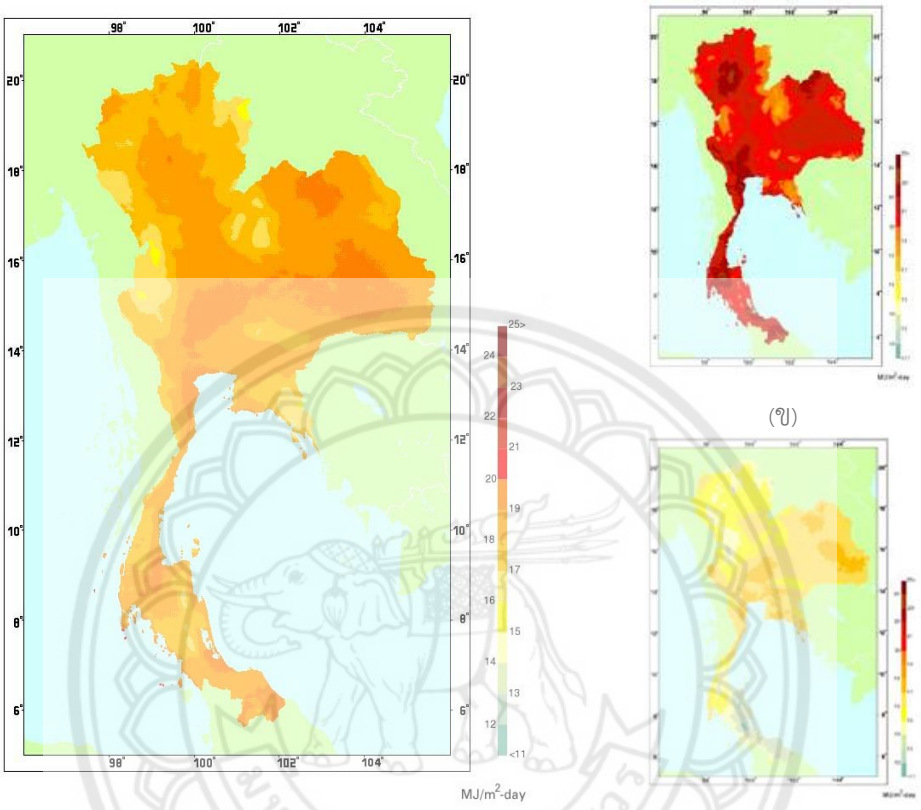
การจัดเรียงลำดับข้อมูลความเร็วลมตามช่วงความเร็วโดยระบุระยะเวลา (ชั่วโมงหรือร้อยละ) ที่เกิดความเร็วลมในแต่ละช่วงความเร็วเป็นการประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานลมของทุ่งกังหันลม ถ้าลมพัดด้วยความเร็วต่างๆโดยความเร็วลมระหว่าง 0 และ 1 เมตรต่อวินาทีนับเป็น 1 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมระหว่าง 1 และ 2 เมตรต่อวินาทีนับเป็น 2 เมตรต่อวินาทีและอื่นๆ

2.2 พลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานซึ่งได้มาฟรีและไม่มีสิ้นสุดการนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ต้องอาศัยแผงโซล่าเซลล์หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาสำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นเซลล์ ก็จะถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดประจุบวกและลบขึ้นในสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำประเภท N จะดึงประจุลบ ส่วนสารกึ่งตัวนำประเภท P จะดึงประจุบวก ทำให้มีการสะสมของประจุที่ขั้วทั้งสองขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมวงจรภายนอก จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือนำไปกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในภายหลังได้

เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดช่วงเดือนเมษายน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22 MJ / m^2 ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ข) และรับรังสีอาทิตย์น้อยสุดช่วงเดือนธันวาคม ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.1 MJ / m^2 ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ค) เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

รายวันเฉลี่ยต่อปีพบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20 MJ/m^2-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m^2-day ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก)



รูปที่ 2.8 (ก) แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี (ข) แผนที่ศักย**ภาพพลังงาน**แสง**อาทิตย์เฉลี่ยเดือนเมษายน** (ค) แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย**เดือนธันวาคม**
ที่มา : http://www.dede.go.th/main.php?filename=index

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์เราจำเป็นต้องทราบการแปรค่าในรอบปีของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ด้วย จึงได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทยจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ใน รูปที่ 2.9 จะเห็นว่าค่ารังสีดวงอาทิตย์แปรค่าในรอบปีอยู่ในระหว่าง 16-22 MJ/m^2-day โดยมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคมและสูงสุดในเดือนเมษายน แล้วลดลงต่ำสุดในเดือนธันวาคม [8]

รูปที่ 2.9 การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ
ที่มา : http://www.spower.co.th/spower-solar.php

พลังงานแสงอาทิตย์ปัจจัยด้านความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ [7]

$$P_S = \eta_S A_S G_\beta \tag{2.5}$$

เมื่อ P_S คือ ศักยภาพเชิงกายภาพ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day)

η_S คือ ค่าประสิทธิภาพของแผง PV

A_S คือ พื้นที่ทั้งหมด ตารางเมตร m^2

G_β คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อวัน

เมื่อ ประสิทธิภาพของ PV

$$\eta_S = \eta_r \eta_{pc} [1 - \beta \times (T_c - T_{ref})] \tag{2.6}$$

เมื่อ η_r คือ ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้งาน

η_{pc} คือ ประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดกำหนดให้เท่ากับ 1

β คือ ค่าสัมประสิทธิของอุณหภูมิ มีค่าอยู่ในช่วง 0.0004-0.0006 ต่อองศาเซลเซียส

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

T_c คือ อุณหภูมิของ cell ประมาณจากอุณหภูมิในอากาศ ($^{\circ}C$) และความเข้มแสง G_β ดังสมการต่อไปนี้

$$T_c = T_a + (\frac{NOCT - 20}{800}) G_\beta \quad (2.7)$$

เมื่อ NOCT คือ ค่าอุณหภูมิของเซลล์ที่อ้างอิงถึงจากการทดสอบที่ความเข้มแสง 800 W / m^2

G_β คือ ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 800 W / m^2 สำหรับความเร็วลมที่ 1 m / s

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}C$)

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่มีวันหมด	1. ความเข้มของพลังงานขาเข้าที่ต่ำ
2. เป็นแหล่งพลังงานสะอาด	2. ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้แปรผันตามสภาพอากาศ
3. ผลิตที่ไหนใช้ที่นั่น	3. ต้องการการออกแบบระบบจัดเก็บที่ดี
4. สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาด	4. ราคาต้นทุนที่สูง

ที่มา : https://www.nstda.or.th/th/sci-kids-menu/3525

2.3 พลังงานรวมและหน่วยที่ผลิตได้ต่อปีของแหล่งพลังงาน

2.3.1 การผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน (E_i)

ของพลังงานทดแทนทั้ง 3 แหล่ง อันประกอบด้วย พลังงานน้ำ พลังงานลม และ พลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยการทำงาน ตามสมการดังนี้

$$E_i = P_i \times CF_i \times TF_i \times hr \quad (2.8)$$

เมื่อ P_i คือ กำลังการผลิตของแหล่งพลังงาน

CF_i คือ อัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน โดยกำหนดให้

$CF_1 = 0.15$ (Solar PV)

$CF_2 = 0.05$ (Wind at 20m.)

$CF_3 = 0.3$ (Hydro power)

TF_i คือ ปัจจัยการทำงานของแหล่งพลังงานใน 12 เดือน (1ปี) โดยกำหนดให้

$TF_1, TF_2 = 1$

$TF_3 = 7/12$ เป็นเดือนที่มีการไหลของน้ำ

hr คือ จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี

2.3.2 หน่วยที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อปี (AEP)

$$AEP_i = P_i \times CF_i \times hr \quad (2.9)$$

เมื่อ AEP_i คือ หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kwh/year)

P_i คือ กำลังที่ติดตั้ง (kW)

CF_i คือ ประสิทธิภาพที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อปี โดยกำหนดให้

$i = 1$ Solar cell

$i = 2$ Wind Turbine

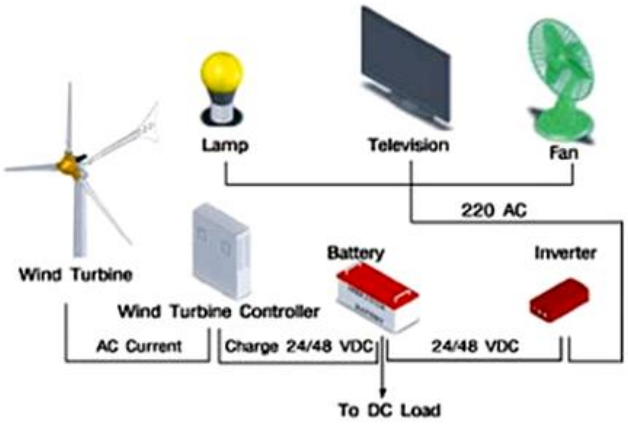
2.4 ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า System Implement

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีส่วนสำคัญอย่างมาก จะต้องมีความเชื่อถือได้ จะต้องประกอบด้วยการรับกระแสไฟฟ้าจาก แหล่งผลิตมีเครือข่ายเชื่อมโยงกันในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

2.4.1 ระบบการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า

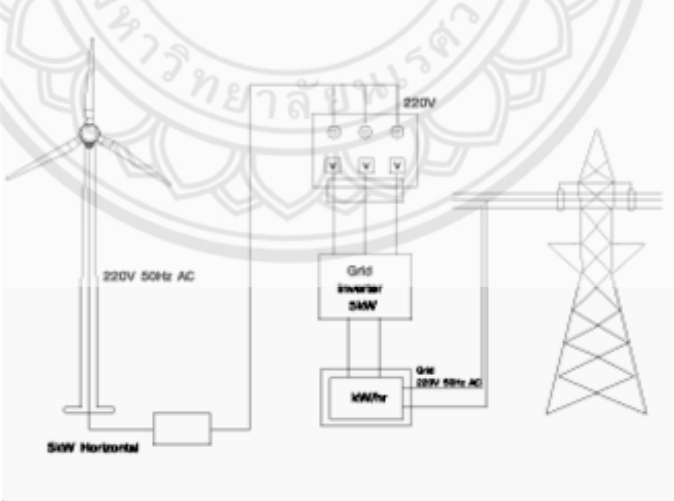
ระบบการติดตั้งกังหันลมสามรถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบการติดตั้งแบบเดี่ยว (Stand Alone System) และระบบการติดตั้งแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (Grid Connected System) [8]

2.4.1.1 ระบบการติดตั้งแบบเดี่ยว (Stand Alone System) ดังแสดงรูปที่ 2.10 เป็นระบบที่ต้องใช้ชุดเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับเป็นที่เก็บพลังงาน (Battery Bank) ซึ่งระบบนี้จะต้องมีการควบคุมการทำงานให้สัมพันธ์กันกับระบบควบการทำงานของกังหันลม (Wind Turbine Controller) เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้เป็นไปตามความเร็วลมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ระบบควบคุมการทำงานของกังหันลมจะต้องมีระบบป้องกันตัวเอง เพื่อป้องกันกังหันลมไม่ให้เกิดความเสียหาย ในกรณีที่ความเร็วลมของกังหันลมมีค่ามากเกินไปกว่าที่ออกแบบไว้ ระบบการติดตั้งแบบนี้เหมาะสำหรับติดตั้งใช้งานในที่พักอาศัย ชุมชนหรือพื้นที่ที่ห่างไกลจากสายส่งหลัก



รูปที่ 2.10 แสดงระบบการติดตั้งใช้งานแบบเดี่ยว
ที่มา : http://www.encos.co.th/articles/details/5

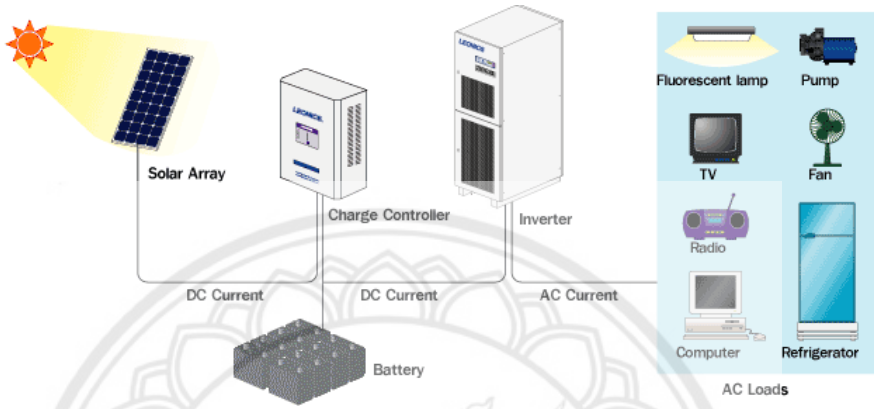
2.4.1.2 ระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง (On grid system) เป็นการติดตั้งใช้งานสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องมีชุดเก็บพลังงานหรือแบตเตอรี่ โดยชุดแปลงไฟฟ้าของระบบนี้ต้องมีระบบควบคุมที่ซับซ้อนและสามารถเชื่อมต่อเข้าระบบสายส่งได้ อีกทั้งชุดแปลงไฟฟ้าของระบบนี้ยังมีหน้าที่สำคัญ ที่จะต้องควบคุมแรงดันหรือความถี่ทางไฟฟ้าให้เหมาะสมและสามารถป้อนกระแสไฟฟ้าขนานกับไฟฟ้าจากสายส่งหลักได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงระบบการติดตั้งใช้งานแบบเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบสายส่ง
ที่มา : http://www.encos.co.th/articles/details/5

2.4.2 ระบบการติดตั้งโซล่าเซลล์ผลิตไฟฟ้า

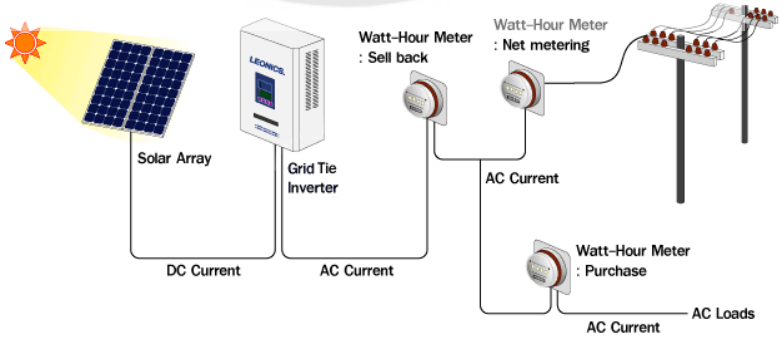
2.4.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ [9] ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 PV Stand alone system

