



ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
สำหรับการทำนาเกลือ

Hybrid Solar and Wind Water Pumping Systems
for Salt Farming

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย
จากงบประมาณเงินแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2560
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

คำนำ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการทำนาเกลือในจังหวัดเพชรบุรี โดยการใช้ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับสูบน้ำเข้านาเกลือ ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังสร้างปัญหามลพิษทางด้านต่างๆ ให้แก่โลกนี้ รวมทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายที่สิ้นเปลืองทุกๆ ปี ในกระบวนการทำนาเกลือของชาวนาเกลือในจังหวัดเพชรบุรี ได้อีกด้วย โดยโครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปีงบประมาณ 2560

การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์นอกจากจะนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในบ้านเรือนแล้วยังสามารถนำไปใช้สำหรับสูบน้ำในการทำนาข้าวเช่นเดียวกันกับการใช้พลังงานลมซึ่งมีศักยภาพสูงในพื้นที่บริเวณภาคตะวันตก พลังงานลมสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำในการทำนาเกลือ ซึ่งถ้าหากมีการออกแบบระบบที่ดีก็จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ทำให้ประชากรในพื้นที่นั้นๆ ลดต้นทุนในการทำนาเกลือกันอย่างทั่วถึง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์
หัวหน้าโครงการวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับความเอื้อเฟื้อในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและการประสานงานในการดำเนินงานของโครงการฯ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้งานโปรแกรม TRNSYS

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี คุณไพโรจน์ พงษ์หวาน นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำหรับการออกแบบ สร้างและทดสอบระบบกังหันลม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถานีอุตุนิยมวิทยาหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2560

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ศักดิ์ ระวีวงศ์
หัวหน้าโครงการวิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
สำหรับการทำนาเกลือ

(ภาษาอังกฤษ) Hybrid Solar and Wind Water Pumping System for Salt
Farming

ชื่อผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภท งบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงิน
600,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึง กันยายน พ.ศ. 2560

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือ ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.08 กิโลวัตต์ กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตเต็มพิกัด 1 กิโลวัตต์ ระบบควบคุมและประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ขนาด 125 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ถังเก็บน้ำขนาด 1,500 ลิตร ระยะหัวน้ำ 2.5 เมตร โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของหาดเจ้าสำราญใน ช่วงระยะเวลา 1 ปี (ม.ค.-ธ.ค. 2560) เป็นอินพุตให้กับโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบเฉลี่ยรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วง 358.84-617.33 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 466.70 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วง 1.73-4.45 เมตรต่อวินาที และอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับ 2.94 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับ 28.45 องศาเซลเซียส ผลการจำลองแบบพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในเดือนมกราคมมีกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 500 วัตต์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 407.64 วัตต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากกังหันลมอยู่ในเดือนสิงหาคมมีกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 213.80 วัตต์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 67.47 วัตต์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.10 ร้อยละ 6.75 ตามลำดับ โดยกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่สำหรับประจุแบตเตอรี่เพื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับปั๊มมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมคิดเป็นร้อยละ 85.80 ร้อยละ 14.20 ตามลำดับ สามารถสูบน้ำ

ได้เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 1,533 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาตรการสูบน้ำในรอบปีเท่ากับ 18,396 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมพบว่าต้นทุนค่าดำเนินการของระบบเท่ากับ 897,186.62 บาท อัตราคิดลดร้อยละ 5.00 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) ร้อยละ 5.35 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 3,610,152.54 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน (FIRR) ร้อยละ 10.16 ระยะเวลาคืนทุน (PBP) 4.17 ปี ซึ่งพบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม และเงินต้นทุนค่าดำเนินการของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มีค่ามากที่สุดทำให้ต้นทุนรวมของระบบนั้นมีค่าสูง ดังนั้นในส่วนของต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยจึงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.25 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยระบบดีเซลมีต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ 0.99 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และระบบเบนซินมีต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ 0.72 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

Abstract

This research is to simulate the hybrid solar and wind water pumping system in order to develop the new water pumping system for using in remote rural. The hybrid solar-wind water pumping system consists of a 1.08 kW_p PV, a wind turbine generator size of 1 kW_p, a control system, and battery banks size of 125 Ah. The 1,500 L water tank with head of 2.5 m. Based on the meteorological data of Phetchaburi province during 1 year (Jan-Dec 2017), the solar radiation intensity, wind speed and ambient temperature were used as modal inputs of the TRNSYS 16.01. Results showed that the monthly global solar radiation intensity was in the range of 358.84-617.33 W/m² and the average global solar radiation was 446.70 W/m². The wind speed during the June to October was in the range of 1.73-4.45 m/s. The monthly average wind speed was 2.94 m/s. The ambient temperature during February to October was in the range of 28-29°C. The monthly average ambient temperature was 28.45°C. The simulation results showed that the maximum electric power output produced by a-Si solar cell was occurred in January, which were 500 W. The average power output was 407.64 W. The average power output produced by the wind turbines was 67.47 W. The majority of electric power for charging battery produced by a-Si solar cell of 85.80% and produced by the wind turbine generator of 14.20%. The monthly average pumped water was 1,533 m³. The annual pumped water was 18,396 m³.

For an economic analysis of hybrid solar-wind water pumping system, it was found that the cost of operation of the system was 897,186.32 baht. For the discount rate of 5 %, the benefit cost ratio (BCR) was 5.35 the net present value (NPV) was 3,610,152.54 baht the financial internal rate of return (FIRR) was 10.16 %, and the payback period (PBP) was 4.17 year. The system cost depends mainly on the initial cost of a PV generator and a wind turbine generator. The unit cost of pumped water from hybrid solar and wind water pumping system was 3.25 baht/m³, whereas, the unit cost of a benzene water pumping system was 0.99 baht/m³, and the unit cost of a diesel water pumping system was 0.72 baht/m³.

สารบัญ

รายการ	หน้า
คำนำ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ณ
สารบัญตาราง	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎี	6
2.1.1 สภาพภูมิศาสตร์ของจังหวัดเพชรบุรี	6
2.1.2 สภาพภูมิประเทศ	6
2.1.3 สภาพภูมิอากาศ	7
2.1.4 พลังงานแสงอาทิตย์	8
2.1.5 เซลล์แสงอาทิตย์	13
2.1.6 พลังงานลม	19
2.1.7 กังหันลม	27
2.1.8 ป้อนน้ำ	33
2.1.9 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบ	43
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ	51
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ	54

สารบัญ (ต่อ)

รายการ	หน้า
บทที่ 3 การจำลองแบบและการออกแบบระบบ	58
3.1 การติดตั้งสถานีวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม	58
3.1.1 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ	59
3.1.2 เครื่องมือวัดอัตราเร็วและทิศทางลม	61
3.1.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม	62
3.1.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ	63
3.2 การจำลองแบบระบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01®	64
3.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของไอคอนองค์ประกอบในการจำลองแบบระบบ	65
3.2.2 การจำลองแบบระบบพลังงานผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม	73
3.3 การติดตั้งระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม	75
3.3.1 ส่วนประกอบของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม	75
3.3.2 การใช้งานชุดควบคุมต่างๆ ในระบบ	79
3.4 การบำรุงรักษาและการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น	81
3.4.1 การบำรุงรักษาระบบรายเดือน	81
3.4.2 การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น	84
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	85
3.5.1 การปรับค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 15 เมตร	85
3.5.2 ระเบียบวิธีแผนที่ลมและการวิเคราะห์ข้อมูลลม	86
3.5.3 การวิเคราะห์ค่าร้อยละการที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย	87
บทที่ 4 ผลการจำลองแบบและผลการทดลอง	92
4.1 เงื่อนไขสภาพแวดล้อมภายใต้ข้อมูลอุตุนิมวิทยาหาดเจ้าสำราญ	92
4.1.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ	92
4.1.2 อัตราเร็วลม	93
4.1.3 อุณหภูมิแวดล้อม	94

สารบัญ (ต่อ)

รายการ	หน้า
4.2 การจัดทำผังลมรายเดือน	95
4.3 ผลการจำลองแบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01®	98
4.3.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	98
4.3.2 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	101
4.3.3 ปริมาณการสูบน้ำ	104
4.4 ผลจากการทดลองภาคสนาม	104
4.4.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (การทดลองภาคสนาม)	104
4.4.2 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า (การทดลองภาคสนาม)	108
4.4.3 ปริมาณการสูบน้ำ (การทดลองภาคสนาม)	110
4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด	111
4.6 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของอุปกรณ์ภายในระบบสูบน้ำโดยการจำลองแบบ ตลอดทั้งปี 2560	112
4.6.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า ปี 2560	112
4.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน	113
4.6.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	115
4.7 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	116
4.7.1 ระบบดีเซล	116
4.7.2 ระบบเบนซิน	116
4.7.3 ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์พลังงานลม	116
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	118
5.1 สรุปผล	118
5.2 ข้อเสนอแนะ	119
บรรณานุกรม	120
ภาคผนวก	125

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ผังรวมโครงการวิจัยระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือ	3
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัยระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือ	5
2.1 แผนที่ภูมิประเทศและเขตการปกครอง จังหวัดเพชรบุรี	7
2.2 การเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่โปรตอน-โปรตอน	9
2.3 ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์	10
2.4 อันตรกิริยาและปริมาณของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลก	11
2.5 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์	11
2.6 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	14
2.7 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	19
2.8 ทิศทางลมเรียกเป็นองศาจากทิศทางจริง	21
2.9 ศรลมสำหรับวัดทิศทางของลม	22
2.10 แอเนโมมิเตอร์แบบ 3 ลูกถ้วย	23
2.11 แอโนเวนเครื่องวัดอัตราเร็วและทิศทางลม	23
2.12 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง	28
2.13 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน	29
2.14 ส่วนประกอบภายในระบบกังหันลมขนาดจิ๋ว	30
2.15 กังหันลมแนวแกนนอนรุ่น Whisper 200 ขนาด 1 kW	33
2.16 หลักการทำงานของปั๊มประเภทเซนตริฟูกอล	35
2.17 หลักการทำงานของปั๊มประเภทโรตารี	35
2.18 หลักการทำงานของปั๊มประเภทสูบชัก	36
2.19 ปั๊มประเภทนอกแบบ	36
2.20 ปั๊มประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว	37
2.21 ปั๊มประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว	38
2.22 ความดันบรรยากาศ	40
2.23 หวั่น้ำสถิต	41
2.24 พื้นที่หน้าตัดกังหันลม	47

สารบัญรูป (ต่อ)

3.1 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ารุ่น Whisper 200 และเครื่องมือวัดอัตราเร็วและทิศทางลมที่ความสูง 10 เมตร และ 13 เมตร	59
3.2 เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบรุ่น KIPP&ZONEN CMP11	60
3.3 LOGBOX SD	61
3.4 เครื่องวัดอัตราเร็วลมและทิศทางลม	62
3.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม	63
3.6 อุปกรณ์จัดเก็บบันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ	64
3.7 Type109a ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของข้อมูลทางสภาพอากาศ	65
3.8 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	66
3.9 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	67
3.10 ชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์	69
3.11 ชุดควบคุมกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	69
3.12 ชุดควบคุมการทำงานของปั๊ม	70
3.13 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของแบตเตอรี่	70
3.14 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของปั๊ม	72
3.15 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของที่ใช้ในการหาปริมาตรรวมจากการสูบน้ำ	73
3.16 การจำลองระบบสูบน้ำผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01®	74
3.17 แบบระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือ	75
3.18 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si solar cell)	76
3.19 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ารุ่น Whisper 200	77
3.20 ถังบรรจุน้ำ	77
3.21 ปั๊มน้ำกระแสตรง	78
3.22 แบตเตอรี่ 3 K ชนิด deep cycle	78
3.23 ชุดควบคุมภายในระบบ	79
3.24 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	81
3.25 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	82
3.26 ชุดควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกระแสตรง	83

สารบัญรูป (ต่อ)

3.27 ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม สำหรับการทำนาเกลือ	85
4.1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ	93
4.2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอัตราเร็วลม	94
4.3 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิแวดล้อม	95
4.4 การกระจายแบบไวบูลล์และฟังก์ชันของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนพฤศจิกายน 2559	96
4.5 การกระจายแบบไวบูลล์และฟังก์ชันของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนธันวาคม 2559	96
4.6 การกระจายแบบไวบูลล์และฟังก์ชันของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนมกราคม 2560	97
4.7 การกระจายแบบไวบูลล์และฟังก์ชันของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนกุมภาพันธ์ 2560	97
4.8 การกระจายแบบไวบูลล์และฟังก์ชันของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนมีนาคม 2560	97
4.9 การกระจายแบบไวบูลล์และฟังก์ชันของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนเมษายน 2560	98
4.10 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนพฤศจิกายน 2559	99
4.11 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนธันวาคม 2559	99
4.12 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนมกราคม 2560	100
4.13 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนกุมภาพันธ์ 2560	100
4.14 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนเมษายน 2560	101
4.15 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนพฤศจิกายน 2559	101
4.16 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนธันวาคม 2559	102
4.17 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนมกราคม 2560	102
4.18 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนกุมภาพันธ์ 2560	103
4.19 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนเมษายน 2560	103
4.20 ปริมาตรของน้ำที่สูบได้เฉลี่ยรายเดือน	104
4.21 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนพฤศจิกายน 2559	105
4.22 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนธันวาคม 2559	105
4.23 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนมกราคม 2560	106
4.24 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนกุมภาพันธ์ 2560	106
4.25 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนมีนาคม 2560	107
4.26 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนเมษายน 2560	107
4.27 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนพฤศจิกายน 2559	108

สารบัญรูป (ต่อ)

4.28 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนธันวาคม 2559	108
4.29 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนมกราคม 2560	109
4.30 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนกุมภาพันธ์ 2560	109
4.31 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนมีนาคม 2560	110
4.32 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนเมษายน 2560	110
4.33 ปริมาณการสูบน้ำรายเดือน	111
4.34 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	113
4.35 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	113
4.36 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	114
4.37 ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	114
4.38 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายเดือนของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	115
4.39 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วลมต่อประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	115
4.40 ต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยของระบบสูบน้ำ	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และประสิทธิภาพของแผงที่ประกอบจากเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด	15
2.2 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	31
2.3 ปริมาณน้ำใช้ต่อคนและจำนวนชั่วโมงที่ใช้น้ำสำหรับอาคารประเภทต่างๆ	38
3.1 คาทงไฟฟ้าต่างๆ ที่ภาวะทดสอบมาตรฐาน	66
3.2 การดูสถานะของสัญญาณไฟการประจุ	80
3.3 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Battery Level	80
3.4 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Load Disconnect	80
3.5 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Red LED	81
3.6 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Green LED	81
3.7 การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น	84
3.8 ข้อมูลทางเทคนิคและรายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซล	88
3.9 ข้อมูลทางเทคนิคและรายละเอียดของเครื่องยนต์เบนซิน	88
4.1 เปอร์เซนต์ความผิดพลาด (percent error)	112

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จังหวัดเพชรบุรี ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานคร เป็นเมืองด่านสำคัญระหว่าง ภาคกลางและ ภาคใต้ มีชื่อเสียงในฐานะเป็นแหล่งผลิตน้ำตาล เนื่องจากมีต้นตาลหนาแน่น และยังเป็นเมืองท่องเที่ยวที่สำคัญ เพชรบุรีมีแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงมากมายและหลากหลายรูปแบบ ทั้งยังอยู่ไม่ไกลจากกรุงเทพฯ จึงเป็นอีก จังหวัดหนึ่งที่นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ นิยมไปเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจกันมาก จังหวัดเพชรบุรี มีเนื้อที่ประมาณ 6,225,138 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3,890,711 ไร่ จัดเป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่เป็น อันดับที่ 36 ของประเทศไทย โดยมีส่วนที่กว้างที่สุดในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก เป็นระยะทาง 103 กิโลเมตร และส่วนที่ยาวที่สุดในแนวทิศเหนือ-ใต้ เป็นระยะทาง 80 กิโลเมตร

ลักษณะภูมิประเทศของเพชรบุรี แบ่งเป็น 3 เขต คือ เขตภูเขาและที่ราบสูงทางด้านตะวันตก เป็นเทือกเขาทอดยาวจากเหนือลงใต้ เป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำ เพชรบุรีและแม่น้ำปราณบุรี เขตที่ราบลุ่มแม่น้ำบริเวณตอนกลางของจังหวัด เป็นบริเวณที่อุดมสมบูรณ์ที่สุดและ เป็นเขตเกษตรกรรมที่สำคัญของจังหวัด เพราะมีแม่น้ำเพชรบุรีไหลผ่าน มีเขื่อนแก่งกระจานและเขื่อนเพชรบุรี และเขตที่ราบชายฝั่งทะเลทางด้านทิศตะวันออก พื้นที่ติดชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ความยาวรวมประมาณ 80 กิโลเมตร อุดมไปด้วยป่าโกงกางและชายหาดที่สวยงาม เป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดทั้งในด้าน การประมงและการท่องเที่ยว

เนื่องจากจังหวัดเพชรบุรีมีอำเภอที่ติดกับทะเลมีอยู่ 4 อำเภอ แต่อำเภอที่มีการทำนาเกลือมี 2 อำเภอ คืออำเภอเมือง และอำเภอบ้านแหลม เกษตรกรจึงมีการประกอบ อาชีพทำนาเกลือ ซึ่งเป็นอาชีพที่ทำรายได้ดีแต่มีต้นทุนในการผลิตสูงตามไปด้วย ซึ่งจำเป็นต้องใช้เทคนิคผสมผสานเป็นพิเศษ ซึ่งแสดงถึงการสืบทอดภูมิปัญญาของชาวบ้านแต่ครั้งอดีต ปัจจุบันอาชีพการทำนาเกลือกำลังจะสูญหายไปด้วยเหตุที่มีการผลิตเกลือโดยกระบวนการทางวิศวกรรมเหมืองแร่ที่เรียกว่า เกลือหิน หรือเกลือบริสุทธิ์จำนวนมาก ซึ่งปัจจุบันได้รับความนิยมในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม แต่เกลือทะเลนั้นทำมาจากน้ำทะเลที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยสรุปกระบวนการผลิตเกลือทะเลต้องอาศัยกระบวนการจากธรรมชาติ โดยเฉพาะแสงแดด โดยมีแหล่งผลิตที่สำคัญแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, 2557)

1. กลุ่มที่มีการผลิตมาก ประมาณร้อยละ 90.0 ของผลผลิตทั้งประเทศ อยู่ที่ 3 จังหวัด ภาคกลาง คือ จังหวัดเพชรบุรี สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม

2. กลุ่มที่มีการผลิตเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 10.0 ของผลผลิตทั้งประเทศ อยู่ที่ 4 จังหวัดในภาคกลางและภาคใต้ คือ จังหวัดชลบุรี จันทบุรี ฉะเชิงเทรา และปัตตานี

ประเทศไทยมีพื้นที่ทำนาเกลือทั้งหมดประมาณ 81,485 ไร่ โดยจังหวัดเพชรบุรีมีพื้นที่มากที่สุด ร้อยละ 47.0 รองลงมาได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร ร้อยละ 43.1 จังหวัดสมุทรสงคราม ร้อยละ 7.7 จังหวัดชลบุรี ร้อยละ 1.0 จังหวัดจันทบุรี ร้อยละ 0.6 จังหวัดปัตตานี ร้อยละ 0.4 และจังหวัด ฉะเชิงเทรา ร้อยละ 0.2 ตามลำดับ โดยต้นทุนการผลิตเกลือทะเล ส่วนใหญ่จะเป็นต้นทุนด้านค่าจ้างแรงงาน รองลงมาเป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิง โดยปัจจุบันจะใช้ระหัดวิดน้ำประเภทท่อสูบน้ำ หรือที่เรียกทั่วไปว่าท่อพญานาค โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งเกษตรกรประสบปัญหาด้านต้นทุนของท่อพญานาค อันประกอบไปด้วยเครื่องยนต์กลไกที่มีราคาสูงกว่าตัวละ 150,000 บาท รวมถึงค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมันในใช้งานตลอดจนที่ผ่านมามีปัญหาการขโมยเครื่องยนต์ดังกล่าว ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลให้เกษตรกรมีต้นทุนในการทำนาเกลือสูง" โดยมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยประมาณ 737 บาทต่อตัน (ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, 2557)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนการสูบน้ำเข้านาเกลือจากเครื่องสูบน้ำประเภทท่อสูบน้ำ หรือที่เรียกทั่วไปว่าท่อพญานาค ซึ่งมีการใช้กันในชายทะเล นาเกลือ นาข้าว ฯลฯ ในหลายจังหวัดมาใช้ระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และลม จะทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการเพาะปลูก 3- 5 % จากค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ตลอดจนเป็นการรองรับแนวโน้มค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่จะหมดไปในอนาคต จำเป็นต้องหาพลังงานทดแทนมาเสริมและช่วยลดต้นทุนในการผลิตในการทำนาเกลือลง และมีรายรับมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ ด้วยการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมที่เหมาะสมสำหรับการทำนาเกลือในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งจะเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชนชาวนาเกลือในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งโครงการวิจัยนี้เป็นการมุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาระบบพลังงานทดแทนที่มีความเหมาะสมกับชุมชนในท้องถิ่น และเป็นระบบพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี โครงการวิจัยดังกล่าวมีผังรวมของโครงการแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 ผังรวมโครงการวิจัยระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมในพื้นที่การทำนาเกลือ

1.2.2 เพื่อออกแบบ สร้าง ทดสอบและประเมินสมรรถนะของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมในการทำนาเกลือ

1.2.3 เพื่อประเมินทางเทคนิค-เศรษฐกิจของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และระบบพลังงานลมในการทำนาเกลือ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทำให้สามารถทราบถึงศักยภาพ ปัญหาและอุปสรรคของการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมในพื้นที่การทำเกลือของจังหวัดเพชรบุรี

1.3.2 เป็นการพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมที่มีความเหมาะสมสำหรับการทำนาเกลือในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี

1.3.3 สามารถนำผลการศึกษาวិจัยไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจการเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือในจังหวัดทางภาคตะวันตก

1.3.4 สามารถขยายผลเป็นระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมต้นแบบสำหรับการทำนาเกลือในจังหวัดทางภาคตะวันตกของประเทศ

1.3.5 สามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลในการทำนาเกลือได้

1.3.6 สามารถเพิ่มผลผลิตเกลือเฉลี่ยต่อไร่เมื่อเปรียบเทียบกับการทำนาเกลือแบบธรรมชาติ

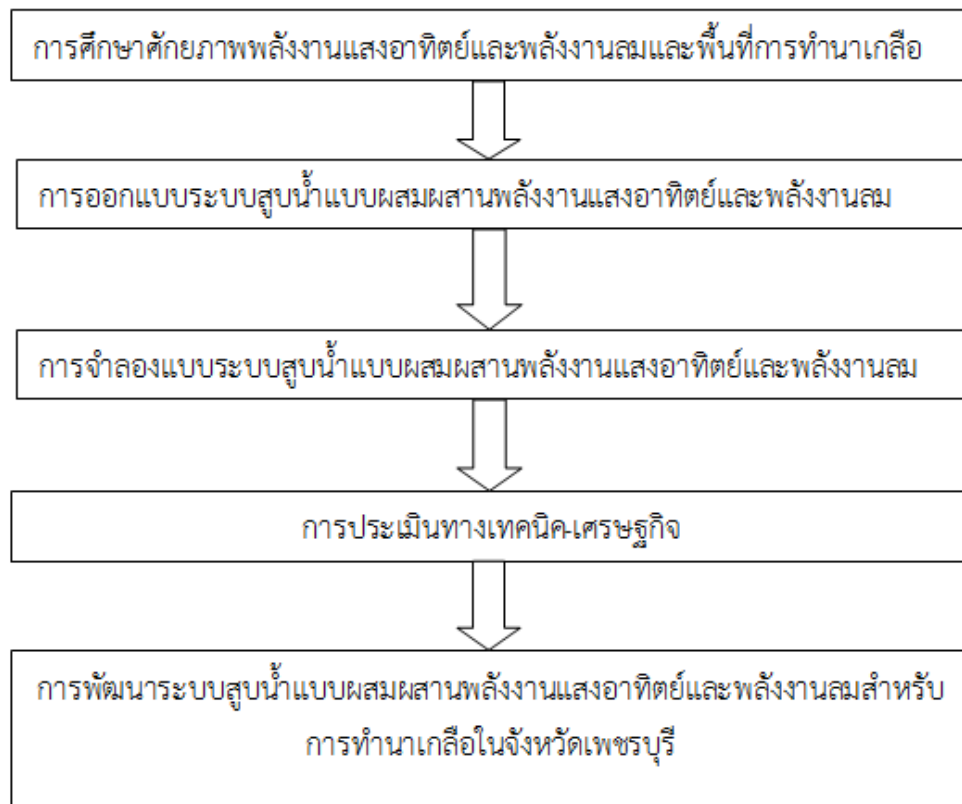
1.3.7 เป็นข้อมูลสนับสนุนให้กับกรมวิชาการเกษตร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

1.3.8 สร้างองค์ความรู้ด้านงานวิจัยทางฟิสิกส์ประยุกต์พลังงาน ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมในการสูบน้ำสำหรับการทำนาเกลือ โดยมีพื้นที่ศึกษาเป็นแปลงนาเกลือสาธิตโครงการตามพระราชดำริแหลมผักเบี้ย อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี เพื่อมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการทำนาเกลือ

โดยเริ่มจากการศึกษาศักยภาพของแหล่งพลังงานในพื้นที่ศึกษา และออกแบบระบบพลังงานที่มีความเหมาะสมโดยใช้องค์ความรู้และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TRANSYS ดำเนินการติดตั้งระบบพลังงานและทดสอบการทำงานของระบบ ประเมินผลทางเทคนิค-เศรษฐกิจ ของระบบพลังงาน รวมทั้งการบำรุงรักษา สำหรับขอบเขตของโครงการวิจัยนี้มีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัยระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
สำหรับการทำการเกลือ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

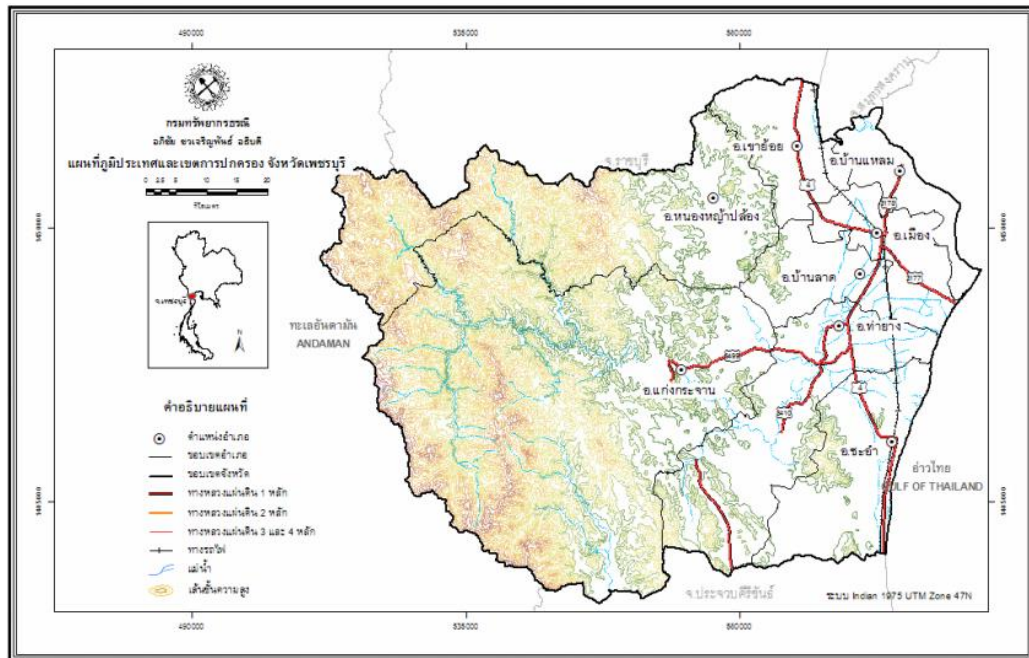
2.1 ทฤษฎี

2.1.1 สภาพภูมิศาสตร์ของจังหวัดเพชรบุรี

จังหวัดเพชรบุรีเป็นจังหวัดซึ่งอยู่ภาคใต้ตอนบนของประเทศ โดยตั้งอยู่บริเวณเส้นรุ้ง (latitude) ที่ 12.6 องศาเหนือ ถึง 13.4 องศาเหนือ และเส้นแวง (longitude) ที่ 99.2 องศาตะวันออก ถึง 100.2 องศาตะวันออก มีเนื้อที่ประมาณ 6,225 กิโลเมตร อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 123 กิโลเมตร ทิศเหนือติดต่อกับ จังหวัดราชบุรีและสมุทรสงคราม ทิศใต้ ติดต่อกับ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอไทย และทิศตะวันตก ติดต่อกับประเทศพม่า (ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนา อุตุวิทยามหาวิทยาลัย)

2.1.2 สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของจังหวัดเพชรบุรีแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ทางด้านทิศตะวันตก มีลักษณะเป็นที่ราบสูงและภูเขาสูงชัน แลวกคย ๆ ลาดต่ำมาทางทิศตะวันออกเกิดเป็นสันปันน้ำ แบ่งน้ำ ส่วนหนึ่งไหลลงสู่ประเทศพม่าและอีกส่วนหนึ่งไหลมาทางทิศตะวันออกเป็นต้นน้ำของแม่น้ำเพชรบุรีและ แม่น้ำปราณบุรี ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดเพชรบุรี (สำนักพัฒนาอุตุวิทยามหาวิทยาลัย) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนที่ภูมิประเทศและเขตการปกครอง จังหวัดเพชรบุรี

(ที่มา : ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา)

2.1.3 สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดเพชรบุรีอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมที่พัดประจำเป็นฤดูกาล 2 ชนิดคือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่ง เป็นลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย จึงพาเอาไอน้ำและความชุ่มชื้นมาสู่ประเทศไทยระหว่าง กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมทำให้มีฝนตกชุกทั่วไป ลมมรสุมอีกชนิดหนึ่งคือมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาว จะมีลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมเย็นและแห้งจากประเทศจีนพัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้จังหวัดนี้มีอากาศเย็นลง และมีฝนชุก ต่อเนื่องอีกระยะหนึ่ง โดยเฉพาะในเดือนตุลาคม

ฤดูกาล จากการที่จังหวัดเพชรบุรีตั้งอยู่ในภาคใต้ตอนบนและติดกับทะเล ลักษณะอากาศในแต่ละฤดูกาลจึงไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยแล้วสามารถ แบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาลดังนี้ ฤดูร้อน เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนฤดู ระยะนี้เป็นช่วง ว่างของลมมรสุมหลังจากสิ้นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในเดือนมีนาคมถึงเดือน พฤษภาคม อย่างไรก็ตามจังหวัดเพชรบุรีอยู่ใกล้ทะเลจึงไม่ร้อนมากนัก เพราะได้รับกระแสลมและไอน้ำทำให้อากาศคลายความ

ร้อนลงไปมาก ฤดูฝน เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัด ปกคลุมประเทศไทยและยังมีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านภาคใต้เป็นระยะ ๆ ในช่วงเดือนตุลาคม ต่อจากนั้นในเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นระยะแรกที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย จังหวัดเพชรบุรีจะยังคงมี ฝนต่อเนื่อง จนถึงเดือนธันวาคมฝนจึงเริ่มลดลงอย่างชัดเจน ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุม ประเทศไทย ทำให้อุณหภูมิลดลงทั่วไปและมีอากาศหนาวเย็นเป็นครั้งคราว โดยอุณหภูมิจะลดลงต่ำสุดในเดือน ธันวาคมและมกราคม

2.1.4 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซรูปทรงกลมรวมกันอยู่เป็นกลุ่มก้อนด้วยแรงดึงดูดของตัวเองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39×10^9 กิโลเมตร โดยมีการแผ่รังสีที่ผิวของดวงอาทิตย์สู่ชั้นบรรยากาศนอกโลกประมาณเทียบได้กับการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) ที่อุณหภูมิประสิทธิภาพคือ 5,762 เคลวิน ดวงอาทิตย์มีการปลดปล่อยพลังงานออกมา 3.58×10^{23} กิโลวัตต์ และบรรยากาศบริเวณผิวโลกรับ 1.725×10^{14} กิโลวัตต์ เทียบได้กับพลังงานที่ได้รับใน 1 ปี คือ 1.51×10^{18} กิโลวัตต์ ชั่วโมง พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยเฉลี่ยมีพลังงานประมาณ 4-5 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน กล่าวคือในวันหนึ่งๆ บนพื้นที่เพียง 1 ตารางเมตร จะมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบถึง 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ดังนั้นหากสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้งานได้ก็จะสามารถประหยัดพลังงานจาก น้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งคาดว่าแหล่งพลังงานที่ได้จากน้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติจะมีสำรองให้ใช้ได้อีกไม่เกิน 50 ปี ดังนั้นการแสวงหาพลังงานทดแทนนับเป็นสิ่งสำคัญในขณะนี้โลกกำลังเผชิญกับปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงาน

2.1.4.1 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ในใจกลางของดวงอาทิตย์

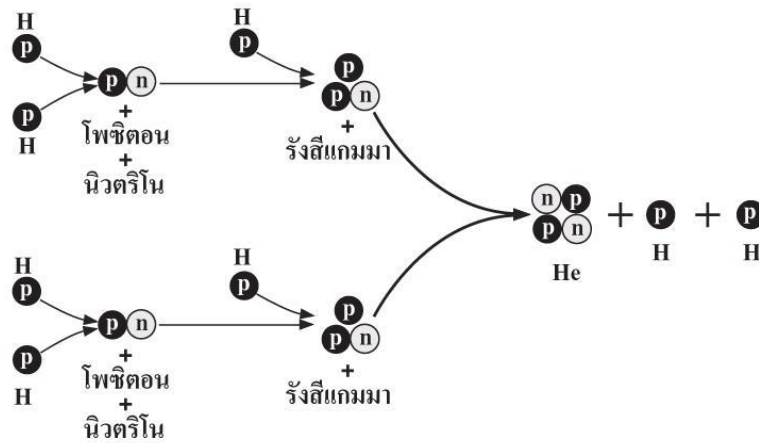
ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นภายในใจกลางของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลอมโซ่แบบโปรตอน-โปรตอน โดยโปรตอนของไฮโดรเจนจำนวน 6 ตัว มีการรวมตัวกันแล้วได้เป็นนิวเคลียสของฮีเลียม 1 ตัวและโปรตอนของไฮโดรเจนอีก 2 ตัว แสดงไว้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะมีมวลสารส่วนหนึ่งเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานตามทฤษฎีของ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ คือ

$$E = mc^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานที่เปลี่ยนรูปมาจากมวลสาร (J)

m คือ มวลสาร (kg)

c คือ ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s



รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่โปรตอน-โปรตอน

(ที่มา: <http://www.variety.teenee.com/science/img6/15815.jpg>)