ที่มา : http://www.leonics.com/system/solar_photovoltaic/solar_grid_tie_system/

2.4.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.13

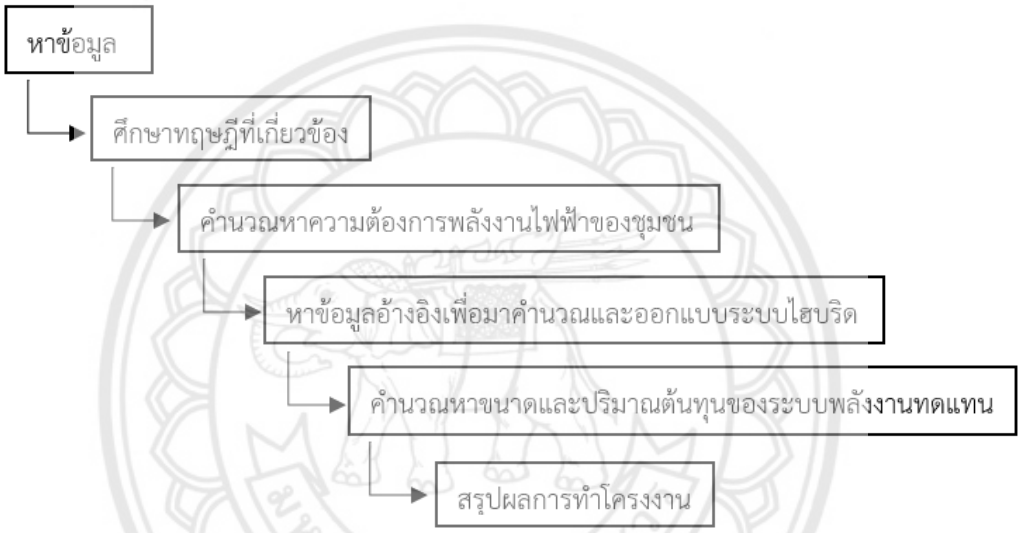


รูปที่ 2.13 PV Grid connected system

ที่มา : http://www.leonics.com/system/solar_photovoltaic/solar_grid_tie_system/

บทที่3
วิธีดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงานตั้งแต่การเริ่มต้นหาข้อมูล การศึกษาระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนระบบต่างๆ และการคำนวณหาความต้องการพลังงานไฟฟ้า รวมถึงการเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาอ้างอิงในการค้นคว้าและออกแบบ เนื่องจากโครงงานนี้ไม่มีการทดลองแต่อย่างใด จึงทำการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังหว่างปี 2011-2013 จากสถานีวัดวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร [11]



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

เป็นการตั้งสมมติฐาน ของการใช้ไฟฟ้าภายในชุมชนชนบทที่ระบบไฟฟ้าเข้าถึงยาก ดังนี้

- บ้านมีทั้งหมด 150 หลังคาเรือน
- ร้านค้าชุมชน 3 ร้าน
- โรงเรียนระดับประถมศึกษา 1 โรงเรียน

ตารางที่ 3.1 การประมาณเครื่องใช้ไฟฟ้าในชุมชน

ประมาณเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน	ประมาณเครื่องใช้ไฟฟ้าในร้านค้า	ประมาณเครื่องใช้ไฟฟ้าในโรงเรียน
พัดลมตั้งพื้น หม้อหุงข้าวขนาดเล็ก ตู้เย็น เครื่องซักผ้า โทรทัศน์สี หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์ คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค	พัดลมตั้งพื้น หม้อหุงข้าวขนาดเล็ก ตู้เย็น เครื่องซักผ้า โทรทัศน์สี หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์ คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค อุปกรณ์ชาร์ตมือถือ ตู้แช่เครื่องดื่ม ตู้แช่ไอศกรีม	พัดลมตั้งโต๊ะสำหรับยาม พัดลม หม้อหุงข้าว เครื่องถ่ายเอกสาร ชุดเครื่องเสียง ตู้เย็น กระติกน้ำร้อน เครื่องปรับอากาศ โทรทัศน์สี หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์ คอมพิวเตอร์ ปั้มน้ำ ตู้แช่เครื่องดื่ม ตู้แช่ไอศกรีม โปรเจคเตอร์ ตู้น้ำเย็น

3.2 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในชุมชน

พลังงานการใช้ไฟฟ้า E_i ซึ่งเกิดจากการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า ตามชั่วโมงการใช้งาน จำนวนชั่วโมงการใช้ไฟฟ้า โดยมีอัตราส่วนระหว่างความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง และอัตราส่วนระหว่างชั่วโมงการใช้ไฟฟ้าต่อ 1 วัน ดังนี้

$$E_{di} = \Sigma\left(P_{di} \times LF_{1,i} \times H_i \times LF_{2,i} \right) \qquad (3.1)$$

เมื่อ E_{di} คือ พลังงานการใช้ไฟฟ้า (kWh)

P_{di} คือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการในและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในเวลานั้น

$LF_{1,i}$ คือ Load factor แสดง % การทำงานในช่วงเวลาการเปิดใช้งาน

H_i คือ ชั่วโมงการทำงาน (hour)

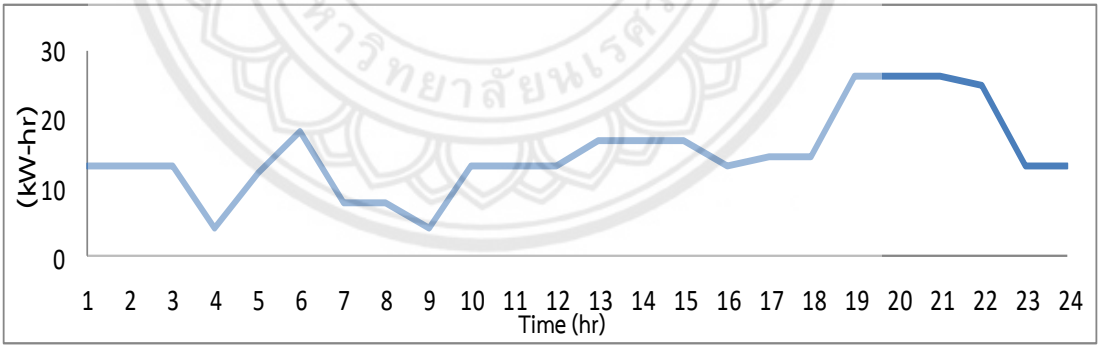
$LF_{2,i}$ คือ Load factor แสดง สัดส่วนเวลาการเปิดใช้งานอุปกรณ์ใน 1 วัน

ตารางที่ 3.2 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของบ้านเรือน

เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้าใช้งาน (วัตต์)	LF1	ชั่วโมงการทำงาน	LF2	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
พัดลมตั้งพื้น	2	40	1	18	0.75	1.080
หม้อหุงข้าวขนาดเล็ก	1	400	0.8	1	0.04	0.013
ตู้เย็น	1	70	0.4	24	1.00	0.672
เครื่องซักผ้า	1	450	1	1	0.04	0.019
โทรทัศน์สี	1	60	1	10	0.42	0.250
หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์	6	36	1	6	0.25	0.324
คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค	1	65	1	3	0.13	0.024
อุปกรณ์ชาร์ตมือถือ	1	10	1	2	0.08	0.002
รวม				65	2.71	2.38

การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านเรือน

- พัดลมมีการใช้งานในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 03.00 น. (มีผู้สูงอายุอยู่บ้าน)
- หม้อหุงข้าวมีการใช้งานในช่วงเช้า หม้อหุงข้าวมีการตัดการทำงานเนื่องจากมีการอุ่น
- ตู้เย็นมีการใช้งานตลอด แต่ตู้เย็นมีการตัดการทำงานเป็นช่วงๆ
- เครื่องซักผ้าจะใช้งานในช่วง 10.00 ถึง 11.00 น.
- โทรทัศน์ใช้งานในช่วงเช้า 3 ชั่วโมง ช่วงกลางวัน 3 ชั่วโมง ช่วงเย็น ใช้งาน 4 ชั่วโมง
- หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์ เปิดการใช้งานในช่วงเช้า 2 ชั่วโมง ตอนเย็น 4 ชั่วโมง
- คอมพิวเตอร์นัตบุ๊ก และอุปกรณ์ชาร์ตมือถือ ใช้งานตอนหัวค่ำ ใช้งาน 2 – 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน 150 หลังคาเรือน

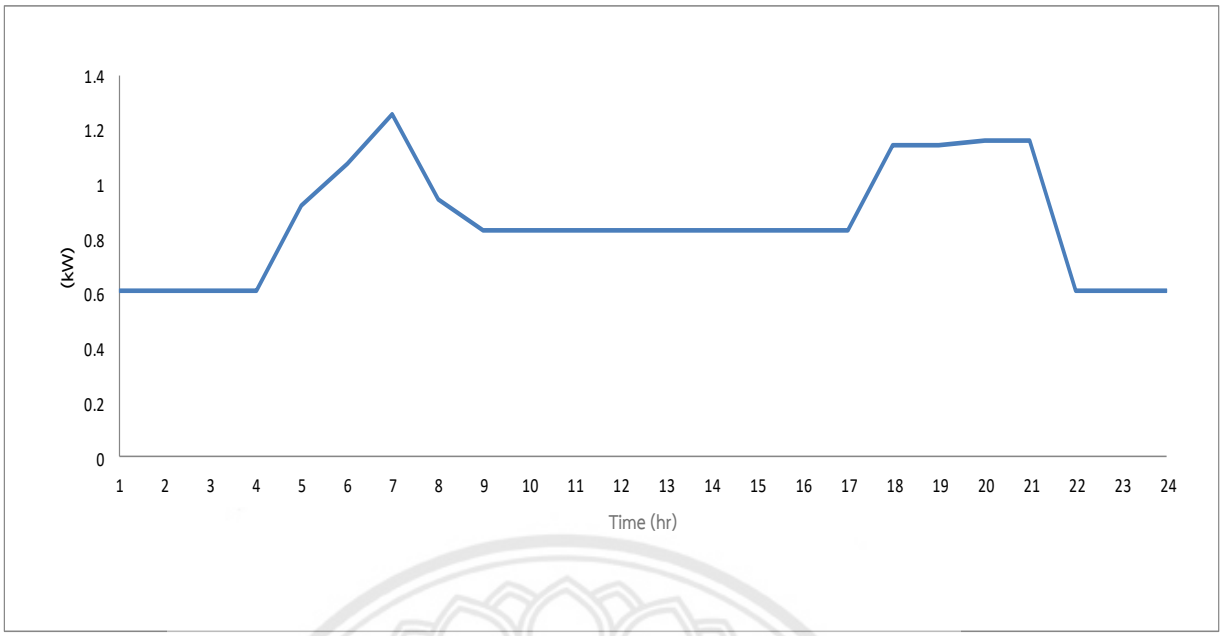
พิจารณารูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงกราฟการใช้ไฟฟ้าในหนึ่งชุมชนที่มีจำนวน 150 หลังคาเรือน การใช้พลังงานไฟฟ้าจะสูงในช่วงเวลา 04.00 น. ถึง 07.00 น. และช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 22.00 น.

ตารางที่ 3.3 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของร้านค้าชุมชน

เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้าใช้งาน (วัตต์)	LF1	ชั่วโมงการทำงาน	LF ชั่วโมงการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
พัดลมตั้งพื้น	1	40	1	22	0.92	0.81
หม้อหุงข้าวขนาดเล็ก	1	400	0.8	1	0.04	0.01
ตู้เย็น	1	70	0.4	24	1.00	0.67
เครื่องซักผ้า	1	450	1	2	0.08	0.08
โทรทัศน์สี	1	60	1	15	0.63	0.56
หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์	10	36	1	7	0.29	0.74
คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค	1	65	1	2	0.08	0.01
อุปกรณ์ชาร์ตมือถือ	1	10	1	1	0.04	0.00
ตู้แช่เครื่องดื่ม	1	200	0.5	24	1.00	2.40
ตู้แช่ไอศกรีม	1	150	0.5	24	1.00	1.80
รวม						7.08

การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในร้านค้า

- พัดลมมีการใช้งานในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 03.00 น. (มีผู้สูงอายุอยู่บ้าน)
- หม้อหุงข้าวมีการใช้งานในช่วงเช้า หม้อหุงข้าวมีการตัดการทำงานเนื่องจากมีการอุ่น
- ลักษณะการใช้ไฟของตู้เย็น ตู้แช่ ตู้ไอศกรีมมีการทำงานตลอด แต่มีการตัดไฟเป็นช่วงๆ
- เครื่องซักผ้าจะใช้งานในช่วง 09.00 น. ถึง 10.00 น.
- โทรทัศน์ใช้งานในช่วงเช้า 3 ชั่วโมง ช่วงกลางวัน 3 ชั่วโมง ช่วงเย็น ใช้งาน 4 ชั่วโมง
- หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์ เปิดการใช้งานในช่วงเช้า 2 ชั่วโมง ตอนเย็น 4 ชั่วโมง
- คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ก และอุปกรณ์ชาร์ตมือถือ ใช้งานตอนหัวค่ำ ใช้งาน 2 – 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าจำนวน 3 ร้าน

พิจารณารูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนมีจำนวน 3 ร้าน โดยแต่ละร้านจะมีการใช้ไฟฟ้าเหมือนกับบ้านเรือนแต่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาเช่น ตู้แช่เครื่องดื่ม ตู้แช่ไอศกรีม เป็นต้น จึงมีการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งวัน กราฟที่ได้มานั้นจะมีค่าสูงสุดในช่วงเช้าและช่วงค่ำเหมือนกับกราฟของบ้านเรือน

ตารางที่ 3.4 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงเรียนระดับประถมศึกษา

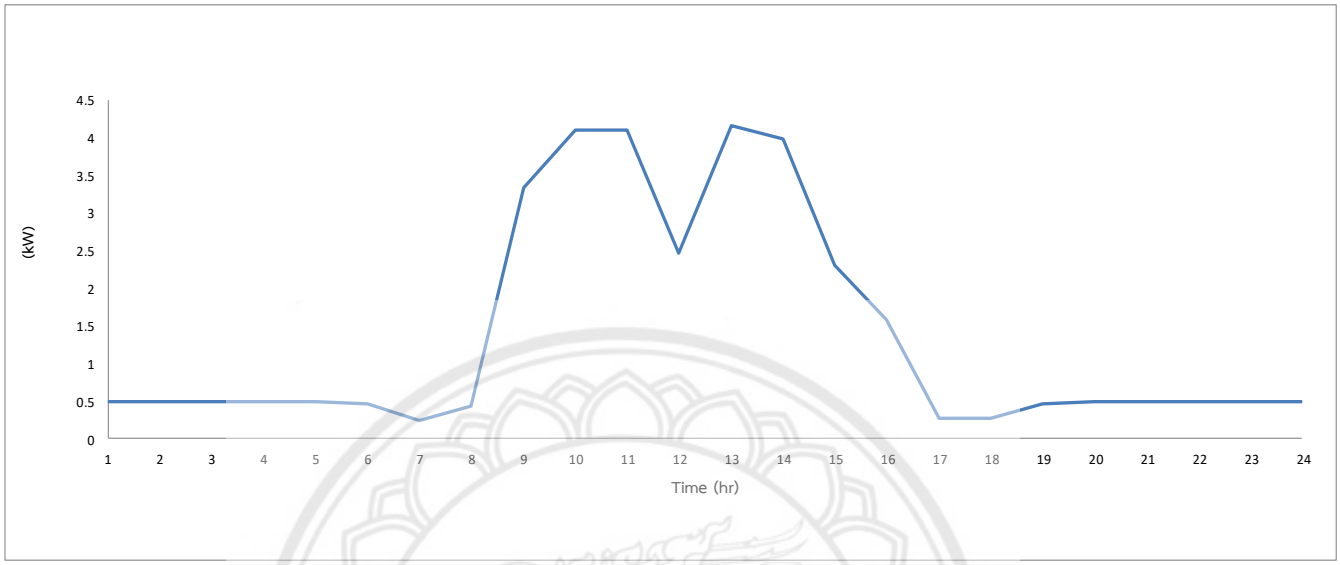
เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้าใช้งาน (วัตต์)	LF1	ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง)	LF ชั่วโมงการทำงาน	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
หลอดไฟสำหรับเปิดตอนกลางคืน	15	30	1	12	0.50	2.70
พัดลมตั้งโต๊ะสำหรับยาม	1	50	1	18	0.75	0.68
พัดลม	15	60	1	8	0.33	2.40
หม้อหุงข้าว	2	600	0.8	3	0.13	0.36
เครื่องถ่ายเอกสาร	1	100	0.2	8	0.33	0.05
ชุดเครื่องเสียง	1	120	1	3	0.13	0.05
ตู้เย็น	2	70	0.4	24	1.00	1.34
กระติกน้ำร้อน	3	1200	0.4	3	0.13	0.54
เครื่องปรับอากาศ	3	1500	0.7	6	0.25	4.73
โทรทัศน์สี	6	60	1	6	0.25	0.54
หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์	60	36	1	6	0.25	3.24
คอมพิวเตอร์	15	350	1	4	0.17	3.50
คอมพิวเตอร์สำหรับครู	10	350	1	7	0.29	7.15
ปั้มน้ำ	1	80	1	2	0.08	0.01
ตู้แช่เครื่องดื่ม	1	200	0.5	24	1.00	2.40
ตู้แช่ไอศกรีม	1	150	0.5	24	1.00	1.80
โปรเจคเตอร์	2	100	1	4	0.17	0.13
ตู้น้ำเย็น	3	150	0.5	7	0.29	0.46
รวม						25.939