2.1.4.2 ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

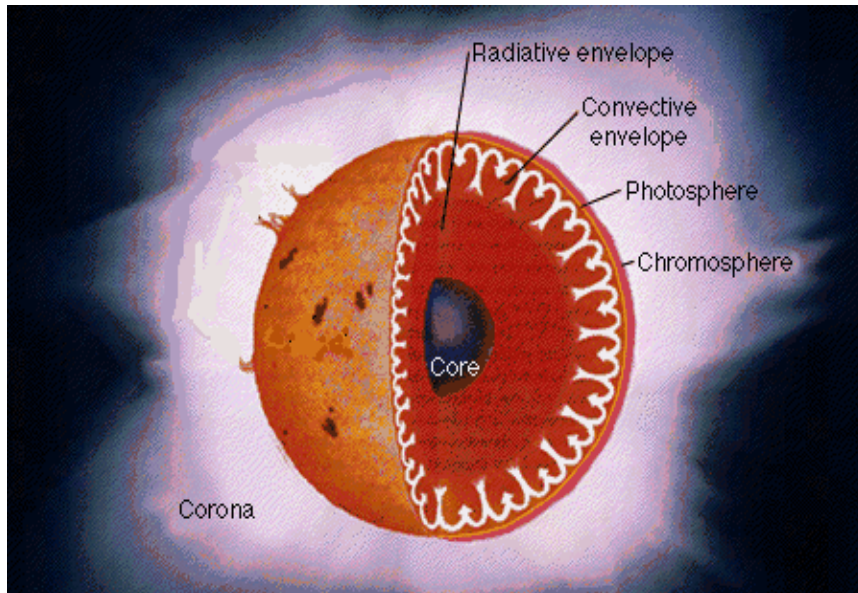
ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มดวงอาทิตย์อยู่รอบนอกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนาของชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

1) ชั้นโฟโตสเฟียร์ (photosphere) เป็นชั้นบางๆ อยู่ถัดออกมาจากตัวดวงอาทิตย์ มีความสว่างจ้ามากจนไม่สามารถมองผ่านลึกไปถึงตัวดวงอาทิตย์ได้ มีอุณหภูมิ 5,800 องศาเซลเซียส และความหนาแน่นประมาณ 2×10^{-4} กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2) ชั้นโครโมสเฟียร์ (chromosphere) เป็นชั้นบรรยากาศบางๆ สูงขึ้นมาจากชั้นโฟโตสเฟียร์มีอุณหภูมิประมาณ 4,500 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นประมาณ 5×10^{-6} กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นชั้นที่มักเกิดปรากฏการณ์รุนแรงเช่น การระเบิด การพุ่งของพวยก๊าซ หรือการเกิดเส้นสายยาวของลำก๊าซ

3) ชั้นคอโรนา (corona) เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงประมาณ 1 ล้านองศาเซลเซียส มีความหนาแน่นประมาณ 10^{-12} กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีรูปร่าง

เปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนโดยจะเปลี่ยนไปตามปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์สามารถมองเห็นได้ขณะที่เกิดสุริยุปราคาเต็มดวง เมื่อดวงจันทร์เคลื่อนที่ไปยังชั้นโฟโตสเฟียร์เท่านั้น ชั้นโคโรนานี้มีลักษณะเป็นแสงสว่างเรืองสีขาวนวลแผ่ออกโดยรอบ ลักษณะเป็นเส้นคล้ายเส้นแวงสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์

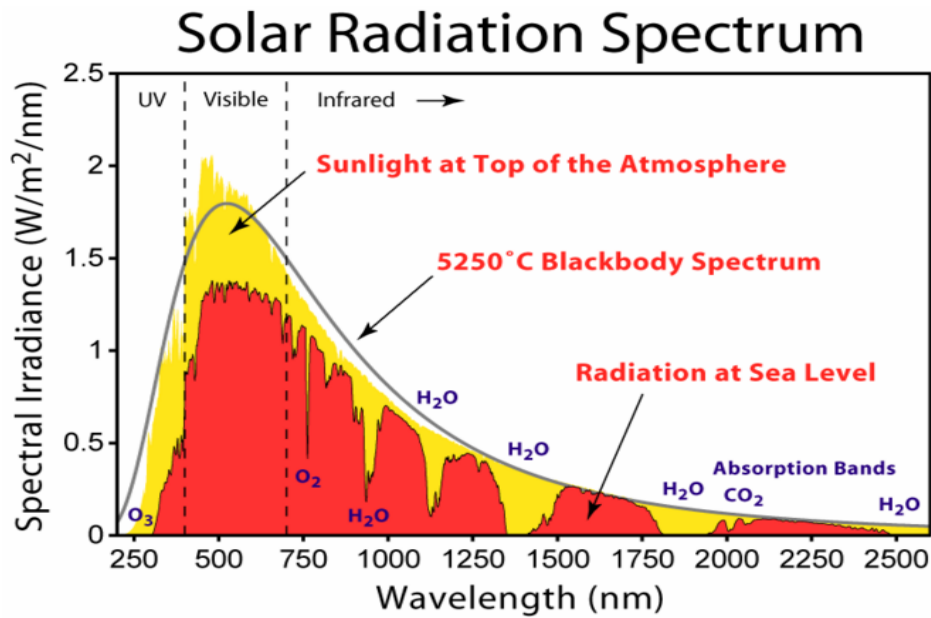


รูปที่ 2.3 ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

(ที่มา: <http://www.physics.uc.edu/.../W03/Lec3/SunOutLayers.GIF>)

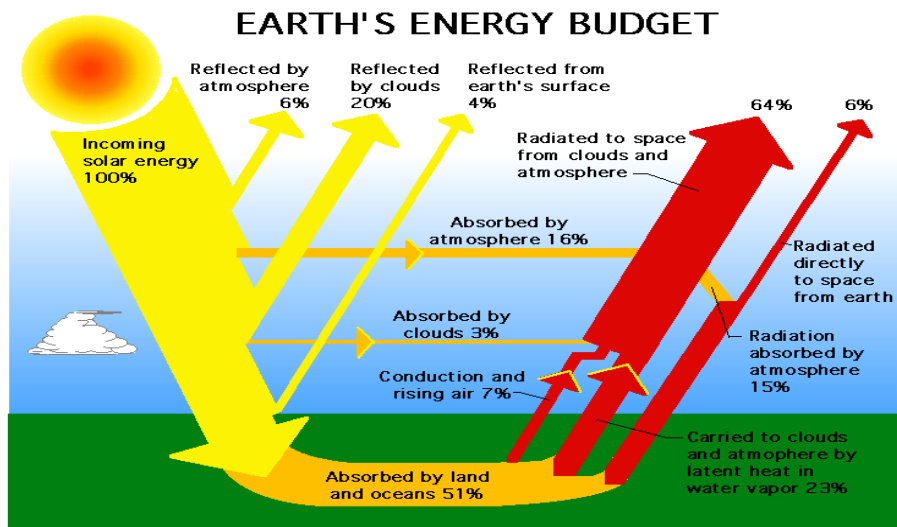
2.1.4.3 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก

แสงเคลื่อนที่จากดวงอาทิตย์มายังโลกในรูปของการแผ่คลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายช่วงความยาวคลื่นหรือเรียกว่าสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ลักษณะของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ทั้งภายนอกและภายในชั้นบรรยากาศแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 ทั้งในช่วงความยาวคลื่นของแสงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (visible light) และที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าเพราะมีความยาวคลื่นน้อยกว่าหรือมากกว่าความยาวคลื่นของแสงได้แก่ อินฟราเรด อัลตราไวโอเลต รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น เมื่อแสงเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ภายในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยอะตอมของก๊าซ ไอน้ำ เมฆ และฝุ่นละอองต่างๆ ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่เข้ามาบางส่วนจะเกิดการชนกับอะตอมของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ทำให้เกิดการกระจายของแสงซึ่งจะมีทั้งการสะท้อนลงสู่พื้นโลกและสะท้อนกลับสู่อวกาศ และมีบางส่วนที่ถูกชั้นบรรยากาศและก้อนเมฆดูดซับเอาไว้ ทำให้มีปริมาณแสงที่เคลื่อนที่ลงสู่พื้นโลกประมาณร้อยละ 51 สะท้อนกลับสู่อวกาศประมาณร้อยละ 30 และถูกดูดกลืนเอาไว้ในชั้นบรรยากาศโลกประมาณร้อยละ 19 แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 อันตรกิริยาและปริมาณของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศโลก

(ที่มา: <http://asd-www.larc.nasa.gov/erbe/components2.gif>)



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์

(ที่มา: http://org.ntnu.no/solarcells/pics/chap2/Solar_Spectrum.png)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลกนั้น ประกอบด้วย พลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลกโดยตรง และพลังงานจากรังสีของแสงที่เกิด

จากการกระจายและการสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศนั้น คือสามารถแบ่งองค์ประกอบของพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลกได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.1.4.3.1 รังสีตรง (direct radiation หรือ beam radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลกโดยไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้มีความเข้มของแสงสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะสำหรับการใช้กับอุปกรณ์ประเภทที่ต้องรวมแสง (concentrator) ชนิดต่างๆ ที่ต้องการค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูงๆ

2.1.4.3.2 รังสีกระจาย (diffuse radiation หรือ scattered radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกับอะตอมของธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของแสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้นโลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรงมาก รังสีของแสงในลักษณะนี้เหมาะกับการใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเข้มแสงสูงนัก เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น

2.1.4.3.3 รังสีรวม (total or global radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายแต่แยกพิจารณาถ้าพื้นผิวที่รับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและรังสีกระจายที่เกิดจากการสะท้อนจากผิวโลก รังสีอาทิตย์รวมนี้เรียกว่า รังสีรวมบนพื้นเอียง (total radiation) และถ้าพื้นผิวของวัตถุที่รับแสงเป็นพื้นราบรังสีอาทิตย์รวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากท้องฟ้า ไม่รวมส่วนที่กระจายและสะท้อนจากผิวโลก รังสีอาทิตย์รวมในกรณีนี้เรียกว่า รังสีรวมบนพื้นราบ (global radiation)

สัดส่วนของรังสีตรงกับรังสีกระจายในแต่ละวันในแต่ละพื้นที่ที่มีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศในแต่ละวันและในแต่ละพื้นที่ ผลรวมของรังสีอาทิตย์ทั้งสองประเภทเรียกว่า รังสีรวม สำหรับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วย นอกชั้นบรรยากาศโลก เรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (solar constant) มีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งค่าคงที่นี้แท้ที่จริงแล้วอาจมีการผันแปรได้ในช่วงประมาณร้อยละ ± 3.4 ต่อปี แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปก็ยังนิยมใช้เป็นค่าคงที่ดังกล่าวอยู่ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลงสู่พื้นโลกทั้งหมดต่อปีสามารถคำนวณได้ดังนี้ กำหนด 1 ปีเท่ากับ 365.25 วัน

$$E = 365.25 \times 24 \times 3600 \times 1353 \pi^3^2$$

$$= 365.25 \times 24 \times 3600 \times 1.73 \times 10^{17}$$

$$E = 5.46 \times 10^{24} \quad (2.2)$$

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ต่อปีนี้เมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานที่มนุษย์ทั่วโลกใช้ตลอดปี เช่น สมมติว่าโลกมีการใช้พลังงานทุกชนิดในปี พ.ศ. 2547 เท่ากับ 10,000 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (1 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ มีค่าเท่ากับ 12×10^9 กิโลวัตต์ชั่วโมง) แสดงว่ามีการใช้พลังงานในหน่วยจูล (J) เป็น

$$\begin{aligned} E &= 10,000 \times 12 \times 10^9 \\ &= 10,000 \times 12 \times 10^9 \times 3.6 \times 10^6 \\ E &= 4.32 \times 10^{20} \end{aligned} \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.2) และ (2.3) แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกมาสู่พื้นโลกภายใน 1 ปี เทียบได้เท่ากับพลังงานที่มนุษย์ทั่วโลกสามารถใช้ได้ประมาณ 12,639 ปี

2.1.5 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) เป็นประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก มาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานโฟตอน (photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงกลางวัน ซึ่งเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตมาจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (silicon) แกลเลียม อาร์เซไนด์ (gallium arsenide) อินเดียม ฟอสไฟด์ (indium phosphide) แคดเมียม เทลเลไนด์ (cadmium telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (copper Indium diselenide) เป็นต้น ซึ่ง

เมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบ เพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับ อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้นทำให้สามารถทำงานได้

2.1.5.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว (single crystalline silicon solar cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ monocrystalline silicon solar cell และชนิดผลึกรวม (polycrystalline silicon solar cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก

2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน (amorphous silicon solar cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มิลลิเมตร) น้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 5-10

3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ แคดเมียมเทลเลอไรด์ และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (single crystalline) และผลึกรวม (polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียมอาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 20-25

เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดแสดงไว้ดังรูปที่ 2.6



Single Crystalline
Silicon Solar Cell



Amorphous
Silicon Solar Cell



Polycrystalline
Solar Cell

รูปที่ 2.6 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และประสิทธิภาพของแผงที่ประกอบจากเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	ประสิทธิภาพของเซลล์ (%)	ประสิทธิภาพของแผง (%)
ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว	15-24	10-14
ซิลิกอนแบบผลึกรวม	10-17	9-12
ซิลิกอนแบบฟิล์มบาง	8-13	6-9
แบบสารประกอบ		
GaAs/InP	18-30	N A
CdS/CdTe	10-15	
CuInSe ₂	10-15	

(ที่มา: http://www.egat.co.th/rdo/energy/web-heater/index_heater.htm.)

2.1.5.2 คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์จะสามารถให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit current, I_{sc}) ประมาณ 3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ (open circuit voltage, V_{oc}) ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบ (standard testing condition, STC) ซึ่งเป็นการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่มีค่ารังสีอาทิตย์ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ค่ามวลอากาศ (air mass) 1.5 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับปัจจัยหลักที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่

1) ค่ารังสีอาทิตย์ (irradiance, G) ในการนำเอาเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงนั้น สภาวะต่างๆ จะไม่เป็นไปตามเงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์ที่ส่องลงมายังพื้นโลกจะเปลี่ยนไปตลอดเวลา เป็นผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนไปตามค่ารังสีอาทิตย์ กล่าวคือ ถ้าค่ารังสีอาทิตย์มีปริมาณความเข้มสูงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้มาก ในขณะเดียวกันค่ารังสีอาทิตย์มีปริมาณความเข้มต่ำเซลล์

แสงอาทิตย์ก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้น้อย สามารถคำนวณค่ากระแสที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.4)

$$I_{sc} = I_{sc}(STC) \times G \quad (2.4)$$

เมื่อ I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่สภาวะปกติ (A)
 $I_{sc}(STC)$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน (A)
 G คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่สภาวะใดๆ มีหน่วยเป็น (W/m^2)

2) อุณหภูมิ (temperature, T) อุณหภูมิเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยแรงดันไฟฟ้า (dV) จะลดต่ำลง 2.3 มิลลิโวลต์ เมื่ออุณหภูมิ (dT) เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าแสดงได้ดังสมการที่ (2.5)

$$\frac{dV}{dT} = -2.3 \quad (2.5)$$

ส่วนค่ากำลังไฟฟ้า (P) ในหน่วยวัตต์ (W) ที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.6)

$$P = IV \quad (2.6)$$

และค่าพลังงานไฟฟ้า (E) ซึ่งหมายถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลาหนึ่ง (t) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.7)

$$E = Pt \quad (2.7)$$

2.1.5.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุดได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิกอน ดังนั้นซิลิกอนจึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิกอนมาถูและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์จนกระทั่งทำให้เป็นผลึกจากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัสจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอนจะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกันจะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มิลลิเมตร) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าทีรับแสงจะมีลักษณะคล้ายกังปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

2.1.5.4 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะเมื่อมีแสงมาตกกระทบ อิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะเรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน แสงที่ตกกระทบจะมีพลังงานที่เรียกว่า พลังงานโฟตอน ที่มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของแสงที่ตกกระทบ แสดงไว้ดังสมการที่ (2.8)

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.8)$$

แสงที่ตกกระทบต้องมีพลังงานมากกว่าฟังก์ชันงาน (W) ของโลหะจึงจะทำให้โฟโตอิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้ ถ้าพลังงานของแสงที่ตกกระทบมีค่าเท่ากับฟังก์ชันงานอิเล็กตรอนจะหลุดจากผิวโลหะแต่ไม่มีพลังงานที่จะใช้ในการเคลื่อนที่

- ฟังก์ชันงาน หมายถึง พลังงานที่โลหะยึดอิเล็กตรอนไว้
- ความถี่ขีดเริ่ม (f_0) เป็นความถี่ของแสงที่ตกกระทบแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะ
- ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันงานกับความถี่ขีดเริ่ม คือ $W = hf_0$

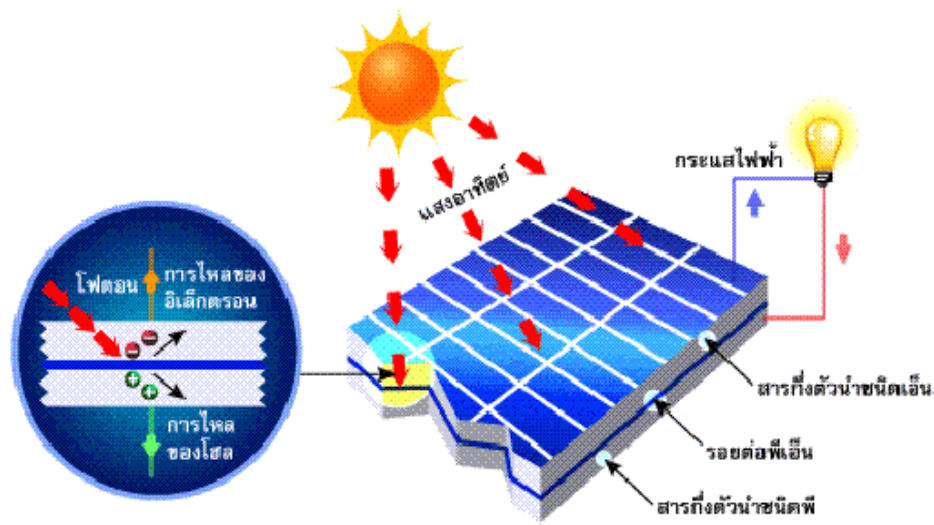
- เมื่อแสงที่ตกกระทบมีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดจากผิวโลหะได้โดยมีพลังงานเป็นไปตามสมการ $E_k = E - W$

- ความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_s) เป็นความต่างศักย์ที่ทำให้ไม่มีโฟโตอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปถึงอีกขั้วหนึ่ง ทำให้กระแสในวงจรเป็นศูนย์ และถือเป็นช่วงที่โฟโตอิเล็กตรอนมีค่าพลังงานจลน์มากที่สุด จะได้ว่า $E_k = eV_s$

โฟโตอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นกับความถี่ของแสงคือต้องมากกว่าความถี่ขีดเริ่มไอสน์ไดน์เสนอแนวคิดที่ว่าเมื่อแสงซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคที่ประกอบด้วยก้อนพลังงานเล็กๆ เรียกว่า โฟตอน (Photon) โดยโฟตอนแต่ละก้อนจะมีพลังงานเท่ากับ $h\nu$ เมื่อโฟตอนตกกระทบโลหะพลังงาน $h\nu$ ของโฟตอนจะถ่ายให้กับอิเล็กตรอนในโลหะตัวต่อตัวและการที่อิเล็กตรอนจะหลุดจากอะตอมของผิวโลหะอิเล็กตรอนจะต้องได้รับพลังงานจากโฟตอนอย่างน้อยเท่ากับค่าฟังก์ชันงาน (Work Function) ซึ่งเป็นพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนไว้กับอะตอมนั้น ถ้าพลังงานที่ได้รับมากกว่าค่าฟังก์ชันงาน พลังงานส่วนที่เหลือจะปรากฏเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน

2.1.5.5 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ประจุลบและพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ประจุบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นแสดงไว้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

(ที่มา: <http://edu.e-tech.ac.th/mdec/learning/EE02/pi01/solarcell01.gif>)

2.1.6 พลังงานลม

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ อากาศซึ่งเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ (air pressure) ของสองบริเวณ โดยจะเคลื่อนที่จากบริเวณซึ่งมีความกดอากาศสูง (high air pressure) ไปสู่บริเวณซึ่งมีความกดอากาศต่ำ (low air pressure) โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความกดอากาศต่ำ (low air pressure) ตามทฤษฎีการพาความร้อน (convection theory) คือในสภาพที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 27 องศาเซลเซียส มวลอากาศร้อนขยายตัวทำให้น้ำหนักเบาและลอยตัวขึ้นทำให้มวลอากาศบริเวณนั้นเบาบางลง เมื่อเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องก็จะเกิดเป็นความกดอากาศต่ำ ทำให้อากาศที่อยู่บริเวณข้างเคียงซึ่งมีความหนาแน่นกว่าเคลื่อนที่เข้ามาสู่ บริเวณนั้นเกิดเป็นลมซึ่งมีอิทธิพลต่อสภาพลมฟ้าอากาศในบางพื้นที่ของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวฝั่งทะเลอันดามันและด้านทะเลจีน (อ่าวไทย) สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ซึ่งในบางครั้งแรงที่เกิดจากลมอาจทำให้บ้านเรือนที่อยู่อาศัยพังทลายและต้นไม้หักโค่นลง สิ่งของวัตถุต่างๆ ล้มหรือปลิวลอยไปตามลม ฯลฯ ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อมและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จกหมดสิ้น ศักยภาพของพลังงานลมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับประเทศไทยมี

ความเร็วอยู่ระหว่าง 3-5 เมตรต่อวินาที และความหนาแน่นกำลังลมที่ประเมินไว้ได้อยู่ระหว่าง 20-50 วัตต์ต่อตารางเมตร

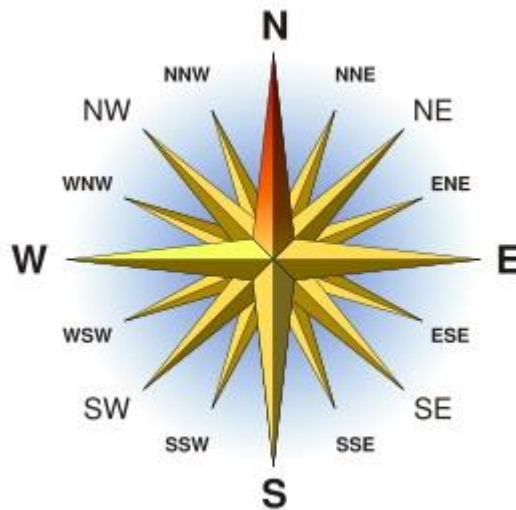
ประเทศไทยได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมานานแล้ว ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในงานด้านการเกษตรกรรม เช่น ติดตั้งกังหันชักน้ำเข้านาหรือการทำนาเกลือ เนื่องจากความเร็วลมโดยเฉลี่ยในประเทศไทยค่อนข้างสูงคือประมาณ 1.67-4.17 เมตรต่อวินาที สำหรับแถบชายฝั่งทะเลภาคใต้และอ่าวไทยบางแห่งจะมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่านี้ การใช้พลังงานลมในประเทศไทยมีความเหมาะสมเพื่อการสูบน้ำซึ่งมีพื้นที่การใช้งานและโอกาสใช้งานมากกว่าการใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าและคุ้มค่ากว่าในทางเศรษฐกิจ การใช้ฉุดระหัดสูบน้ำเข้านาข้าวใช้มากในแถบจังหวัดฉะเชิงเทรา สำหรับนาเกลือ นากุ้งมีมาก แถบจังหวัดชลบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม เพชรบุรีและปัตตานี กังหันลมแบบหลายใบมีการใช้มากสำหรับสูบน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคและการปลูกผักสวนครัว ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ส่วนการผลิตไฟฟ้าเหมาะสมในการใช้กังหันลมขนาดเล็กในพื้นที่แถบชายฝั่งหรือตามเกาะต่างๆ ที่มีศักยภาพสูง บางแห่งที่ไม่มีไฟฟ้าใช้หรือไม่สะดวกในการนำเชื้อเพลิงอื่นเข้าไปเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งกระทำได้ในรูปแบบของการประจุแบตเตอรี่หรือใช้ร่วมกับระบบดีเซลหรือเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจุบันได้มีการเริ่มทดลองใช้พลังงานลมผลิตกระแสไฟฟ้ากำลังต่ำที่สถานีสาธิตและประเมินความเหมาะสมที่จังหวัดภูเก็ตเพื่อเก็บข้อมูลและศึกษาความเป็นไปได้เนื่องจากการใช้กังหันลมในการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องใช้เทคโนโลยีสูงกว่าการใช้กังหันลมสูบน้ำเข้านาดังที่เคยใช้มา

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมยังอยู่ในวงจำกัดและศักยภาพในการนำมาใช้ยังต่ำแต่หากมีการพัฒนาเทคโนโลยีและวางแผนการใช้ที่ดีแล้วคาดว่าจะเป็พลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในอนาคตเพราะเป็นพลังงานที่ปราศจากมลพิษใดๆ อันจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.6.1 การวัดลม การตรวจวัดลมต้องตรวจวัดทั้งทิศทางลมและอัตราเร็วลม

1) ทิศลม (wind direction) อาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศหรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบันการวัดทิศลมนิยมวัดตามเข็มทิศและวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศเมื่อแบ่งย่อยอีกจะได้ 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้นมักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็น

องศาบอกมุมของลมจากทิศจริงในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกาใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศาเป็นทิศเหนือ ลมทิศ 45 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ลมทิศ 90 องศาเป็นทิศตะวันออก ลมทิศ 135 องศาเป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้ ลมทิศ 180 องศาเป็นทิศใต้ ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้ ลมทิศ 270 องศาเป็นทิศตะวันตกและลมทิศ 315 องศาเป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ทิศทางลมเรียกเป็นองศาจากทิศทางจริง

2) อัตราเร็วลม (wind speed) คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านจุดที่กำหนดบนพื้นโลก และแรงหรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม อธิบายดังในรูปของสมการที่ (2.9) สำหรับหน่วยของความเร็วคิดเป็นเมตรต่อวินาที กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอตไมล์ต่อชั่วโมง หรือโบลฟอร์ด

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2.9)$$

โดยที่	P	คือ ความดันที่เกิดจากการกระทำของลม (W/m^2)
	v	คือ อัตราเร็วลม (m/s)
	ρ	คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

2.1.6.2 เครื่องตรวจความเร็วลมมี 2 แบบ คือ

2.1.6.2.1 เครื่องวัดทิศทางลม เรียกว่า ศรลม (wind vane) ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาว ซึ่งมีความยาวเป็นเส้นทางตรงเป็นตัวบังคับให้ปลายศรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามาโดยมีแกนของศรลมหมุนไปโดยรอบและต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า อ่านทิศทางลมตามที่ปลายศรลมชี้ไปที่หน้าปัดของเครื่อง



รูปที่ 2.9 ศรลมสำหรับวัดทิศทางของลม

(ที่มา: http://www.b.yimwhan.com/board/r8_1.jpg)

2.1.6.2.2 เครื่องวัดความเร็ว เรียกว่า แอ นิโมมิเตอร์ (anemometer) ซึ่งแอ นิโมมิเตอร์แบบเก่าแก่ที่สุดคือ แบบแผ่นกระดก (pressure plate anemometer) ประดิษฐ์โดยโรเบิร์ต ฮุก (Robert Hook) เมื่อปี พ.ศ. 2210 ประกอบด้วย แผ่นโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแขวนติดอยู่กับแกน และแกนนี้ติดอยู่กับเสาในแนวตั้ง แผ่นโลหะนี้หมุนรอบแกนได้อย่างอิสระ และตั้งฉากกับทิศทางลมเสมอ เมื่อมีลมพัดปะทะกับแผ่นโลหะปลายด้านหนึ่งของแผ่นโลหะจะกระดกขึ้น มุมที่แผ่นโลหะทำกับแนวตั้งนั้นจะขึ้นอยู่กับความแรงของลม ถ้าลมนั้นแรงมากมุมที่ทำจะใหญ่ขึ้น ความเร็วลมอ่านได้จากสเกลที่ทำไว้บนโลหะโค้งที่ติดอยู่กับแกนของแผ่นโลหะ ปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ แบบลูกถ้วย (cup anemometer) ประกอบด้วย ลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบติดอยู่กับเพลานแนวตั้ง



รูปที่ 2.10 แอนิโมมิเตอร์แบบ 3 ลูกถ้วย

ความกดที่แตกต่างกันจากด้านหนึ่งของลูกถ้วยใบหนึ่งไปยังลูกถ้วยอีกใบหนึ่งเป็นเหตุให้ลูกถ้วยหมุนรอบๆ เพลากล่องไว้ดังรูปที่ 2.10 อัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อความเร็วลม การหมุนของลูกถ้วยปกติจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นความเร็วลมผ่านระบบเกียร์และสามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัด หรือส่งไปยังเครื่องบันทึกเวลา

ส่วนเครื่องวัดที่วัดได้ทั้งอัตราเร็วลมและทิศทางลม เรียกว่าแอโรเวน (aero vane) โดยรวมแอนิโมมิเตอร์กับครลมเข้าด้วยกัน เครื่องมือนี้ใช้ใบพัด 3 ใบวัดความเร็วลม ใบพัดหมุนเป็นอัตราส่วนกับความเร็วลม ด้วยรูปร่างของเครื่องมือที่มีรูปทรงอากาศพลศาสตร์ดีและมีหางเสืออยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบพัดหันเข้าหาลมแสดงไว้ดังรูปที่ 2.11 ครลมจะทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ บอกทิศทางลมและช่วยให้แกนของใบพัดชี้เข้าหาทิศทางลม ทั้งแอนิโมมิเตอร์และครลมเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องมือที่ทำการบันทึก



รูปที่ 2.11 แอโรเวนเครื่องวัดอัตราเร็วและทิศทางลม

(ที่มา: http://www.meteo6.com/d4_1a.jpg)

2.1.6.3 กำลังลมและศักยภาพของพลังงานลม

การนำพลังงานลมไปใช้ประโยชน์จะพิจารณาจากค่าพลังงานจลน์ที่มีอยู่ในกระแสอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดในช่วงที่พิจารณาดังสมการ

$$E_k = \frac{1}{2} \rho u^2 A \quad (2.10)$$

การคำนวณค่าพลังงานลมและกำลังลมที่ได้สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณและวิเคราะห์ศักยภาพกำลังลมทั้งหมดที่ไหลผ่านพื้นที่ตั้งฉากดังสมการที่ (2.11)

$$P = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (2.11)$$

โดยที่	E_k คือ พลังงานจลน์ที่มีอยู่ในกระแสลม (J)
P	คือ กำลังลม (W)
ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
A	คือ พื้นที่หน้าตัดของกังหันลม (m^2)
u	คือ ความเร็วลม (m/s)
t	คือ เวลา (s)

การพิจารณาศักยภาพพลังงานลมสามารถทำได้โดยการวัดอัตราการไหลของอากาศ (dm^3/dt) ผ่านพื้นที่ปะทะของลม (A) จากสมการการไหลแบบต่อเนื่อง พบว่าอัตราการไหลของอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความหนาแน่น (ρ) และความเร็วของอากาศ (V) แสดงไว้ดังสมการที่ (2.12)

$$\frac{dm}{dt} = \rho AV \quad (2.12)$$

พลังงานจลน์ต่อเวลาที่พิจารณาจากการเคลื่อนที่ของอากาศ
ผ่านพื้นที่ปะทะลมมีค่าเท่ากับ

$$P = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} u^2 = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (2.13)$$

และกำลังลมต่อพื้นที่ หรือเรียกว่า ความหนาแน่นกำลังลม
(wind power density) คือ

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho u^3 \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.13) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้คือ

1) ความหนาแน่นกำลังลม (wind power density) เป็นฟังก์ชันโดยตรงกับความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งความหนาแน่นของอากาศจะเป็นฟังก์ชันอุณหภูมิของอากาศ พบว่าอุณหภูมิของอากาศในชั้นบรรยากาศเป็นฟังก์ชันของความสูง ดังนั้นในการพิจารณาความหนาแน่นของอากาศ ณ ที่สูงจึงต้องทราบค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลและอุณหภูมิแวดล้อม ณ จุดที่ทำการศึกษาวิจัย โดยความหนาแน่นของอากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเลอุณหภูมิอากาศ 15 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2) กำลังที่ได้จากลมเป็นฟังก์ชันโดยตรงกับพื้นที่ใบกวาด

3) ความหนาแน่นของกำลังลมเป็นฟังก์ชันโดยตรงกับกำลังสามของความเร็วลม

ปัจจัยอย่างเช่นอุณหภูมิ ความกดอากาศ (atmospheric pressure) ระดับความสูง (elevation) และองค์ประกอบของอากาศ (air constituents) จะส่งผลกระทบต่อความ

หนาแน่นของอากาศ เมื่อพิจารณาอากาศแห้ง (dry air) ซึ่งพิจารณาให้เป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas) และจากกฎของก๊าซอุดมคติ (ideal gas law) แสดงดังสมการที่ (2.15)

$$pV_G = nRT \quad (2.15)$$

โดยที่ p คือ ความกดอากาศ (N/m^2)

V_G คือ ปริมาตรของก๊าซ (m^3)

n คือ จำนวนโมลของก๊าซ (mole)

R คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ (universal gas constant)

T คือ อุณหภูมิ (K)

ความหนาแน่นของอากาศซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างมวลกับปริมาตรของอากาศแสดงดังสมการที่ (2.16)

$$\rho_a = \frac{m}{V_G} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.15) และสมการที่ (2.16) เราสามารถเขียนสมการความหนาแน่นได้เป็น

$$\rho_a = \frac{mp}{RT} \quad (2.17)$$

ถ้าเราทราบระดับความสูง z และอุณหภูมิ T ณ สถานีวัดความเร็วลม เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นอากาศได้ดังสมการที่ (2.18)

$$\rho_a = \frac{353.049}{T} e^{\left(-0.034 \frac{z}{T}\right)} \quad (2.18)$$

ความหนาแน่นของอากาศมีค่าลดลงเมื่อความสูงและอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่แล้วความหนาแน่นอากาศมักจะพิจารณาให้มีค่าคงที่เท่ากับ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.1.7 กังหันลม

กังหันลม (wind turbine) เป็นอุปกรณ์รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของกระแสลม แล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงานกลเพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น สูบน้ำ หรือใช้ผลิตไฟฟ้า เป็นต้น กังหันลมที่ใช้กันมากในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ได้แก่ กังหันลมแบบใบกังหันไม้ ใช้สำหรับวิดน้ำเข้านาข้าวบริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา กังหันใบเสื่อลำแพนใช้วิดน้ำเค็มเข้านาเกลือบริเวณจังหวัดสมุทรสงคราม และกังหันลมแบบใบกังหันหลายใบทำด้วยแผ่นเหล็กใช้สำหรับสูบน้ำลึก เช่น น้ำบาดาล น้ำบ่อ ขึ้นไปเก็บในถังกักเก็บ

2.1.7.1 การจำแนกชนิดของกังหันลม

การจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันสามารถจำแนกกังหันลมได้ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวแกนตั้ง และกังหันลมที่มีแกนหมุนในแกนแนวนอน