ลักษณะของโรงเรียน

- ห้องเรียนมีจำนวน 6 ห้อง
    - พัดลมห้องละ 2 ตัว
    - หลอดไฟห้องละ 6 หลอด
- ห้องพักครู 1 ห้อง
    - มีหลอดไฟ 6 หลอด
    - เครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง

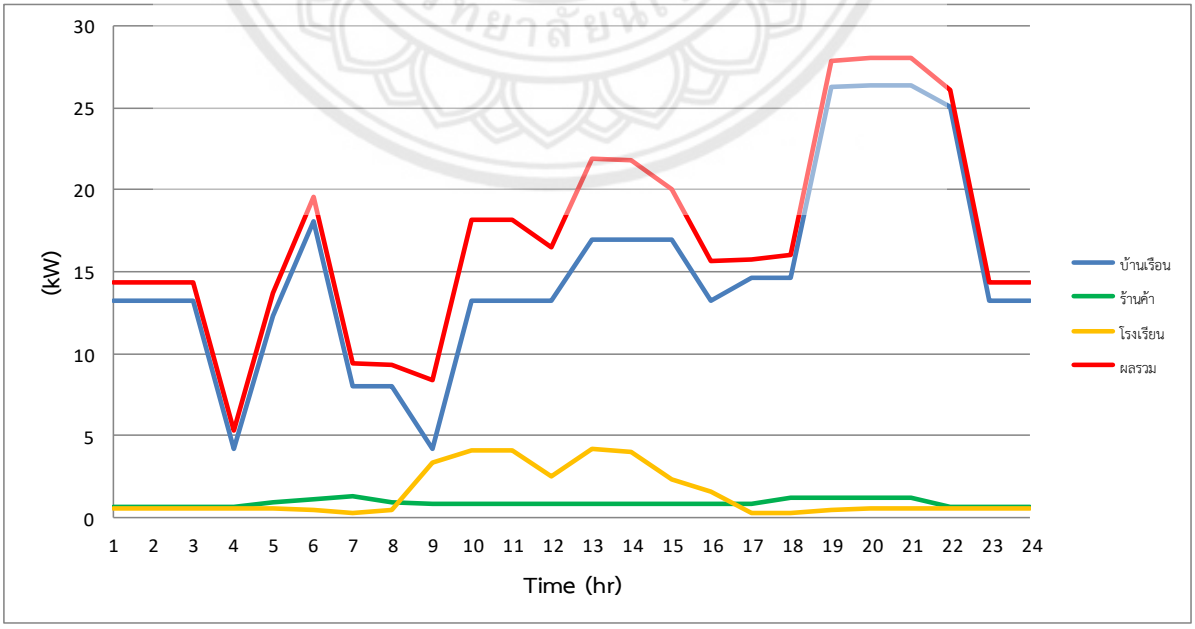
- ห้องพยาบาล 1 ห้อง
    - มีหลอดไฟห้อง 6 หลอด

- ห้องคอม 1 ห้อง
    - มีคอมพิวเตอร์จำนวน 15 เครื่อง
    - เครื่องปรับอากาศ 2 เครื่อง



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าของโรงเรียนประถมศึกษา

พิจารณารูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงการใช้ไฟฟ้าในโรงเรียนประถมศึกษาจะมีการใช้ไฟฟ้าช่วงกลางวันเป็นจำนวนมากตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.00 น. แต่เวลาตอนกลางคืนจะมีการใช้ไฟฟ้าเพียงเล็กน้อย อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าก็คือหลอดไฟที่ใช้ส่องสว่าง และพัดลมสำหรับผู้รักษาความปลอดภัย



รูปที่ 3.5 กราฟรวมแสดงการใช้ไฟฟ้าในชุมชน

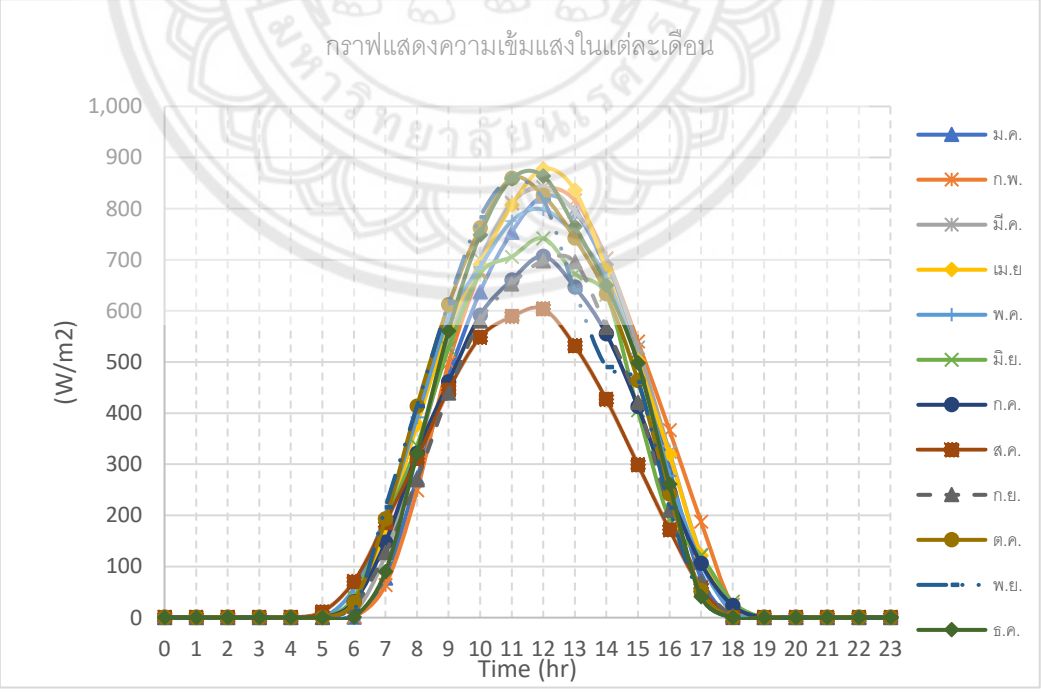
พิจารณารูปที่ 3.5 ซึ่งแสดงเวลาการใช้งานไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้า ซึ่งพบว่ามีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่คล้ายกันจากการออกแบบทำให้กราฟการใช้ไฟฟ้าขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา และจะมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนสูงสุดเมื่อเวลา 18.00 น. ถึง 22.00 น. และพบว่าร้านค้า มีการใช้ไฟฟ้าตลอดเป็นสัดส่วนที่น้อยมาก และการใช้ไฟฟ้าของโรงเรียนจะอยู่ในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น.

3.3 ศักยภาพของแหล่งพลังงาน

ศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการใช้พลังงานทดแทนซึ่งศักยภาพในแต่ละพื้นที่ของแต่ละประเทศอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับที่ตั้งของแหล่งพลังงาน เช่น ที่ตั้งที่มีโอกาสได้รับรังสีของดวงอาทิตย์ที่มาก มรสุมของลมที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ ปริมาณน้ำฝนต่อปีที่แตกต่างกัน จึงต้องมาจำแนกย่อยเพื่อดูศักยภาพของแหล่งพลังงานดังนี้

3.3.1 ศักยภาพของแผงโซล่าเซลล์

ในประเทศไทยมี 3 ฤดู ทำให้ในแต่ฤดูมีค่าของความเข้มแสงแตกต่างกัน เมืองร้อนอย่างประเทศไทยมีค่าความเข้มแสงมากสุดเดือนเมษายน เมื่อถึงฤดูฝนประเทศไทยแทบจะไม่มีแสงแดดช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายนทำให้แผงโซล่าเซลล์ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยการออกแบบจะใช้ข้อมูลจาก วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร [11]

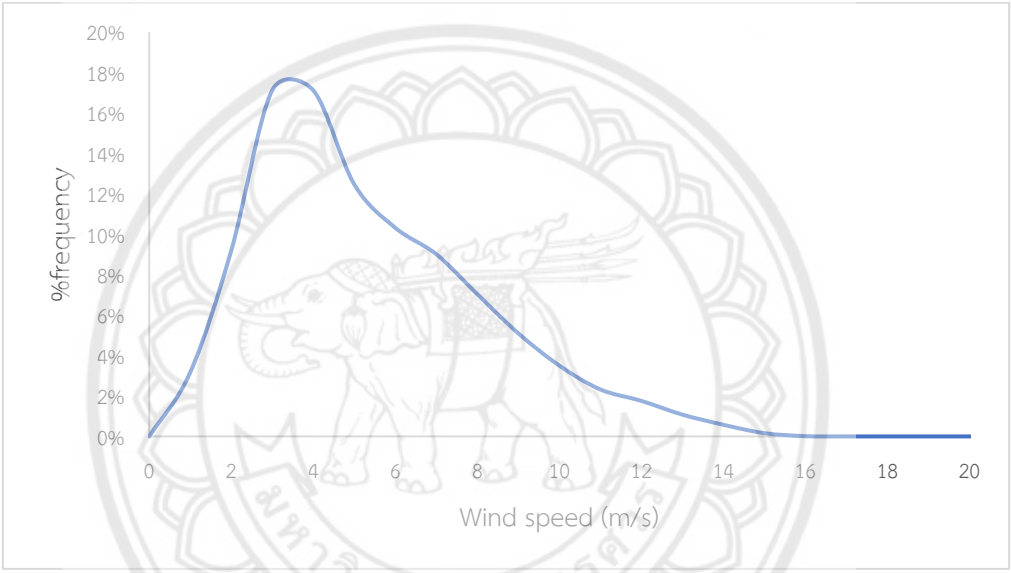


รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มแสง

พิจารณารูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความเข้มแสง ซึ่งพบว่าในแต่ละเดือน ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นที่เวลา 06.00 น. เพิ่มขึ้นสูงสุดที่เวลา 13.00 น. จากนั้นความเข้มแสงจะลดลงเรื่อยๆจนถึงเวลา 19.00 น. จะเห็นว่าความเข้มแสงสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน ความเข้มแสงต่ำสุดอยู่ที่เดือนสิงหาคม

3.3.2 ศักยภาพของกังหันลม

ประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะพัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ จะพัดปกคลุมประเทศไทยประมาณกลางเดือนตุลาคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่ความเร็วลมที่เกิดขึ้น

พิจารณารูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่ของความเร็วลมที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้ความถี่ของกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความถี่ของความเร็วลมที่พบมากที่สุด คือความเร็วลมที่ 4 เมตร/วินาที และลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

3.4 พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน

3.4.1 พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์

พลังงานที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์ขึ้นอยู่กับจำนวนแผงโซล่าเซลล์ทั้งหมด ขนาดของแผงโซล่าเซลล์ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังต่อไปนี้

$$P_S = N_{PV} \times P_{PV} \tag{3.2}$$

เมื่อ P_S คือ กำลังติดตั้ง (kW)

P_{PV} คือ ขนาดของแผงโซล่าเซลล์ (W)

N_{PV} คือ จำนวนของแผงโซล่าเซลล์ที่ติดตั้ง ซึ่งสามารถหาได้จาก สมการดังต่อไปนี้

$$N_{PV} = \frac{\max\left(\left(\frac{E_d}{\sum P_{solar}}\right) \times P_{solar,i}\right) \times 1000}{P_{PV}} \tag{3.3}$$

เมื่อ $\sum P_{solar}$ คือ เท่ากับผลรวมของพลังงานที่แผงโซล่าเซลล์ผลิตได้ต่อตารางเมตร ($\sum P_{Si}$) (kWh/m^2)

$P_{Solar,i}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่แผงโซล่าเซลล์ผลิตได้ในช่วงเวลา (kWh/m^2) ซึ่งหาได้จากสมการ (2.6)

จะได้สมการพลังงานของโซล่าเซลล์ที่สามารถผลิตได้ตามขนาดติดตั้งต่อปี ตามสมการดังนี้

$$E_{PV} = N_{PV} \times P_{PV} \times hr \tag{3.4}$$

เมื่อ E_{PV} คือ พลังงานของโซล่าเซลล์ที่สามารถผลิตได้ตามขนาดติดตั้ง (kWh/year) จากสมการ (2.6)

จะได้สมการพลังงานที่สามารถผลิตได้จริงตามสภาพอากาศ ตามสมการดังนี้

$$E_S = \eta_S \times A_S \times G_\beta \times hr \tag{3.5}$$

เมื่อ E_S คือ พลังงานที่สามารถผลิตได้จริงตามสภาพอากาศ (kWh/year)

η_S คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์

A_S คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์ (m^2)

G_β คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตร

hr คือ จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี

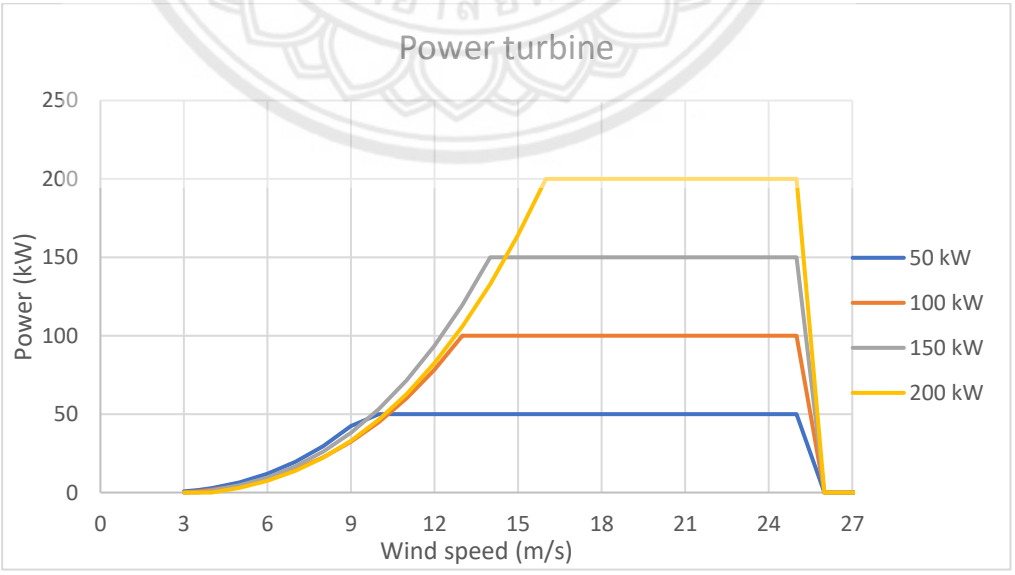
ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อปี ดังสมการต่อไปนี้

$$CF_S = \frac{E_S}{E_{PV}} \tag{3.6}$$

3.4.2 พลังงานไฟฟ้าจากกังหันลม

กำลังไฟฟ้าของลมสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ และนำมาสร้าง Power Curve จากสมการ (2.5)

$$P_T(v) = \begin{cases} 0, < V_{cutin} \\ aV_i^3 - b, \geq V_{cutin} \\ P_{rated}, \leq V_{cutout} \\ 0, > V_{cutout} \end{cases}$$



รูปที่ 3.8 แสดง Power curve ของกังหันลมขนาด 50 100 150 และ 200 kW

พิจารณารูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความเร็วลม เป็นการบ่งบอกถึงกังหันลมขนาดต่าง ๆ จะเริ่มผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมต่างกัน โดยข้อมูลกังหันลมขนาดต่างๆ ระบุดังภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 และสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดโดยขึ้นอยู่ขนาดของกังหันลมที่เลือกใช้

เมื่อ P_T คือ กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้ (kW)

V_i คือ ความเร็วลม (m/s)

$$a = \frac{T_{rate}}{V^3_{rate} - V^3_{cutin}}$$

เมื่อ T_{rate} คือ ขนาดกังหันลมที่ติดตั้ง (kW)

V_{rate} คือ ความเร็วลมที่กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด (m/s)

$V_{cut\ in}$ คือ ความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ (m/s)

$$b = -a(V_{cutin})^3$$

จะได้สมการพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้ใน 1 ปี ตามสมการดังนี้

$$E_W = \sum P_T(v) \times hr \quad (kWh/year) \tag{3.7}$$

ซึ่งผลรวมของกำลังไฟฟ้า ($\sum P_T(v)$) ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่ (V_i = 0,1,2,3,.....i)

ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อปี ดังสมการต่อไปนี้

$$CF_W = \frac{E_W}{P_R \times N_T \times hr} \tag{3.8}$$

เมื่อ P_R คือ กำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งของกังหันลม (kW)

N_T คือ จำนวนกังหันลม

3.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน (Economic and Financial Analysis)

เศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาถึงการจัดสรร การดำเนินงานตามแผนงานและหรือโครงการต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และให้ผลประโยชน์ มีความคุ้มค่า โดยใช้ปัจจัยชี้วัดความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยการเปรียบเทียบต้นทุนการใช้ทรัพยากรและผลประโยชน์ที่ได้รับกลับคืน ซึ่งในโครงงานนี้จะประกอบด้วย

3.5.1 การวิเคราะห์ด้านการลงทุน (Initial Capital Cost)

จะทำการวิเคราะห์หามูลค่าเงินลงทุนของทั้ง โซล่าเซลล์และ กังหันลม โดยจะคิดมูลค่าของอุปกรณ์หลัก คือ อินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ คอนโทลเลอร์ มูลค่าในการติดตั้งขนย้ายอุปกรณ์เช่น สายไฟ การขอมิเตอร์ (balance of system) เป็นต้น

มูลค่าเงินลงทุนทั้งหมดของโซล่าเซลล์และกังหันลม

$$ICC = C_{Pi} + C_{INV} + C_{Batt} + C_{Control} + C_{Bos}$$

เมื่อ ICC คือ มูลค่าเงินลงทุนทั้งหมดของโซล่าเซลล์และกังหันลม

ซึ่งประกอบด้วย C_{Pi} มูลค่าเงินลงทุนซื้อแผงโซล่าเซลล์และกังหันลม

กำหนด Pi = 1 ; Solar cell

Pi = 2 ; Wind turbine

C_{INV} มูลค่าเงินลงทุนซื้ออินเวอร์เตอร์

C_{BATT} มูลค่าเงินลงทุนซื้อแบตเตอรี่สำรองไฟ

C_{Cont} มูลค่าเงินลงทุนซื้อตู้คอนโทล

C_{Bos} มูลค่าขนส่งและติดตั้ง

ซึ่งมูลค่าเงินลงทุนซื้อแผงโซล่าเซลล์และกังหันลม จะสามารถหาได้จากกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ โดยจะขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดติดตั้ง ราคา และจำนวนที่ติดตั้งทั้งหมด ดังสมการดังนี้

$$C_{Pi} = \frac{P_{INV}}{Size_{Pi}} \times cost_{Pi/machine} \times N_{Pi} \qquad (3.9)$$

เมื่อ P_{INV} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก่อนเข้าอินเวอเตอร์

$Size_{Pi}$ คือ ขนาดแผงโซล่าเซลล์และกังหันลมที่ติดตั้ง

$Cost_{Pi/machine}$ คือ ราคาต่อเครื่อง

N_{Pi} คือ จำนวนทั้งหมดที่ต้องการ

ซึ่ง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก่อนเข้าอินเวอเตอร์ ดังสมการดังนี้

$$P_{INV} = \frac{P_i}{\eta_{INV}} \quad (kW) \tag{3.10}$$

เมื่อ P_i คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ (kW)

η_{INV} คือ ประสิทธิภาพของอินเวอเตอร์

$$P_i = Max(P_d) \tag{3.11}$$

เมื่อ $Max(P_d)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่แต่ละแหล่งพลังงานผลิตได้สูงสุด (kW)

ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวนค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโซล่าเซลล์และกังหันลมได้

มูลค่าเงินลงทุนซื้ออินเวอเตอร์ (C_{INV})

$$C_{INV} = \frac{P_{INV}}{Size_{Pi}} \times cost_{INV/1} \times N_{Pi} \tag{3.12}$$

เมื่อ $Size_{Pi}$ คือ ขนาดของอินเวอเตอร์ที่เลือกใช้ (kW)

$Cost_{INV/1}$ คือ ราคาอินเวอเตอร์ / เครื่อง (baht)

N_{Pi} คือ จำนวนอินเวอเตอร์ที่ต้องใช้ทั้งหมด

มูลค่าเงินลงทุนซื้อแบตเตอรี่ที่จะใช้สำหรับสำรองไฟฟ้าได้ n วัน (C_{Batt}) ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ต้องทำการสำรองใน n วัน ขนาดความจุและโวลต์ที่เลือกใช้ ดังสมการ

$$C_{Batt} = \frac{E_d \times Cost_{Batt/1}}{V_{Batt} \times Size_{Batt}} \quad (3.13)$$

เมื่อ E_d คือ พลังงานที่ต้องทำการสำรองใน n วัน (kWh)

V คือ ขนาดแรงดันที่เลือกใช้ 24 Volt

$Cost_{Batt/1}$ คือ ราคาแบตเตอรี่ / ลูก

ซึ่งขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Amp) ที่จะเลือกใช้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Ah_{need} = \frac{E_d}{V_{Batt}} \times 1000 \quad (3.14)$$

มูลค่าเงินลงทุนซื้อตู้คอนโทล (C_{Cont}) ขึ้นอยู่กับขนาดของ (V) แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ก่อนหน้านี้ จากนั้นจึงจะทำการเลือกขนาด Amp ของตู้คอนโทลที่ต้องการ

$$I_{Cont} = \frac{P_{INV}}{V} \quad (3.15)$$

จากนั้นจึงทำการเลือกขนาด amp ที่ต้องการเลือกใช้ (Select Amp) จะทำให้ได้จำนวนตู้คอนโทลที่ต้องการออกมา

$$C_{Cont} = \frac{I_{Cont}}{Size_{Cont}} \times cost_{Cont/1machine} \quad (3.16)$$

มูลค่าขนส่งและติดตั้งระบบ (C_{BOS})

เมื่อ (C_{BOS}) คือ โซล่าเซลล์และกังหันลม 0.5 (บาท/kWh)

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรายปี (Annual expenses)

มูลค่าเงินที่ใช้เป็นค่าจ้างผู้ดูแล ค่าใช้จ่ายด้านค่าซ่อมบำรุง ค่าเช่าพื้นที่ในการดำเนินงาน โดยกำหนดให้

ตารางที่ 3.5 ค่าบำรุงรักษา (O&M) และค่าเช่าพื้นที่ติดตั้ง (LLC)

	ค่าบำรุงรักษา (บาท/kWh)	ค่าเช่าพื้นที่ (บาท/ไร่)
โซล่าเซลล์	0.5	10000
กังหันลม	0.5	10000

ตารางที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนอุปกรณ์ (LRC)

โซล่าเซลล์	**ปี**	**กังหันลม**	**ปี**
Battery เปลี่ยนทุก	4	Battery เปลี่ยนทุก	4
Inverter เปลี่ยนทุก	7	Inverter เปลี่ยนทุก	7
Controller เปลี่ยนทุก	10	Controller เปลี่ยนทุก	10

3.5.3 การวิเคราะห์มูลค่าเมื่อสิ้นสุดโครงการ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) ของกระแสเงินสดสุทธิที่เจ้าของได้รับตลอดอายุของโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นของเงินลงทุนของโครงการ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$NPV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \frac{CF_3}{(1+i)^3} + ... + \frac{CF_n}{(1+i)^n} \qquad (3.17)$$

เมื่อ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

CF_0 คือ กระแสเงินสุทธิเริ่มต้นหรือ ICC (บาท)

CF_n คือ กระแสเงินสุทธิรายปีๆละเท่าๆกัน (บาท/ปี)

i คือ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (%)

n คือ ปีที่ 1,2,3,4.....

โดยมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ผลตอบแทนมีความคุ้มค่าเมื่อ $NPV \geq 0$ และไม่คุ้มเมื่อ $NPV < 0$

3.5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับเงินลงทุนเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายรายปีหรือค่าใช้จ่ายเปลี่ยนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน และพลังงานที่ผลิตได้ใน 1 ปี จากสมการ (3.10) จะได้

$$LICC_i = ICC_i \times (A/P) \tag{3.18}$$

เมื่อ $LICC_i$ คือ กระจายเงินลงทุนเริ่มต้นให้เป็นรายปี (บาท/ปี)

$$(A/P)\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{3.19}$$

เมื่อ i คือ อัตราผลตอบแทน

n คือ จำนวนปี

ค่าใช้จ่ายรายปีและค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ (AOE)

$$AOE_i = O\&M_i + LRC_i + LLC_i \quad \text{(baht/year)} \tag{3.20}$$

เมื่อ $O\&M_i$ คือ ค่าบำรุงรักษารายปี (บาท/ปี)

LRC_i คือ ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ (บาท/ปี)

LLC_i คือ ค่าเช่าพื้นที่ติดตั้ง (บาท/ปี)

ดังนั้นจะได้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ตามสมการดังนี้

$$LCOE = \frac{\sum(LICC_i + AOE_i)}{\sum AEP_i} \quad \text{(baht/kWh)} \tag{3.21}$$

เมื่อ $i = 1$ คือ Solar cell

$i = 2$ คือ Wind Turbine

3.6 แนวคิดในการออกแบบ (Conceptual design)

สำหรับแนวคิดในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด เป็นการนำเอาระบบพลังงานทดแทนจากพลังงานลม และ พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ ให้รองรับกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าของชุมชนที่กำหนดไว้ และสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้สำรองได้ตามวันที่กำหนด โดยทั้งสองระบบที่ออกแบบ จะมีชุดอุปกรณ์หลัก คือ กังหันลม (Wind turbine) และ แผงโซล่าเซลล์ (Solar cell) และชุดอุปกรณ์ที่ประกอบอยู่ในระบบ คือ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge controller) แบตเตอรี่ (Battery) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ซึ่งแต่ละอุปกรณ์จะทำหน้าที่สัมพันธ์กัน ซึ่งรายละเอียดจะแสดงอยู่ในตารางที่ 3.7

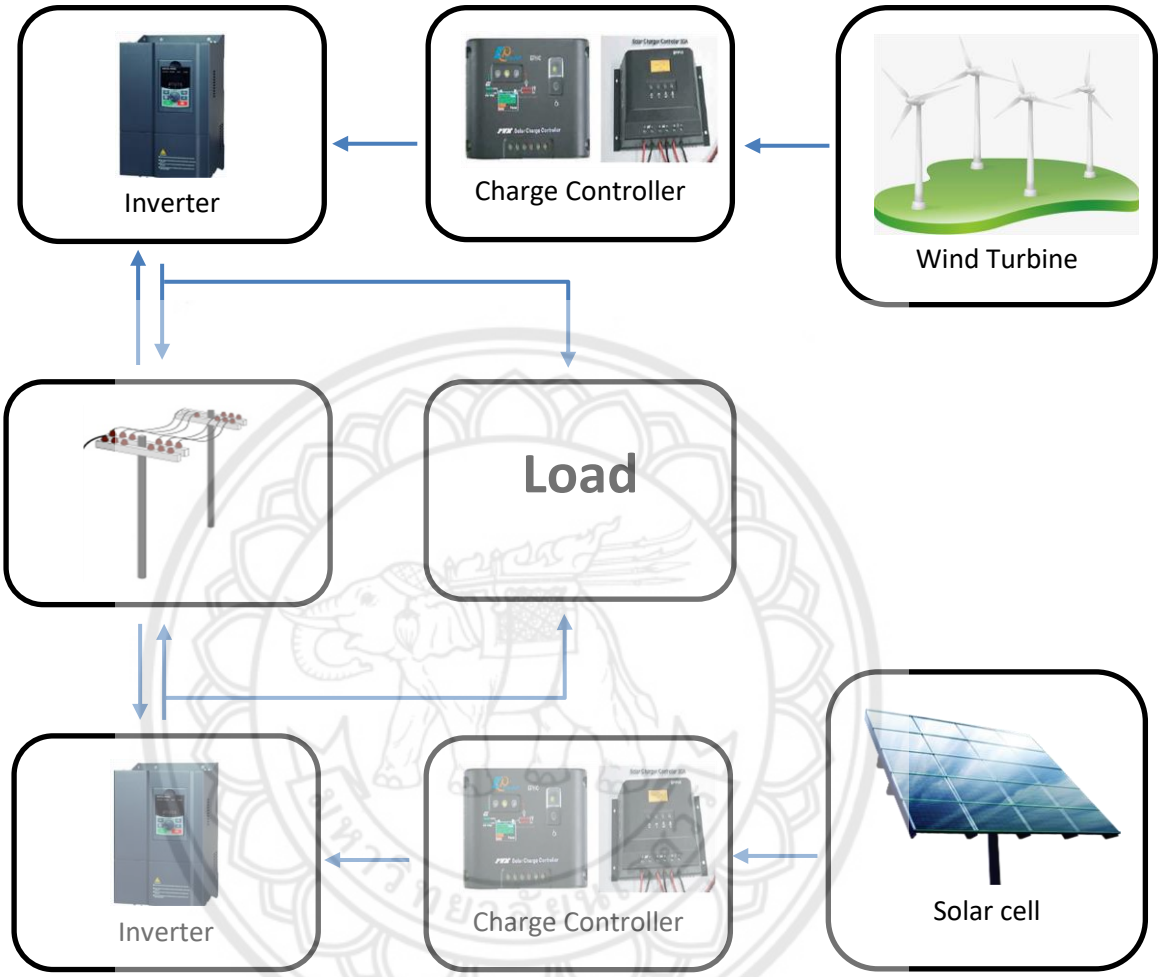
ตารางที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบ

อุปกรณ์	หน้าที่
Charge controller	เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งจะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็ว
แบตเตอรี่ (Battery)	แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้งานโดยจะออกแบบให้สามารถจัดเก็บประจุได้มากๆและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นาน
อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้าน

3.6.1 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ on-grid

การออกแบบระบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ on-grid จะมีความแตกต่างกัลระบบ off-grid โดยจะสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมและแผงโซล่าเซลล์สามารถป้อนเข้าในระบบไฟฟ้าหลักที่ใช้ของชุมชนได้เลย โดยผ่านเครื่องแปลงไฟหรือที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ ไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายชุมชน หากปริมาณผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอ ไฟฟ้าจากภายนอกจะเข้ามาชดเชยในส่วนของไฟฟ้าที่ยังขาดอยู่ เช่น หากระบบผลิตไฟฟ้า

จากแสงอาทิตย์ผลิตได้เพียง 800 วัตต์ และต้องการไฟฟ้าอีก 200 วัตต์ จะมาจากไฟฟ้าของการไฟฟ้า ระบบนี้จะช่วยให้เราจ่ายค่าไฟฟ้าน้อยลง ถัดไป ซึ่งจะแสดงการต่อเป็นไดอะแกรมดังแสดงดัง รูปที่ 3.9