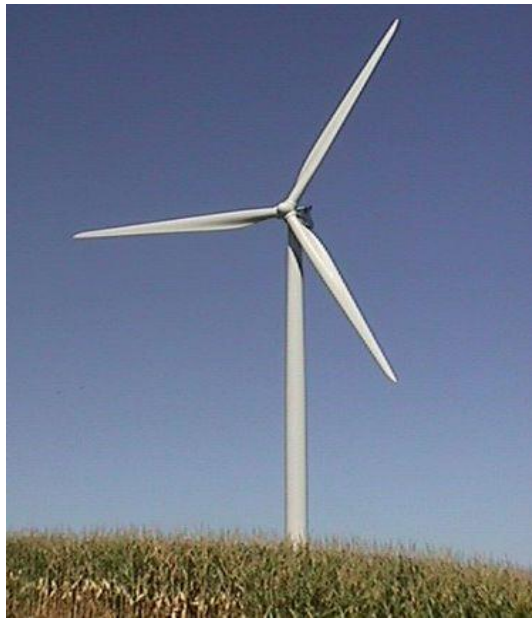
1) กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง (vertical axis wind turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมแสดงไว้ดังรูปที่ 2.12 โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุนทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยสามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทาง แต่กังหันลมชนิดนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยมีการใช้งานอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของกังหันลมที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.12 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง

(ที่มา: <http://www.pst.co.th/UserFiles/Image/wind-turbineHori.jpg>)

2) กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน (horizontal axis wind turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมแสดงไว้ดังรูปที่ 2.13 โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอนแบบสามใบพัดซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเป็นกังหันลมที่ได้รับความนิยมใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลายมากที่สุดถึงร้อยละ 75 ของกังหันลมที่มีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 2.13 กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน

(ที่มา: http://apps.carleton.edu/reason_package/reason_4.0/www/images/60759_tn.jpg)

กังหันลมแบบแนวแกนนอนเป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ในปัจจุบันกังหันลมแบบแนวแกนตั้งซึ่งได้รับการพัฒนามากในระยะหลังก็ได้รับความนิยมมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีกว่าแบบแนวแกนนอน คือแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังหมุนได้โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม นอกจากนี้แล้วแบบแนวแกนตั้งนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแกนนอนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดอยู่บนหอคอยสูง

2.1.7.2 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดจวนั้นเมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหันพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนได้เป็นพลังงานกลออกมาพลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านขดลวดตัวนำ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนหมุน (rotor) ซึ่งจะมีแม่เหล็กฝังอยู่ในร่องรอบแกนหมุนและส่วนที่อยู่กับที่ (stator) ซึ่งภายในมีขดลวดที่ทำจากแผ่นเหล็กอัดแน่นฝังอยู่โดยการเคลื่อนที่

ของแม่เหล็กผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลมทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไปโดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบภายในระบบกังหันลมขนาดเล็ก

ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (rotor diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (swept area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 2.2 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (กิโลวัตต์)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดจิ๋ว (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5-2.0	3-10	7-80
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20-200	10-25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200-1,500	25-70	500- 3,850
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

(ที่มา: <http://www.xn--12cm8c6at8a2bc.com/?p=39>)

1) กังหันลมขนาดจิ๋ว (micro wind turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับการติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทห่างไกลเพื่อผลิตไฟฟ้าและจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น การใช้กับเครื่องมือสื่อสารหรือแสงสว่างในบางเวลา

2) กังหันลมขนาดเล็ก (small wind turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.5-20 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับการติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น ใช้ตามครัวเรือนหรือสำนักงานขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล

3) กังหันลมขนาดกลาง (medium wind turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 20-200 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับการติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าในระบบผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ระบบผสมผสานดีเซล-เซลล์แสงอาทิตย์-กังหันลม เพื่อใช้ในระบบกริดย่อย (minigrid) ตามชุมชนห่างไกล

4) กังหันลมขนาดใหญ่ (large wind turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200-1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับการติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าแบบฟาร์มกังหันลมบนฝั่งเพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (grid connection)

5) กังหันลมขนาดใหญ่มาก (very large wind turbine) มีขนาดกำลังผลิตมากกว่า 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับการติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าแบบฟาร์มกังหันลมบนฝั่งและนอกชายฝั่งเพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (grid connection)

2.1.7.3 กังหันลมกับการใช้งาน

เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติและความต้องการพลังงานที่สม่ำเสมอเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว ดังนั้นจึงต้องมีตัวกักเก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรองหรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น

1) ตัวกักเก็บพลังงานมีอยู่หลายชนิด ส่วนมากขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ เช่น ถ้าเป็นกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้แบตเตอรี่เป็นตัวกักเก็บ

2) การใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เป็นตัวหมุน ระบบนี้ปกติกังหันลมจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้ตลอดเวลาที่มีความเร็วลมเพียงพอ หากความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ แหล่ง พลังงานชนิดอื่นจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานทดแทน (ระบบนี้กังหันลมจ่ายพลังงานเป็นตัวหลักและแหล่งพลังงานส่วนอื่นเป็นแหล่งสำรอง)

3) การใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น อาจเป็นเครื่องจักรดีเซลหรือพลังงานน้ำจากเขื่อน ฯลฯ ระบบนี้ปกติมีแหล่งพลังงานชนิดอื่นจ่ายพลังงานอยู่ก่อนแล้ว กังหันลมจะช่วยจ่ายพลังงานเมื่อมีความเร็วลมเพียงพอ ซึ่งในขณะเดียวกันก็ลดการจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น เช่น ลดการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ดีเซล (ระบบนี้แหล่งพลังงานอื่นจ่ายพลังงานเป็นหลักส่วนกังหันลมทำหน้าที่คอยเสริมพลังงานจากต้นพลังงานหลัก)

2.1.7.4 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า ระบบกังหันลมขนาดจัมมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.15

- 1) ใบพัด (blades) ทำจากไฟเบอร์กลาสผสมพลาสติก
- 2) กรวยจมูก (nose cone)
- 3) หน้าแปลนจานหนีบใบพัด (press plate)

4) แผ่นรองเพิ่มความกว้างระหว่างหน้าแปลนจานหนีกับใบพัดและ
นอต (spacer and nut)

5) สลักเกรียว (bolt)

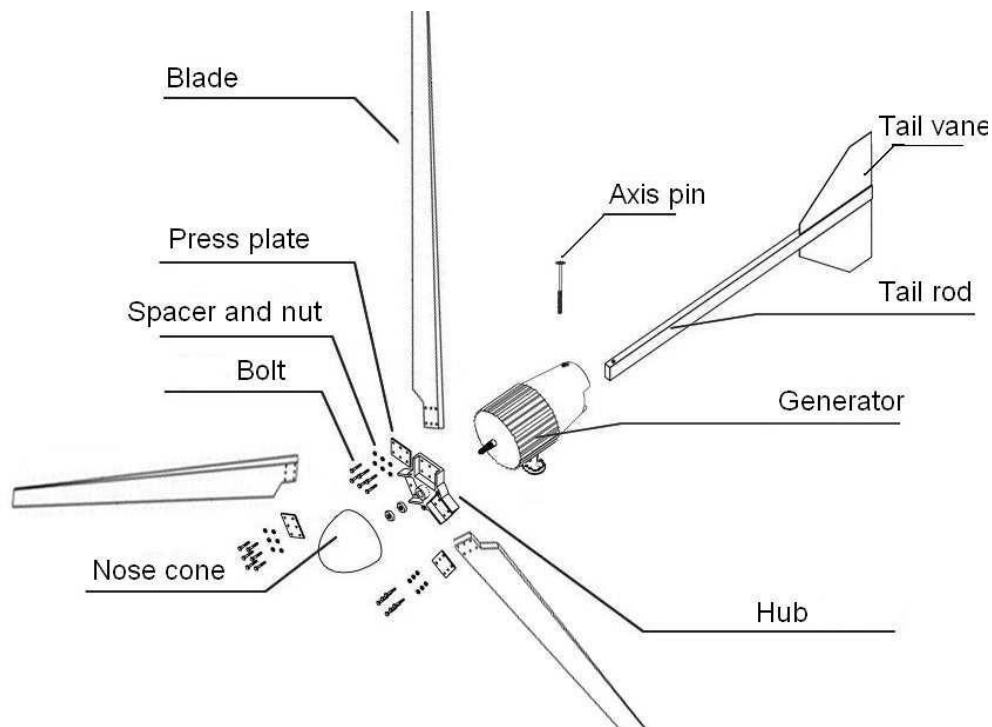
6) ศูนย์กลางใบพัด (hub) ทำจากเหล็กหล่อ

7) ตัวกำเนิดไฟฟ้า (generator)

8) แกนสลักเกรียวทางเสือ (axis pin)

9) แกนทางเสือ (tail rod)

10) หางเสือ (tail vane)



รูปที่ 2.15 กังหันลมแนวแกนนอนรุ่น Whisper 200 ขนาด 1 kW (ที่มา:<http://www.nb-tairui.com/pic/300w-2kw%20wind%20turbine.jpg>)

2.1.8 ป้อนน้ำ

ปั้มน้ำหรือเครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งหรือหมุนเวียนน้ำหรือของเหลวให้ผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่ปั้มน้ำทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นต้นกำลังหมุนส่งกำลังให้ปั้มน้ำทำงานเพิ่มแรงดันให้น้ำและส่งน้ำไปตามท่อ

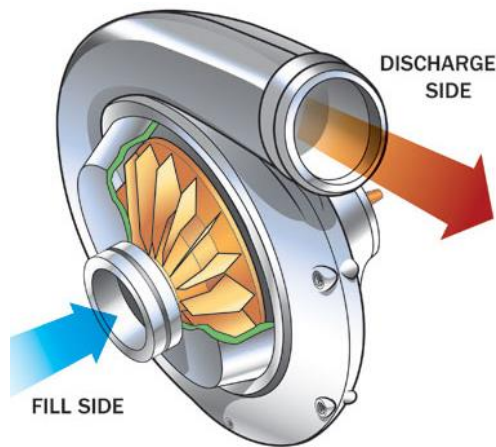
ในปัจจุบันเครื่องปั้มน้ำจัดเป็นอุปกรณ์เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมาก เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค การเกษตร คมนาคม อุตสาหกรรม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียเพื่อรักษาภาวะแวดล้อมที่ดีให้กับมนุษย์ ซึ่งวิวัฒนาการของเครื่องปั้มน้ำในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาเป็นการใช้พลังงานจากไอน้ำ จากเครื่องยนต์และที่นิยมกันมากคือการใช้ไฟฟ้าเนื่องจากความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

2.1.8.1 ประเภทปั้ม

ปัจจุบันได้มีการจัดแบ่งแยกประเภทของปั้มหลายรูปแบบและมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ดังนั้นจึงมีการจัดหมวดหมู่แยกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

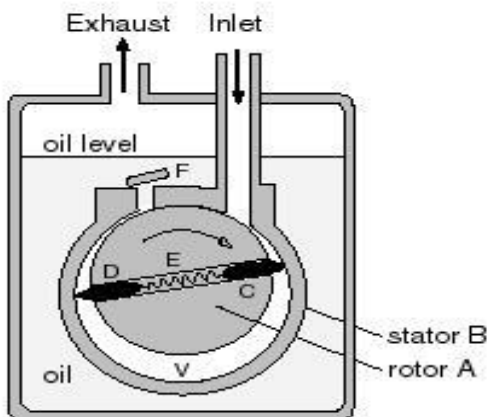
2.1.8.1.1 ประเภทตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวหรือการไหลของของเหลวในปั้ม

1) ประเภทเซนตริฟูกอล (centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หลักการทำงานโดยทั่วไปของปั้มแบบเซนตริฟูกอล โดยใบพัดติดตั้งอยู่ที่เพลาศูนย์กลางของเรือนปั้มของเหลวจะถูกดูดเข้าทางจุดศูนย์กลางใบพัด เรียกว่าทางดูด (suction opening) เมื่อถูกผลักดันออกไปด้วยแรงผลักดันของครีบบใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (central centrifugal escape) ก็จะไหลออกมาตลอดแนวเส้นรอบวง ดังนั้นใบพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ในเรือนปั้มเพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่ทางจ่าย (discharge opening) เพื่อต่อเข้าท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลักดันออกมานี้ จำเป็นต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของใบพัด ดังนั้นจะมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในของเรือนปั้มเข้ามาชิดกับขอบของใบพัดมาก จุดดังกล่าวนี้เรียกว่า ลิ้นเรือนปั้ม (tongue of the casing)



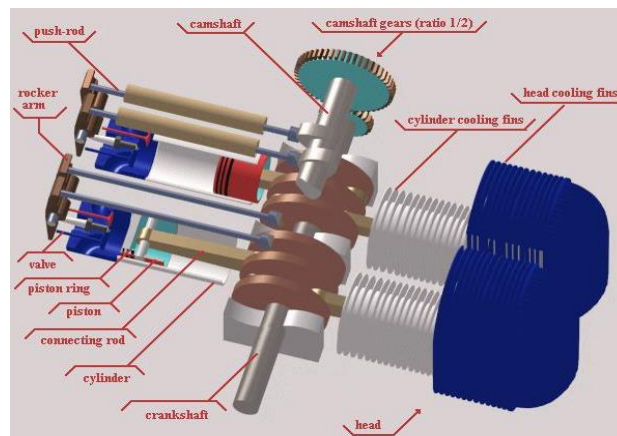
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของปั๊มประเภทเซนตริฟูกอล (ที่มา:<http://static.howstuffworks.com/gif/super-charger-12.jpg>)

2) ประเภทโรตารี (rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง หลักการทำงานทั่วไปของปั๊มแบบโรตารีโดยเมื่อของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออกโดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกลซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสุกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์ (rotor) จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (positive displacement) ให้ทางด้านจ่าย



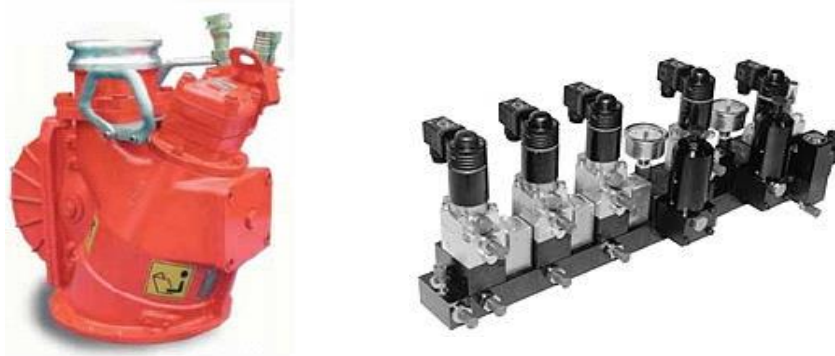
รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของปั๊มประเภทโรตารี (ที่มา:<http://www4.nau.edu/microanalysis/microprobe/img/MechPump.gif>)

3) ประเภทสูบชัก (reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ ประกอบด้วยกระบอกสูบซึ่งเคลื่อนที่ไปมาเป็นเส้นตรงโดยการหมุนของแกนซึ่งมีก้านสูบแบบเดียวกับเครื่องยนต์สูบชัก โดยการจัดระบบวาล์วปิด-เปิด ให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบซึ่งทำให้ของเหลวถูกดูดเข้าไปยังช่องว่างของกระบอกสูบและลูกสูบโดยผ่านวาล์วตัวหนึ่งและเมื่อลูกสูบเดินกลับของเหลวนี้ก็จะไหลออกไปโดยผ่านวาล์วอีกตัวหนึ่งทำให้สามารถผลักดันของเหลวออกไปได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังลูกสูบ



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของปั๊มประเภทสูบชัก (ที่มา: <http://alexander.voivoditch.free.fr/Recipr53.gif>)

4) ประเภทนอกแบบ (special) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

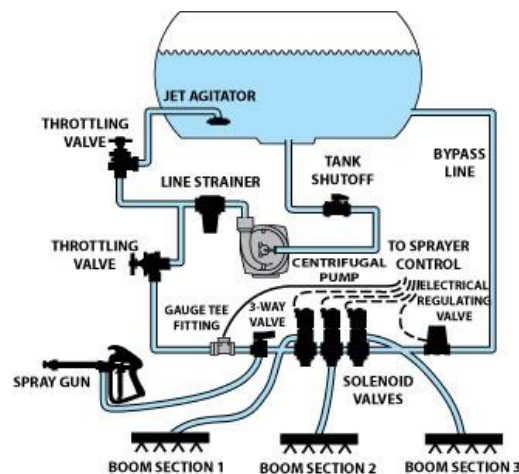


รูปที่ 2.19 ปั๊มประเภทนอกแบบ (ที่มา: <http://www.scphub.ac.th/LessonLearn/unit4.htm>)

ในแต่ละประเภทที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบและมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป

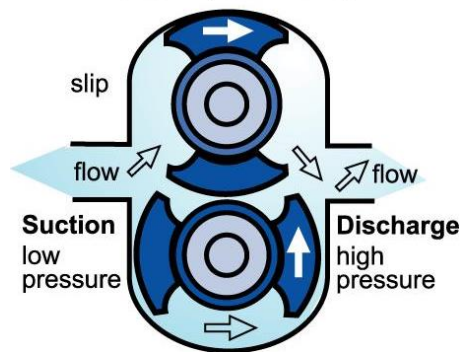
2.1.8.1.2 ประเภทตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1) ปั๊มแบบไม่แทนที่ (non-positive displacement) ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ปกติใช้ในงานความดันต่ำ อัตราการไหลสูง ไม่สามารถรับความดันสูงๆ ได้ ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้



รูปที่ 2.20 ปั๊มประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (ที่มา: <http://www.teejet.com/media/35473/non-positive-pump.jpg>)

2) ปั๊มแบบแทนที่ (positive displacement) ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มชนิดนี้จะจ่ายของไหลด้วยปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่งต่อการหมุนรอบหนึ่งของเพลลา สามารถรับความดันที่สูงขึ้นในระบบได้ดี ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารีและลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน



รูปที่ 2.21 ปัมประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (ที่มา: http://www.emt-india.net/equipment_tips/fans_pumps/img/pumps_pos_displace.gif)

ในการคำนวณเพื่อเลือกใช้เครื่องปั้มน้ำให้ได้อย่างถูกต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญสองอย่าง คืออัตราการไหลของน้ำและหัวน้ำที่ปั้มต้องให้แก่ น้ำซึ่งสามารถคำนวณอัตราการกำลังงานที่ต้องใช้ แสดงไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำใช้ต่อคนและจำนวนชั่วโมงที่ใช้น้ำสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทของอาคาร	ปริมาณน้ำใช้ต่อวัน โดยเฉลี่ย (ลิตร)	จำนวนชั่วโมงใช้น้ำ โดยเฉลี่ย (ชั่วโมง)	ข้อสังเกต
สำนักงาน	100 - 120	8	ต่อผู้ทำงาน 1 คน
โรงพยาบาล	250 - 1,000	10	ต่อเตียง (คนไข้นอก : 8 ลิตร) ผู้ทำงาน : 120 ลิตร ผู้ดูแลคนไข้ : 160 ลิตร
โรงละคร โรงหนัง	10	3	ต่อผู้ชม 1 คน
ร้านขายสินค้าหลายอย่าง ร้านขายของปลีก	3	8	ต่อลูกค้า 1 คน (ผู้ทำงาน : 100 ลิตร ผู้ทำงานที่อาศัยอยู่ในร้าน : 160 ลิตร)
ภัตตาคาร	15	7	-
ร้านอาหาร	30	5	-

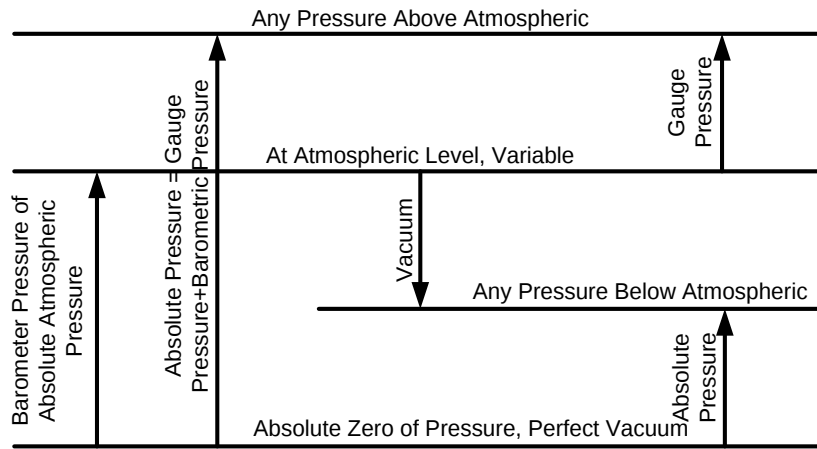
บ้าน อาคาร อพาร์ทเมนต์	160 - 250	8 – 10	ต่อผู้เช่า 1 คน
โรงแรม	250 - 300	10	ต่อผู้พัก 1 คน
โรงเรียนประถมและ มัธยมต้น	40 - 50	5 – 6	ต่อนักเรียน 1 คน
ห้องปฏิบัติการทดสอบ	100 - 200	8	ต่อผู้ทำงาน 1 คน
โรงงาน	60 - 140	8	ต่อ หนึ่ง คน ต่อ หนึ่ง ผลัด (ชาย : 80 ลิตร หญิง : 100 ลิตร)
สถานีรถไฟ	3	15	ต่อผู้โดยสาร 1 คน

(ที่มา: http://www.oocities.com/gears05/en_pump.htm)

2.1.8.2 ความดันและหัวน้ำ

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของปั๊ม จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดัน และหัวน้ำหรือหัวน้ำของปั๊ม ดังนี้

1) ความดันของบรรยากาศ (atmospheric pressure) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลก แต่เนื่องจากว่าลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบแสดงไว้ดังรูปที่ 2.22 จากรูปความดันของบรรยากาศมีค่าศูนย์อย่างแท้จริงหรือไม่มีความดันเลย ซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสุญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สมบูรณ์ (absolute zero pressure) ค่าความดันใดๆ ที่วัดจากค่าความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสมบูรณ์ (absolute pressure, P_{abs}) รวมทั้งความดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร หรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ก็เป็นความดันสมบูรณ์ด้วย แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บาโรมิเตอร์ (barometer) ค่าความกดดันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่า ความดันจากบาโรมิเตอร์ (barometer pressure, P_b)



รูปที่ 2.22 ความดันบรรยากาศ

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่วๆ ไปเป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดดันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียกว่า ความดันจากเกจ (gauge pressure, P_b) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบ จากภาพจะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนความดันจากเกจให้เป็นความดันสมบูรณ์ได้โดย

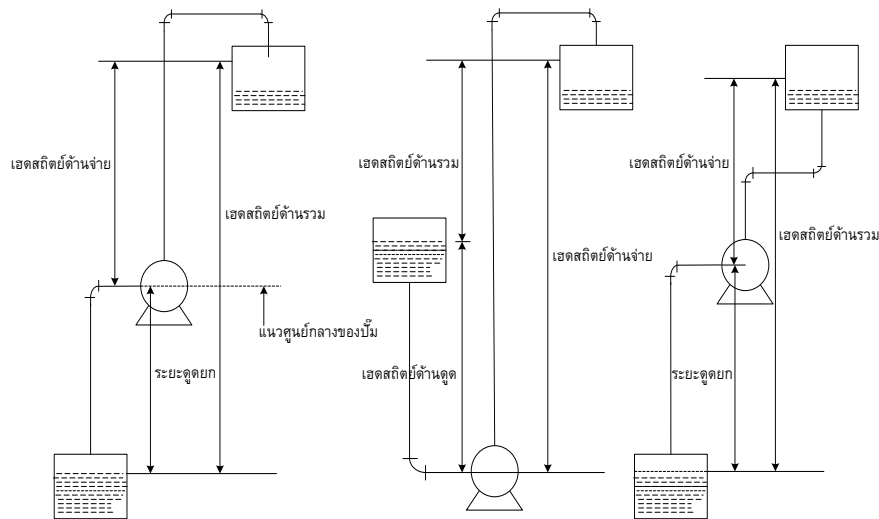
$$P_{abs} = P_b + P_g \quad (2.19)$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์

$$P_b = 1013 - 0.1055 \text{ EL} \quad (2.20)$$

ในเมื่อ P_b เป็นความดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์หนึ่งมิลลิบาร์ เท่ากับ 0.0145 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส ได้เท่ากับ 0.010197 เมตร และ EL เป็นระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางมีหน่วยเป็นเมตร

2) หัวน้ำสถิต (static head, H_s) ในการทำงานของปั๊มโดยทั่วๆ ไปของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแบ่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า หัวน้ำสถิต (static head) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 หัวน้ำสถิต

ตามภาพระยะทางในแนวตั้งที่บอกเป็นแบ่งความสูงของของเหลวหรือหัวน้ำจากศูนย์กลางของปั๊มถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า หัวน้ำสถิตด้านจ่าย (static discharge head) ระยะจากจุดศูนย์กลางของปั๊มถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดซึ่งอยู่สูงกว่า เรียกว่าหัวน้ำสถิตด้านดูด (static suction head) ถ้าผิวของของเหลวอยู่ต่ำกว่าและความดันที่ศูนย์กลางของปั๊มจะมีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้จะเรียกว่า ระยะดูดยก (static suction lift) แทน

3) หัวน้ำรวม (total head, H_r) หัวน้ำรวมของน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของหัวน้ำ ณ จุดนั้นๆ หัวน้ำรวมที่ปั๊มน้ำจะต้องเพียงพอเพื่อส่งน้ำในอัตราไหลที่กำหนดจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่ง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.21)

$$H_r = H_p + H_v + H_s = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z \quad (2.21)$$

เมื่อ Z คือ หัวน้ำสถิตหรือความสูงของของเหลว

ความแตกต่างระหว่างหัวน้ำรวมของ 2 จุด ในกรณีที่ไม่มี การเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวก็คือหัวน้ำความหนึ่ระหว่าง 2 จุดนั้น

ดังนั้นหัวน้ำความหนึ่ระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

$$H_{f12} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + z_1 - z_2 \quad (2.22)$$

ในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของปั๊มและจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของปั๊ม หัวน้ำที่เพิ่มขึ้นก็คือหัวน้ำที่ปั๊มให้น้ำหัวน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า หัวน้ำของปั๊ม (total dynamic head หรือ total discharge head, H_{TDH})

$$\begin{aligned} H_{TDH} &= H_{T2} - H_{T1} + H_T \\ &= \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_T \end{aligned} \quad (2.23)$$

ในกรณีที่ H_T น้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ และระดับทางเข้าและออกของปั๊มอยู่ในระดับเดียวกัน

$$\begin{aligned} z_1 &= z_2 \\ H_{TDH} &= \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \\ &= H_{P1} - H_{P1} + H_{V2} - H_{V1} \end{aligned} \quad (2.24)$$

2.1.9 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบ

สำหรับการวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบพลังงานผสมผสานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมจะทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบแต่ละตัว โดยเริ่มจากการหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของกังหันลม โดยประมาณค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ร้อยละ 95 เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ใหม่ยังไม่ได้ใช้งาน

ระบบสูบน้ำผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนขนาด 40 วัตต์ จำนวน 27 แผง รวมขนาดกำลังสูงสุด 1,080 วัตต์ กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตเต็มพิกัด 1,000 วัตต์ 1 ตัว ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 125 แอมแปร์ชั่วโมง ปั๊มน้ำกระแสนตรง ถังเก็บน้ำ นอกจากนั้น ยังมีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ ได้แก่ ดิจิตอลมิเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบสามารถคำนวณได้โดยการหาประสิทธิภาพของระบบจากสมการที่ (2.25)

$$\eta_{\text{sys}} = \eta_{\text{pv}} \times \eta_{\text{wind}} \times \eta_{\text{batt}} \times \eta_{\text{pump}} \times 100\% \quad (2.25)$$

โดยที่	η_{sys}	คือ ประสิทธิภาพของระบบ
	η_{pv}	คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์
	η_{wind}	คือ ประสิทธิภาพของกังหันลม
	η_{batt}	คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่
	η_{pump}	คือ ประสิทธิภาพของปั๊ม

2.1.9.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.26)

$$\eta_{pv} = \frac{V_{DC} \times I_{DC}}{A \times I_T} \times 100\% \quad (2.26)$$

โดยที่	V_{DC}	คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V)
	I_{DC}	คือ กระแสไฟฟ้าตรง (A)
	A	คือ พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
	I_T	คือ รังสีอาทิตย์รวมบนพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m^2)

โดยค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์บนพื้นเอียงสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.27)

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + I_G \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (2.27)$$

โดยที่	I_B	คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตรงบนพื้นราบ (W/m^2)
	I_d	คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กระจายบนพื้นราบ (W/m^2)
	I_G	คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ (W/m^2)
	R_b	คือ อัตราส่วนของรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อพื้นราบ
	β	คือ มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (องศา)
	ρ_g	คือ ค่าการสะท้อนของพื้นผิว (dimensionless)

สามารถหาได้เมื่อ

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi + \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (2.28)$$

เมื่อ	ϕ	คือ เส้นรุ้ง (degree)
	δ	คือ มุมเดคลิเนชัน (degree)
	ω	คือ มุมชั่วโมง (degree)

และสามารถหาค่าความเข้มรังสีกระจายได้จากความสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ (2.29) เมื่อทราบค่าดัชนีความใส (clearness index) ของท้องฟ้าจากสมการที่ (2.30)

$$\frac{I_d}{I_G} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_T & \text{for } k_T \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1064k_T + 4.388k_T^2 & \text{for } 0.22 \leq k_T \leq 0.80 \\ -16.638k_T^3 + 12.336k_T^3 & \text{for } k_T > 0.80 \\ 0.165 & \end{cases} \quad (2.29)$$

$$k_T = \frac{I_G}{I_0} \quad (2.30)$$

เมื่อ I_0 คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบรายชั่วโมง (W/m^2) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.31)

$$I_0 = \frac{12 \cdot 360}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.003 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left[\cos \phi \cos \sigma (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.31)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่าคงที่รังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $1,367 \text{ (W/m}^2\text{)}$
 n คือ วันลำดับที่ n ของปี

และสามารถคำนวณหาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตรงบนพื้นราบเมื่อทราบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบและค่าความเข้มรังสีกระจายบนพื้นราบดังสมการที่ (2.32)

$$I_b = I_G - I_d \quad (2.32)$$

2.1.9.2 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบการหาประสิทธิภาพของกังหัน

ลม

สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.33)

$$\eta_{wind} = \frac{V_{AC} \times I_{AC}}{P_w} \times 100\% \quad (2.33)$$

โดยที่ V_{AC} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (V)
 I_{AC} คือ กระแสไฟฟ้าสลับ (A)
 P_w คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันลม (W)

กำหนดให้ C_p เป็นสัมประสิทธิ์กำลังงาน (power coefficient) ซึ่ง C_p จะเป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันลมสกัดได้จากกระแสลม ถ้า P_w แทน กำลังงานที่ได้จากกังหันลมดังนั้น

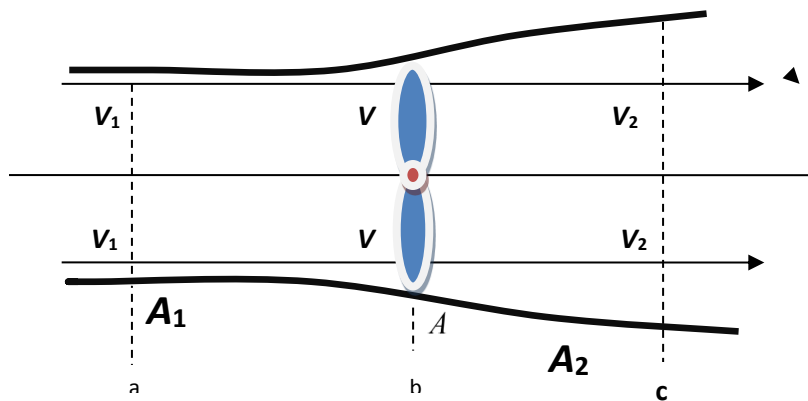
$$P_w = C_p \times P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \quad (2.34)$$

พิจารณาภาพที่ 27 พื้นที่หน้าตัด A_1 A และ A_2 ของตำแหน่ง a b และ c มีค่าความเร็วลม V_1 V และ V_2 ตามลำดับ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ต่อเนื่องดังสมการที่ (2.35)

$$A_1 V_1 = A V = A_2 V_2 \quad (2.35)$$

การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของกระแสลม ณ หน่วยเวลา t ดังสมการที่ (2.36)

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V (V_1^2 - V_2^2) \quad (2.36)$$



รูปที่ 2.24 พื้นที่หน้าตัดกั้นลม

และปริมาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมที่มีต่อกังหัน โดยแรง F

$$F = \rho A V (V_1 - V_2) \quad (2.37)$$

คิดเป็นกำลังงาน

$$P = FV = \rho AVPV^2 (V_1 - V_2) \quad (2.38)$$

ดังนั้น

$$\rho AV^2 (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} \rho AV (V_1^2 - V_2^2) \quad (2.39)$$

และ

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

Betz เสนอแนวทางการหาค่าสูงสุดของการสกัดกำลังงานจาก
กระแสลมให้ได้สูงสุด โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเร็วลม V_1 และ V_2 ถ้ากำหนดให้ $V_2 = dV_1$
แทนค่าลงในสมการที่ (2.40)

$$P = \frac{1}{2} \rho A \left[\frac{1}{2} (V_1 + dV_1) \right] (V_1^2 - d^2 V_1^2) \quad (2.40)$$

$$= \frac{1}{4} \rho A V_1^3 (1+d) (1-d^2)$$

ค่า P มีค่าสูงสุดเมื่อ $\partial P / \partial d = 0$ และ ณ จุดนี้พบว่า

$$d = \frac{1}{3}$$

ดังนั้น

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \rho A V_1^3 \left(1 + \frac{1}{3} \right) \left(1 - \frac{1}{9} \right)$$

$$\text{หรือ} \quad = \frac{1}{2} \left(\frac{16}{27} \right) \rho A V_1^3 \quad (2.41)$$

ค่า $\left(\frac{16}{27} \right)$ ก็คือสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด C_{Pmax} เรียกว่า

betz coefficient

2.1.9.3 ประสิทธิภาพทางด้านพลังงานของแบตเตอรี่

สามารถคำนวณได้จากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้จากแบตเตอรี่ในขณะกำลังคายประจุ (discharging) ต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกถ่ายเทไปยังแบตเตอรี่ในขณะที่กำลังประจุ (charging) จากสมการที่ (2.42)

$$\eta_{batt} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.42)$$

โดยที่ P_{out} คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้จากแบตเตอรี่ในขณะกำลังคายประจุ (W)

P_{in} คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกถ่ายเทไปยังแบตเตอรี่ในขณะที่กำลังประจุ (W)

2.1.9.4 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของระบบการหาประสิทธิภาพของปั๊ม

สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.43)

$$\eta = \frac{W_o}{W_i} \times 100\% \quad (2.43)$$

โดย W_o คือ กำลังงานของน้ำ (W)

W_i คือ กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊ม (W)

กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มและที่ปั๊มให้น้ำ กำลังงาน หมายถึง อัตราการทำงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ แรงม้าและวัตต์ ซึ่ง 1 แรงม้า = 746 วัตต์หรือนิวตันเมตรต่อวินาที หรือ 550 ฟุตปอนด์ต่อวินาที

1) กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มวัดได้จากแรงหมุนของ มอเตอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์ดังสมการ

$$\begin{aligned} W_i &= F k g_f \times 9.81 \frac{N \text{ (Newton)}}{kg_f} \times n \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times 2\pi r \frac{m}{\text{rev}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ (sec)}} \\ &= 1.0277 F n r \frac{N \cdot m}{\text{sec}} \\ &= 1.0277 F n r \end{aligned} \quad (2.44)$$

โดย	n	คือ ความเร็วรอบต่อนาที
	F	คือ แรงหมุนวัดที่ปลายของมอเตอร์ไดนาโมมิเตอร์ (kg)
	r	คือ ความยาวของแขนหมุนของไดนาโมมิเตอร์ (m)
	W_i	คือ กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊ม (W)

ในกรณีที่ค่าแรงหมุน $T = F \times r$ สามารถอ่านค่าได้โดยตรงและมีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร

$$\begin{aligned} W_i &= T n \times 2\pi \frac{\text{radian}}{\text{min}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ sec}} \\ &= 0.1047 n T \frac{N \cdot m}{\text{sec}} \\ &= 0.1047 T n \end{aligned} \quad (2.45)$$

2) กำลังงานที่ปั๊มให้น้ำหรือกำลังงานของน้ำหาได้จาก อัตราการไหลของน้ำและความดันที่เพิ่มขึ้นดังสมการ

$$\begin{aligned}
 W_o &= P \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \times Q \frac{\text{It}}{\text{min}} \times 9.81 \frac{\text{N(Newton)}}{\text{kg}_f} \times 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \times \frac{\text{m}^3}{10^3 \text{ It}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ sec}} \\
 &= 1.635PQ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{sec}} \\
 &= 1.635PQ
 \end{aligned}
 \tag{2.46}$$

โดย	Q	คือ อัตราการไหลของน้ำ (l-s)
	P	คือ ความดันที่เพิ่มขึ้น (kg/cm ²)
	N-m	คือ ความดันท่อส่ง-ความดันท่อดูด
	W _o	คือ กำลังงานที่มอเตอร์ให้กับน้ำ (W)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ

[ตุลา จุฑะรสก](#) (2543) ได้ศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผสมผสานระหว่างอะมอร์ฟัสซิลิกอนกับผลึกซิลิกอนแบบฟิล์มบางซึ่งมีประสิทธิภาพสูงและไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิใช้งานที่สูง ในระยะแรกได้ออกแบบเครื่องจักรและหารายละเอียดต่างๆ เพื่อดำเนินโครงการและได้เริ่มติดตั้งเครื่องจักรหลักที่ใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชั้นหนึ่งของโรงงานต้นแบบภายในอุทยานวิทยาศาสตร์รังสิต ตั้งแต่เดือน ต.ค. 2543 ปัจจุบันสามารถพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงเกินกว่าร้อยละ 15 และอยู่ในระหว่างการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงตามเป้าหมาย คาดว่าสามารถเริ่มผลิตเชิงพาณิชย์ขนาดกำลังการผลิตประมาณ 30 กิโลวัตต์ ได้ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2546 ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้จะทำการส่งมอบให้กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและกรมโยธาธิการนำไปติดตั้งบนหลังคาสถานีอนามัยและนำไปใช้งานกับระบบสูบน้ำเพื่อทดสอบการใช้งาน

วีระพล โมนยะกุล (2543) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ ระบบสูบน้ำ ระบบประจุแบตเตอรี่แบบรวมศูนย์ ระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง และระบบผลิตไฟฟ้าต่อเชื่อมกับระบบสายไฟฟ้าแรงดันต่ำของการไฟฟ้า เป็นต้น การดำเนินงานดังกล่าวมีทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งส่วนใหญ่ที่ได้ดำเนินการมาแล้วนั้นเกือบทั้งหมดเป็นของ

ภาครัฐ โดยได้ติดตั้งตามสถานที่ต่างๆ เช่น ในเขตอุทยานแห่งชาติ สถานีอนามัย โรงเรียน บ้านพักอาศัย และในหมู่บ้านชนบทที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าใช้ การประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยในแต่ละปี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนอุปกรณ์ประกอบระบบได้มีการผลิตและพัฒนาขึ้นเองเพียงบางรายการ การทดสอบจะอ้างอิงตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตหรือบริษัทต้นแบบในต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวกำหนดคุณภาพสินค้าที่ผลิตขึ้นเองหรือนำ เข้าจากต่างประเทศให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

นิพนธ์ เกตุจ้อย (2546) ได้ศึกษาแนวคิดในการจัดหาไฟฟ้าให้กับหมู่บ้านที่ยังไม่มีไฟฟ้าในประเทศไทยโดยใช้พลังงานหมุนเวียน ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในพื้นที่เหล่านี้จะเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก (มินิกริด) ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าสายส่งแรงดันต่ำ จ่ายไฟฟ้าให้กับหมู่บ้านหรือกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือการไฟฟ้านครหลวง ระบบมินิกริดประกอบไปด้วยระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานหมุนเวียน (hybrid power plant) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (grid line) ภาระทางไฟฟ้า (loads) และระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System, EMS) ขนาดของระบบมินิกริดที่กล่าวถึงนี้จะแบ่งเป็นระบบ 1-phase มีขนาดไม่เกิน 10 กิโลวัตต์ และระบบ 3-phase มีขนาดไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ ผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบมินิกริดแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าแบบโดดเดี่ยว (single user) และผู้ใช้ไฟฟ้าแบบหลากหลาย (multi user)

มवलทกานต์ พิษโรจน์ และจอมภพ แวศักดิ์ (2550) ได้ศึกษาขนาดที่เหมาะสมของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์-ลม สำหรับระบบประปาหมู่บ้านในพื้นที่ชนบทห่างไกลที่ระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง โดยระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์-ลม ประกอบด้วยปั้มน้ำผิวดินกระแสดรง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่ ถังน้ำขนาด 1,600 ลิตร ที่ระยะหัวน้ำ 10 เมตร และระบบท่อโดยทำการศึกษาความอ่อนไหวของขนาดของอุปกรณ์ประกอบระบบได้แก่ ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนกังหันลมและจำนวนแบตเตอรี่ ผลจากการศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์-ลม ภายใต้เงื่อนไขปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์และอัตราเร็วลมของจังหวัดพัทลุงพบว่าระบบดังกล่าวประกอบด้วย ปั้มน้ำกระแสดรงขนาด 150 วัตต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 0.44 กิโลวัตต์ กังหันลมขนาดเล็กสุด 1 กิโลวัตต์ แบตเตอรี่ขนาด 240 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 2 ลูก จึงจะสามารถสูบน้ำเพื่อเก็บไว้ใช้งานได้ตามความต้องการตลอดทั้งปี โดยมีเงินลงทุนเริ่มต้นประมาณ 298,000 บาท สำหรับอุปกรณ์ดังกล่าว

Boonbumroong และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาาระบบพลังงานผสมผสานซึ่งโดยทั่วไปแล้วรูปแบบวิธีการที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือระบบพลังงานผสมผสานแบบอิสระ (stand alone hybrid power system) โดยการออกแบบนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่เหมาะสมเพื่อหาคำตอบสำหรับการใช้ต้นทุนที่ถูกที่สุดโดยการจำลองแบบด้วยโปรแกรม TRNSYS 16.01® ในการลำดับขั้นตอนที่แน่นอนซึ่งใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้ต้นทุนที่ถูกที่สุด

กองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ศึกษาการจ่ายไฟด้วยพลังงานทดแทนซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการจ่ายไฟให้กับหมู่บ้านห่างไกลที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่สามารถดำเนินการจ่ายไฟได้ด้วยวิธีปกติได้โดยปัจจุบันมีเทคโนโลยีเกี่ยวกับพลังงานทดแทนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (photovoltaic) พลังงานน้ำ (hydro) พลังงานลม (wind) พลังงานชีวมวล (biomass) และพลังงานก๊าซชีวภาพ (biogas) ในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาระบบจ่ายไฟพลังแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำและพลังลมเท่านั้น เนื่องจากหมู่บ้านที่อยู่ในโครงการส่วนใหญ่เป็นหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลความเจริญมีความต้องการไฟฟ้าต่ำ จึงไม่พิจารณาระบบพลังงานชีวมวลและพลังงานชีวภาพเนื่องจากยังไม่มีเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่เหมาะสมกับการใช้งานในหมู่บ้านห่างไกล

กองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ศึกษาลมซึ่งเป็นทรัพยากร ธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งสามารถแปรรูปเป็นพลังงานที่ใช้ทดแทนพลังงานอื่นได้ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มการผลิตไฟฟ้าโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและช่วยเพิ่มโอกาสในการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทนในประเทศให้มากขึ้น การศึกษาศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ก่อนที่จะติดตั้งกังหันลมเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากจะทำให้สามารถประเมินถึงพลังงานที่จะได้รับจากระบบผลิตและประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมที่จะติดตั้ง ซึ่งจะชี้ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและเป็นการลดอัตราเสี่ยงจากการล้มเหลวของโครงการ

โครงการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย ได้ศึกษาโครงการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดแหล่งศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยโดยทำการรวบรวมข้อมูลลมจากหน่วยงานต่างๆ ประกอบด้วยข้อมูลลมผิวพื้น ข้อมูลลมในทะเลและชายฝั่ง จากทุ่นลอย ประภาคาร และสถานีชุดเจาะก๊าซธรรมชาติ ข้อมูลลมจากเรือเดินทะเล และดาวเทียม และข้อมูลลมชั้นบน ทำการวิเคราะห์โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อนำ ไปใช้ในการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม โดยวิเคราะห์ ข้อมูลลมผิวพื้น ข้อมูลลม

ในทะเลและชายฝั่ง และข้อมูลลมชั้นบนในรูปของข้อมูลความถี่ทิศทางและความเร็วลม (wind rose) และในรูปของกราฟและสถิติ เพื่อนำไปใช้ในส่วนที่สอง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมโดยใช้โปรแกรม WindMapTM[®] ซึ่งอ้างอิงแบบจำลองคณิตศาสตร์ Numerical Objective Analysis of Boundary Layer (NOABL) ในการวิเคราะห์ที่ใช้ข้อมูลความถี่ทิศทางและความเร็วลม (wind rose) ข้อมูลแบบจำลองดิจิทัลความสูงของภูมิประเทศ (digital elevation model data: DEM) ความขรุขระของผิวพื้นที่ละเอียด 1 x 1 กิโลเมตร ความทรงตัวของสภาพอากาศรวมทั้งข้อมูลลมชั้นบนร่วมในการวิเคราะห์ด้วย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ ความเร็วและกำลังลมที่ความสูงระดับ 10 30 และ 50 เมตรตามลำดับ ผลที่ได้จากโปรแกรม WindMapTM[®] ได้รับการปรับแต่ง (reclass) โดยโปรแกรม IDRISITM[®] ซึ่งเป็นโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ให้สามารถแสดงในรูปแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

Petrie และ Mcclintock (1978) ได้นำเสนอวิธีการคัดเลือกปีตัวแทนของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตัวแทน (typical year) โดยผลจากการคัดเลือกเดือนที่นำมาประกอบเป็นปีตัวแทนนั้นจะอยู่ในรูปของข้อมูลสัปดาห์ตัวแทน (typical week) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบข้อมูลสภาพอากาศ 2 ชุด ด้วยโปรแกรม TRNSYS ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลสภาพอากาศที่นำมาใช้เปรียบเทียบกันนั้น คือ ข้อมูลที่ได้จากวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับข้อมูลที่ได้จากวิธีการหาปีตัวแทน ซึ่งจากการเปรียบเทียบข้อมูลสภาพอากาศของทั้ง 2 วิธีพบว่ามีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 7 แต่การใช้วิธีการหาปีตัวแทนสามารถประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้มากกว่า

Elhadidy และ Shaahid (2000) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากการผสมผสานของพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานที่น่าสนใจมีการใช้อย่างแพร่หลายเพื่อทดแทนพลังงานน้ำมันและที่สำคัญไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสภาพแวดล้อม ในการวัดค่าอัตราเร็วลมและค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่สถานี [ดาห์ราน](#) (26 องศา 32 ลิปดาเหนือ ถึง 50 องศา 30 ลิปดาตะวันออก) ประเทศซาอุดีอาระเบีย จากการศึกษาวิเคราะห์ถึงผลกระทบของตัวแปร อาทิเช่น ขนาดและพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนกังหันลมและความสามารถในการสะสมพลังงานของแบตเตอรี่ โดยการใช้ระบบพลังงานแบบผสมผสาน (พลังงานลม + พลังงานแสงอาทิตย์ + ดีเซล) ซึ่งได้ผลิตกำลังไฟฟ้าจำเพาะรายปีเท่ากับ 41,500 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยเมือง [ดาห์ราน](#) มีอัตราเร็วลม

เฉลี่ยรายเดือนอยู่ในช่วง 4.1 เมตรต่อวินาที ถึง 6.4 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 3.6 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ถึง 7.69 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร จากการวิเคราะห์พบว่าใช้กังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัวภายใน 3 วันสามารถสะสมพลังงานในแบตเตอรี่ได้และการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 30 ตารางเมตร ระบบใช้พลังงานดีเซลร้อยละ 23 สำหรับภาระทางความต้องการ อย่างไรก็ตามร้อยละ 48 ของแบตเตอรี่จำเป็นต้องจ่ายให้ระบบดีเซล

Vick และคณะ (2000) ได้ศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมและการผสมผสานของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในระบบการผลิตน้ำบริสุทธิ์โดยการใช้รังสี UV (อัลตราไวโอเลต) จากการทดสอบพบว่าระบบพลังงานแบบผสมผสานสามารถนำไปใช้ในกระบวนการทำน้ำบริสุทธิ์ โดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 100 วัตต์ กังหันลมขนาดผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 500 วัตต์ สำหรับการสูบน้ำบริสุทธิ์ได้อย่างเพียงพอเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำดื่มของประชากร 4,000 คน (16,000 ลิตรต่อวัน) โดยมีค่าใช้จ่ายประมาณ 4,630 ดอลลาร์

Gazela และ Mathioulakis (2001) ได้เสนอวิธีการใหม่ในการคำนวณหาปริมาณข้อมูลอุณหภูมิตัวแทนสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกปริมาณตัวแทนคือ การทดสอบด้วยแบบจำลองการทำงานของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และเลือกเดือนที่ให้ค่าความผิดพลาดของข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนน้อยที่สุด

Ecevit และคณะ (2002) ได้เสนอการหาปริมาณข้อมูลอุณหภูมิตัวแทน (TMD) โดยใช้ข้อมูลความยาวนานแสงแดดรายวันแทนข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ข้อมูลความยาวนานแสงแดดรายวันแทนข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวันจะมีความผิดพลาดค่อนข้างมาก

Essam และ Papadakis (2004) ทำการศึกษาการจำลองแบบและผลการทดลองเบื้องต้นของการส่งกำลังแบบผันกลับของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระของ Clark Pump โดยระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดจำนวน 18 แผง ซึ่งสามารถใช้กับเครื่อง Shell SM50-H โดยอ่านค่ากำลังสูงสุดที่ 846 วัตต์ ซึ่งถูกเชื่อมต่อเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 315 แอมแปร์ ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ โดยผ่านตัวควบคุมวงจรไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อขับปั๊มไฟฟ้ากระแสตรง โดยการกำหนดค่าการสูบน้ำเท่ากับ 2.2 ตารางเมตรต่อวัน ของน้ำดื่มทั้งหมดที่กระจายสู่ชุมชนและโดยใช้พลังงานทั้งหมดไปเท่ากับ 4.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร

Chan และคณะ (2006) ได้ทำการสร้างปีข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตัวแทน (TMY) สำหรับประเทศฮ่องกง โดยใช้วิธีการทางสถิติของ Finkelstein-Schafer ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบค่าการแจกแจงความถี่สะสมสำหรับข้อมูลแต่ละเดือนของแต่ละปีกับค่าการแจกแจงความถี่สะสมของข้อมูลระยะยาวของแต่ละเดือน สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้เป็นตัวชี้วัดหลัก 4 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความเร็วลม และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นคัดเลือกข้อมูลจำนวน 12 เดือนเพื่อนำมาประกอบเป็นปีข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตัวแทน โดยการเลือกจากเดือนที่ค่าความแปรปรวนมีค่าน้อยที่สุด

Bekele และ Palm (2009) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดหาไฟฟ้า โดยระบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ชุมชนซึ่งห่างไกลจากสายไฟฟ้าสายหลักในประเทศเอธิโอเปียที่เมืองแอดดิสอาบาบา ผลของการวิเคราะห์ศักยภาพของพลังงานแสดงถึงความเป็นไปได้ในการจัดหาไฟฟ้าเพื่อชุมชนแบบ 200 ครอบครัวซึ่งประกอบด้วยประชากรทั้งหมด 1,000 คน ในชุมชนมีทั้งโรงเรียนและสถานอนามัยที่จำเป็นต้องใช้ประกอบอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น หลอดไฟฟ้า บั๊มน้ำ เครื่องรับวิทยุ และอุปกรณ์บางชนิดของคลินิก โดยการจำลองแบบด้วยโปรแกรม HOMER สำหรับผลของการวิเคราะห์ความเป็นไปได้สอดคล้องกับต้นทุนระบบผลิตกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันยิ่งกว่านี้ผลที่ได้แสดงถึงอิทธิพลของความเร็วลม ต้นทุนการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และราคาน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมที่สุด

Liu และ Wanga (2009) จีนเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาที่ใหญ่ที่สุดในโลกในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานกำลังเพิ่มมากขึ้นทำให้รัฐบาลจีนถูกกดดันอย่างหนัก โดยรัฐบาลจีนปรับปรุงโครงสร้างพลังงานที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืนการพัฒนาและการประยุกต์ใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล ฯลฯ ซึ่งได้รับการยอมรับจากรัฐบาลและคนในท้องถิ่นตั้งแต่ในอดีตเมื่อ 10 ปีก่อนและมีอัตราเพิ่มมากขึ้นจากการสนับสนุนจากภาครัฐ โดยทรัพยากรพลังงานแสงอาทิตย์และทรัพยากรพลังงานลมมีมากมาย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาและสถานการณ์ปฏิบัติงานในจีนแต่ละโซน แต่ข้อด้อยทั่วไปที่มีอยู่ในระบบพลังงานผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระซึ่งไม่สามารถทราบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาและพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแต่โชคที่ระบบพลังงานผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์บางส่วนสามารถแก้ปัญหาได้ โดยแบบแผนโครงสร้างและเทคโนโลยีที่สำคัญระบบพลังงานผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์นั้นแนวโน้มในปัจจุบันและแนวโน้มของระบบพลังงานผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ที่เห็นได้ชัดเช่น

ระบบแสงสว่างบนถนนในเมืองต่างๆ ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ฯลฯ โดยนโยบายกฎหมายของ ประเทศจีนและรัฐบาลท้องถิ่นมีการอธิบาย การพัฒนาและการคำแนะนำอย่างต่อเนื่อง

Nemaa และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ มีอิสระอยู่ทั่วไปทุกหนทุกแห่งและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ระบบพลังงานลมไม่สามารถทำงานได้ทุก พื้นที่เนื่องจากอัตราเร็วลมต่ำและการเกิดลมไม่สามารถคาดการณ์ได้เหมือนพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้น การผสมผสานกันของพลังงานทั้งสองแหล่งนี้จึงเป็นที่น่าสนใจและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นอีก แนวทางเลือกหนึ่งสำหรับทดแทนพลังงานจากน้ำมันดีเซล ในด้านเศรษฐกิจ เทคโนโลยีพลังงานแบบ ผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าขึ้นในประเทศที่กำลัง พัฒนา ระบบพลังงานผสมผสานเป็นที่นิยมติดตั้งในพื้นที่ชนบทห่างไกลจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากมีมันคงกว่าพลังงานปิโตรเลียมซึ่งจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการตรวจสอบสถานะปัจจุบันของ การออกแบบการทำงานและควบคุมระบบพลังงานผสมผสานแบบอิสระ

บทที่ 3

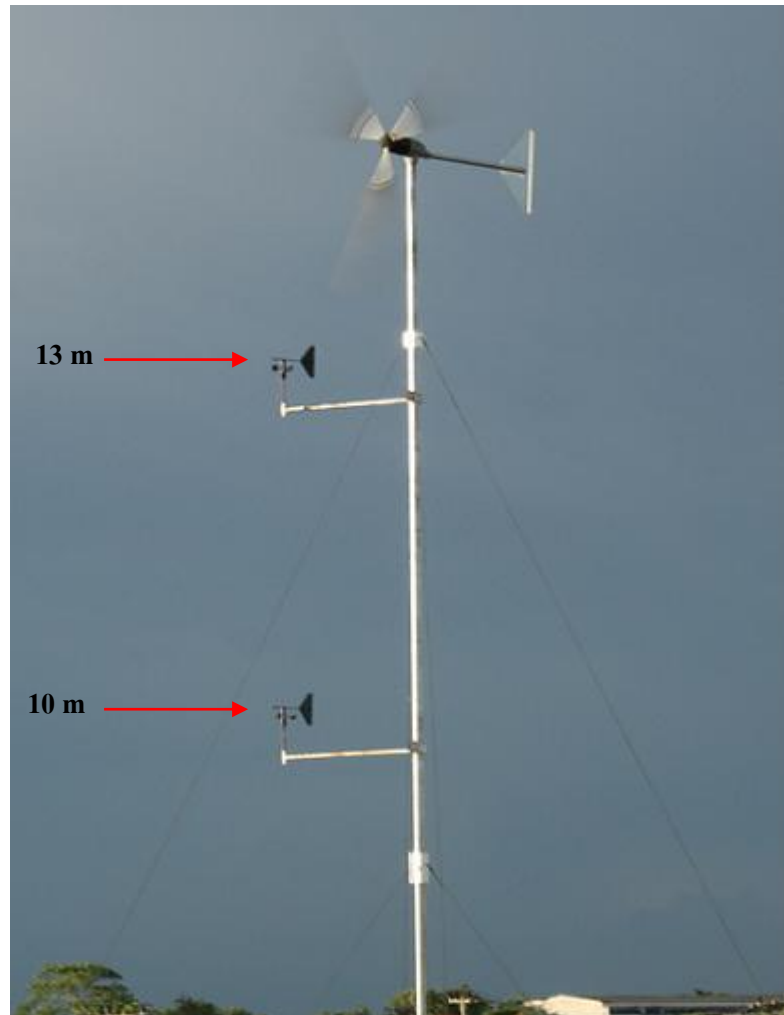
การจำลองแบบและการออกแบบระบบ

โดยปกติไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนไม่ว่าจะได้จากพลังงานแสงอาทิตย์หรือได้จากพลังงานลมล้วนแต่ยากต่อการนำไปใช้กับปั๊มที่มีต้นกำลังจากมอเตอร์เนื่องจากปั๊มน้ำที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสสลับ แต่ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนขนาดเล็กส่วนใหญ่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และต้องผ่านกระบวนการแปลงไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยใช้เครื่องแปลง (inverter) และอีกปัญหาหนึ่งคือ การเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์ซึ่งต้องการไฟฟ้าในการเริ่มสตาร์ทเพิ่มขึ้นจากการใช้ปกติถึง 3 เท่า เช่นมอเตอร์ขนาด 220 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ ต้องการกระแสไฟฟ้าปกติคือ 2.5 แอมแปร์ แต่ในขณะที่เริ่มสตาร์ทต้องใช้ถึง 7.5-8 แอมแปร์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ ทางแก้หนึ่งของระบบปั๊มน้ำที่ง่ายที่สุดและราคาไม่แพง คือเปลี่ยนตัวมอเตอร์จากระบบกระแสสลับเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือไม่ต้องการเครื่องแปลงไฟฟ้าแต่ต้องมีระบบแบตเตอรี่สำรองไฟและควรรออกแบบระบบป้องกันตัดระบบเมื่อแบตเตอรี่อ่อนเพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

โดยระบบแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมมีรูปแบบของระบบขึ้นอยู่กับ การออกแบบตามวัตถุประสงค์ โดยมีหลักการทำงานคือในช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้และจะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งสามารถทำงานร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ภาระไฟฟ้า พร้อมทั้งทำการประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ภาระไฟฟ้า โดยระบบจะจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่ภาระไฟฟ้าพร้อมกันและหากมีภาระไฟฟ้ามากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันทีและจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์หรือกังหันลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดปริมาณภาระไฟฟ้าอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

3.1 การติดตั้งสถานีพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ณ แปลงนาเกลือ อ.บ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

การวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราเร็วลมและทิศทางลมสามารถทำได้โดยการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ (pyranometer) เครื่องวัดลม (anemometer) โดยได้ติดตั้งห้ววัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบบนดาดฟ้าที่ความสูง 7.50 เมตร จากพื้นดินและเครื่องวัดลมที่ความสูง 10 เมตรและ 13 เมตร ตามลำดับแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1 พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องบันทึกและจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) และทำการตรวจวัดทุก 1 นาที



รูปที่ 3.1 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ารุ่น Whisper 200 และเครื่องมือวัดอัตราเร็วและทิศทางลม ที่ความสูง 10 เมตร และ 13 เมตร

3.1.1 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบและอุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ

เครื่องมือวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบรุ่น KIPP&ZONEN CMP11 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 ใช้โดมแก้วคุณภาพสูงและใช้เทคโนโลยีเครื่องตรวจจับที่ได้รับการพัฒนาเริ่มแรกจาก CM 22 โดยใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกและจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติแสดงไว้ดังรูปที่ 3.6 มีรายละเอียดดังนี้

1. สามารถวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบในช่วงความยาวคลื่น 310 ถึง 2,800 นาโนเมตร
2. ค่าความละเอียดในการวัด 7 ถึง 14 ไมโครโวลต์ต่อวัตต์ต่อตารางเมตร
3. ความเร็วในการตอบสนอง ± 5 วินาที

4. Zero offset $A \pm 7$ วัดต่อตารางเมตร
5. Zero offset $B \pm 2$ วัดต่อตารางเมตร
6. ค่าความคลาดเคลื่อนที่มุม 80 องศา ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตรมีค่าน้อยกว่า 10 วัดต่อตารางเมตร
7. ค่าความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิในช่วง -10 ถึง +40 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า ± 0.1
8. อุณหภูมิใช้งานมีค่าอยู่ในช่วง -40 ถึง +80 องศาเซลเซียส
9. สามารถวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดที่ 4,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
10. มุมมองที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 180 องศา



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบรุ่น KIPP&ZONEN CMP11

เครื่องบันทึกและจัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติที่ใช้ร่วมกับหัววัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบรุ่น KIPP&ZONEN CMP11 และอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้รวบรวมข้อมูล เพื่อประมวลผล คือ LOGBOX SD มีรายละเอียดดังนี้

1. สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 20 มิลลิโวลต์ ถึง 2.5 โวลต์
2. ค่าความแม่นยำในการวัดอัตราเร็วลมไม่น้อยกว่าร้อยละ ± 0.05 ที่ความละเอียด 24 บิต
3. ระบบจ่ายไฟเป็นแบตเตอรี่ชนิด AA 4 ก้อน
4. สํารองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 4 ถึง 20 โวลต์
5. สิ้นเปลืองพลังงานในการดึงข้อมูลครั้งละประมาณ 1.7 มิลลิแอมแปร์
6. มีหน่วยความจำภายในขนาด 128 กิโลไบต์ และประเภทการ์ดหน่วยความจำภายนอกขนาด 512 เมกกะไบต์

7. สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ตแบบ RS-232 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 LOGBOX SD

(ที่มา: <http://www.kippzonen.com/?product/69242/LOGBOX+SD.aspx>)

3.1.2 เครื่องมือวัดอัตราเร็วและทิศทางลม

เป็นเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าอัตราเร็วลมและทิศทางลมได้ในชุดเดียวกันสร้างขึ้นจากวัสดุชนิด thermoplastic ผสม fiberglass anodized aluminum stainless steel เพื่อความคงทนต่อการใช้งานในสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงแสดงไว้ดังรูปที่ 3.4 มีรายละเอียดดังนี้

1. สามารถวัดอัตราเร็วลมได้ในช่วง 0-44 เมตรต่อวินาที
2. ค่าความละเอียดในการวัดอัตราเร็วลม 0.19 เมตรต่อวินาที
3. ค่าความแม่นยำในการวัดอัตราเร็วลม $\pm 3 \%$ ที่อัตราเร็วลม 17-30 เมตรต่อวินาที
4. สามารถวัดทิศทางลมได้ในช่วง 0-358 องศา
5. ค่าความละเอียดในการวัดทิศทางลม 1.4 องศา
6. Starting Threshold 0.5 เมตรต่อวินาที
7. จำนวนช่องสัญญาณข้อมูล 3 ช่อง ต่อพอร์ตแบบ RJ11 connector cable
8. ช่วงอุณหภูมิใช้งาน -40 ถึง +70 องศาเซลเซียส
9. มีความทนทานต่อสภาวะอากาศสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง 2-5 ปี



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอัตราเร็วลมและทิศทางลม

3.1.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นในชุดเดียวกัน แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 และมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง +70 องศาเซลเซียสและสามารถวัดความชื้นได้ในช่วงร้อยละ 0-100 ระหว่าง 0-50 องศาเซลเซียส
2. ค่าความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ ± 0.7 ถึง 25 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำในการวัดความชื้นร้อยละ 3 มากกว่า 0 ถึง 50 องศาเซลเซียสและร้อยละ ± 0.4 ในสภาพอากาศชื้น 0 ถึง 30 องศาเซลเซียส
3. ค่าความละเอียดในการวัด 0.4 ถึง 25 องศาเซลเซียสร้อยละ 0.5 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ RH
4. หัววัดประกอบอยู่ใน stainless steel housing
5. จำนวนช่องสัญญาณข้อมูล 2 ช่องต่อพอร์ตแบบ RJ11 connector cable
6. ประกอบกับชุดอุปกรณ์จับยึดกับเสา



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

3.1.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลอัตราเร็วและทิศทางลม ตลอดจนอุณหภูมิแวดล้อมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. มีช่องสัญญาณขาเข้า 15 ช่องสัญญาณ
2. มีหน่วยความจำสำหรับเก็บบันทึกข้อมูล 512 K (500,000 measurements)
3. มีช่องสำหรับต่อชุดหัววัดแบบ RJ 11 สำหรับต่อกับชุด smart sensor จำนวน 10 ช่อง
4. สามารถตั้งค่าช่วงเก็บข้อมูลได้ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 18 ชั่วโมง
5. ค่าความแม่นยำของเวลาอยู่ในช่วงไม่น้อยกว่า 0 ถึง 2 วินาที สำหรับข้อมูลชุดแรก ± 0.5 วินาทีต่อสัปดาห์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
6. มีไฟสัญญาณ LED สำหรับแสดงสถานะของชุดเก็บข้อมูลและหัววัด
7. สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง +70 องศาเซลเซียสสำหรับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม
8. สามารถต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ตแบบ RS-232 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์จัดเก็บบันทึกข้อมูลระบบอัตโนมัติ

3.2 การจำลองแบบระบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01®

โปรแกรม TRNSYS 16.01® หรือ A Transient System Simulation Program เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การทำงานของเครื่องมือ อุปกรณ์ ระบบอาคาร และระบบทางความร้อนต่างๆ ที่เกี่ยวกับพลังงาน โดยในปี 1975 นักศึกษาที่ห้องวิจัยทางพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy Laboratory-University of Wisconsin-Madison) เริ่มเขียนโปรแกรมภาษาฟอร์แทรน (fortran programming language) เพื่อสร้างแบบจำลองของบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ในโคโลราโด หลังจากจบการศึกษาได้นำโปรแกรมมาเขียนใหม่โดยเขียนแยกแต่ละแบบจำลองเพื่อง่ายแก่การใช้และการพัฒนา ซึ่งส่วนประกอบของแบบจำลองจะมีการรับค่าและส่งค่าออกมาตามที่ผู้ใช้โปรแกรมต้องการและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องภายใต้กองทุนวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (National Science Foundation, NSF) ส่วนวิจัยและพัฒนาพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันโปรแกรม TRNSYS พัฒนาให้ใช้ง่ายขึ้น โดยแต่ละส่วนประกอบของแต่ละแบบจำลองจะกำหนดเป็น type โดยแต่ละ type จะมีตัวเลขกำหนดซึ่งจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น type1 จะเป็นองค์ประกอบ (component) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ เป็นต้น

3.2.1 ส่วนประกอบสำคัญของไอคอนองค์ประกอบในการจำลองแบบระบบประกอบด้วย

3.2.1.1 Type109a (data reader for generic)

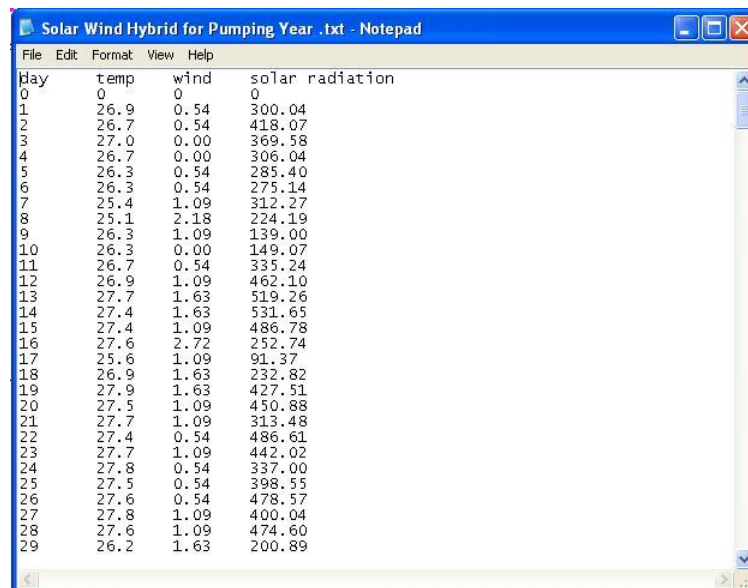
เป็นส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของข้อมูลทางสภาพอากาศสำหรับภูมิศาสตร์นั้นๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7 สำหรับการกำหนดการให้ค่าอินพุตในแบบจำลองของข้อมูลทางสภาพอากาศแบ่งออกเป็น 4 พารามิเตอร์ ได้แก่

พารามิเตอร์ที่ 1 คือ จำนวนชั่วโมงของข้อมูลอินพุต

พารามิเตอร์ที่ 2 คือ ค่าของอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมง (T_a) องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์ที่ 3 คือ ค่าของอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง (wind speed) เมตรต่อวินาที

พารามิเตอร์ที่ 4 คือ ค่าของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบเฉลี่ยรายชั่วโมง (total radiation) วัตต์ต่อตารางเมตร



day	temp	wind	solar radiation
0	0	0	0
1	26.9	0.54	300.04
2	26.7	0.54	418.07
3	27.0	0.00	369.58
4	26.7	0.00	306.04
5	26.3	0.54	285.40
6	26.3	0.54	275.14
7	25.4	1.09	312.27
8	25.1	2.18	224.19
9	26.3	1.09	139.00
10	26.3	0.00	149.07
11	26.7	0.54	335.24
12	26.9	1.09	462.10
13	27.7	1.63	519.26
14	27.4	1.63	531.65
15	27.4	1.09	486.78
16	27.6	2.72	252.74
17	25.6	1.09	91.37
18	26.9	1.63	232.82
19	27.9	1.63	427.51
20	27.5	1.09	450.88
21	27.7	1.09	313.48
22	27.4	0.54	486.61
23	27.7	1.09	442.02
24	27.8	0.54	337.00
25	27.5	0.54	398.55
26	27.6	0.54	478.57
27	27.8	1.09	400.04
28	27.6	1.09	474.60
29	26.2	1.63	200.89