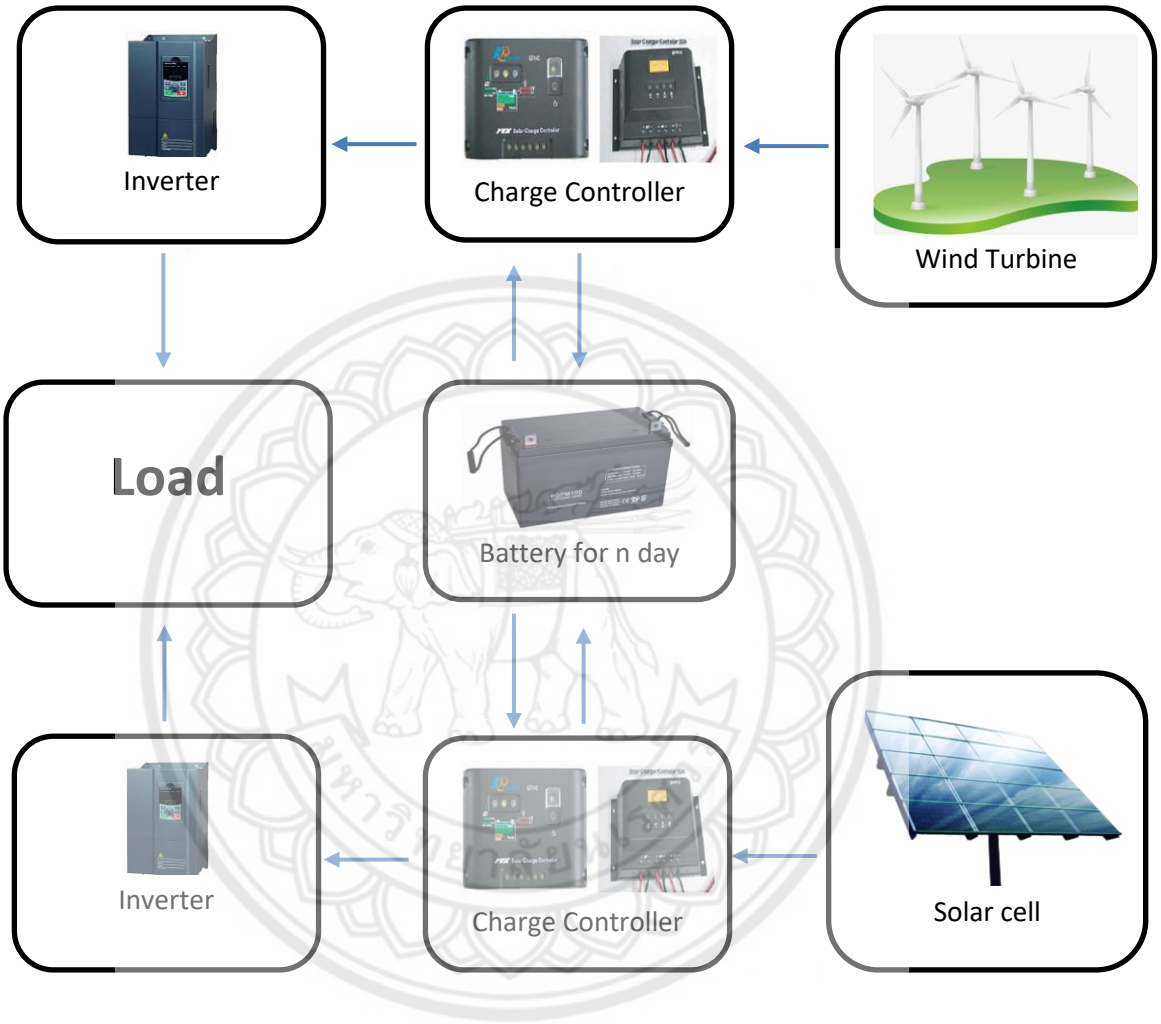


รูปที่ 3.9 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ on-grid

3.6.2 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ off-grid สำรองไฟฟ้า

การออกแบบระบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ off-grid จะมีการต่อชุดอุปกรณ์ของให้เข้ากับระบบก่อนที่จะจ่ายให้กับโหลด ในระบบผลิตไฟฟ้าจาก พลังงานลม และ พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสำรองตามวันที่ต้องการ ระบบนี้จะทำงานจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมและแผงโซล่าเซลล์ ซึ่งสามารถป้อนเข้าในระบบไฟฟ้าหลักที่จะนำไปใช้ โดยผ่านเครื่องแปลงไฟหรือที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ ไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในชุมชน หากปริมาณผลิต

ไฟฟ้าที่ผลิตได้มากกว่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าของชุมชน ก็จะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อสำรองไว้ใช้ในวันถัดไป ซึ่งจะแสดงการต่อเป็นไดอะแกรมดังแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบ off-grid สำรองไฟฟ้า

โดยการออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด จะใช้ระบบ Off-Grid ในการออกแบบ เนื่องจากเป็นการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชนและจะทำการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่เหลือใช้ไว้ในแบตเตอรี่

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

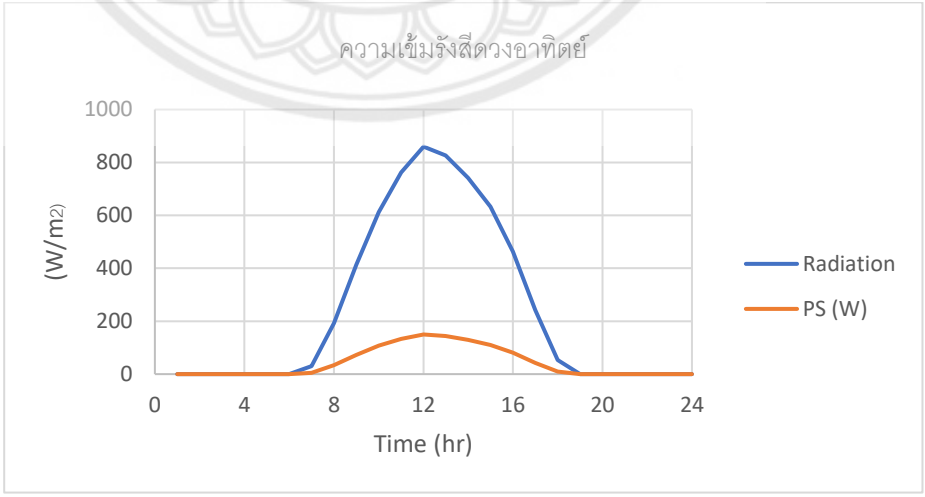
จากการดำเนินการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน แบบไฮบริด ซึ่งจะประกอบด้วย พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานทดแทนจากพลังงานลม โดยการออกแบบติดตั้ง แผงโซล่าเซลล์ และกังหันลม เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้แก่ชุมชนที่อยู่ห่างไกล ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ด้านศักยภาพของแหล่งพลังงาน และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งได้ผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลจากการวิเคราะห์ ศักยภาพของพลังงานทดแทน

การวิเคราะห์และคำนวณหาศักยภาพของแหล่งพลังงาน เป็นกระบวนการเก็บรวมรวบข้อมูลศักยภาพจากแหล่งพลังงานที่จะนำเอามาใช้ [11] ซึ่งชุดข้อมูลที่นำมาใช้จะเป็นข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ปี เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ย ก่อนจะนำมาคำนวณและออกแบบให้เหมาะสมกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุมชนที่ทำการออกแบบ ซึ่งผลจากการคำนวณทางด้านศักยภาพแบ่งได้ ดังนี้

4.1.1 ศักยภาพจากพลังงานแสงอาทิตย์

จากพื้นที่กรณีศึกษาวิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร [11] มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 215 W/m^2 จากการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อรองรับการใช้ไฟฟ้าของชุมชน ซึ่งมีค่าการใช้ไฟฟ้าต่อวันอยู่ที่ 412 kWh โดยออกแบบให้ใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 300 Watt และทำการหาจำนวนแผงทั้งหมดที่ทำการติดตั้ง



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อหนึ่งแผงโซลาเซลล์กับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

พิจารณารูปที่ 4.1 จากข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณพบว่าในเดือนที่มีค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์น้อยที่สุดอยู่ในสิงหาคม ซึ่งศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ต่อตารางเมตร ใน 1 วันอยู่ที่ 0.907 kWh/m^2-day

ตารางที่ 4.1 ศักยภาพกำลังไฟฟ้าที่แผงโซล่าเซลล์ผลิตได้ เพื่อให้รองรับกับความต้องการใช้ไฟฟ้า

1-24	Solar Irra(total titted)(W/m^2)	Ambient Temp(C)	T_C (C)	η_s	P_S (W)	capacity (kWh)
1	0	26.34	26.34	0.18	0	0
2	0	25.94	25.94	0.18	0	0
3	0	25.86	25.86	0.18	0	0
4	0	25.55	25.55	0.18	0	0
5	0	25.45	25.45	0.18	0	0
6	0	25.25	25.25	0.18	0	0
7	13.02	25.21	25.64	0.18	2.30	0.98
8	215.86	26.85	34.14	0.18	38.03	16.16
9	413.87	28.47	42.44	0.18	72.62	30.86
10	615.34	29.91	50.68	0.17	107.52	45.69
11	782.85	31.45	57.87	0.17	136.29	57.92
12	857.76	32.43	61.38	0.17	149.06	63.35
13	817.66	33.07	60.66	0.17	142.15	60.41
14	640.20	32.95	54.56	0.17	111.64	47.45
15	490.01	32.54	49.08	0.17	85.69	36.42
16	460.88	32.60	48.16	0.17	80.63	34.27
17	214.99	31.80	39.05	0.18	37.79	16.06
18	39.77	29.99	31.33	0.18	7.02	2.98
19	0.00	28.79	28.79	0.18	0.00	0.00
20	0	28.20	28.20	0.18	0	0
21	0	27.75	27.75	0.18	0	0
22	0	27.47	27.47	0.18	0	0
23	0	26.91	26.91	0.18	0	0
24	0	26.73	26.73	0.18	0	0
						63.35
					กำลังติดตั้งสูงสุด	65 kW
NOCT (C)	η_r	η_{pc}	β	T_{ref}		216.67
47	0.177	1	0.0005	25	จำนวนแผงที่ติดตั้ง	217 แผง

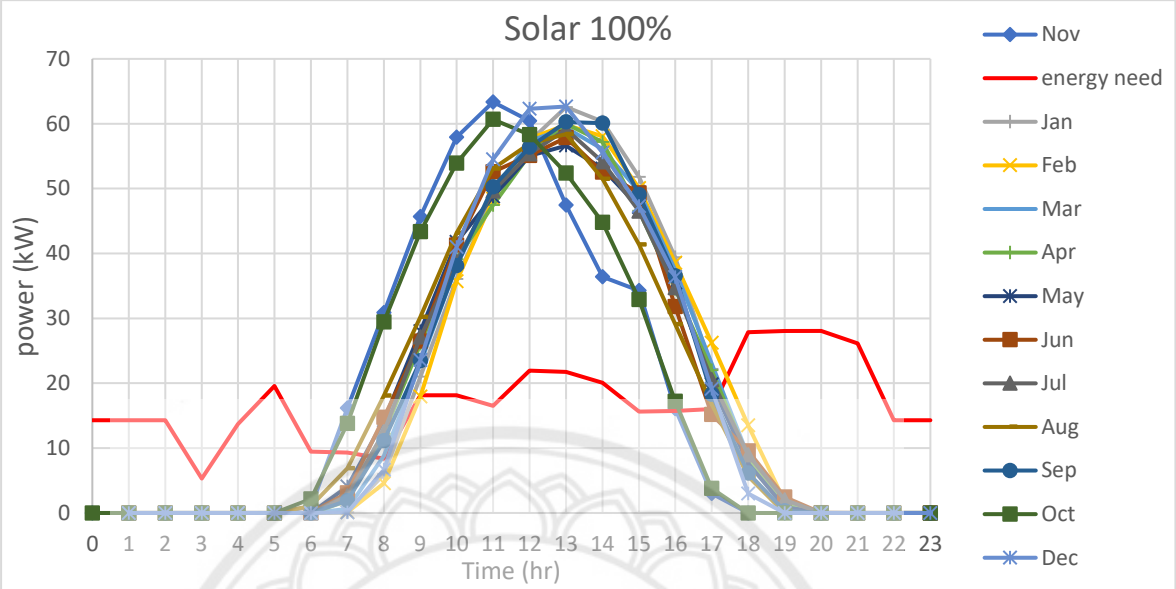
พิจารณาตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อหากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อแผง จะทำการคำนวณหาจำนวนแผงทั้งหมดที่ทำการติดตั้งจากสมการ (3.3) ซึ่งใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 217 แผง และทำให้ทราบค่ากำลังติดตั้งสูงสุดที่จะทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าของชุมชน ดังตารางที่แสดงด้านล่าง

ตารางที่ 4.2 ศักยภาพกำลังติดตั้งสูงสุดในผลิตกระแสไฟฟ้าตามช่วงเวลาเฉลี่ยแต่ละเดือน

Time (hr)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0.00	0	0.04	0.01	1.06	0	0	0	0	
7	0.1	0.1	0.6	1.9	4.1	3.1	2.6	6.9	1.9	2.2	1.0	0.1	
8	6.0	4.6	8.8	12.2	14.3	14.8	12.5	18.1	11.1	13.6	16.2	6.6	
9	21.0	17.9	23.0	26.1	28.0	26.5	27.1	30.2	23.5	30.5	30.9	23.6	
10	36.1	35.7	38.1	39.1	41.8	41.3	38.8	43.2	38.1	43.7	45.7	41.0	
11	48.6	48.4	49.6	47.5	48.8	52.6	49.6	53.1	50.2	51.4	57.9	54.5	
12	57.3	57.7	57.3	55.2	55.0	55.1	55.3	56.9	56.4	59.3	63.4	62.3	
13	62.6	59.8	59.4	60.0	56.6	57.9	59.2	58.4	60.3	64.2	60.4	62.7	
14	60.3	58.1	56.1	57.2	53.1	52.5	54.1	51.5	60.1	57.1	47.4	55.6	
15	51.8	50.1	49.6	46.6	47.2	49.3	46.5	41.4	49.1	42.5	36.4	47.3	
16	39.4	38.6	37.5	34.5	35.5	31.8	34.7	29.1	36.5	28.8	34.3	36.3	
17	22.2	26.3	23.0	22.0	19.8	15.2	20.6	16.7	18.3	16.0	16.1	19.1	
18	5.9	13.5	8.8	8.4	7.6	9.5	9.0	5.7	6.2	3.6	3.0	3.0	
19	0.0	1.8	0.5	1.3	0.9	2.4	2.0	0.0	0.3	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	411	413	412	412	413	412	412	412	412	413	413	412	
capacity	62.57	59.82	59.37	60.01	56.62	57.86	59.15	58.41	60.26	64.16	63.35	62.66	
Max	65	60	60	65	60	60	60	60	65	65	65	65	kW
panel	216.67	200.00	200.00	216.67	200.00	200.00	200.00	200.00	216.67	216.67	216.67	216.67	
	217	200	200	217	200	200	200	200	217	217	217	217	Panel

พิจารณาตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงถึงศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าตามช่วงเวลาในแต่ละเดือน โดยจะสามารถหากำลังที่ติดตั้งสูงสุดในแต่ละเดือน พบว่ากำลังที่ติดตั้งสูงสุดอยู่ที่ 64.16 หรือ 65 kW และนำไปใช้ในการคำนวณขนาดของชุดอุปกรณ์จะนำมาติดตั้งให้แก่ระบบ เช่น จำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่ต้องติดตั้งทั้งสูงสุด ขนาดของอินเวอร์เตอร์ ขนาดของคอนโทลเลอร์ และ ขนาดของแบตเตอรี่ที่สำหรับสำรองไฟ