รูปที่ 3.7 Type109a ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของข้อมูลทางสภาพอากาศ

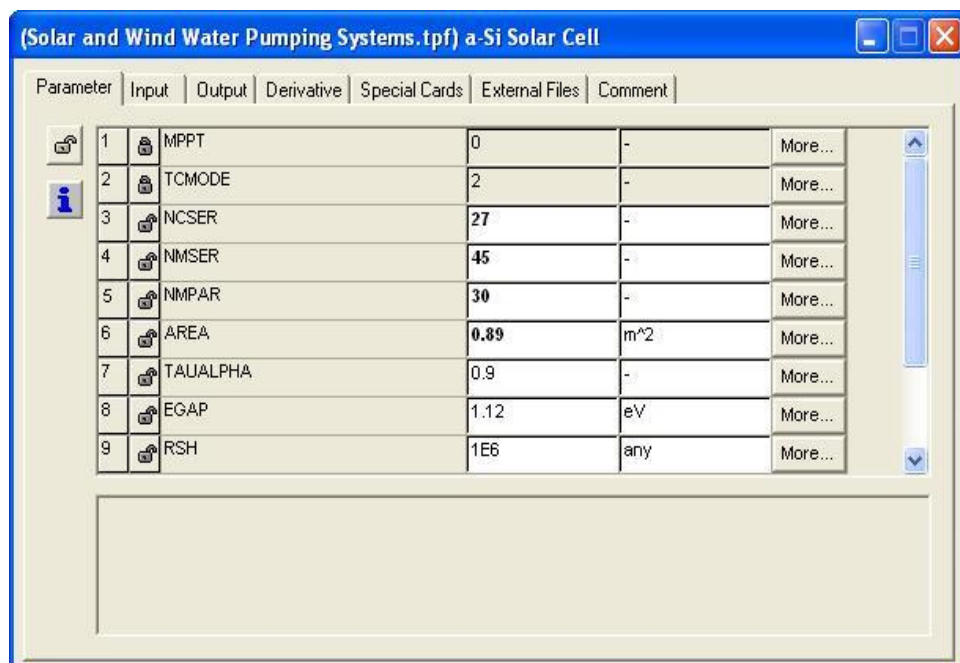
3.2.1.2 Type 180a (Photovoltaic (PV) Generator)

เป็นส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.8 โดยในการศึกษาวิจัยนี้ระบบได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนแบบไดโอดสองตัว (p-i-n/p-i-n) จำนวน 3 แผง ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 1,080 วัตต์ ทำหน้าที่ผลิต

กระแสไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า การต่อวงจรไฟฟ้าเป็นวงจรไฟฟ้าแบบผสมโดยการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน 3 แกว โดยแสดงค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ที่ภาวะทดสอบมาตรฐานสำหรับการป้อนค่าอินพุตให้กับแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ที่ภาวะทดสอบมาตรฐาน

รายละเอียด	a-Si solar cell (รุ่น BS40)	ค่าคลาดเคลื่อน
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W_p)	40 W	$\pm 10 \%$
แรงดันวงจรเปิด (V_{oc})	62.2 V	$\pm 10 \%$
พิกัดแรงดันใช้งาน (V_m)	44.8 V	$\pm 10 \%$
แรงดันสูงสุดของระบบ	600 V	-
พิกัดกระแสใช้งาน (I_m)	0.90 A	$\pm 10 \%$
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	1.16 A	$\pm 10 \%$



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับประสิทธิภาพ (η) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ (3.1)

$$\eta = \frac{P_{\text{cell}}}{A_{\text{cell}} \times G_T} \quad (3.1)$$

โดยที่ P_{cell} คือ กำลังไฟฟ้า (W)
 A_{cell} คือ พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
 G_T คือ รังสีอาทิตย์รวมบนพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m^2)

3.2.1.3 Type90 wind turbines (WECS)

เป็นส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า โดยในการศึกษาวิจัยนี้ระบบได้ใช้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าแบบแนวแกนนอนจำนวน 1 ตัว ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 1,000 วัตต์ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า การป้อนค่าข้อมูลอินพุตสำหรับแบบจำลองของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าคือค่าระหว่างอัตราเร็วลมเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนแล้วได้ไฟฟ้า (cut-in wind speed) 3.1 เมตรต่อวินาที และอัตราเร็วลมสูงสุดที่ทำให้กังหันลมหมุนแล้วได้ไฟฟ้าเต็มพิกัด (rated speed) 11.6 เมตรต่อวินาที แสดงไว้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

การหาอัตราเร็วลมที่พัดผ่านจุดหมุน (U_R) และกำลังที่ได้จากกังหันลม (D) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

$$U_R = \frac{(U_O + U_W)}{2} \quad (3.2)$$

โดยที่ U_O คือ ความเร็วลมในกระแสวิษระ (m/s)
 U_W คือ ความเร็วลมหลังผ่านกังหันลม (m/s)

$$D = \frac{1}{2} \rho A_R (U_O^2 - U_W^2) \dots\dots\dots (3.3)$$

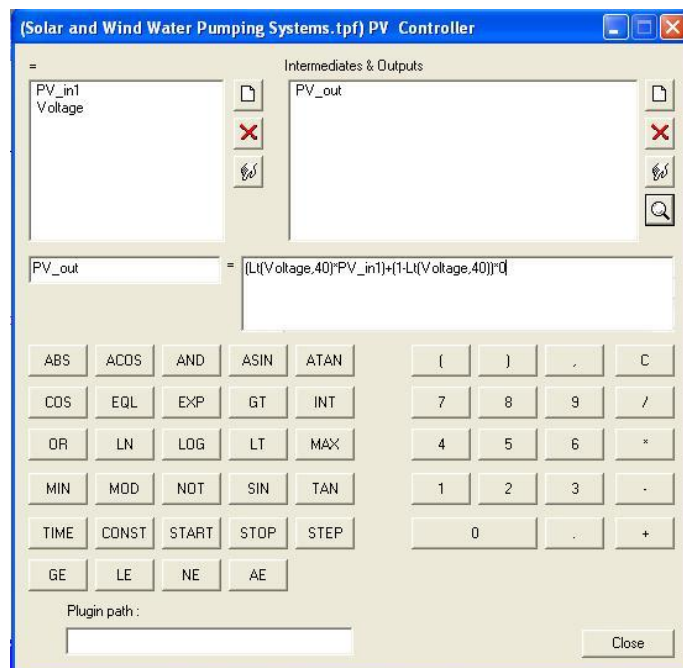
โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของกระแสลม (W/m²)
 A_R คือ พื้นที่หน้าตัดของกังหันลม (m²)

3.2.1.4 Equa

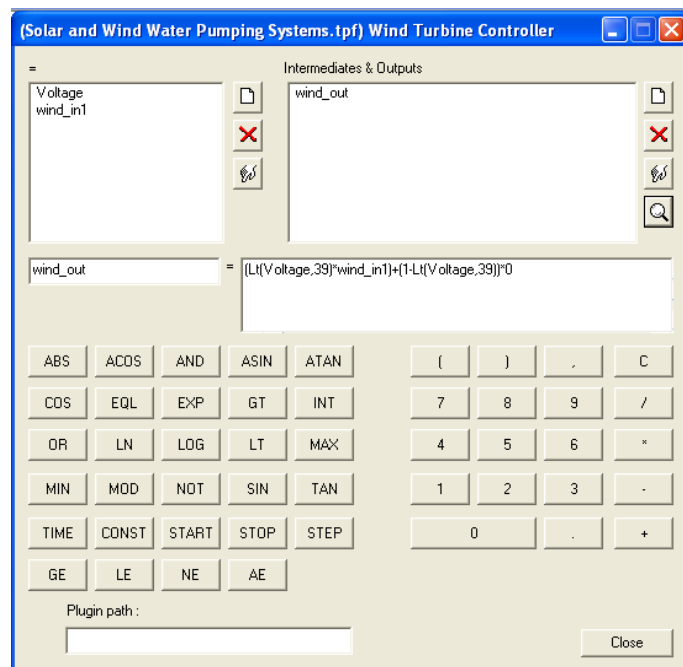
เป็นเครื่องมือภายในโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] สำหรับการกำหนดการให้ค่าในสมการโดยเป็นการเขียนสมการเพื่อควบคุมการทำงานของระบบสำหรับชุดควบคุมการประจุในระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์พลังงานลมโดยข้อมูลอินพุตสำหรับแบบจำลองระบบประกอบด้วย

1. แบบจำลองชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV controller) ทำหน้าที่ควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. แบบจำลองชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า (wind turbine controller) ทำหน้าที่ควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ผลิตจากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า
3. แบบจำลองชุดควบคุมการทำงานของปั๊ม (pump controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ

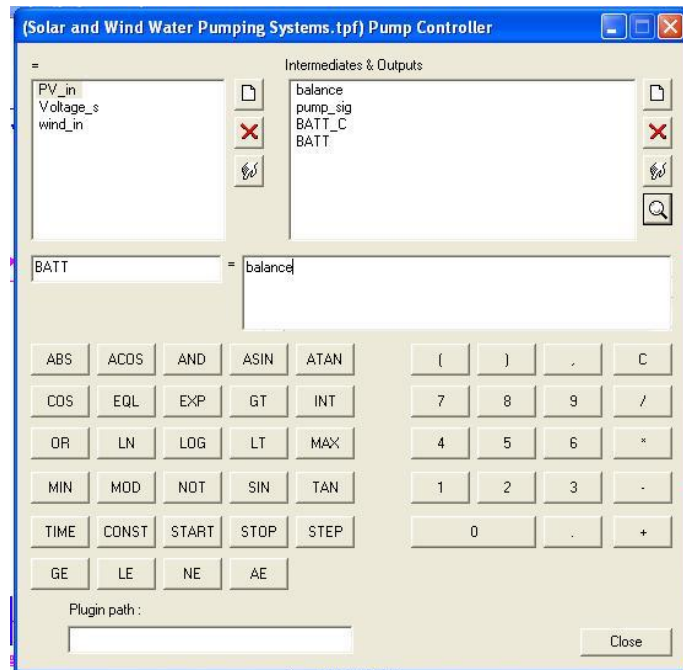
โดยส่วนประกอบในการจำลองแบบชุดควบคุมต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.10 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์



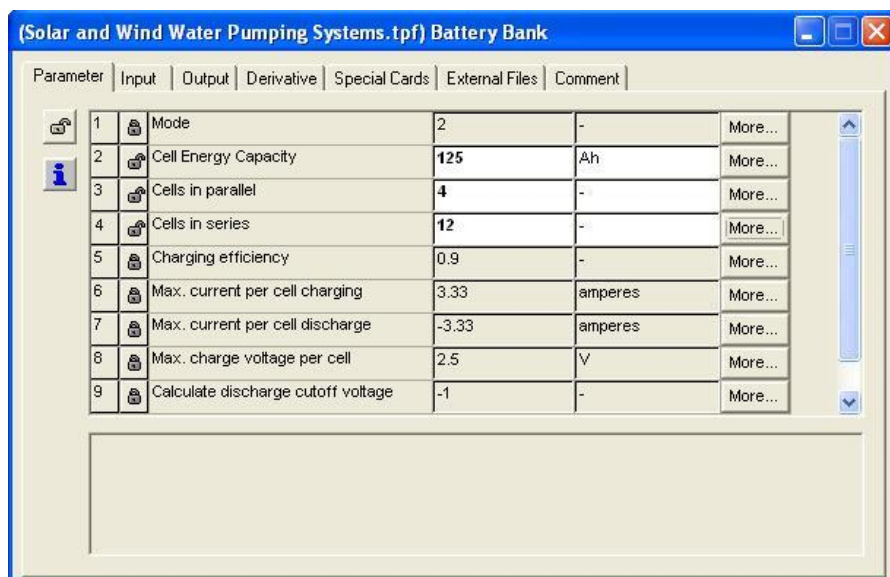
รูปที่ 3.11 ชุดควบคุมกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.12 ชุดควบคุมการทำงานของปั๊ม

3.2.1.5 Type47d (Electrical Storage Battery)

เป็นส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของชุดแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 125 แอมแปร์ชั่วโมง โดยระบบใช้แบตเตอรี่ 3K แบบ deep cycle จำนวน 4 ลูก สำหรับเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยมีข้อมูลอินพุตแสดงไว้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของแบตเตอรี่

ในการหาปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ถูกป้อนให้กับแบตเตอรี่ (V_{in}) เมื่อ $I > 0$ และปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ถูกดึงออกจากแบตเตอรี่ (V_{out}) เมื่อ $I < 0$ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ

เมื่อ $I > 0$

$$V_{in} = V_{oc} + V_{zp} - g_c H + I r_{qc} \left(1 + \frac{m_c H}{Q_c / Q_m - H} \right) \dots \dots \dots (3.4)$$

เมื่อ $I < 0$

$$V_{out} = V_{oc} - V_{zp} - g_c H + I r_{qc} \left(1 + \frac{m_c H}{Q_c / Q_m - H} \right) \dots \dots \dots (3.5)$$

โดยที่	I	คือ กระแสไฟฟ้า (A)
	V_{oc}	คือ แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V)
	V_{zp}	คือ แรงดันวงจรไฟฟ้าเสริม (V)
	g_c	คือ สัมประสิทธิ์ค่าน้อยของ H ในสมการของสถานะประจุกระแส-แรงดัน
	H	คือ $(1-F)$; $F=Q/Q_m$
	r_{qc}	คือ สภาพต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้า ณ ประจุเต็มและ คายประจุ (Ω)
	m_c	คือ ชนิดของเซลล์ไฟฟ้าที่มีอิทธิพลต่อ I-V-Q (m)
	Q_c	คือ ค่าความจุของประจุไฟฟ้าในขณะประจุและคายประจุ (C)
	Q_m	คือ ค่าความจุประจุของเซลล์ไฟฟ้า (C)

3.2.1.6 Type3b (Pump)

เป็นส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของปั๊มโดยระบบใช้ปั๊มน้ำกระแสตรงเนื่องจากไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนขนาดเล็กส่วนใหญ่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (direct current) และต้องผ่านกระบวนการแปลงไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current) โดยใช้เครื่องแปลง (inverter) และอีกปัญหาหนึ่งคือ การเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์ซึ่งต้องการไฟฟ้าในการ

เริ่มสตาร์ทเพิ่มขึ้นจากการใช้ปกติถึง 3 เท่า เช่นมอเตอร์ขนาด 220 โวลต์ ขนาด 500 วัตต์ ต้องการกระแสไฟฟ้าปกติคือ 2.5 แอมแปร์ แต่ในขณะที่เริ่มสตาร์ทต้องใช้ถึง 7.5-8 แอมแปร์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ทางแก้หนึ่งของระบบปั้มน้ำที่ง่ายที่สุดและราคาไม่แพง คือเปลี่ยนตัวมอเตอร์จากระบบกระแสสลับเป็นมอเตอร์ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีข้อดีคือไม่ต้องการเครื่องแปลงไฟฟ้า โดยระบบใช้ปั้มน้ำกระแสตรงขนาด 48 โวลต์ 13.5 แอมแปร์ สำหรับข้อมูลอินพุตสำหรับแบบจำลองระบบแสดงไว้ดังรูปที่ 3.14

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Maximum flow rate	3600	kg/hr	More...		
2	Fluid specific heat	4.19	kJ/kg.K	More...		
3	Maximum power	60.000003	kJ/hr	More...		
4	Conversion coefficient	0.05	-	More...		
5	Power coefficient	0.5	-	More...		

1 How many coefficients in the polynomial relating pump power to fluid flow rate? 1

รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของปั้ม

การหากำลังของปั้ม (P_{pump}) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ (3.6)

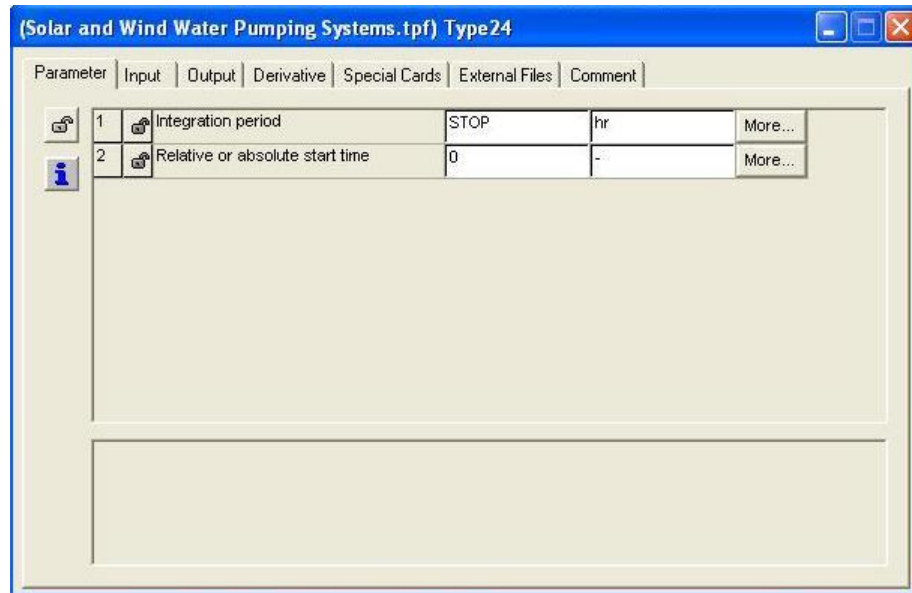
$$P_{\text{pump}} = P_{\text{max}} \left[c_0 + c_1 \gamma + c_2 \gamma^2 + \dots + c_i \gamma^i \right] \text{ if } m > 0 \dots\dots\dots (3.6)$$

โดยที่ P_{max} คือ กำลังไฟฟ้า (A)
 γ คือ แรงดันไฟฟ้า (V)
 m คือ แรงดันไฟฟ้าเสริม (V)

เมื่อ $c_0, c_1, c_2, \dots, c_i$ คือ ตัวแปรข้อมูลนำเข้า 5, 6, 7, ..., i+5

3.2.1.7 Type24 Quantity Integrator

เป็นส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการหาปริมาตรรวมจากการสูบน้ำของปั๊มสูบน้ำตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวันเป็นข้อมูลอินพุตสำหรับแบบจำลองระบบแสดงไว้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ส่วนประกอบสำหรับแบบจำลองของที่ใช้ในการหาปริมาตรรวมจากการสูบน้ำ

สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ (3.7)

$$Y_i = \int_{\text{time}} X_i dt \dots\dots\dots(3.7)$$

โดยที่ X_i คือ ปริมาณสำหรับการหาปริพันธ์
 Y_i คือ เวลาครบรอบของ X_i

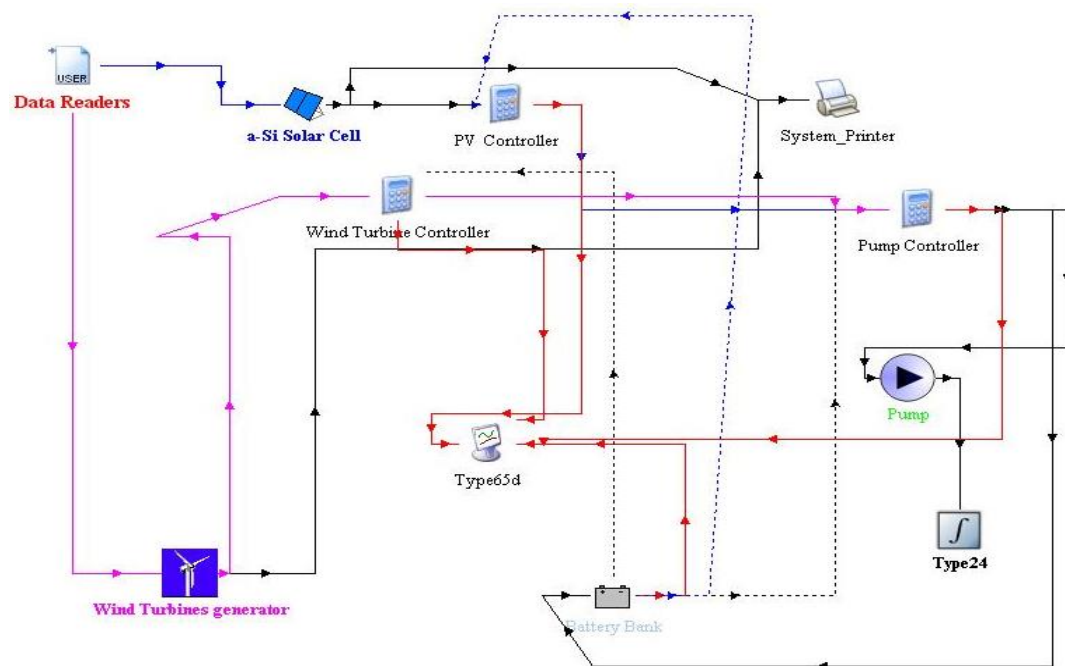
3.2.2 การจำลองแบบระบบพลังงานผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

เมื่อทราบข้อมูลขององค์ประกอบต่างๆ ที่ต้องใช้งานซึ่งประกอบด้วย

- Type109a (data reader for generic)
- Type 180a (photovoltaic [PV] generator)
- Type90 wind turbines (WECS)
- Equa

- Type47d (electrical storage battery)
- Type3b (pump)
- Type24 quantity integrator

นำองค์ประกอบต่างๆ มาใส่ในหน้าต่างไฟล์ใหม่ที่สร้างขึ้นในโปรแกรมย่อย simulation studio จากนั้นทำการเชื่อมต่อระหว่างองค์ประกอบต่างๆ แล้วกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง ซึ่งรูปร่างแบบจำลองที่เสร็จสมบูรณ์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.16 จากนั้นทำการคำนวณผล และเนื่องจากแบบจำลองระบบสามารถพล็อตกราฟ online โดยการใช้ component type65d ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณไปพล็อตกราฟใน Microsoft Excel หรือโปรแกรมย่อยใน TRNSYS



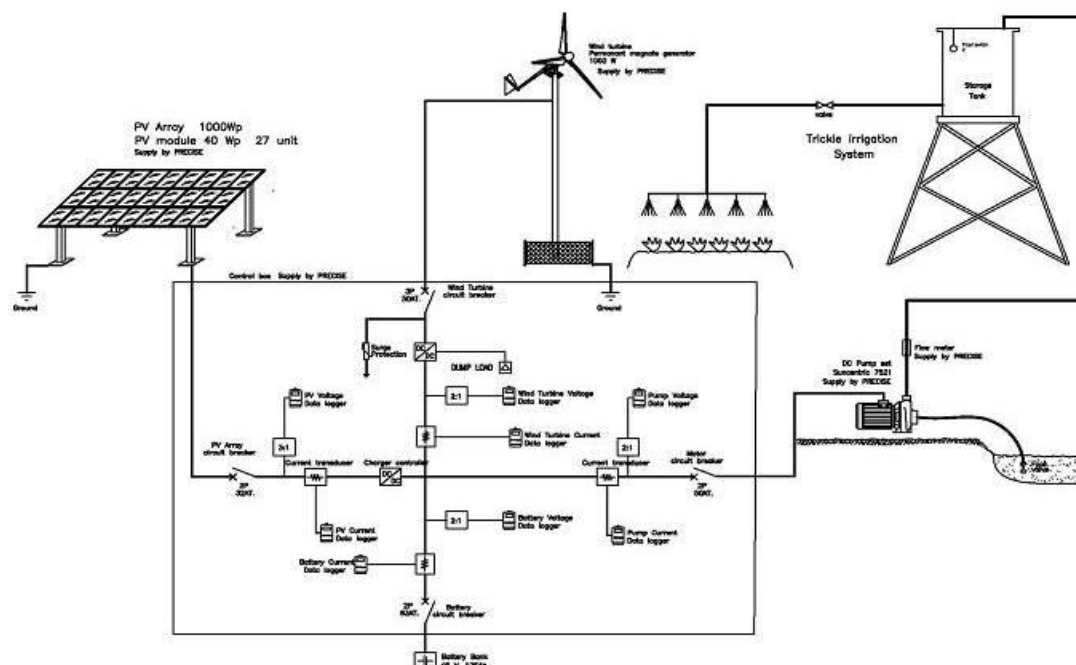
รูปที่ 3.16 การจำลองระบบสูบน้ำผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
โดยโปรแกรม TRNSYS 16.01®

ระบบจะเริ่มทำงานโดยการสูบน้ำตั้งแต่วันที่ 07.00 น. ถึง 17.00 น. ของทุกวันโดยปั้มน้ำมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรสูงสุด 3,600 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถสูบน้ำขึ้นไปเก็บในถังเก็บน้ำขนาด 1,500 ลิตร ที่ระยะหัวน้ำ 2.5 เมตร โดยปั้มน้ำกระแสดรงขนาด 650 วัตต์ 48 โวลต์ ซึ่งได้อาศัยการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si solar cell) ขนาดผลิตกำลังไฟฟ้าเต็มพิกัด 1.08 กิโลวัตต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความลาดเอียง 15 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าติดตั้งที่ความสูง 15 เมตร ขนาดผลิต

กำลังการไฟฟ้าเต็มพิกัด 1 กิโลวัตต์ อัตราเร็วลมเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนแล้วได้ไฟฟ้า (cut-in wind speed) 3.1 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วลมสูงสุดที่ทำให้กังหันลมหมุนแล้วได้ไฟฟ้าเต็มพิกัด (rated speed) 11.6 เมตรต่อวินาที โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิดทั้ง 2 แบบ จะผ่านชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าอันประกอบด้วยชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV controller) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สู่แบตเตอรี่ ชุดควบคุมกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า (wind turbine controller) ทำหน้าที่ควบคุมการประจุไฟฟ้าจากกังหันลมสู่แบตเตอรี่ และชุดควบคุมปั๊ม (pump controller) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกระแสน้ำตรง

3.3 การติดตั้งระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

หลังจากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] แล้วนั้นขั้นตอนต่อไปคือการติดตั้งระบบสูบน้ำเพื่อเก็บบันทึกผลการทดลอง โดยกำหนดขนาดและวิธีการติดตั้งตลอดจนกำหนดอุปกรณ์และเครื่องมือควบคุมต่างๆ เพื่อให้ระบบสูบน้ำทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดที่สุดดังแสดงไว้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แบบระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
สำหรับการทำนาเกลือ

3.3.1 ส่วนประกอบของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิกอน (a-Si solar cell) ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด 1.08 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแผงเซลล์

แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิกอนจะให้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนร้อยละ 8-15 ในขณะที่ความเข้มของรังสีอาทิตย์ต่ำและสภาพภูมิอากาศเมฆมากหรือฝุ่นละอองมาก

โดยระบบใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนรุ่น BS 40 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.18 และค่าทางไฟฟ้าต่างๆ แสดงไว้ดังตารางที่ 3.1 โดยเซลล์แสงอาทิตย์มีแผ่นกระจกวางซ้อนกันฉนวนกันเป็นชั้นเดียวกันด้วยแผ่น EVA ในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความชื้นได้ดีตลอดอายุการใช้งานโดยใช้เทคโนโลยีการฉนวนกันความชื้นซึ่งสามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้ทันที มีความเหมาะสมมากสำหรับติดตั้งใช้งานทุกสภาพภูมิอากาศทั้งร้อน เมฆมาก ฝนตกชุก และฝุ่นละอองในอากาศมากและสามารถประหยัดได้มากเมื่อนำไปใช้กับโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลางหรือขนาดใหญ่



รูปที่ 3.18 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si solar cell)

2. กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า (wind turbine generator) รุ่น Whisper 200 ตัวกังหันลมสร้างขึ้นจากวัสดุ cast aluminum ไม่ทำให้เกิดสนิม ส่วนใบพัดสร้างขึ้นจาก 3-polypro/carbon มีขนาดผลิตกำลังไฟฟ้าเต็มพิกัด 1 กิโลวัตต์ ติดตั้งที่ความสูง 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด 2.7 เมตร น้ำหนักตัวกังหันลม 39.46 กิโลกรัม อัตราเร็วลมเริ่มต้นที่ทำให้กังหันลมหมุนแล้วได้ไฟฟ้า (cut-in wind speed) 3.1 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วลมสูงสุดที่ทำให้กังหันลมหมุนแล้วได้ไฟฟ้าเต็มพิกัด (rated speed) 11.6 เมตรต่อวินาที แสดงไว้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ารุ่น Whisper 200

3. ถังบรรจุน้ำ (storage) สร้างขึ้นจากวัสดุ fiberglass เสริมแรงด้วยพลาสติกเพื่อทำ
ให้รับแรงอัดได้ดีทนทานและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานปราศจากสารที่ทำให้เป็นสนิม ขนาด 1,500
ลิตร ที่ระยะหัวน้ำ 2.5 เมตร แสดงไว้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ถังบรรจุน้ำ

4. ป้อนน้ำกระแสนตรง โดยมีโครงเหล็กสำหรับติดตั้งหลังคาเพื่อกำบังฝนและแสงแดด ติดตั้งอยู่บนถังเก็บน้ำ 200 ลิตร จำนวน 2 ลูก เชื่อมติดกันสำหรับเป็นฐานในการวางปั๊มโดยการวางปั๊มในแหล่งน้ำโดยตรงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสูบน้ำ สามารถสูบน้ำได้ที่ระยะหัวน้ำสูงสุดเท่ากับ 3 เมตร มีปริมาตรการสูบน้ำ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขนาดกำลังการใช้ไฟฟ้าที่ 650 วัตต์ 48 โวลต์ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ป้อนน้ำกระแสนตรง

5. ระบบย่อยแบตเตอรี่ (EB battery) ชนิด deep cycle สำหรับเก็บพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม เป็นแบตเตอรี่ที่บำรุงรักษาง่าย อายุการใช้งานยาวนาน สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ได้เป็นระยะเวลานานและสามารถประจุกลับได้ง่ายด้วยกระแสไฟต่ำๆ เป็นพลังงานทดแทนไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ขนาดติดตั้งที่ 48 โวลต์ 125 แอมแปร์ชั่วโมง แสดงไว้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แบตเตอรี่ 3 K ชนิด deep cycle

6. ชุดควบคุมภายในระบบแสดงไว้ดังรูปที่ 3.23 ประกอบด้วยชุดควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV controller) ทำหน้าที่ควบคุมการประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



Wind Turbine Controller Pump Controller PV Controller Battery bank

รูปที่ 3.23 ชุดควบคุมภายในระบบ

7. ชุดควบคุมกังหันลม (wind turbine controller) ทำหน้าที่ควบคุมการประจุแบตเตอรี่จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า
8. ชุดควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกระแสนตรง (pump controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกระแสนตรงให้ทำงานแบบอัตโนมัติ (ควบคุมโดยสวิตช์ลูกลอย) หรือใช้การควบคุมด้วยมือ (ควบคุมโดยปุ่มกด)
9. หัววัดอัตราการไหลของน้ำ (flow sensor) แสดงอัตราการไหลและปริมาตรของน้ำที่สูบขึ้นมาเก็บในถังเก็บน้ำ

3.3.2 การใช้งานชุดควบคุมต่างๆ ในระบบ

3.3.2.1 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ในการเริ่มต้นใช้งานต้องทำการ ON Batt.CB และ CGC1.CB ก่อนที่จะ ON PV.CB แสดงไว้ดังรูปที่ 3.24

2. ON M.CB เพื่อจ่ายไฟให้ชุดควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกระแสนตรง

3. การดูสถานะของสัญญาณไฟการประจุแสดงดังตารางที่ 3.2, 3.3 และ

3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 การดูสถานะของสัญญาณไฟการประจุ

สัญญาณไฟการประจุ	สถานะการทำงานของ PV charge controller
1. ดับ	เครื่องไม่ทำงาน
2. ติดสว่าง	Bulk Charge Mode
3. กะพริบ สว่างนานกว่าดับ	Boost Charge Mode
4. กะพริบ ดับนานกว่าสว่าง	Float Charge Mode

ตารางที่ 3.3 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Battery Level

สัญญาณไฟ battery level	ระดับแรงดันไฟฟ้าของ battery
1. ติดสว่าง	แรงดันไฟฟ้าของ battery เต็ม
2. กะพริบ สว่างนานกว่าดับ	แรงดันไฟฟ้าของ battery ปานกลาง
3. กะพริบ ดับนานกว่าสว่าง	แรงดันไฟฟ้าของ battery ต่ำ
4. กะพริบเร็วมาก	แรงดันไฟฟ้าของ battery สูงเกินไป

ตารางที่ 3.4 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Load Disconnect

สัญญาณไฟ load disconnect	สถานะของ load
1. ดับ	ปกติ
2. ติดสว่าง	ไม่มีการจ่ายไฟ
3. กะพริบเร็วมาก	Load มีการลัดวงจร



รูปที่ 3.24 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.3.2.2 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

1. การใช้งาน whisper controller

ในการเริ่มต้นการใช้งานต้อง ON Batt.CB และ CGC2.CB ก่อนจะต่อ wind turbine เข้ากับ whisper controller diversion switch ซึ่งอยู่ทางด้านบนซ้ายของชุดควบคุมทำหน้าที่ส่งพลังงานจากกังหันลมไปยัง dump load LED operation แสดงไว้ดังรูปที่ 3.25

- diversion switch อยู่ทางด้านบนซ้ายของชุดควบคุมทำหน้าที่ส่งพลังงานจากกังหันลมไปยัง Dump Load
- LED operation แสดงดังตารางที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Red LED

Red LED	สถานะ
1. ดับ	พลังงานจาก wind turbine ส่งไปยัง battery
2. กระพริบ	มีพลังงานจาก wind turbine ส่งไปยัง dump load โดย function battery regulation
3. ติดสว่าง	พลังงานจาก wind turbine ส่งไปยัง dump load โดยผ่าน diversion switch

ตารางที่ 3.6 การดูสถานะของสัญญาณไฟ Green LED

Green LED	สถานะ
1. ดับ	ไม่มีการ charge battery หรือพลังงานลมไม่เพียงพอหรือมีการต่อ dump load
2. ติดสว่าง	มีการ charge battery



รูปที่ 3.25 ชุดควบคุมการประจุไฟฟ้าของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

3.3.2.3 ชุดควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำกระแสนตรง

1. สวิตช์เลือก (selector switch) ใช้สำหรับเลือกวิธีการทำงานของปั๊มซึ่งมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

- Auto ทำงานอัตโนมัติตามสวิทช์ลูกลอยในถังน้ำ สามารถหยุดการทำงานเมื่อน้ำในถังเต็มสำหรับการกักเก็บน้ำมาใช้ในช่วงเวลาต่างๆ

- Manual ทำงานตามปุ่ม ON/OFF โดยการกดปุ่มควบคุมที่หน้าตู้สำหรับการนำน้ำมาใช้โดยตรงโดยไม่ต้องการกักเก็บน้ำไว้ในถังน้ำ

2. สวิตช์ ON/OFF ใช้เริ่มและหยุดการทำงานของปั้มน้ำกระแสดงไว้ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ชุดควบคุมการทำงานของปั้มน้ำกระแสดง

3.4 การบำรุงรักษาและการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

3.4.1. การบำรุงรักษาระบบรายเดือน

1. ตรวจสอบระดับน้ำกลั่นในแบตเตอรี่ หากปริมาณน้ำกลั่นต่ำกว่าขีดที่กำหนดให้เติมน้ำกลั่นให้เต็ม

2. ตรวจสอบขั้วต่อของแบตเตอรี่ ถ้ามีสิ่งสกปรกให้ขัดออก

3. ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าสกปรกให้ทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด

4. ตรวจสอบจุดต่อต่างๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5. ตรวจสอบจุดต่อสายและสิ่งผิดปกติในตู้ควบคุมทุกตู้

6. ทดสอบระบบเบรกของกังหันลมในสภาวะที่ลมไม่แรงด้วย diversion switch สามารถหยุดได้โดยไม่มีสิ่งผิดปกติ

7. ใช้กล้องส่องทางไกลตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติที่ตัวกังหันลม เช่นการหลวมของจุดต่อต่างๆ

8. ตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติของ tower guy wire และ anchor ของกังหันลมและชั้นนอตทุกตัว

9. ตรวจสอบหัววัดอัตราการไหล (flow sensor) ไม่ให้มีสิ่งอุดตัน

3.4.2. การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

ในกระบวนการทำงานของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ระบบได้ทำงานตลอดทั้งปี ซึ่งอาจเกิดการเสียหายของเครื่องมือต่างๆ ภายในระบบ เช่น ปั๊มน้ำไม่ทำงาน เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมไม่มีการจ่ายกระแสไปการประจุในแบตเตอรี่แม้จะมีแสงแดดและอัตราเร็วลม ดังนั้นการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นให้ระบบสามารถทำงานได้อีกจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นแสดงไว้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

อาการ	สาเหตุ	การแก้ไขเบื้องต้น
1. ปั๊มไม่ทำงาน	1. น้ำเต็มถึงอยู่ในโหมดอัตโนมัติ 2. แบตเตอรี่มีค่าแรงดันต่ำ (ตรวจสอบที่ PV charge controller) 3. สายไฟที่ต่อไปยังปั๊มมีการหลุดหรือขาด	1. ปรับให้อยู่ใน mode manual ถ้าจำเป็น 2. ตรวจสอบแบตเตอรี่และทำการประจุใหม่ 3. ตรวจสอบและแก้ไขสายไฟ
2. ปั๊มทำงานแต่สูบน้ำไม่ขึ้น	1. ไม่มีน้ำในตัวปั๊ม	1. ทำการกรอกน้ำให้ปั๊ม
3. เมื่อน้ำเต็มถึงแต่ปั๊มไม่ทำงาน	1. ปรับตั้งสวิทช์ลูกลอยผิด 2. สายจากสวิทช์ลูกลอยไปยังตู้ควบคุมหลุดหรือขาด	1. ปรับตั้งสวิทช์ลูกลอยใหม่ 2. ตรวจสอบและแก้ไขสายไฟ
4. เซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการส่ายไปประจุในแบตเตอรี่แม้จะมีแดดจัด	1. จุดต่อของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการหลุดหรือขาด	1. ตรวจสอบและแก้ไขสายไฟ
5. ไม่สามารถหยุดกังหันลมได้	1. มีการหลุดหรือขาดของสายจากกังหันลมมายังตู้ควบคุม	1. ตรวจสอบและแก้ไขสายไฟ

6. กังหันลมไม่มีกระแสไปประจุ ในแบตเตอรี่แม้จะมีลมแรง	1. แบตเตอรี่มีแรงดันมากกว่า Regulation ON Voltage 2. มีการหลุดหรือขาดของสายจากกังหันลมมายังตู้ควบคุม	1. ปรับตั้งค่า Regulation Voltage ใหม่ถ้าจำเป็น 2. ตรวจสอบและแก้ไขสายไฟ
---	---	--



รูปที่ 3.27 ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
สำหรับการทำนาเกลือ

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การปรับค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 15 เมตร

เนื่องจากในการวัดความเร็วลมของระบบได้ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดินแตกต่างจากความสูงของจุดหมุนของกังหันลม โดยระบบได้ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร และ 13 เมตร ตามลำดับ แต่จุดหมุนของกังหันลมซึ่งมีระดับความสูง 15 เมตร ดังนั้นในการนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้องทำการปรับค่าความเร็วลมให้อยู่ในระดับความสูงที่เท่ากัน ซึ่งโดยทั่วไปนิยมปรับค่าความเร็วลมให้อยู่ที่ระดับความสูง 10 เมตร จากพื้นดิน ซึ่งเป็นความสูงมาตรฐานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก แต่ในทางพลังงานจะปรับค่าความเร็ว

ลมให้อยู่ในระดับความสูงของจุดหมุนของกังหันลม เพื่อสามารถพิจารณาพลังงานลมที่กังหันลมสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยพิจารณาตามกฎของกำลัง (power law) ดังสมการที่ 3.8

กฎของกำลัง (Lawrence, 2004) เป็นสมการที่ได้จากการแทนค่าโปรไฟล์ของความเร็วลมบริเวณพื้นผิวของการไหลแบบปั่นป่วนที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการการยกกำลัง

$$U_{(z)} = U_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \dots\dots\dots (3.8)$$

โดยที่	$U_{(z)}$	คือ ความเร็วลมที่ต้องการทราบค่าที่ระดับความสูง z (m/s)
	U_r	คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูง z_r (m/s)
	z	คือ ระดับความสูงจากพื้นดินที่ต้องการทราบค่าความเร็วลม (m)
	z_r	คือ ระดับความสูงจากพื้นดินที่ทราบค่าความเร็วลม (m)
	α	คือ สัมประสิทธิ์แรงเฉือนลม

กฎของกำลังได้นำมาประยุกต์ใช้กับการปรับค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ โดยได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนลมตามลักษณะความขรุขระของพื้นผิว

การประเมินค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนลมสามารถทำได้โดยการประยุกต์ ลอการิธึม ได้จากสมการที่ (3.9)

$$\alpha = \frac{\ln \left[\frac{U_z}{U_r} \right]}{\ln \left[\frac{z}{z_r} \right]} \dots\dots\dots (3.9)$$

3.5.2 ระเบียบวิธีแผนที่ลมและการวิเคราะห์ข้อมูลลม

WASP เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการประมาณค่านอกช่วงของข้อมูลทางสถิติของภูมิอากาศของลมทั้งในแนวตั้งและในแนวดิ่ง โดยในตัวโปรแกรมประกอบไปด้วยแบบจำลองทางกายภาพ (physical models) สำหรับการอธิบายพฤติกรรมการไหลของลมเหนือภูมิประเทศที่มีลักษณะแตกต่างกัน (สมาน และคณะ, 2549)

การวิเคราะห์ข้อมูลลมเป็นการวิเคราะห์หอนุกรมเวลา (time series) ของการตรวจวัดลมเพื่อแสดงข้อมูลทางสถิติของข้อมูลลมที่ได้จากการวัด ณ สถานที่นั้นๆ โดยผลการวิเคราะห์

จะอยู่ในรูปของภูมิอากาศลม (observed wind climate, OWC) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลมจะแสดงการกระจายทิศทางของลมในรูปของผังลม (wind rose) ประกอบด้วย

- ความสูง (elevation)
- อัตราเร็วลมเฉลี่ย (mean wind speed)
- ความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย (mean power density)
- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (annual energy production)
- ค่าไวบูลล์ A (Weibull-A)
- ค่าไวบูลล์ k (Weibull-k)
- ดัชนีความขรุขระ (roughness index, RIX)

3.5.3 การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองระบบสูบน้ำขนาดเล็กแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยอาศัยผลที่ได้จากการทดลองภาคสนามมาเปรียบเทียบกับเชิงสถิติกับผลที่ได้จากแบบจำลองระบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] โดยพิจารณาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (absolute error) ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดในการวัดที่เกิดจากค่าที่ได้จากการวัดไม่ตรงกับค่าที่เป็นจริง แสดงดังสมการที่ (3.10)

$$\%Error = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100 \dots\dots\dots(3.10)$$

โดยที่ X_t คือ ค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดภาคสนาม
 X_m คือ ค่าข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®]

3.5.4 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำขนาดเล็กแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) และข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมาประกอบในการศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมของต้นทุนต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ในการจ่ายให้กับนาเกลือประมาณ 1,101 ลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบสูบน้ำแบบดีเซลและเบนซิน โดยมีรายละเอียดของเครื่องยนต์ทั้ง 2 แบบดังนี้

1. ระบบสูบน้ำแบบดีเซล เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ต่อพ่วงกับปั๊มหอยโข่งซึ่งมีใบพัดกว้างในการสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ 300 ลิตรต่อนาที หรือ 18 ลบ.ม./ชม.ขนาดท่อดูด-ส่ง 3 นิ้ว มีระยะหัวน้ำ 10 เมตร ซึ่งข้อมูลทางเทคนิคและรายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลแสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลทางเทคนิคและรายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซล

ข้อมูลเทคนิค	รายละเอียด
1. แบบเครื่องยนต์	ดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบนอน
2. แบบเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย (Swirl Chamber)
3. ความกว้างกระบอกสูบ x ช่วงชัก	82 x 84 mm.
4. ปริมาตรกระบอกสูบ	443 cc.
5. กำลังแรงม้าสูงสุด	7.7 hp./2400 rpm(5.7 kw/2400 rpm)
6. กำลังแรงม้าต่อเนื่อง	7 hp./2400 rpm(5.1kw/2400rpm)
7. อัตราส่วนแรงอัด	24.5 : 1
8. แรงบิดสูงสุด	2.9 kg-m./1600 rpm.
9. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	0.22 ลิตร-แรงม้า/ชั่วโมง
10. ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง	10 ลิตร

2. ระบบสูบน้ำแบบเบนซิน เครื่องสูบน้ำเบนซินแบบแรงดันสูง 2 ใบพัด ชนิดเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะระบายความร้อนด้วยอากาศ ปริมาณน้ำ 333 ลิตรต่อนาที ขนาดท่อดูด-ส่งน้ำ 1.5 นิ้ว ซึ่งข้อมูลทางเทคนิคและรายละเอียดของเครื่องยนต์เบนซินแสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลทางเทคนิคและรายละเอียดของเครื่องยนต์เบนซิน

ข้อมูลเทคนิค	รายละเอียด
1. แบบเครื่องยนต์	4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ
2. แบบเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย (swirl chamber)
3. ปริมาตรกระบอกสูบ	163 cc.
4. กำลังแรงม้าสูงสุด	5.5 แรงม้า / 3600 รอบต่อนาที
5. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	0.22 ลิตร-แรงม้า/ชั่วโมง
6. ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง	3.6 ลิตร

3.5.4.1 ต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วย

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้พิจารณาต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วย (baht/m³) ซึ่งผลการคำนวณนี้จะใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาบริเวณหรือสถานที่สำหรับติดตั้งและพัฒนาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับพื้นที่นาเกลือของจังหวัดเพชรบุรีและในภาคกลางของประเทศไทย โดยต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยสามารถพิจารณาได้จากต้นทุนมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนต่อหน่วยสูบน้ำที่สามารถสูบน้ำได้จากระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมตลอดอายุของโครงการ ซึ่งมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.11)

$$PVC = I + C_{omr} \left[\frac{1+i}{r-i} \right] \times \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^n \right] - S \left(\frac{1+i}{1+r} \right) \dots\dots\dots (3.11)$$

โดยที่	PVC	คือ ต้นทุนมูลค่าปัจจุบัน
	I	คือ ต้นทุนเงินลงทุน
	C _{omr}	คือ ต้นทุนดำเนินการ
	i	คือ อัตราดอกเบี้ย
	r	คือ อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง

ดังนั้นต้นทุนสูบน้ำต่อหน่วยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.12)

$$\text{Unit Cost} = \frac{PVC}{3 \times 15} \dots\dots\dots (3.12)$$

3.5.4.2 ดัชนีทางการเงินของโครงการ

1. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; B/C Ratio)
ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการต่อผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.13)

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \dots\dots\dots(3.13)$$

โดยที่	BCR	คือ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน
	Bt	คือ ผลตอบแทนรายปี
	Ct	คือ ต้นทุนรายปี
	r	คือ อัตราคิดลด
	t	คือ ระยะเวลาของโครงการ (ปี)

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) คือผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้วสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.14)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(3.14)$$

3. อัตราผลตอบแทนภายใน (Financial Internal Rate of Return; FIRR) คืออัตราผลตอบแทนการลงทุนทางการเงินจะเป็นร้อยละของอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้สมการที่ (3.14) เป็นศูนย์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.15)

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \dots\dots\dots(3.15)$$

โดยที่	r	คือ อัตราส่วนผลตอบแทนภายใน (%)
--------	---	--------------------------------

4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PBP) คือระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.16)

$$PBP = \frac{\text{Investment Cost}}{\text{Cash Flow}} \dots\dots\dots(3.16)$$

ซึ่งโดยปกติแล้วในการพิจารณาโครงการต่างๆ มักจะใช้ดัชนีทางการเงินเหล่านี้เป็นเกณฑ์ โดยที่

$BCR > 1$ $NPV > 0$ และ $FIRR > MLR$ และ $PBP < \text{ระยะเวลาของโครงการ}$

โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดัชนีทางการเงินของโครงการ การสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ดังต่อไปนี้

1. เป็นผู้ผลิตระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการทำนาเกลือ

2. กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism; CDM)

โดยในการคำนวณต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยนั้นได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุน (cost analysis) ดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงพื้นที่สำหรับการติดตั้ง
2. การออกแบบและติดตั้งระบบ
3. การบำรุงรักษา
4. อุปกรณ์ทดแทน
5. การเชื่อมต่อกับระบบชลประทาน

โดยในการวิเคราะห์ต้นทุนในสูบน้ำต่อหน่วยจากระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้อาศัยข้อมูลและสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. อายุโครงการ 15 ปี
2. ราคาในการออกแบบและติดตั้งระบบ 298,755 บาท
3. การบำรุงรักษา (maintenance) ปีแรก 5,000 บาท ปี ถัดไปคิดเพิ่มเป็นร้อยละ 3 ตลอดอายุโครงการ

4. อัตราคิดลด (discount rate) ร้อยละ 5

5. Ft ขายส่ง = 25 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

บทที่ 4

ผลการจำลองแบบและผลการทดลอง

ผลการเก็บข้อมูลระยะยาวเป็นเวลา 6 เดือนนับตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2559 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2560 เพื่อนำข้อมูลเงื่อนไขธรรมชาติมาวิเคราะห์ อันได้แก่ ข้อมูล ความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราเร็วลมและอุณหภูมิแวดล้อม หลังจากนั้นทำการแจกแจงข้อมูลเป็นข้อมูลรายชั่วโมงโดยแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีการวิเคราะห์ 2 แนวทาง คือผลการจำลองแบบระบบและผลจากการวัด

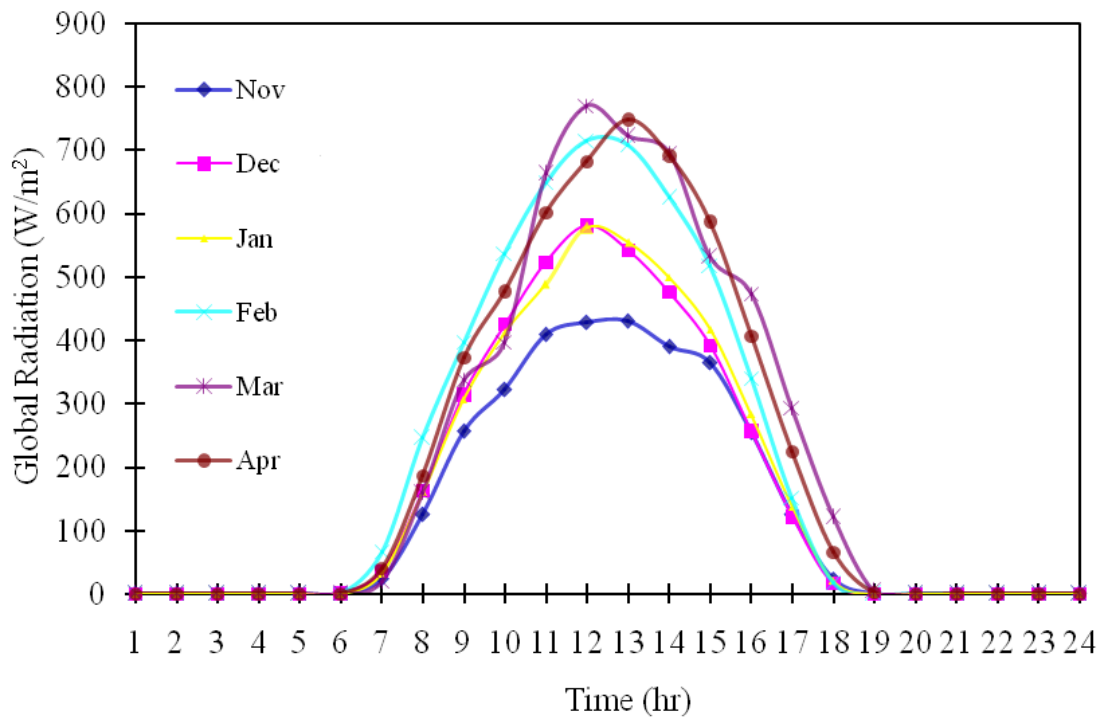
สำหรับการจำลองแบบระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมโดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม TRNSYS 16.01[®] ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ด้านพลังงานในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าและปริมาตรการสูบน้ำ โดยมีข้อมูลเงื่อนไขสภาพแวดล้อมเป็นข้อมูลอินพุตให้กับโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] และแนวทางที่สองคือผลจากการวัดโดยการเก็บข้อมูลจากตัวเก็บบันทึกข้อมูลมาวิเคราะห์

กระบวนการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าอาศัยปัจจัยที่สำคัญคือ เงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมอันได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราเร็วลมและอุณหภูมิแวดล้อม ค่าต่างๆ ของเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมเหล่านี้มีความสำคัญต่อการศึกษาการทำงานของระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นอย่างมาก ดังนั้นการจำลองแบบของระบบพลังงานแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมโดยการใช้โปรแกรม TRNSYS 16.01[®] จำเป็นต้องทราบถึงค่าของเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมเหล่านี้ก่อนเพื่อให้ผลการจำลองแบบถูกต้องที่สุด

4.1 เงื่อนไขสภาพแวดล้อมภายใต้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาหาดเจ้าสำราญ

4.1.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ

ผลการเก็บบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ (KIPP&ZONEN CMP11 Pyranometer) โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบของค่ารายวันแสดงดังรูปที่ 4.1

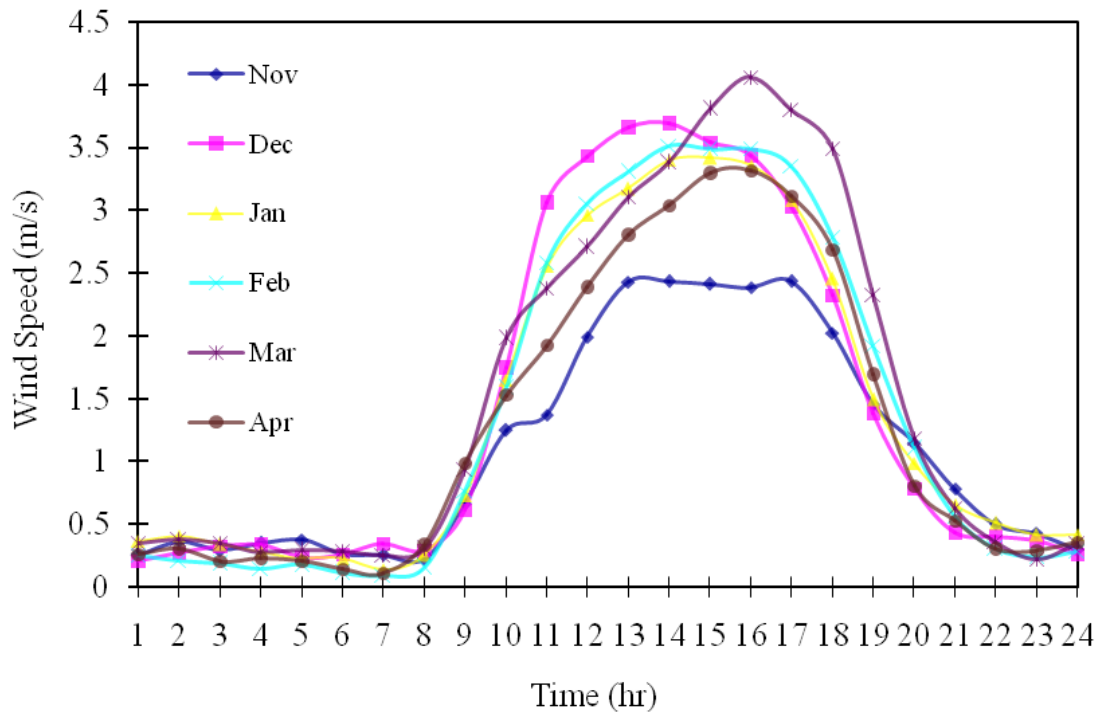


รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงตลอดทุกเดือน โดยพบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม โดยมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 769.64 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน โดยมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 430.18 วัตต์ต่อตารางเมตร สาเหตุสำคัญการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์ในรอบเดือนคือจำนวนชั่วโมงที่มีแดดในแต่ละเดือน ซึ่งค่าเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบในแต่ละเดือนมีการเปลี่ยนแปลงตามมุมชั่วโมงโดยมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมเวลา 12.00 น

4.1.2 อัตราเร็วลม

ผลการเก็บบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัดความเร็วลม (anemometer) โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที โดยติดตั้งหัววัดอัตราเร็วลมที่ความสูง 10 เมตร 13 เมตร ตามลำดับระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของอัตราเร็วลมรายเดือน



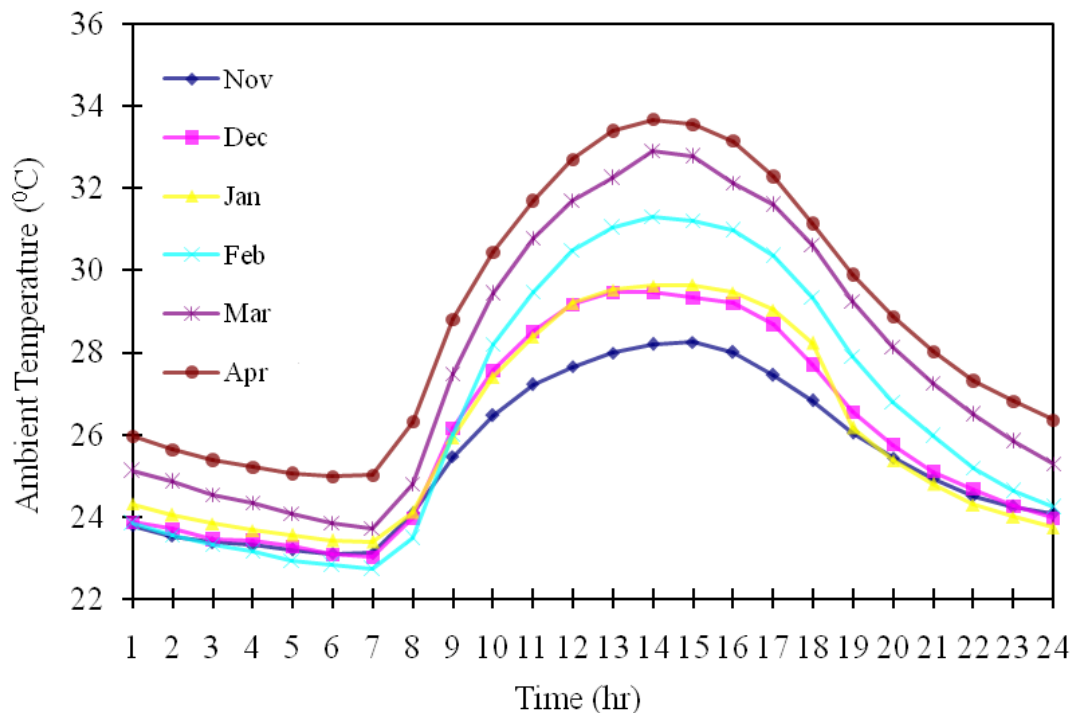
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอัตราเร็วลม

ในการนำข้อมูลของอัตราเร็วลมมาวิเคราะห์โดยทั่วไปจะนำข้อมูลมาปรับค่าอัตราเร็วลมให้อยู่ในระดับความสูงของจุดหมุนของกังหันลม (15 เมตร) เพื่อสามารถพิจารณาพลังงานที่กังหันลมสามารถนำไปใช้เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งสามารถคำนวณอัตราเร็วลมที่ความสูง 15 เมตร ได้จากสมการที่ (3.13) โดยทราบค่า α ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.14) จากรูปที่ 4.2 พบว่าอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งเดือน โดยอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนในเดือนมีนาคม 2560 มีค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดเท่ากับ 4.06 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนในเดือนธันวาคม 2559 มีค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.02 เมตรต่อวินาที อันเนื่องมาจากในช่วงเวลาบ่ายความแตกต่างของความกดอากาศซึ่งเกิดจากผลของอุณหภูมิแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันมาก อีกทั้งความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศดียิ่งขึ้น

4.1.3 อุณหภูมิแวดล้อม

ผลการเก็บบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิแวดล้อมโดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแวดล้อมใต้เสากังหันลม (tower) บริเวณความสูงจากผิวดิน 2 เมตร และทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของ

อุณหภูมิแวดล้อมของค่ารายวัน พบว่าค่าอุณหภูมิแวดล้อมในช่วงเวลากลางคืนมีความแตกต่างกับค่าอุณหภูมิแวดล้อมในช่วงเวลากลางวันอย่างมาก เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนไม่มีรังสีอาทิตย์ซึ่งจะทำให้เกิดการลดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม แต่ในช่วงเวลากลางวันมีรังสีอาทิตย์จึงทำให้อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิในแต่ละเดือน โดยอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายเดือนในเดือนเมษายน 2560 มีสูงสุดเท่ากับ 33.67 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายเดือนในเดือนธันวาคม 2559 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 25.03 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิแวดล้อม

4.2 การจัดทำผังลมรายเดือน

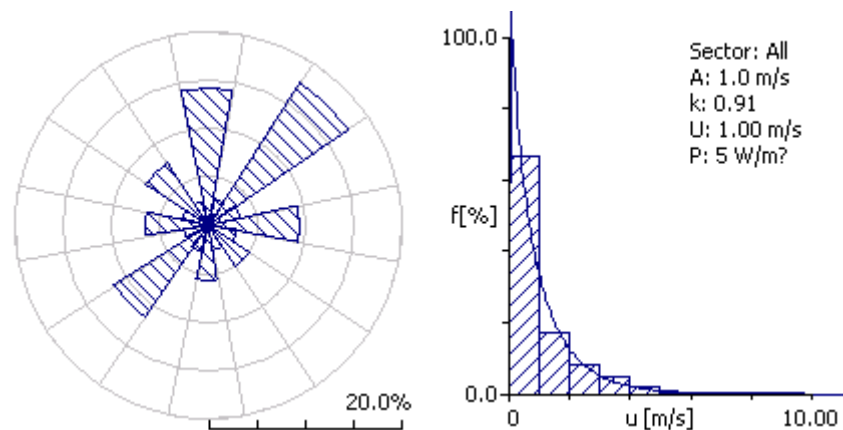
ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอัตราเร็วลมและทิศทางของลมนั้นได้อาศัยโปรแกรม WAsP 9.0 สำหรับสร้างการกระจายแบบไวบูลล์ (weibull distribution) โดยการนำข้อมูลสถิติของอัตราเร็วลมและทิศทางของลมมาทำการสร้างไฟล์ภูมิอากาศของลม (observed wind climate, OWC) ซึ่งข้อมูลสถิติดังกล่าวเป็นข้อมูลลมรวมช่วงลมสงบและไม่รวมสงบช่วงลมสงบเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งเมื่อทำการสร้างไฟล์ภูมิอากาศของลมแล้วจะได้รับการกระจายแบบไวบูลล์และผังลม (wind rose)

เมื่อพิจารณาลักษณะของการกระจายแบบไวบูลล์ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว ได้แก่ k -shape และ A -scale โดยที่ k -shape เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงลักษณะของรูปร่างของการกระจายของไวบูลล์ ส่วน A -scale เป็นพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ย โดยที่ค่า A -

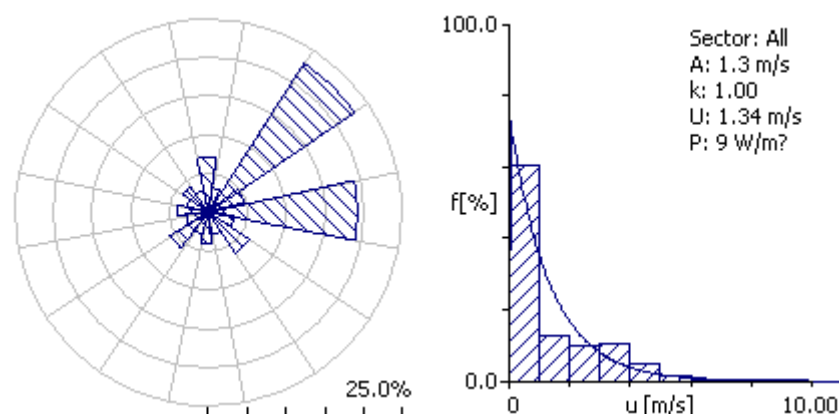
scale ยิ่งมากค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ยยิ่งมากตาม นอกจากนี้เมื่อดำเนินการสร้างไฟล์ภูมิอากาศของลมด้วยโปรแกรม *WAsP* 9.0 แล้ว โปรแกรมจะทำคำนวณค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ย (mean speed: u) หน่วยเมตรต่อวินาทีและค่าความหนาแน่นกำลังลม (power density: P) หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับการสร้างผังลมก็เช่นเดียวกัน โดยการอาศัยโปรแกรม *WAsP* 9.0 โดยทำการเลือกส่วน (sector) ของผังลมสำหรับงานวิจัยนี้ได้สร้างผังลมรายเดือนของข้อมูลลมรวมลมสงบและไม่รวมลมสงบขนาด 16 ส่วน

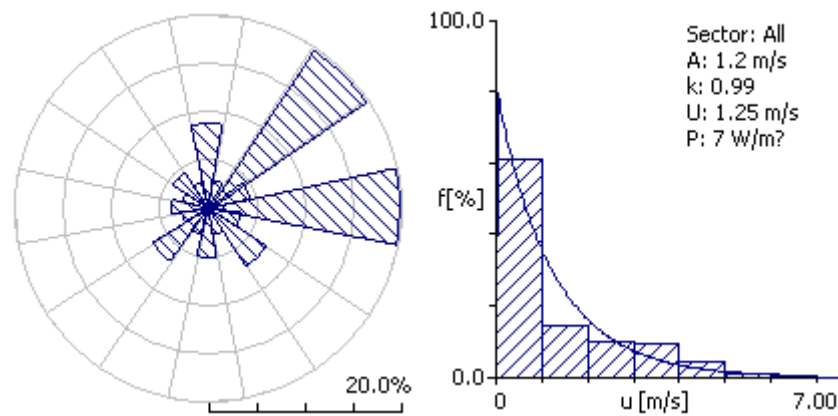
ผลการสร้างไฟล์ OWC จากข้อมูลสถิติของสถานีวิจัยพลังงานลมหาดเจ้าสำราญเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 6 เดือน นับตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 ที่ระดับความสูง 10 เมตร แสดงไว้ดังรูปที่ 4.4-4.9



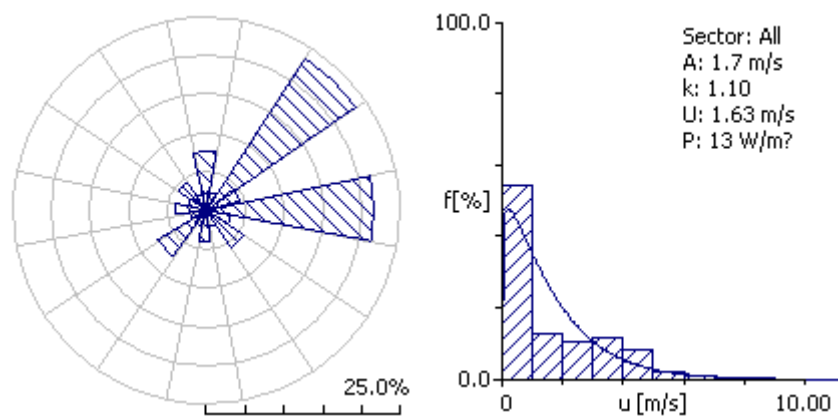
รูปที่ 4.4 การกระจายแบบไวบูลล์และผังลมของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนพฤศจิกายน 2559



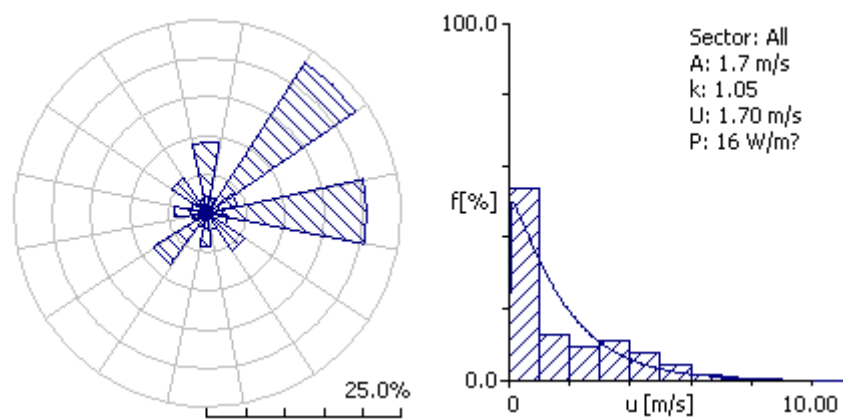
รูปที่ 4.5 การกระจายแบบไวบูลล์และผังลมของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนธันวาคม 2559



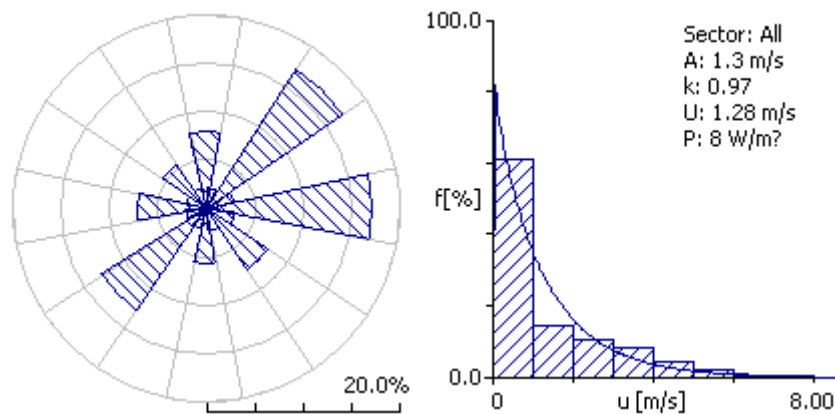
รูปที่ 4.6 การกระจายแบบไวบูลล์และผังลมของข้อมูลภูมิอากาศเดือนมกราคม 2560