4.1.2 ศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือน

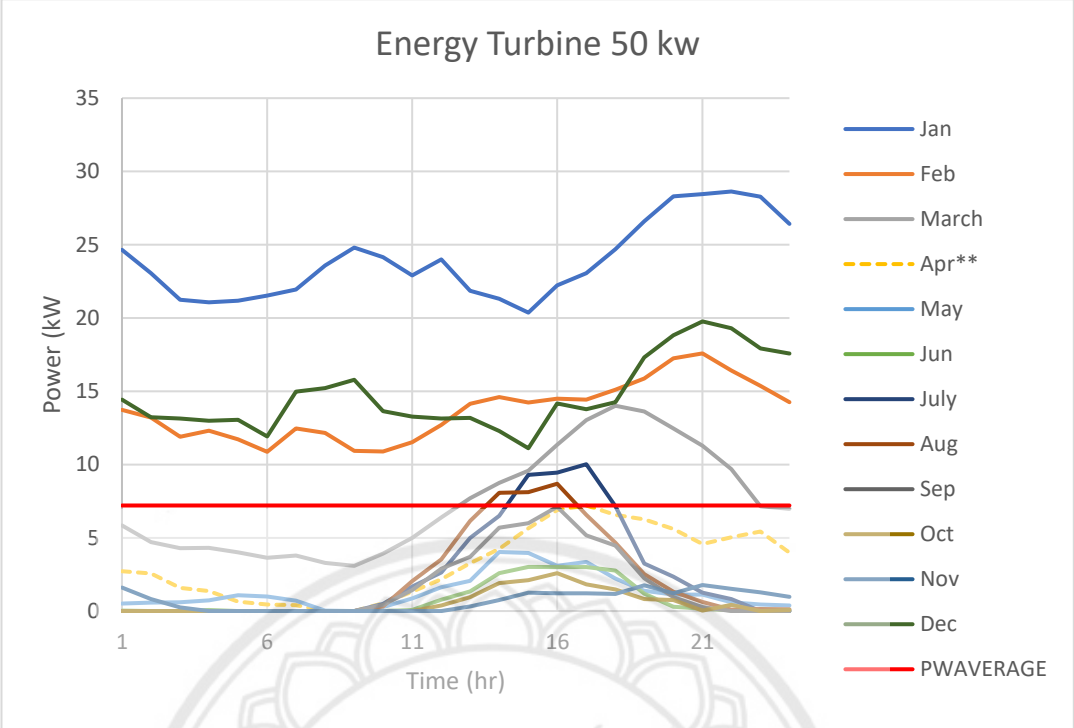


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนของแผงโซล่าเซลล์

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนแล้วพบว่า เดือนที่มีศักยภาพของพลังงานแสดงอาทิตย์น้อยที่สุดคือเดือน ตุลาคม ซึ่งจะเป็นเดือนที่ใช้ในการออกแบบ

4.1.3 ศักยภาพจากพลังงานลม

พื้นที่กรณีศึกษามีค่าความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 4.39 m/s จากการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อรองรับการใช้ไฟฟ้าของชุมชน ซึ่งมีค่าการใช้ไฟฟ้าต่อวันอยู่ที่ 412 kWh โดยเลือกใช้กังหันลมขนาด 50 kW จำนวนทั้งหมด 6 ตัว ในการออกแบบ



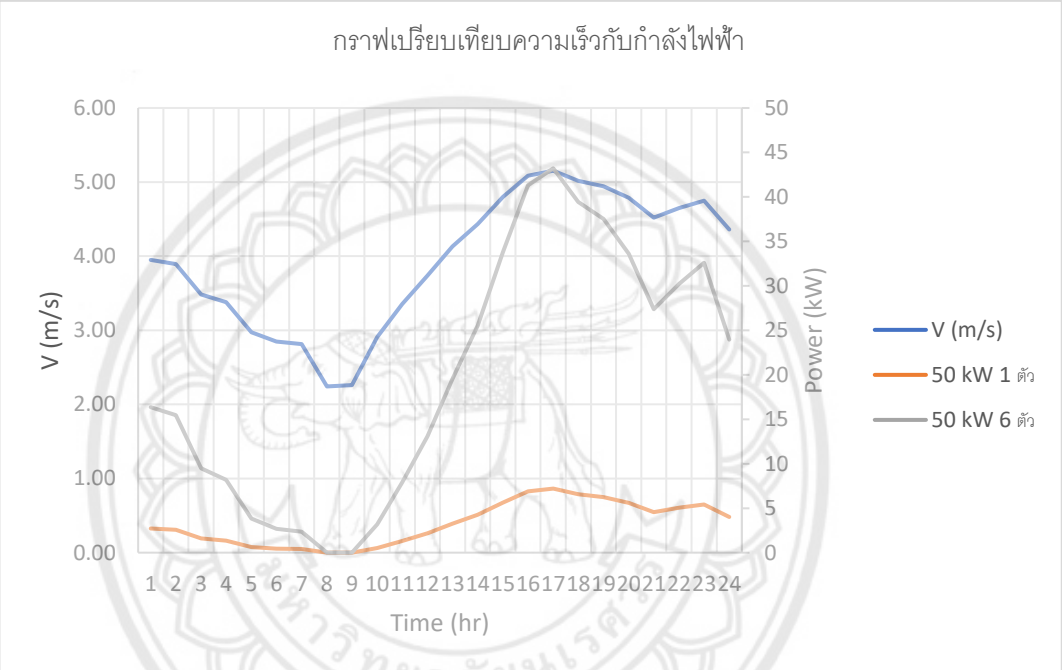
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละเดือน

พิจารณารูปที่ 4.3 พบว่ากังหันลมขนาด 50 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน ผลิตไฟฟ้าได้น้อยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกังหันลม ผลิตไฟฟ้าได้ออกมาในแต่ละเดือนมีค่าแตกต่างกัน โดยจะนำกำลังไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ยรวมเพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกเดือนที่เหมาะสม ดังนั้น พบว่าเดือนเมษายนมีค่ากำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 จำนวนของกังหันที่ใช้ในการออกแบบ

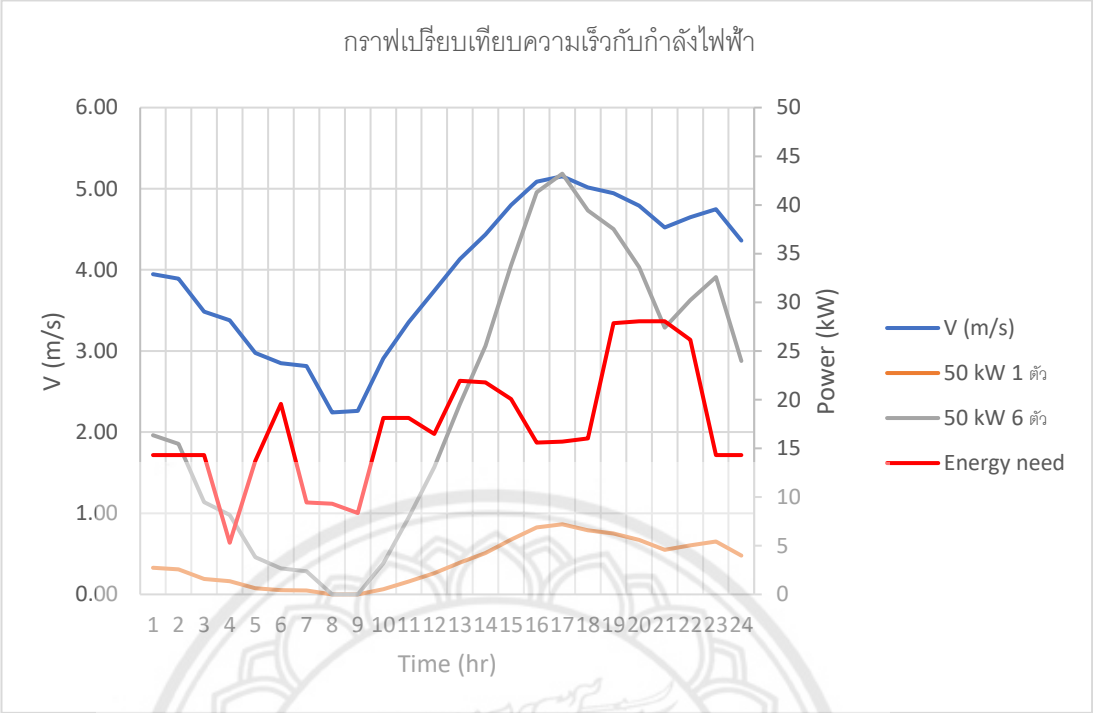
จำนวนกังหันลม (ตัว)	50 kW	100 kW	150 kW	200 kW
Jan	1	1	1	1
Feb	2	2	2	2
March	3	4	4	4
Apr**	6	9	10	10
May	13	30	49	67
Jun	23	44	71	109
July	7	11	11	11
Aug	8	12	13	13
Sep	11	17	19	20
Oct	31	76	226	897
Nov	0	69	1514	0
Dec	2	2	2	2

จากตาราง 4.3 พบว่าจำนวนของกังกันลมในแต่ละเดือนที่ออกแบบขึ้นอยู่กับความเร็วลมของแต่ละเดือน ที่บางเดือนมีลมมากบางเดือนมีลมน้อยถ้าเลือกเดือนที่มีลมมากจะใช้กังหันลมจำนวนน้อยเพราะสามารถผลิตไฟฟ้าเพียงพอแก่ชุมชน ถ้าเลือกเดือนที่มีลมน้อยใช้กังหันลมหลายต้นจึงจะสามารถผลิตไฟฟ้าเพียงพอ ดังนั้นจึงเลือกเดือนเมษายนเป็นเดือนที่ใช้ในการออกแบบ ที่กังหันลมขนาด 50 kW 6 ตัว แต่ถ้าเลือกกังหันลมขนาด 100 kW 150 kW และ 200 kW จำนวนของกังหันลมมากว่าเป็นผลมาจากความเร็วลมต่ำกว่า (Cut in)



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลมเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

พิจารณารูปที่ 4.4 จากการออกแบบในรูปที่ 4.3 ซึ่งใช้ความเร็วลมในเดือนเมษายน จึงทำการเลือกจำนวนของกังหันลมให้เหมาะสมกับพลังงานที่ต้องการใช้



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วลมเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

พิจารณารูปที่ 4.5 ศักยภาพของพลังงานลมที่ได้นั้น ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในแต่ละเดือน ซึ่งในที่นี้เลือกเดือนที่ใช้ในการออกแบบคือเดือนเมษายน เพราะว่ามีความเร็วลมใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความเร็วลมทั้งปี จึงนำมาออกแบบกังหันลมขนาด 50 kW ที่เหมาะสมกับความเร็วลมในเดือนนี้ โดยกังหันลมขนาด 50 kW จำนวน 1 ต้น ผลิตไฟฟ้าได้มากสุด 7 kW ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน ดังนั้น กังหันลมขนาด 50 kW จำนวน 6 ตัว สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการ

4.2 ผลจากวิเคราะห์และการออกแบบโรงไฟฟ้าของแหล่งพลังงาน

เป็นการออกแบบในส่วนของพื้นที่ที่ใช้สำหรับติดตั้งโรงไฟฟ้า ชุดอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แบตเตอรี่ อินเวอเตอร์ ตู้คอนโทรล จำนวนและขนาดที่ติดตั้งของแหล่งพลังงาน รวมไปถึงค่าใช้จ่ายของพื้นที่และชุดอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้ง

4.2.1 การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

หาพื้นที่ติดตั้ง		
PV Solar	กว้าง	ยาว
	0.99	1.95
ขนาดแผง (m^2)	1.93	
ละติจูด พื้นที่ติดตั้ง	17	
จำนวนแผงที่ใช้	217	panel
Battery (Amp)	200	
control (Amp)	600	
Inverter	60%	

ระยะในแนวราบ	1.85	m
ความสูงของแผง	0.59	m
ระยะห่างของแถวน้อยสุด	0.40	m

Battery		
ยาว	0.502	
กว้าง	0.278	
1 ก้อน	0.14	m2
86.00	12.00	m2

PV Solar		
จำนวนแผงใน1แถว	จำนวนแถว	ระยะห่างด้านข้าง (m)
36	6.0	2

พื้นที่ 1 แถว	ยาว	กว้าง
	43.02	17.13

พื้นที่แผง PV	737.00	m2
พื้นที่ Battery	12.00	m2
พื้นที่ Control	12.00	m2
พื้นที่ Inverter	12.00	m2

ต้องใช้พื้นที่ทั้งหมด	773	m2
	800	m2
	2	งาน
	0.5	ไร่
ใช้พื้นที่ติดตั้ง Solar PV จำนวน 0.5 ไร่		

จากตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยพื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ พื้นที่ติดตั้งของอินเวอเตอร์ พื้นที่ติดตั้งของ Charge control และพื้นที่ติดตั้งของแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.5 แสดงการหาจำนวนแบตเตอรี่และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Battery for 1 day	412.00	kWh need		24	V
	17167	Ah need		200	Ah
	85.83	Batt need		5,100	Baht
	86.0	Batt need		438,600	Baht

จากตารางที่ 4.5 แสดงการหาขนาดของแบตเตอรี่โดยใช้ขนาด 200 Ah จำนวน 86 ก้อน ราคารวมทั้งหมดของแบตเตอรี่ 438,600 บาท

ตารางที่ 4.6 แสดงการหาจำนวนอินเวอเตอร์และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Inverter input		60%			
MAX	65	kW		20000	W
	65000	W		129,000	Baht
	108333.3	W		774,000	Baht
	6.0	piece			

จากตารางที่ 4.6 แสดงการหาขนาดของอินเวอเตอรี่โดยใช้ขนาด 20,000 W จำนวน 6 ตัว ราคารวมทั้งหมดของอินเวอเตอร์ 774,000 บาท

ตารางที่ 4.7 แสดงการหาจำนวน Charge control และราคาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Charge Control	4513.9	amp		24	V
	8.0	piece		600	Amp
	4.47	kWh/m2/day		50,000	Baht
	4.47	hr/day		**400,000**	Baht

จากตารางที่ 4.7 แสดงการหาขนาดของ Charge control โดยใช้ขนาด 600 Amp จำนวน 8 ตัว ราคารวมทั้งหมดของ Charge control 400,000 บาท

ตารางที่ 4.8 แสดงการหาจำนวนแผงโซล่าเซลล์และราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

PV	300	W/panel		300	W
	1.34	kWh/day/1 panel		8,900	Baht
	216.67	panel			
	217.0	panel		**1,931,300**	Baht

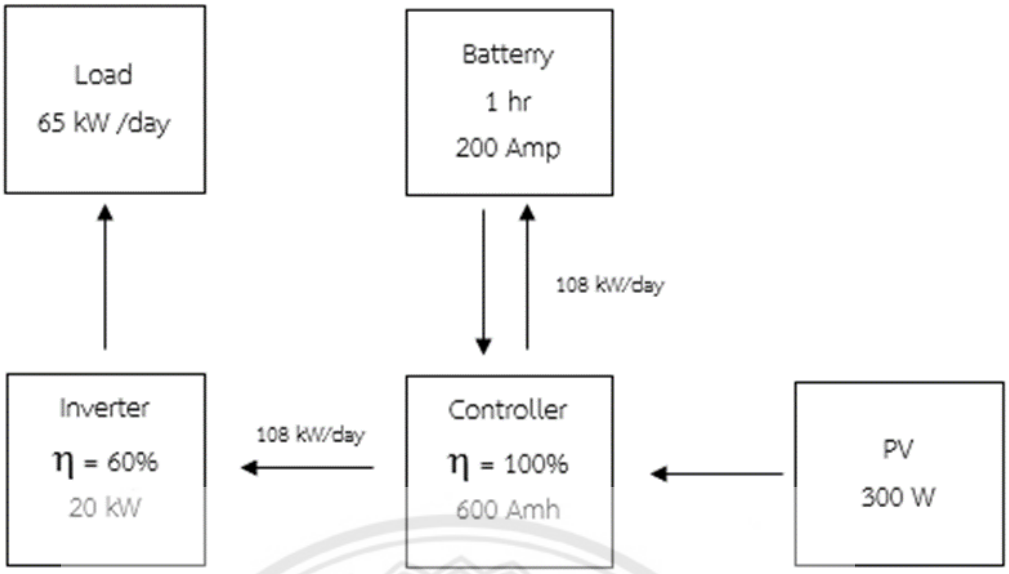
จากตารางที่ 4.8 แสดงการหาขนาดของแผงโซล่าเซลล์ โดยใช้ขนาด 300 W จำนวน 217 แผง ราคารวมทั้งหมดของแผงโซล่า 1,931,300 บาท