รูปที่ 4.7 การกระจายแบบไวบูลล์และผังลมของข้อมูลภูมิอากาศเดือนกุมภาพันธ์ 2560



รูปที่ 4.8 การกระจายแบบไวบูลล์และผังลมของข้อมูลภูมิอากาศเดือนมีนาคม 2560



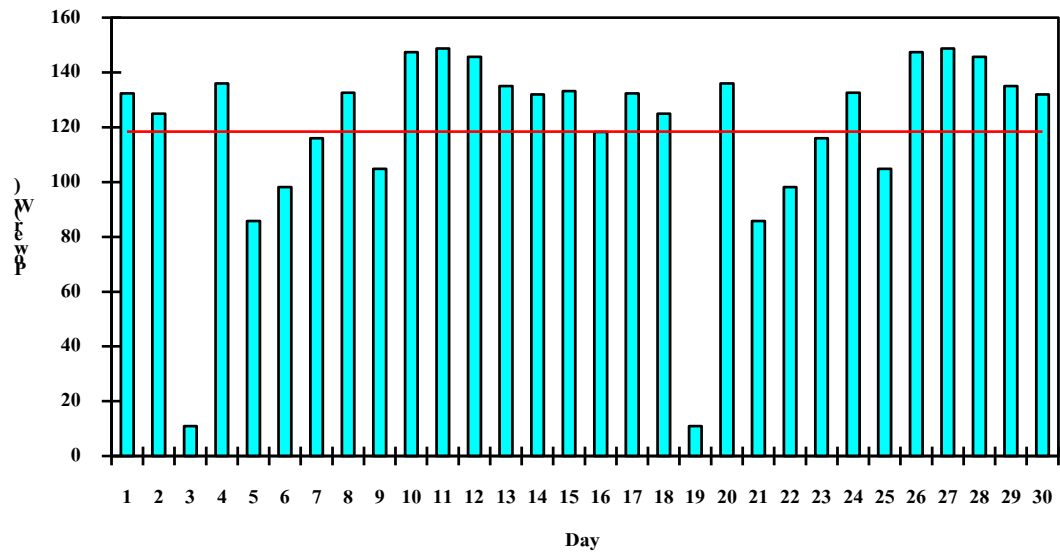
รูปที่ 4.9 การกระจายแบบไวบูลล์และผังลมของข้อมูลภูมิอากาศลมเดือนเมษายน 2560

4.3 ผลการจำลองแบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01®

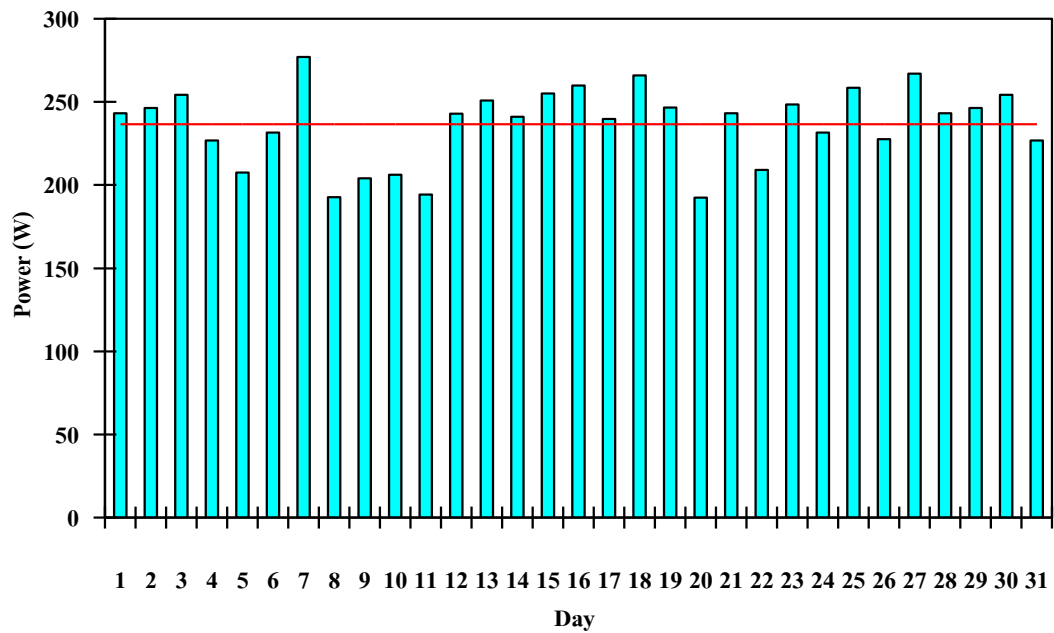
สำหรับผลการจำลองแบบภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อม ณ หาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2560 โดยโปรแกรม TRNSYS 16.01® จากการนำข้อมูลเงื่อนไขสภาพแวดล้อมได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราเร็วลมและอุณหภูมิแวดล้อม เพื่อเป็นข้อมูลอินพุตให้กับแบบจำลองระบบสูบน้ำแบบผสมผสานสำหรับประเมินศักยภาพของกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อขับปั๊มสูบน้ำประกอบด้วย

4.3.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

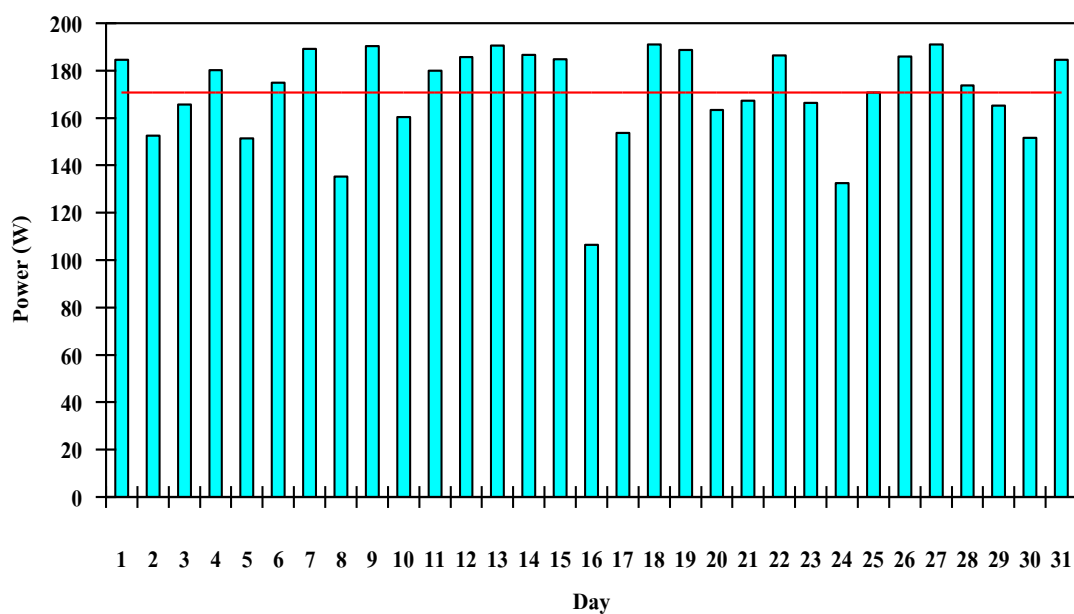
กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้เฉลี่ยรายเดือนโดยการจำลองแบบระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS 16.01® ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 จากรูปที่ 4.10-4.14 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนมีค่าเท่ากับ 118.44 วัตต์ 236.57 วัตต์ 170.67 วัตต์ 151.33 วัตต์ และ 141.78 วัตต์ ตามลำดับ โดยเดือนธันวาคมแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 236.57 วัตต์ และเดือนพฤศจิกายนแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 118.44 วัตต์



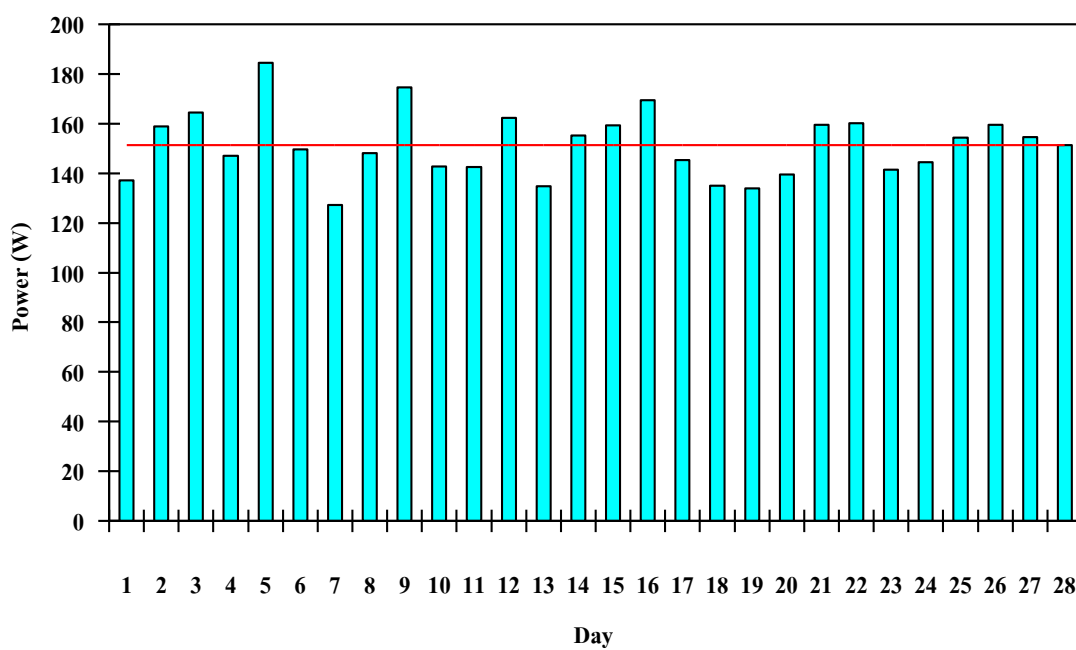
รูปที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนพฤศจิกายน 2559



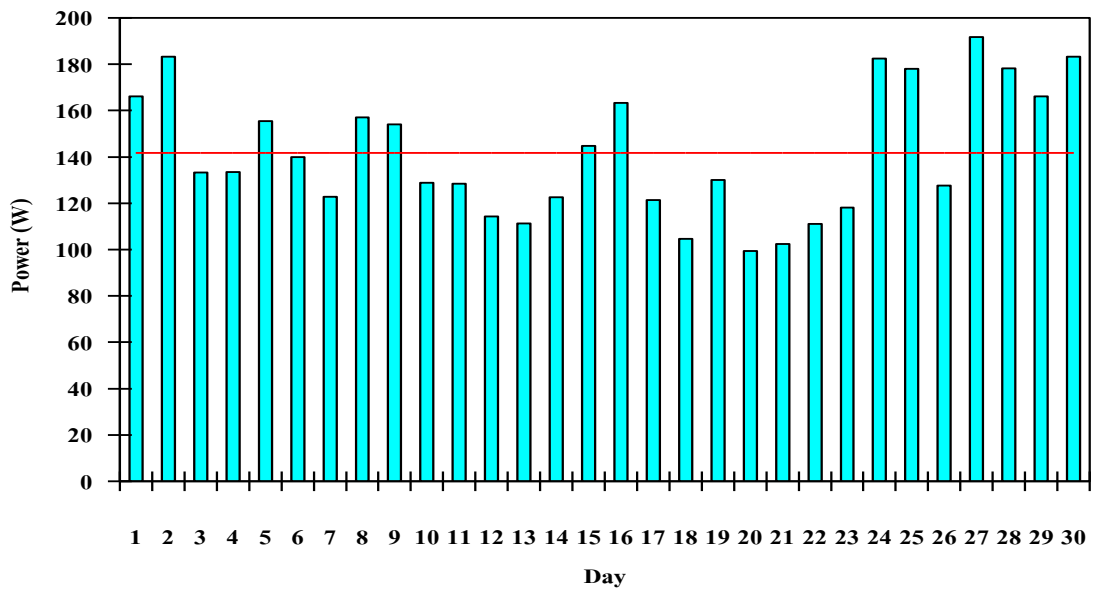
รูปที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนธันวาคม 2559



รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนมกราคม 2560



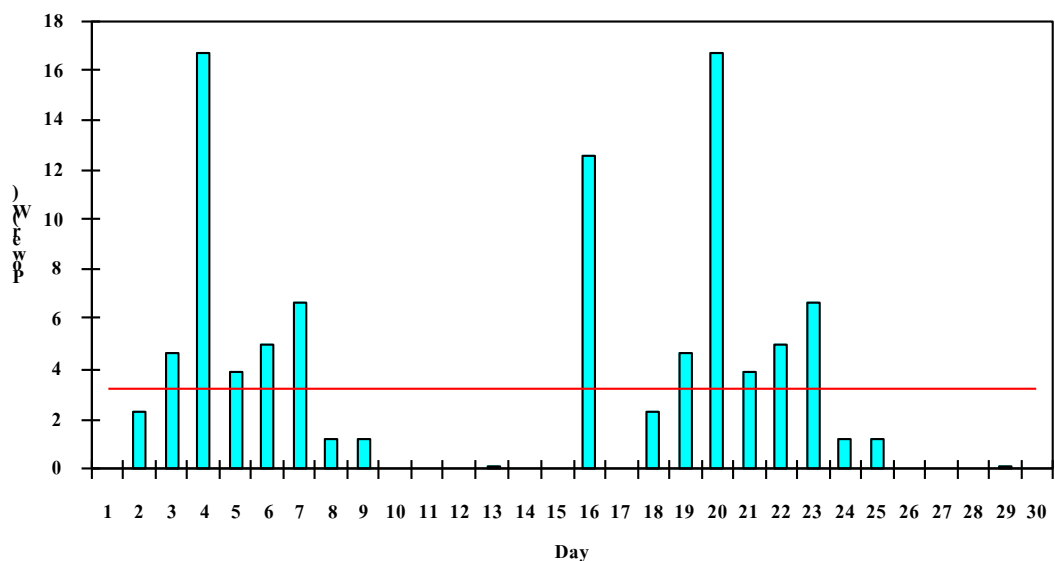
รูปที่ 4.13 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนกุมภาพันธ์ 2560



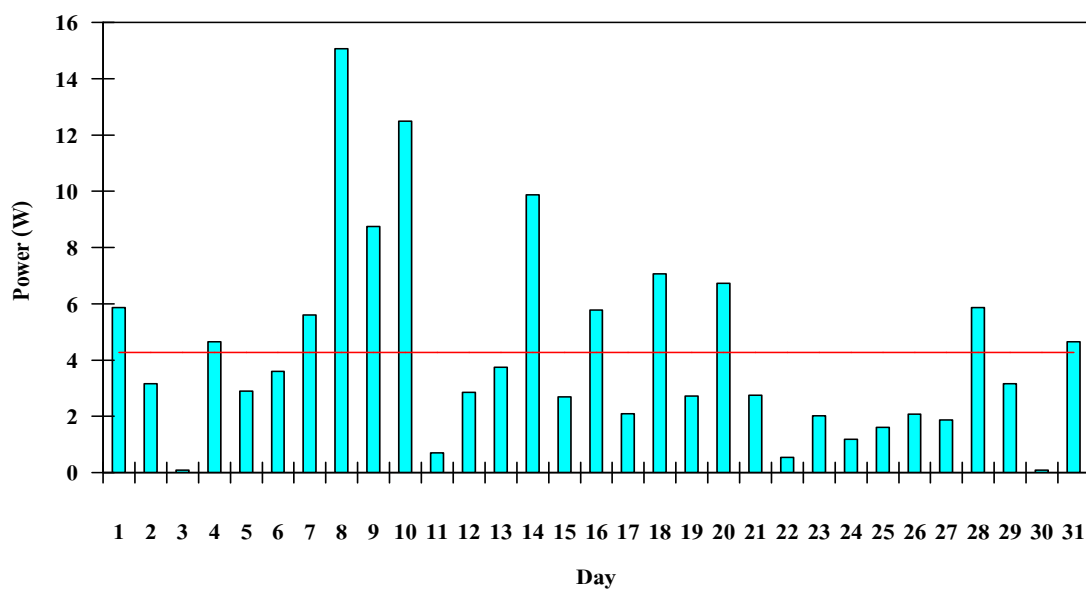
รูปที่ 4.14 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนเมษายน 2560

4.3.2 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

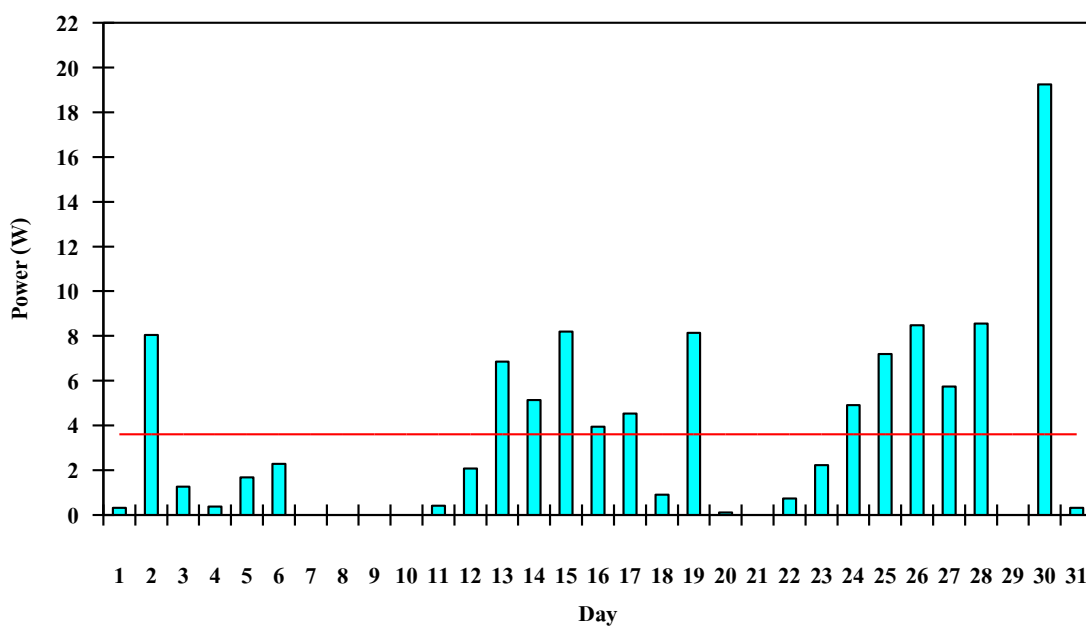
กำลังไฟฟ้าจากกังหันลมที่ผลิตได้เฉลี่ยรายเดือนโดยการจำลองแบบระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS 16.01® ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 จากรูปที่ 4.15-4.19 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนมีค่าเท่ากับ 3.21 วัตต์ 4.27 วัตต์ 3.60 วัตต์ 3.16 วัตต์ และ 2.15 วัตต์ ตามลำดับ โดยเดือนธันวาคมกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.27 วัตต์ และเดือนเมษายนกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.15 วัตต์



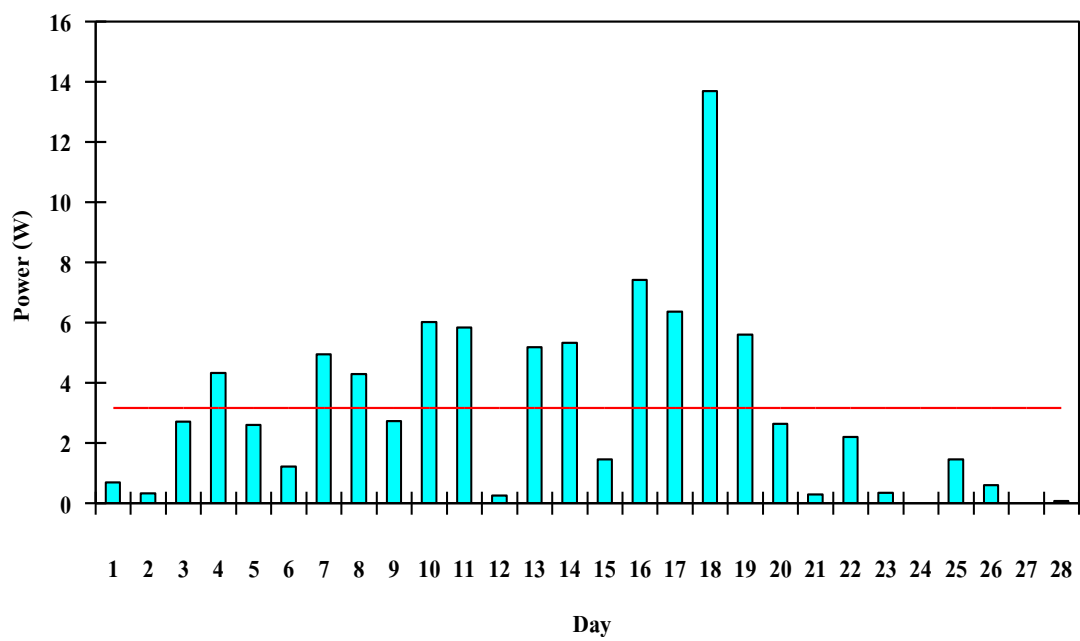
รูปที่ 4.15 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนพฤศจิกายน 2559



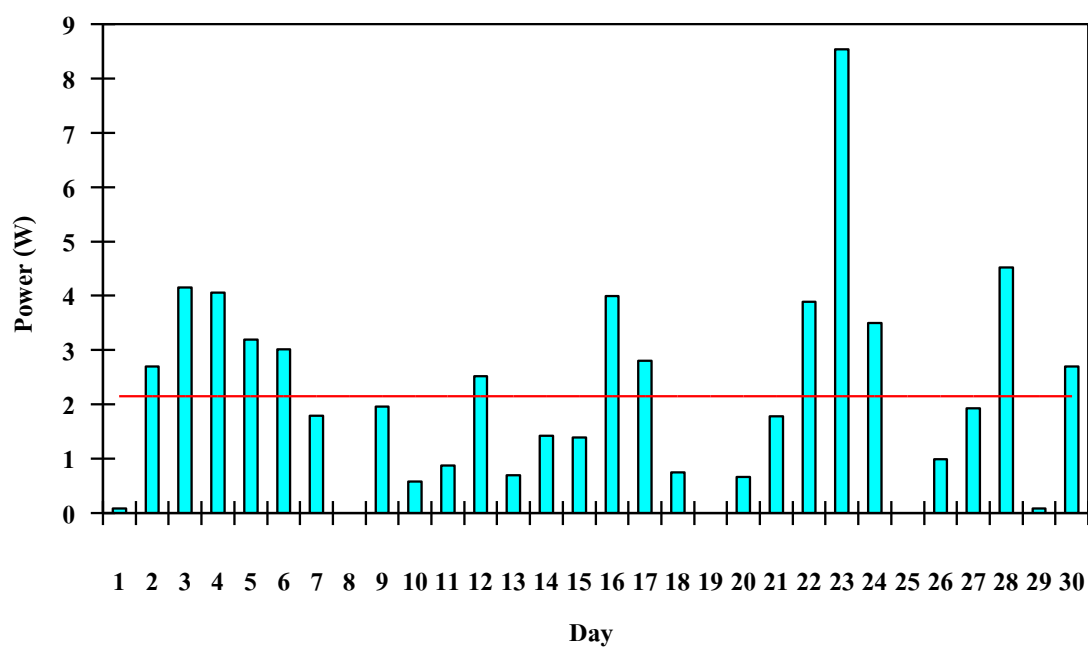
รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนธันวาคม 2559



รูปที่ 4.17 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนมกราคม 2560



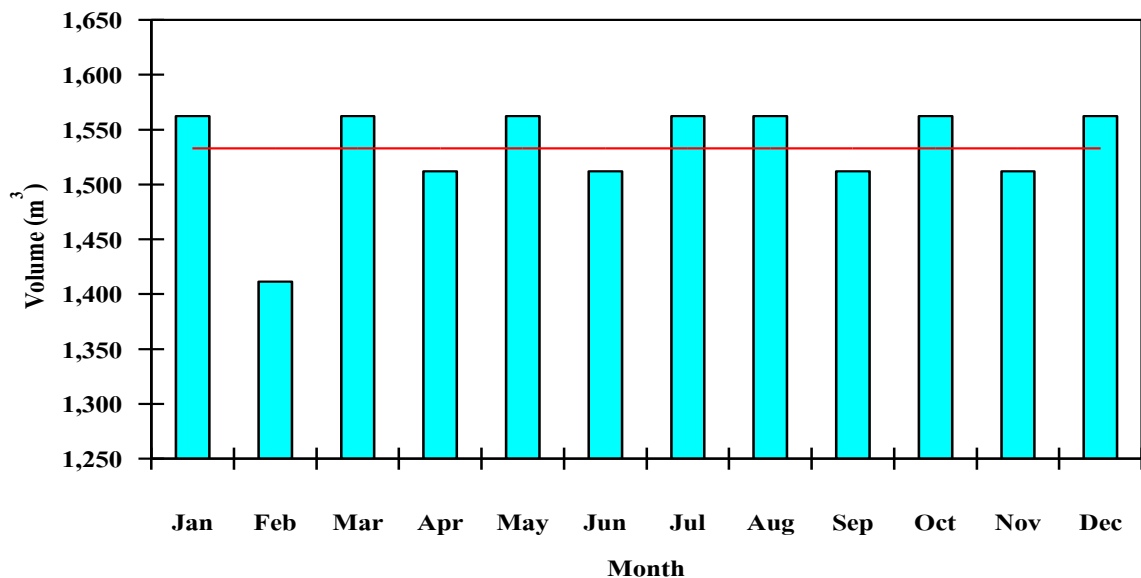
รูปที่ 4.18 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนกุมภาพันธ์ 2560



รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตไฟฟ้าเดือนเมษายน 2560

4.3.3 ปริมาณการสูบน้ำ

ระบบจะเริ่มทำงานโดยการสูบน้ำตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 17.00 น. สามารถสูบน้ำได้เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 1,533 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณการสูบน้ำทั้งรอบปีเท่ากับ 18,396 ลูกบาศก์เมตร แสดงรายละเอียดของปริมาณน้ำที่สูบได้รายเดือนดังรูปที่ 4.20



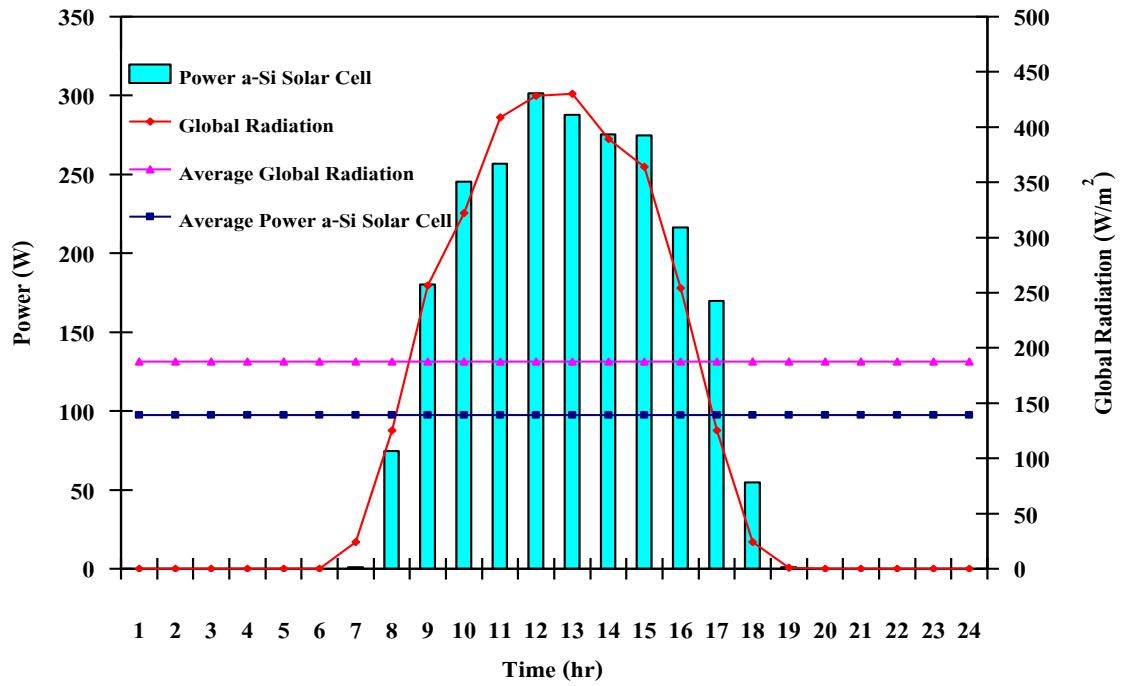
รูปที่ 4.20 ปริมาณของน้ำที่สูบได้เฉลี่ยรายเดือน

4.4 ผลจากการทดลองภาคสนาม

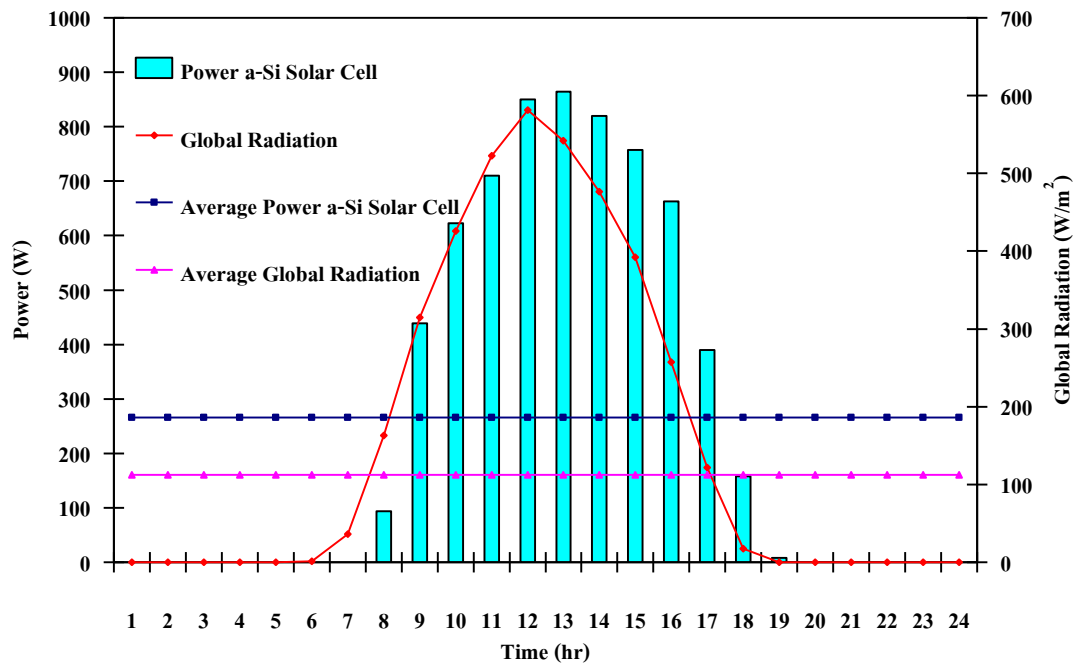
สำหรับผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อม ณ หาดเจ้าสำราญ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2560 โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที จากนั้นนำข้อมูลมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากผลการทดลองภาคสนามกับผลการจำลองแบบโดยการแยกพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าและปริมาณการสูบน้ำดังนี้

4.4.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

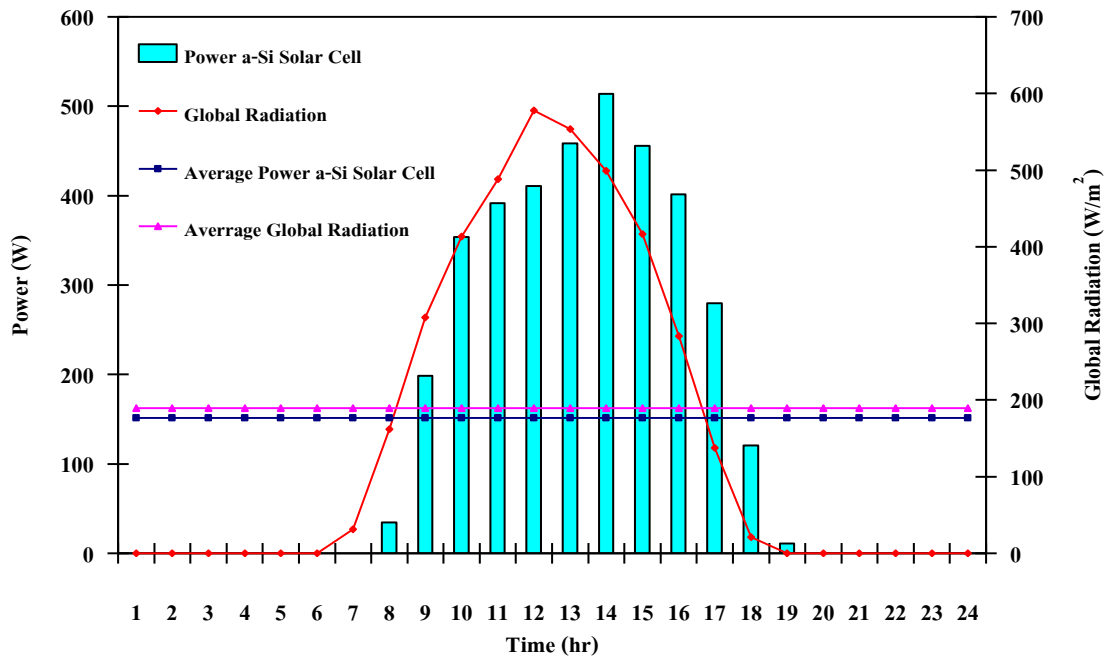
กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้เฉลี่ยรายเดือนโดยผลการทดลองภาคสนามตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 จากรูปที่ 4.21- 4.26 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนมีค่าเท่ากับ 97.48 วัตต์ 265.68 วัตต์ 151.27 วัตต์ 173.24 วัตต์ 114.67 วัตต์ และ 149.89 วัตต์ ตามลำดับ โดยเดือนธันวาคมแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 265.68 วัตต์ และเดือนพฤศจิกายนแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 97.48 วัตต์



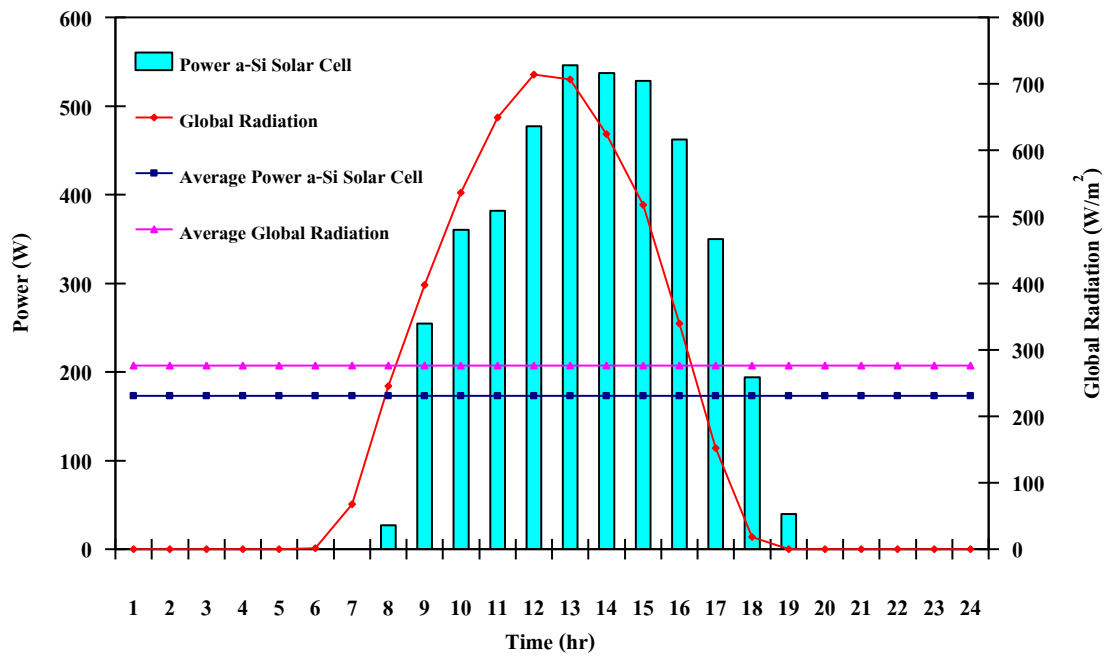
รูปที่ 4.21 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนพฤศจิกายน 2559