ตารางที่ 4.9 แสดงมูลค่าในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ราคาอุปกรณ์ ที่ติดตั้ง				3,543,900	Baht
ติดตั้งและขนส่ง 20%				708,780	Baht
รวมลงทุนในครั้งแรก				4,252,680	Baht
ราคาต่อ kW				65,426	Baht/ kW

จากตารางที่ 4.9 แสดงการหาราคาอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าติดตั้ง ค่าขนส่งและเงินลงทุนครั้งแรก

จากการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถสร้าง Diagram การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วย แผงโซล่าเซลล์ขนาด 300 วัตต์ ที่ผลิตไฟฟ้าได้ สามารถนำไฟฟ้าออกมาใช้โดยผ่าน Charge control 600 Amh และยังสามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตเหลือไปสำรองที่แบตเตอรี่ขนาด 200 Amp ได้ ผ่านอินเวอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ 60% ขนาด 20 kW แล้วถึงจะนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.2.2 การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานลม

ตารางที่ 4.10 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลม

หาพื้นที่ติดตั้ง		
Battery (Amp)	200	
control (Amp)	50	
Inverter	60%	

พื้นที่ Wind	5400	m^2
พื้นที่ Battery	12.43	m^2
พื้นที่ Control	12.43	m^2
พื้นที่ Inverter	12.43	m^3

Battery		
ยาว	0.52	m
กว้าง	0.28	m
1 ก้อน	0.14	m^2
86.00	12.43	m^2

ต้องใช้พื้นที่ทั้งหมด	5437.3	m^2
	5600	m^2
	14	งาน
	3.5	ไร่
ใช้พื้นที่ติดตั้ง wind turbine จำนวน 3.5 ไร่		

จากตารางที่ 4.10 แสดงการคำนวณหาพื้นที่ติดตั้งของโรงไฟฟ้ากังหันลม ประกอบด้วยพื้นที่ติดตั้งกังหันลม พื้นที่ติดตั้งของอินเวอเตอร์ พื้นที่ติดตั้งของ Charge control และ พื้นที่ติดตั้งของแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.11 แสดงการหาจำนวนแบตเตอรี่และราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานลม

Battery for 1 day	411.27	kWh need		24	V
	17136	Ah need		200	Ah
	85.68	Batt need		5,100	Baht
	86.00	Batt need		**438,600**	Baht

จากตารางที่ 4.11 แสดงการหาขนาดของแบตเตอรี่โดยใช้ขนาด 200 Ah จำนวน 86 ก้อน ราคารวมทั้งหมดของแบตเตอรี่ 438,600 บาท

ตารางที่ 4.12 แสดงการหาจำนวนอินเวอเตอร์และราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานลม

Inverter input		60%			
MAX	7.20	kW		20000	W
	43213	W		129,000	Baht
	72021.0	W		**516,000**	Baht
	4.0	piece			

จากตารางที่ 4.12 แสดงการหาขนาดของอินเวอเตอร์โดยใช้ขนาด 20,000 W จำนวน 4 ตัว ราคารวมทั้งหมดของอินเวอเตอร์ 516,000 บาท

ตารางที่ 4.13 แสดงการหาจำนวน Charge control และราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานลม

Charge Control	1800.5	amp		24	V
	4.0	piece		500	Amp
				42,000	Baht
				168,000	Baht

จากตารางที่ 4.13 แสดงการหาขนาดของ Charge control โดยใช้ขนาด 500 Amp จำนวน 4 ตัว ราคารวมทั้งหมดของ Charge control 168,000 บาท

ตารางที่ 4.14 แสดงการหาจำนวนกังหันลมและราคาติดตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานลม

Wind	50	kW		50	kW
	6.00	panel		3,068,899	Baht
	6.00	panel		**18,413,392**	Baht

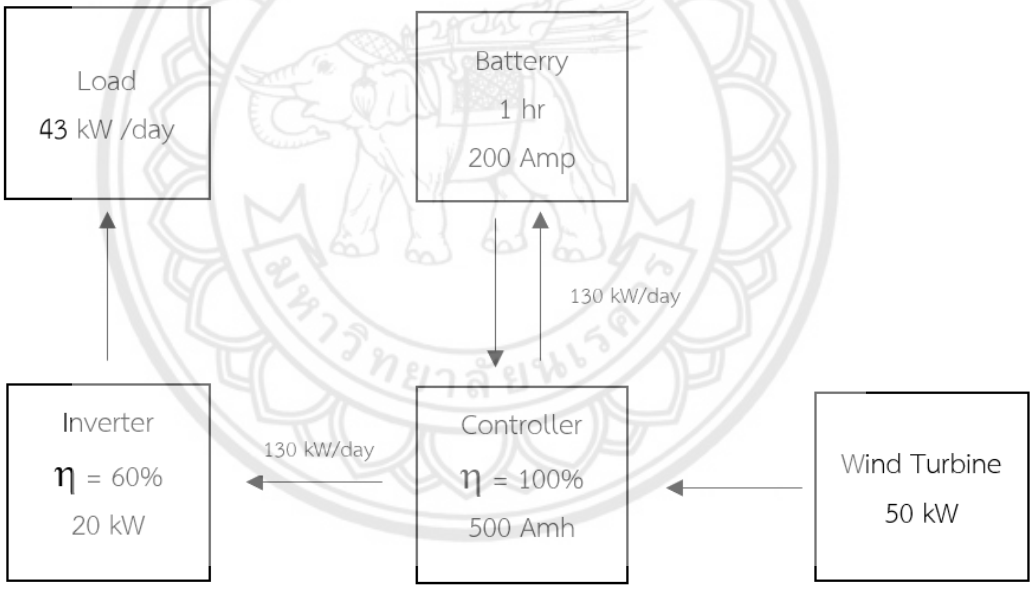
จากตารางที่ 4.14 แสดงการหาขนาดของกังหันลม โดยใช้ขนาด 50 kW จำนวน 6 ตัว ราคารวมทั้งหมดของกังหันลม 18,413,392 บาท

ตารางที่ 4.15 แสดงมูลค่าในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานลม

ราคาอุปกรณ์ ที่ติดตั้ง			23,443,191	Baht
ติดตั้งและขนส่ง 20%			4,688,638	Baht
รวมลงทุนในครั้งแรก			28,131,829	Baht
ราคาต่อ kW			3,906,058	Baht/ kW

จากตารางที่ 4.15 แสดงการหาราคาอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลม ค่าติดตั้ง ค่าขนส่งและเงินลงทุนครั้งแรก

จากการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานลม สามารถสร้าง Diagram การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานลมใช้กังหันลมขนาด 50 กิโลวัตต์ ที่ผลิตไฟฟ้าออกมาสามารถนำไฟฟ้ามาใช้โดยผ่าน Charge control ขนาด 500 Amh และยังสามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตเหลือไปสำรองที่แบตเตอรี่ขนาด 200 Amp ได้ ผ่านอินเวอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ 60% ขนาด 20 kW แล้วถึงจะนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานลม

4.3 ผลจากการวิเคราะห์ทางด้านความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์มูลค่าผลตอบแทนที่ได้รับทั้งทางด้านการลงทุน กระแสเงินสดรายปี กระแสเงินสดเมื่อสิ้นสุดระยะโครงการ และระยะเวลาในการคืนทุน ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และโรงไฟฟ้าพลังงานลม

4.3.1 วิเคราะห์ทางด้านความคุ้มทุนโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

energy need	412	kWh/day
efficiency	1	
solar hour	4	hr/day
	365	day/year
energy need	150,380	kWh/year
FIT	5.86	baht/kWh
revenue	881,227	baht/year
ICC	4,252,680	baht
payback	5	year
IRR	14	
NPV	1,072,879	
discount	10%	

method 1	ICC	O&M	LRC
i	10%	10%	10%
n	25	25	25
FCR	0.11017	0.11017	0.11017
ICC	4,252,680	727,888	1,768,376
ICCxFCR	468,510	80,190	194,819
Total ICC			743,518
energy need			150,380
COE			4.94
CF			0.26

ตารางที่ 4.16 แสดงการคำนวณหามูลค่า ตลอดระยะเวลาโครงการของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

พิจารณาตารางที่ 4.16 แสดงเกี่ยวกับเงินลงทุนเริ่มต้น รายได้ ค่าใช้จ่ายต่อปี กระแสเงินสด ระยะเวลาในการคืนทุน มูลค่าพลังงาน ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจในการลงทุนของโครงการนี้ พบว่า

- เงินลงทุนเริ่มต้น (ICC) 4,252,680 บาท
- รายได้ (Revenue) 881,227 บาทต่อปี
- ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (COE) 4.94 บาทต่อkWh
- ระยะเวลาที่จะได้ทุนคืนประมาณ (Pay back) 5 ปี
- อัตราผลตอบแทนคิดเป็น (IRR) 14 %
- กระแสเงินสดสุทธิ (NPV) 1,072,879 บาท

ตารางที่ 4.17 แสดงกระแสเงินสดของการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

year	revenue	O&M	LRC		profit	PV
0	-4,252,680	-705,195	-1,768,376	0	-4,252,680	-4,252,680
1	881,227	77,690	0	194,819	608,718	553,380
2	881,227	77,690	0	194,819	803,537	664,080
3	881,227	77,690	0	194,819	803,537	603,709
4	881,227	77,690	438,600	194,819	364,937	249,257
5	881,227	77,690	0	194,819	803,537	498,933
6	881,227	77,690	0	194,819	803,537	453,576
7	881,227	77,690	774,000	194,819	29,537	15,157
8	881,227	77,690	438,600	194,819	364,937	170,246
9	881,227	77,690	0	194,819	803,537	340,778
10	881,227	77,690	400,000	194,819	403,537	155,581
11	881,227	77,690	0	194,819	803,537	281,635
12	881,227	77,690	438,600	194,819	364,937	116,280
13	881,227	77,690	0	194,819	803,537	232,756
14	881,227	77,690	774,000	194,819	29,537	7,778
15	881,227	77,690	0	194,819	803,537	192,360
16	881,227	77,690	438,600	194,819	364,937	79,421
17	881,227	77,690	0	194,819	803,537	158,975
18	881,227	77,690	0	194,819	803,537	144,523
19	881,227	77,690	0	194,819	803,537	131,385
20	881,227	77,690	838,600	194,819	-35,063	-5,212
21	881,227	77,690	774,000	194,819	29,537	3,991
22	881,227	77,690	0	194,819	803,537	98,711
23	881,227	77,690	0	194,819	803,537	89,738
24	881,227	77,690	438,600	194,819	364,937	37,050
25	881,227	77,690	0	194,819	803,537	74,163
					9,887,321	1,095,572

- กระแสเงินสดรายปี
  - ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุง (O&M) 77,690 บาทต่อปี
  - ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์
    - แบตเตอรี่เปลี่ยนทุก 4 ปี 438,600 บาท
    - อินเวอเตอร์เปลี่ยนทุก 7 ปี 774,000 บาท
    - ตู้คอนโทรลเปลี่ยนทุก 10 ปี 400,000 บาท

4.3.2 วิเคราะห์ทางด้านความคุ้มทุนโรงไฟฟ้าพลังงานลม

ตารางที่ 4.18 แสดงการคำนวณหามูลค่า ตลอดระยะเวลาโครงการของโรงไฟฟ้าพลังงานลม

energy	471	kWh/day
efficiency	1	
	365	day/year
energy	171,762	kWh/year
FIT	6.02	baht/kWh
revenue	1,034,007	baht/year
ICC	28,131,829	baht
payback	27	year
IRR	-2.83%	
NPV	-21,076,037	
discount	10%	

method 1	ICC	O&M	LRC
i	10%	10%	10%
n	25	25	25
FCR	0.1102	0.1102	0.1102
ICC	28,131,829	779,545	1,409,247
ICCxFCR	3,099,229	85,881	155,254
Total ICC			3,340,364
energy need			171,762
COE			19.45
CF			0.45

จากตารางที่ 4.18 แสดงเกี่ยวกับเงินลงทุนเริ่มต้น รายได้ ค่าใช้จ่ายต่อปี กระแสเงินสด ระยะเวลาในการคืนทุน มูลค่าพลังงาน ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจในการลงทุนของโครงการนี้ พบว่า

- เงินลงทุนเริ่มต้น (ICC) 28,131,829บาท
- รายได้ (Revenue) 1,034,007 บาทต่อปี
- ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (COE) 19.45 บาทต่อkWh
- ระยะเวลาที่จะได้ทุนคืนประมาณ (Pay back) 27 ปี
- อัตราผลตอบแทนคิดเป็น (IRR) -2.83 %
- กระแสเงินสดสุทธิ (NPV) -21,076,037 บาท

ตารางที่ 4.19 แสดงกระแสเงินสดของการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานลม

year	revenue	O&M	LRC		profit	PV
0	- 28,131,829	- 779,545	- 1,409,247		- 28,131,829	- 28,131,829
1	1,034,007	85,881	-	155,254	792,872	720,793
2	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	783,575
3	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	712,341
4	1,034,007	85,881	438,600	155,254	509,526	348,013
5	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	588,712
6	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	535,192
7	1,034,007	85,881	516,000	155,254	432,126	221,749
8	1,034,007	85,881	438,600	155,254	509,526	237,698
9	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	402,098
10	1,034,007	85,881	168,000	155,254	780,126	300,772
11	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	332,312
12	1,034,007	85,881	438,600	155,254	509,526	162,351
13	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	274,638
14	1,034,007	85,881	516,000	155,254	432,126	113,792
15	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	226,974
16	1,034,007	85,881	438,600	155,254	509,526	110,888
17	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	187,582
18	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	170,529
19	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	155,026
20	1,034,007	85,881	606,600	155,254	341,526	50,766
21	1,034,007	85,881	516,000	155,254	432,126	58,393
22	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	116,473
23	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	105,885
24	1,034,007	85,881	438,600	155,254	509,526	51,730
25	1,034,007	85,881	-	155,254	948,126	87,508
					-9,099,530	-21,076,037

- กระแสเงินสดรายปี
  - ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุง (O&M) 103,381 บาทต่อปี
  - ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ (LRC)
    - แบตเตอรี่เปลี่ยนทุก 4 ปี 438,600 บาท
    - อินเวอเตอร์เปลี่ยนทุก 7 ปี 516,000 บาท
    - ตู้คอนโทรลเปลี่ยนทุก 10 ปี 168,000 บาท

จากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบไฮบริด พบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 150,380 kWh/year ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าของชุมชน และมีผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์อันประกอบด้วย ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 4.94 บาท/kWh NPV เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาโครงการอยู่ที่ 1,072,879 บาท IRR อยู่ที่ 14% และระยะเวลาในการคืนทุน 5 ปี

จากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบไฮบริด พบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานลมมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 171,672 kWh/year ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้ไฟฟ้าของชุมชน และมีผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์อันประกอบด้วย ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยอยู่ที่ 19.45 บาท/kWh NPV เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาโครงการอยู่ที่ -21,076,037 บาท IRR อยู่ที่ -2.83% ไม่สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาโครงการ

ดังนั้นการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนชนิดไฮบริดระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมต้องคำนึงถึงข้อมูลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และความเร็วลม เพื่อใช้หาศักยภาพว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการ พบว่าการออกแบบระบบจากทั้งสองแหล่งพลังงานมีศักยภาพเพียงพอ แต่ศักยภาพของกังหันลมมีค่าต่ำ อันเนื่องมาจากความเร็วลมที่เกิดขึ้นไม่เพียงพอที่จะทำให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ตลอดทั้งปี การออกแบบจึงจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่เกิดขึ้นมากที่สุดในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานลม ในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบระบบจะใช้ข้อมูลศักยภาพของสองแหล่งพลังงานใช้เดือนที่มีศักยภาพน้อยที่สุดเพื่อให้ผลิตไฟฟ้าครอบคลุมการใช้ไฟฟ้าในชุมชนได้ตลอดทั้งปี แต่จะทำให้ขนาดของโรงไฟฟ้าที่ออกแบบมีขนาดที่ใหญ่เกินไป (over size) จึงจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบการตัดสินใจลงทุน ซึ่งพบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะมี NPV มูลค่าเมื่อสิ้นสุดอายุโครงการ มีค่าเป็นบวก อันเนื่องมาจากข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ มีศักยภาพเพียงพอ ขณะที่ โรงไฟฟ้าพลังงานลม ขาดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะมี NPV เมื่อสิ้นสุดอายุโครงการ มีค่าเป็นลบ อันเนื่องมาจากข้อมูลจากพื้นที่กรณีศึกษา ที่นำมาประกอบการวิเคราะห์ มีศักยภาพน้อย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานนี้เสนอแนวคิดในการออกแบบโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบไฮบริด ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานลมและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าให้แก่ชุมชนที่ไฟฟ้าเข้าถึงยาก โดยการออกแบบจะต้องจะทำการจำลองความต้องการใช้พลังงานของชุมชน หาศักยภาพจากพลังงานทดแทนให้เพียงพอกับความต้องการ ออกแบบระบบและอุปกรณ์ภายในโรงไฟฟ้า นำมาประเมินการลงทุนของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบไฮบริด มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์และหาค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยอ้างอิงที่ข้อมูลลมและแสงอาทิตย์จากสถานีวัดวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นพื้นที่กรณีศึกษาเป็นระยะเวลา 3 ปี จากการศึกษาพบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานลมไม่มีศักยภาพเพียงพอ ในการผลิตไฟฟ้าให้กับความต้องการของชุมชน ส่งผลให้มีมูลค่าเมื่อสิ้นสุดอายุโครงการและอัตราผลตอบแทนมีค่าเป็นลบ เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีค่าน้อยกว่าความเร็ว Cut in บน Power curve ของกังหันลม ส่งผลให้กังหันลมไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดทั้งปี จึงทำให้ต้องลงทุนซื้อกังหันลมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมูลค่าของกังหันลมนั้นมีมูลค่าสูงและค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนการผลิตมีค่าสูงขึ้นตาม ขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการของชุมชน และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะมีมูลค่าเมื่อสิ้นสุดอายุโครงการและอัตราผลตอบแทนมีค่าเป็นบวก เนื่องจากข้อมูลการฉายรังสีดวงอาทิตย์ที่เก็บรวบรวม นำมาคำนวณมีศักยภาพเพียงพอกับความต้องการของชุมชน ส่งผลให้แผงโซล่าเซลล์ผลิตไฟฟ้าได้เต็มความสามารถ นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความคุ้มค่าของโครงการ ได้แก่ อายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ ตู้คอนโทรล ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา อัตราการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรออกแบบให้โรงไฟฟ้าทั้งสองแหล่งผลิตพลังงานแบบผสมผสาน เพื่อควบคุมการจ่ายพลังงานที่เหมาะสม จากแหล่งพลังงานในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้ต้นทุนมูลค่าการผลิตไฟฟ้าต่ำลง และทำให้มูลค่าผลตอบแทนสูงขึ้น

5.2.2 สร้างอัลกอลิทึม เพื่อเป็นกระบวนการ ค้นหาคำตอบ ให้มีมูลค่าการลงทุนที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] **สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า** สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2560, จาก https://www.egat .co.th/ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[2] **ประเทศไทยกับพลังงานทางเลือก** สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2560, จาก http://ict.sci.psu.ac.th/web-sciweek-57/prize/m1-3/4/Page3.html

[3] พลังงานลม. **พลังงานทดแทน** สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2560, จาก https://prisanajaiai.wordpress.com/

[4] **ส่วนประกอบกังหันลม** สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2560, จาก http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_energy.htm

[5] S. Diaf, G. Notton, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, "**Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions**," Applied Energy, vol. 85, pp. 968-987, 10//2008.

[6] **ศักยภาพการพลังงานลมในประเทศไทย.** พลังงานลม สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2560, จาก http://www.reca.or.th/library-wind-power.aspx

[7] ลักษณะเฉพาะของลม. **พลังงานลม** สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2560, จาก https://ienergyguru..com/2015/07/พลังงานลม/

[8] ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. **พลังงานแสงอาทิตย์** สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2560, จาก http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm

[9] **เทคโนโลยีพลังงานลม** สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2560, จาก http://www.encos.co.th/articles/details/5

[10] คู่มือการพัฒนาพลังงานทดแทน. **พลังงานแสงอาทิตย์** สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2560, จาก http://www.dede.go.th/main.php?filename=index กระทรวงพลังงาน

[11] School of Renewable Energy Technology, Naresuan University. **ข้อมูลความเข้มแสง** สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2561, จาก http://www.sert.nu.ac.th/index_thai.php

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการออกแบบ เวลาการใช้ไฟฟ้าในชุมชน

ตาราง ก.1 แสดงเวลาการใช้ไฟฟ้าในบ้านจำนวน 150 หลังคาเรือน

การใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน 150 หลังคาเรือน																								
เวลา (hr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
พัดลมตั้งพื้น	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
หม้อหุงข้าวขนาดเล็ก	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ตู้เย็น	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
เครื่องซักผ้า	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
โทรทัศน์สี	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
อุปกรณ์ชาร์ตมือถือ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
จำนวนชั่วโมงการใช้ไฟฟ้า(hr)	2	2	2	1	2	4	2	2	1	2	2	2	3	3	3	2	3	2	5	6	6	4	2	2
	56																							

ตาราง ก.2 แสดงเวลาการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าจำนวน 3 ร้าน

การใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าร้านค้า 3 ร้าน																								
เวลา (hr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
พัดลมตั้งพื้น	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
หม้อหุงข้าวขนาดเล็ก	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ตู้เย็น	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
เครื่องซักผ้า	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
โทรทัศน์สี	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
อุปกรณ์ชาร์ตมือถือ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
ตู้แช่เครื่องดื่ม	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ตู้แช่ไอศกรีม	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
จำนวนชั่วโมงการใช้ไฟฟ้า(hr)	3	3	3	3	4	6	7	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	8	7	3	3	3
	116																							

ตาราง ก.3 แสดงเวลาการใช้ไฟฟ้าของโรงเรียนปฐมศึกษา

การใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าโรงเรียน 1 โรงเรียน																								
เวลา (hr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
หลอดไฟสำหรับเปิดตอน	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
พัดลมตั้งโต๊ะสำหรับยาม	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
พัดลม	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
หม้อหุงข้าว	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เครื่องถ่ายเอกสาร	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ชุดเครื่องเสียง	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ตู้เย็น	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
กระติกน้ำร้อน	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เครื่องปรับอากาศ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
โทรทัศน์สี	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หลอดไฟหลอดฟลูออเรซเซนต์	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
คอมพิวเตอร์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
คอมพิวเตอร์สำหรับครู	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ปั๊มน้ำ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ตู้แช่เครื่องดื่ม	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ตู้แช่ไอศกรีม	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
โปรเจคเตอร์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ตู้น้ำเย็น	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
จำนวนชั่วโมงการใช้ไฟฟ้า(hr)	5	5	5	5	5	4	3	5	12	14	14	10	14	13	11	7	4	4	4	5	5	5	5	5
	169																							

หมายเหตุ : เลข 0 คือปิดการใช้งานในเวลานั้น
เลข 1 คือเปิดการใช้งานในเวลานั้น

ภาคผนวก ข

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

ตาราง ข.1 แสดงยี่ห้อและราคาของอินเวอเตอร์

Inverter					
item	type	brand	model	spec (W)	price (baht)
Inverter	On Grid Inverter	JFY	24v	5,000	42,000
Inverter	On Grid Inverter	JFY	24v	10,000	78,000
Inverter	On Grid Inverter	JFY	24v	15,000	110,000
Inverter	On Grid Inverter	JFY	24v	20,000	129,000

ตาราง ข.2 แสดงยี่ห้อและราคาของแบตเตอรี่

Battery					
item	type	brand	model	spec (Ah)	price (baht)
Battery		GLOBATT	N-100	100	3,600
Battery		GLOBATT	N-120	120	3,900
Battery		GLOBATT	N-150	150	4,200
Battery		GLOBATT	N-200	200	5,100

ตาราง ข.3 แสดงยี่ห้อและราคาของตู้คอนโทรล

Chart control					
item	type	brand	model	spec (A)	price (baht)
Solar Charger		MPPT	12/24v	300	30,000
Solar Charger		MPPT	12/24v	400	35,000
Solar Charger		MPPT	12/24v	500	42,000
Solar Charger		MPPT	12/24v	600	50,000

ตาราง ข.4 แสดงยี่ห้อและราคาของกังหันลม

Wind					
item	type	brand	model	spec (kW)	price (baht)
	model			50	3,068,899
	model			100	4,049,864
	model			150	5,298,277
	model			200	7,228,359

ตาราง ข.5 แสดงยี่ห้อและราคาของแผงโซล่าเซลล์

PV Solar				
item	type	brand	spec(W)	price (baht)
Solar Panel	Mono Crytaline	Schutten	100	4,000
Solar Panel	Mono Crytaline	Schutten	250	8,200
Solar Panel	Mono Crytaline	Suntech	300	8,900
Solar Panel	Mono Crytaline	Schutten Solar	320	10,000

ภาคผนวก ค

ข้อมูลตัวอย่างของแหล่งพลังงาน

ตาราง ค.1 แสดงข้อมูลตัวอย่างของความเข้มแสงอาทิตย์จากพื้นที่ศึกษา

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Time (hr)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	Solar Irra(total titted)(W/m2)	SUM	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	1	0	11	0	0	0	0	11	
7	0.93	1.66	8.86	26.95	56.89	38.83	30.89	70.31	22.02	17.85	13.02	1.14	289	
8	77.32	63.48	123.20	176.10	199.05	186.92	147.61	185.54	127.34	75.26	215.86	89.75	1,667	
9	273.28	248.80	322.46	377.40	391.78	336.22	321.54	310.68	269.58	159.27	413.87	321.08	3,746	
10	471.71	498.12	536.17	567.92	586.19	526.78	460.94	445.18	439.18	165.19	615.34	560.90	5,874	
11	637.40	678.13	700.04	691.25	686.11	672.94	591.64	548.29	580.43	260.30	782.85	748.78	7,578	
12	753.67	810.28	811.69	806.66	775.60	705.69	660.46	588.76	652.26	395.16	857.76	858.15	8,676	
13	824.52	841.02	841.48	877.79	798.54	741.77	706.93	604.25	698.02	382.35	817.66	863.85	8,998	
14	794.97	816.22	794.89	836.02	748.21	672.85	646.52	531.98	695.92	552.35	640.20	764.82	8,495	
15	681.24	703.16	701.84	679.38	663.93	631.68	554.89	426.93	567.41	424.69	490.01	649.97	7,175	
16	517.12	539.87	528.47	502.59	498.93	405.30	412.80	299.29	421.28	251.78	460.88	498.00	5,336	
17	290.07	366.42	323.83	318.94	277.26	192.68	243.89	171.85	210.02	137.90	214.99	260.81	3,009	
18	77.15	187.68	122.81	121.31	106.34	120.92	105.92	58.00	70.62	34.24	39.77	40.75	1,086	
19	0.42	24.61	6.85	19.30	12.45	30.69	23.51	0.00	3.66	0.00	0.00	0.00	121	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	AVERAGE
AVERAGE	225	241	243	250	242	219	204	177	198	119	232	236	2,586	215
SUM	5,400	5,779	5,823	6,002	5,801	5,264	4,908	4,252	4,758	2,856	5,562	5,658	62,063	5,172

ตาราง ค.2 แสดงข้อมูลตัวอย่างความเร็วลมจากพื้นที่ศึกษา

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	Vaverage(m/s)	SUM
1	7.86	6.53	5.05	4.11	3.01	2.62	2.39	2.54	2.49	2.52	3.63	6.63	49.39
2	7.70	6.45	4.75	4.05	3.05	2.59	2.41	2.57	2.22	2.41	3.21	6.45	47.86
3	7.50	6.24	4.63	3.63	3.07	2.52	2.24	2.33	2.31	2.55	2.81	6.44	46.25
4	7.48	6.31	4.63	3.52	3.16	2.67	2.23	2.23	2.19	2.52	2.46	6.42	45.82
5	7.49	6.22	4.54	3.10	3.37	2.46	2.55	2.25	2.37	2.37	2.34	6.43	45.48
6	7.53	6.07	4.43	2.97	3.31	2.55	2.30	2.25	2.30	2.50	2.39	6.25	44.85
7	7.57	6.33	4.47	2.93	3.14	2.52	2.36	2.23	2.49	2.46	2.23	6.71	45.44
8	7.75	6.29	4.31	2.33	2.63	1.85	2.13	1.95	2.12	2.06	1.98	6.74	42.14
9	7.88	6.08	4.24	2.36	2.51	2.00	2.38	2.33	2.23	1.89	2.10	6.82	42.80
10	7.81	6.08	4.51	3.03	2.83	2.53	3.00	2.87	2.95	2.14	1.96	6.52	46.22
11	7.68	6.18	4.83	3.49	3.23	2.66	3.67	3.83	3.55	2.51	2.25	6.46	50.35
12	7.79	6.37	5.18	3.89	3.65	3.19	4.08	4.39	4.17	2.92	2.59	6.44	54.66
13	7.57	6.59	5.47	4.30	3.84	3.51	4.82	5.12	4.45	3.29	2.87	6.45	58.28
14	7.50	6.66	5.69	4.62	4.55	4.05	5.20	5.55	5.01	3.78	3.17	6.31	62.09
15	7.40	6.60	5.84	5.00	4.53	4.21	5.79	5.56	5.08	3.86	3.46	6.12	63.45
16	7.60	6.64	6.16	5.29	4.24	4.21	5.82	5.67	5.35	4.06	3.44	6.59	65.07
17	7.70	6.63	6.42	5.37	4.33	4.21	5.92	5.22	4.87	3.74	3.44	6.54	64.40
18	7.87	6.73	6.57	5.22	3.91	4.12	5.35	4.73	4.68	3.57	3.41	6.61	62.77
19	8.06	6.83	6.51	5.15	3.53	3.43	4.30	4.03	3.91	3.22	3.71	7.02	59.69
20	8.22	7.02	6.34	4.99	3.39	2.85	3.96	3.50	3.29	3.17	3.44	7.21	57.37
21	8.23	7.06	6.14	4.71	3.39	2.74	3.46	3.08	2.84	2.64	3.72	7.33	55.35
22	8.25	6.91	5.86	4.84	3.07	2.64	3.21	2.69	2.58	2.95	3.60	7.27	53.86
23	8.22	6.77	5.35	4.94	2.97	2.67	2.55	2.74	2.21	2.60	3.48	7.10	51.58
24	8.04	6.61	5.31	4.54	2.92	2.55	2.44	2.70	2.26	2.66	3.30	7.06	50.40
AVERAGE	7.78	6.51	5.30	4.10	3.40	2.97	3.52	3.43	3.25	2.85	2.96	6.66	52.73
SUM	186.67	156.21	127.24	98.36	81.64	71.34	84.57	82.37	77.93	68.36	70.97	159.91	1265.58

มหาวิทยาลัยนเรศวร