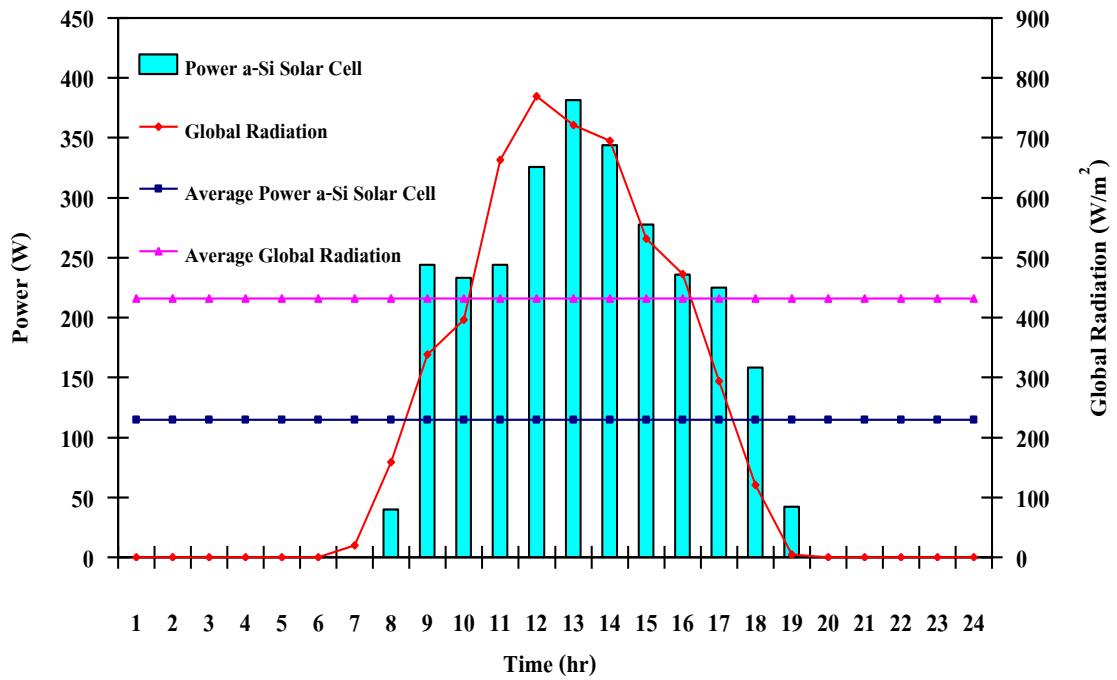
รูปที่ 4.22 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนธันวาคม 2559



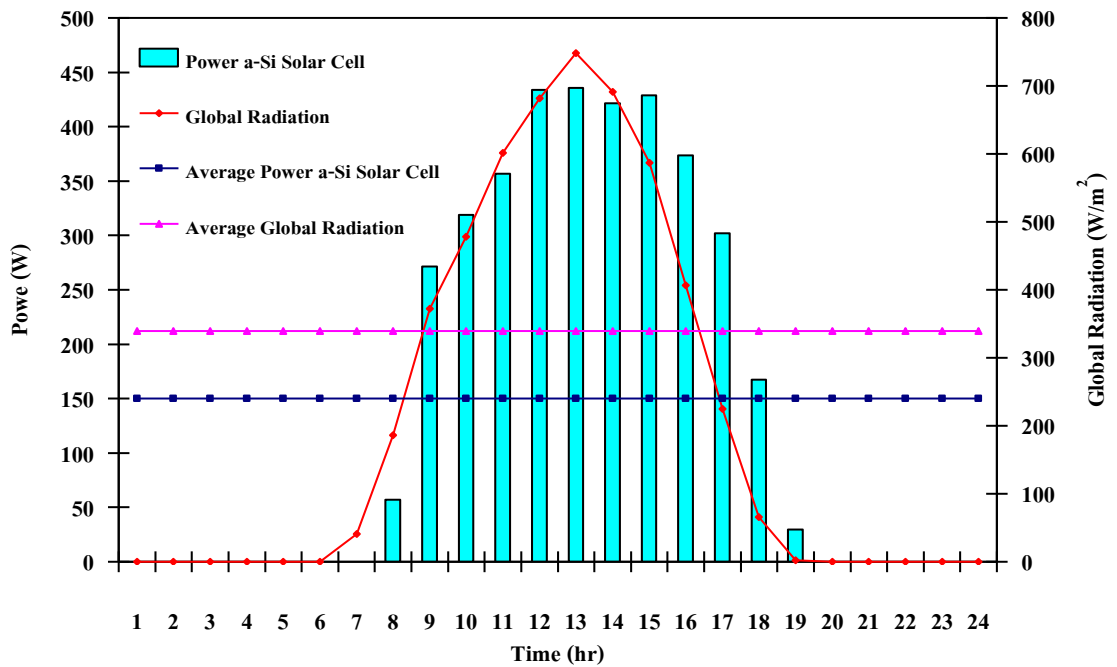
รูปที่ 4.23 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนมกราคม 2560



รูปที่ 4.24 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนกุมภาพันธ์ 2560



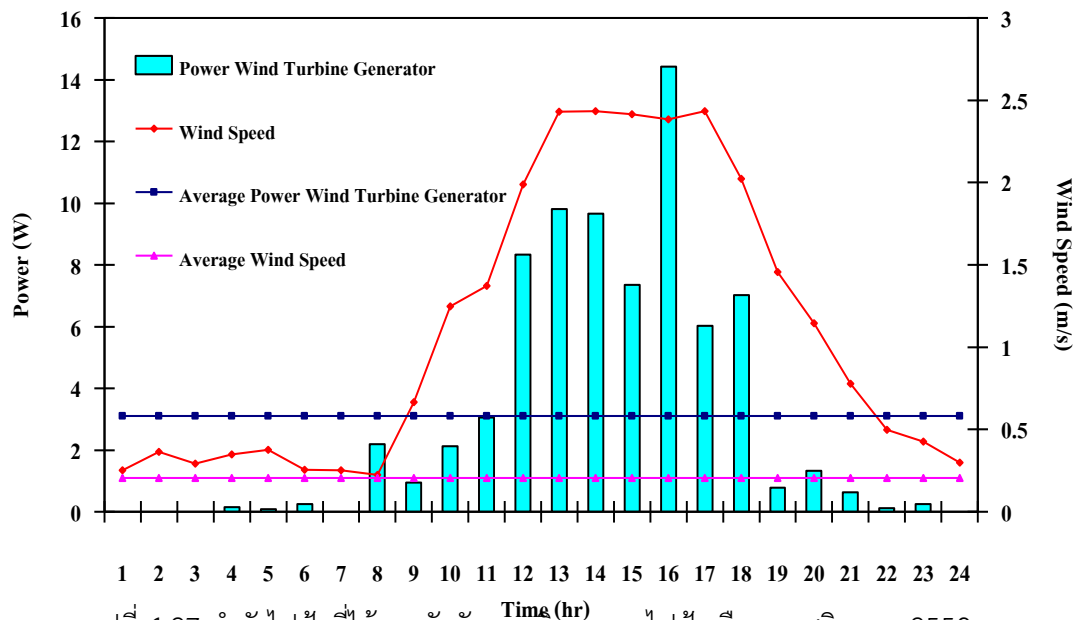
รูปที่ 4.25 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนมีนาคม 2560



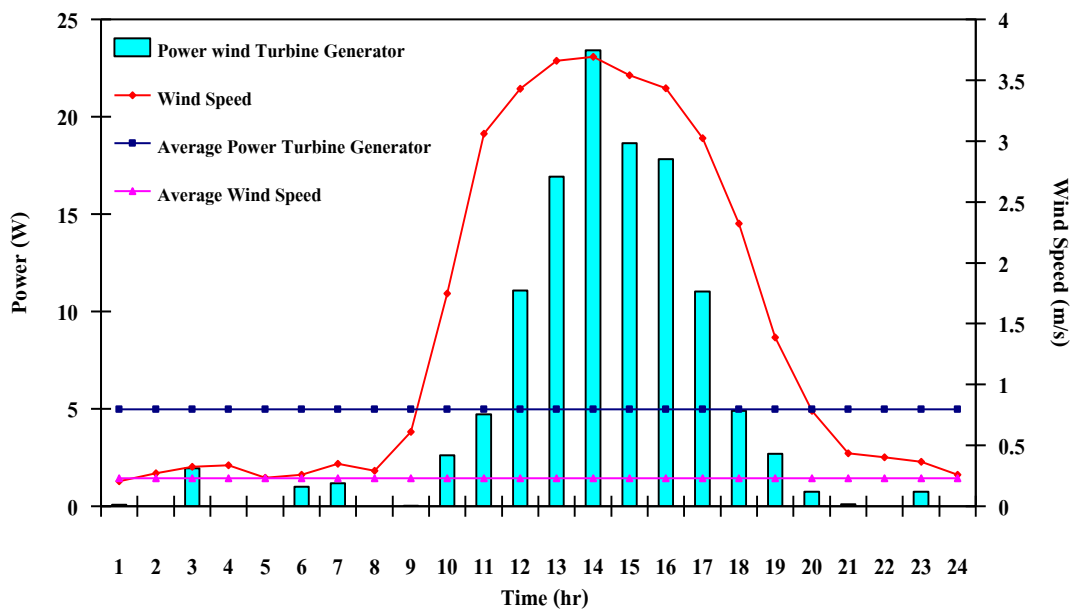
รูปที่ 4.26 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดือนเมษายน 2560

4.4.2 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

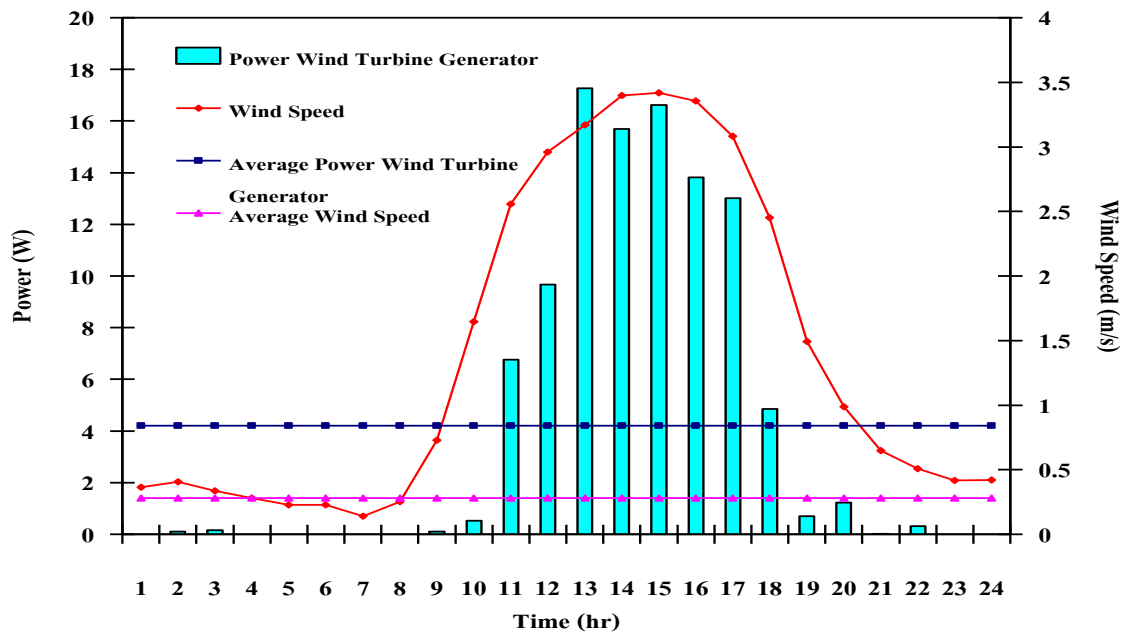
กำลังไฟฟ้าจากกังหันลมที่ผลิตได้เฉลี่ยรายเดือนโดยผลการทดลองภาคสนามตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 จากรูปที่ 4.27-4.32 พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนมีค่าเท่ากับ 3.11 วัตต์ 4.99 วัตต์ 4.20 วัตต์ 4.24 วัตต์ 5.51 วัตต์ และ 2.18 วัตต์ ตามลำดับ โดยเดือนมีนาคมกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 5.51 วัตต์ และเดือนเมษายนกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 2.18 วัตต์



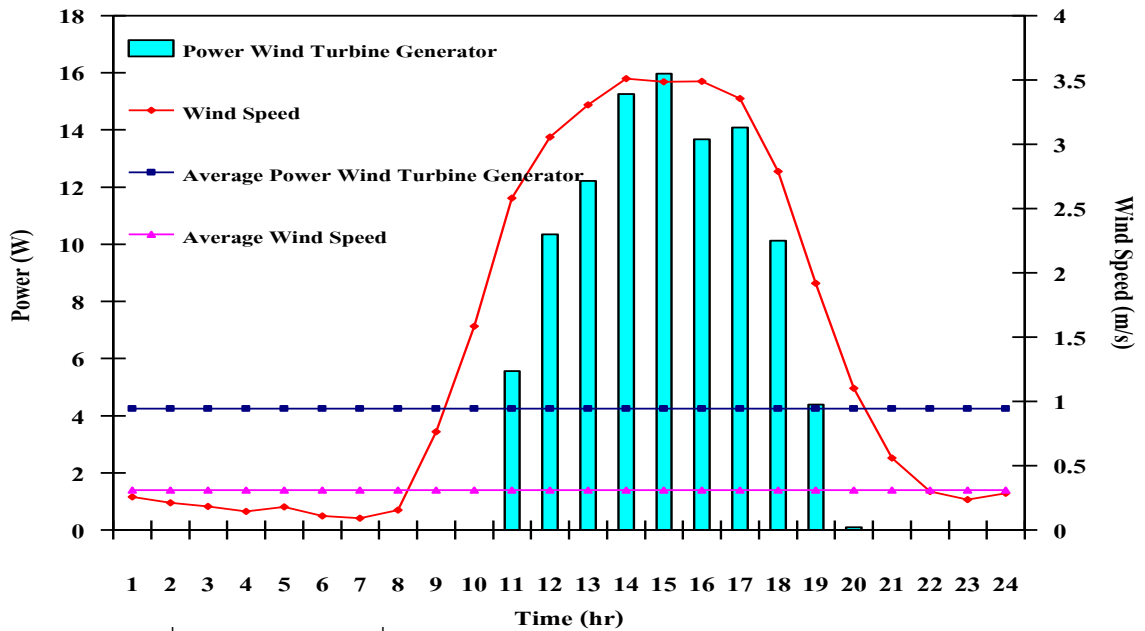
รูปที่ 4.27 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนพฤศจิกายน 2559



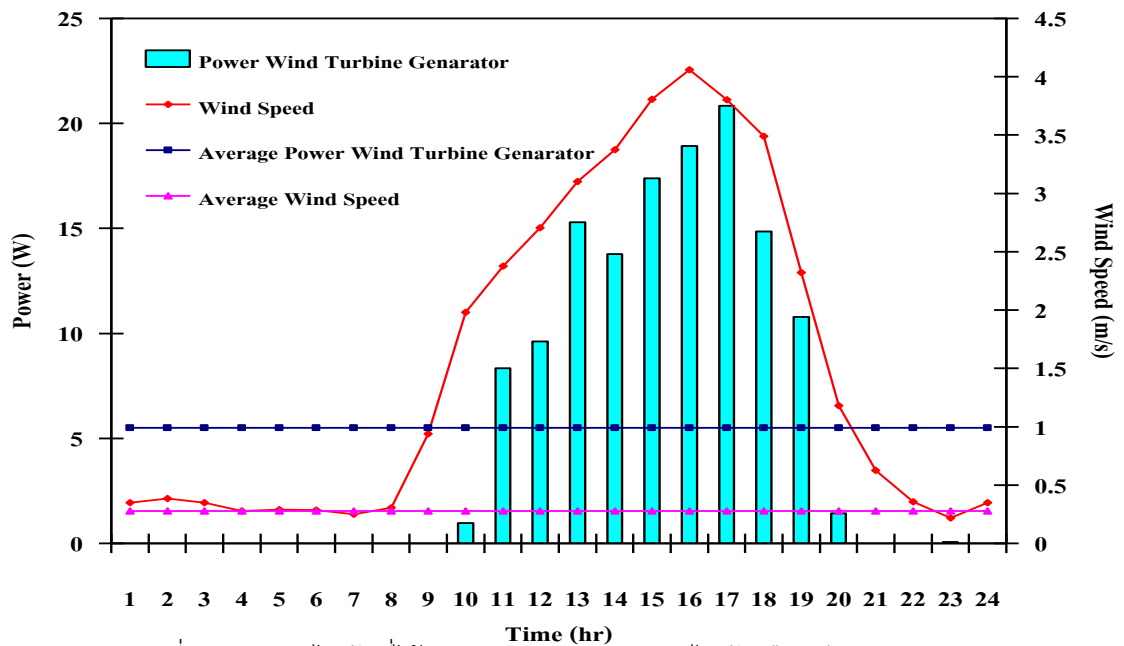
รูปที่ 4.28 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนธันวาคม 2559



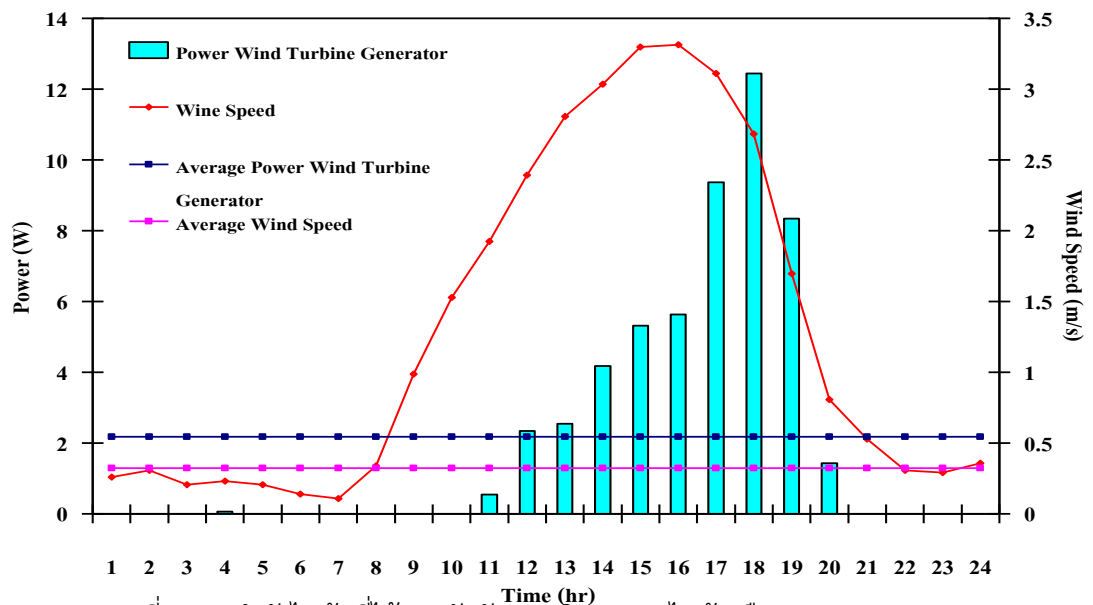
รูปที่ 4.29 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนมกราคม 2560



รูปที่ 4.30 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนกุมภาพันธ์ 2560



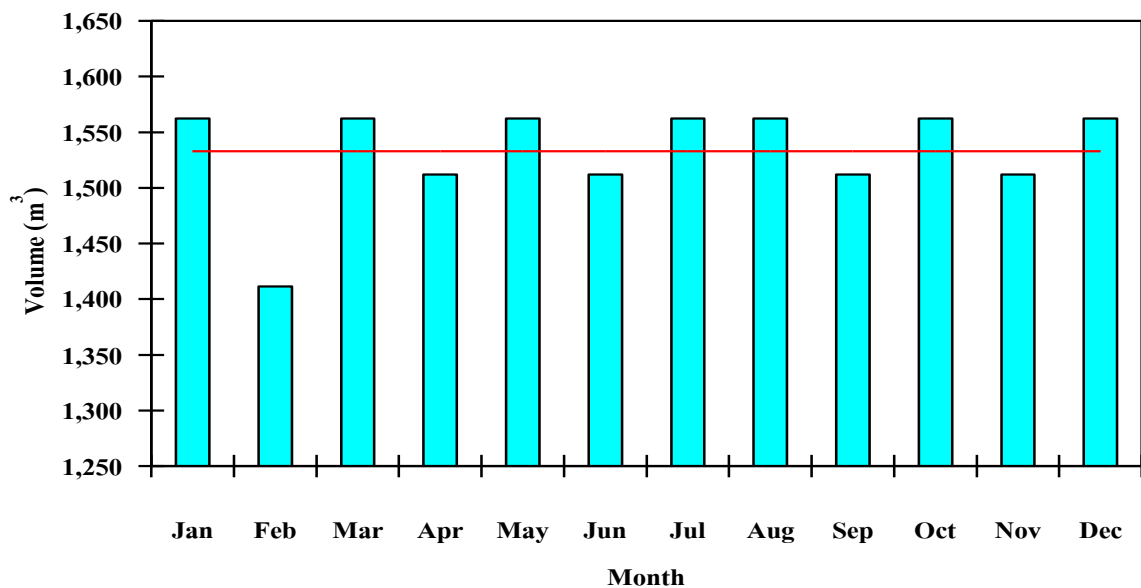
รูปที่ 4.31 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนมีนาคม 2560



รูปที่ 4.32 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเดือนเมษายน 2560

4.4.3 ปริมาณการสูบน้ำ

จากที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.2.3 ของกระบวนการทำงานของปั้มน้ำนั้น สำหรับข้อมูล ปริมาณการสูบน้ำที่ได้จากผลการทดลอง สามารถสูบน้ำได้เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 1,533 ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณการสูบน้ำทั้งรอบปีเท่ากับ 18,396 ลูกบาศก์เมตรโดยแสดงรายละเอียดของปริมาณน้ำที่สูบได้รายเดือนดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ปริมาณการสูบน้ำรายเดือน

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด

การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองระบบสูบน้ำขนาดเล็กแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยอาศัยผลที่ได้จากการทดลองภาคสนามมาเปรียบเทียบกับสถิติกับผลที่ได้จากแบบจำลองระบบโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01® การหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (absolute percent error) ดังสมการที่ (3.10) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560

จากการทดลองวัดกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01® ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 ถึงร้อยละ 21.50 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.25 ถึงร้อยละ 25.52 แสดงรายละเอียดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายเดือนดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (percent error)

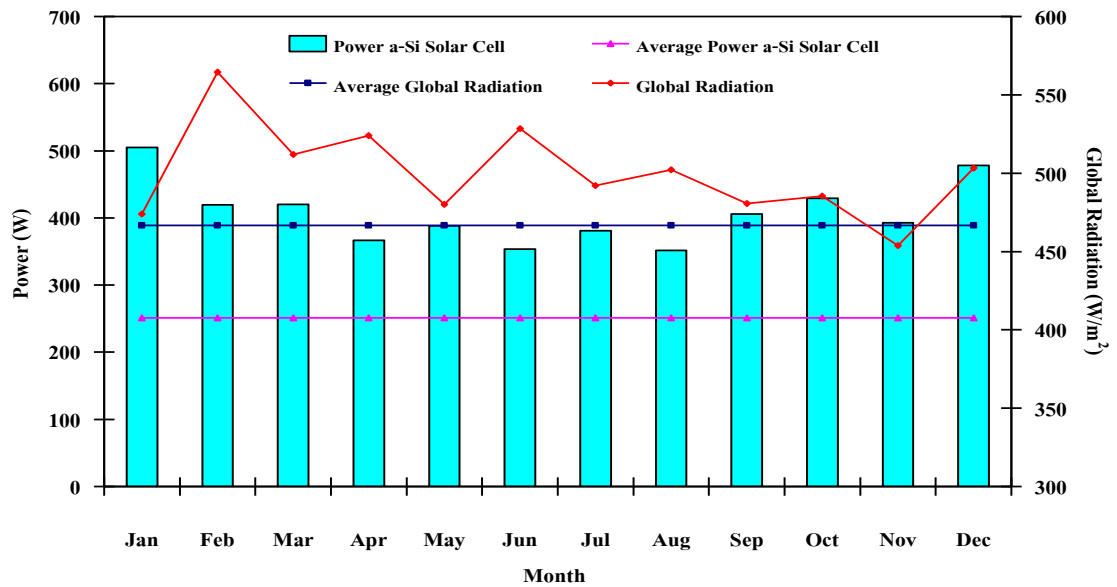
เดือน/ปี	ผลการทดลอง ภาคสนาม		ผลการจำลองแบบ		Percent_Err or a-Si Solar Cell	Percent_Err or Wind Turbine
	a-Si Solar Cell	Wind Turbine	a-Si Solar Cell	Wind Turbine		
พ.ย. 59	97.48	3.11	118.44	3.21	21.50	3.21
ธ.ค. 59	265.68	4.99	236.57	4.27	11.07	14.50
ม.ค. 60	151.27	4.20	170.44	3.60	12.82	14.23
ก.พ. 60	173.24	4.24	151.54	3.16	12.77	25.52
มี.ค. 60	114.67	17.05	131.01	15.59	14.92	8.59
เม.ย. 60	149.50	2.18	141.78	2.15	5.16	1.25

4.6 การวิเคราะห์ทางเทคนิคของอุปกรณ์ภายในระบบสูบน้ำโดยการจำลองแบบ ตลอดทั้งปี 2560

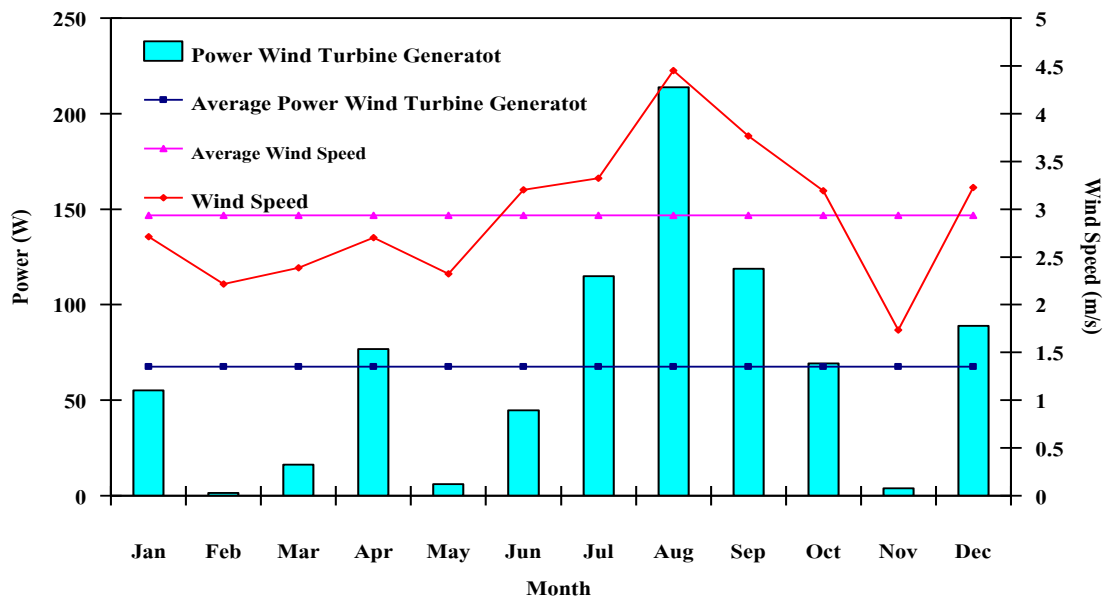
โดยการอาศัยข้อมูลเงื่อนไขสภาพแวดล้อมของกรมอุตุนิยมวิทยาหาดเจ้าสำราญ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2560 จากนั้นทำการจำลองแบบระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] เพื่อหาศักยภาพของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

4.6.1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า ปี 2560

สำหรับผลการจำลองแบบด้วยโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] จากรูปที่ 4.34 พบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วงเดือนมกราคมมีกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 504.63 วัตต์ ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 407.64 วัตต์ และจากรูปที่ 4.35 พบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากกังหันลมอยู่ในเดือนสิงหาคมมีกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 213.80 วัตต์ ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 67.47 วัตต์



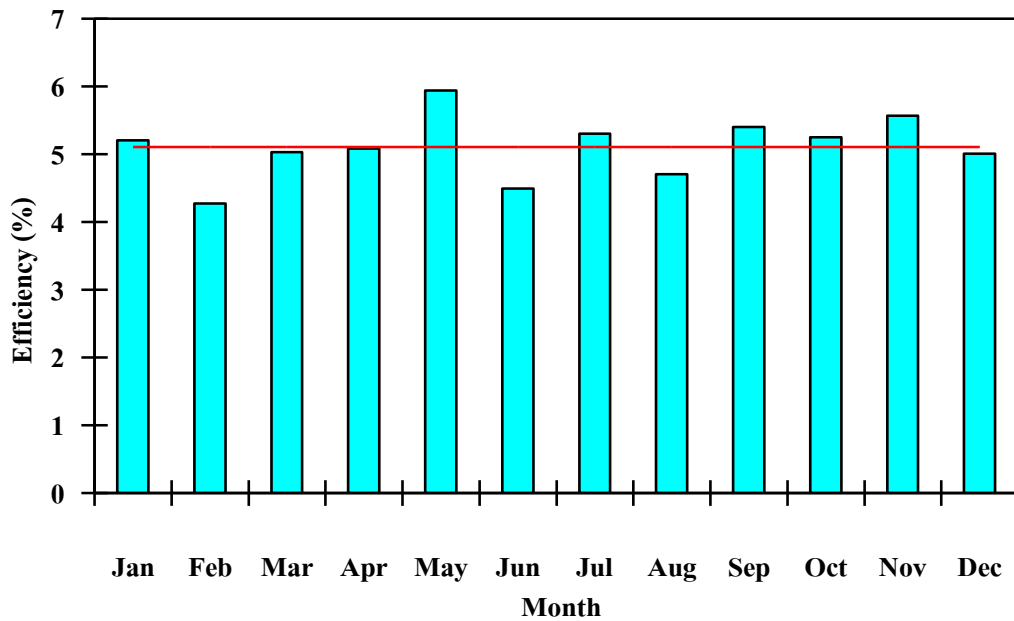
รูปที่ 4.34 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



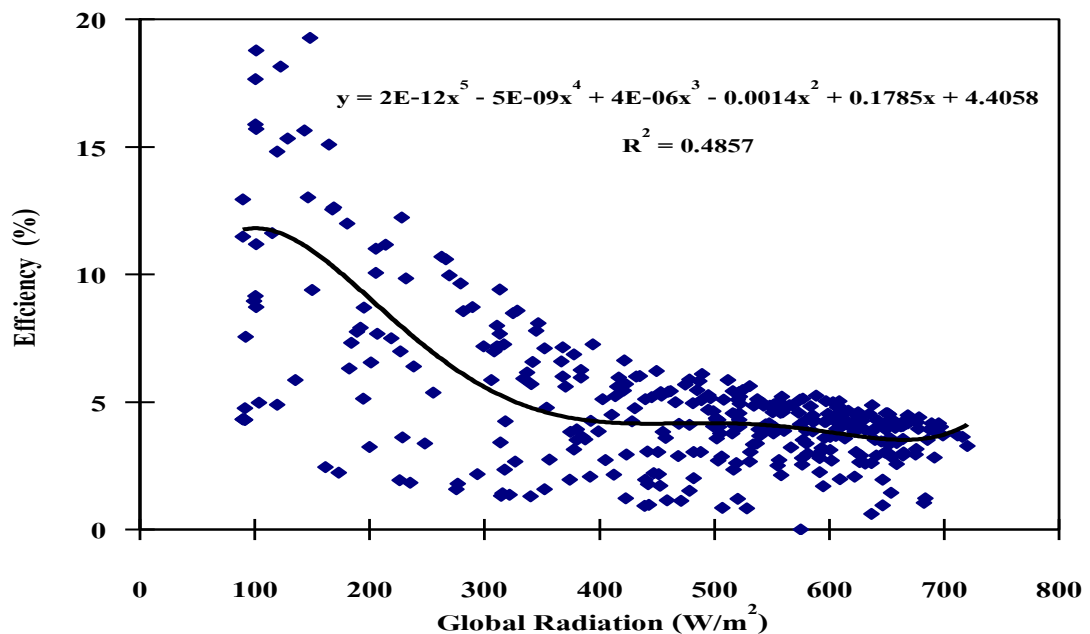
รูปที่ 4.35 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

4.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม จากรูปที่ 4.36 พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคมมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.94 ประสิทธิภาพต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.27 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีเท่ากับร้อยละ 5.10



รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

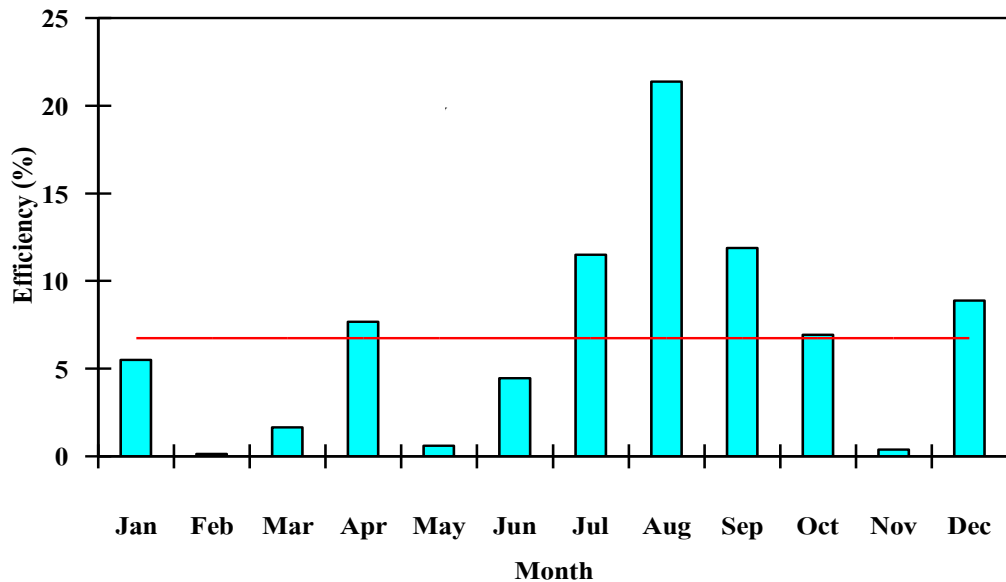


รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

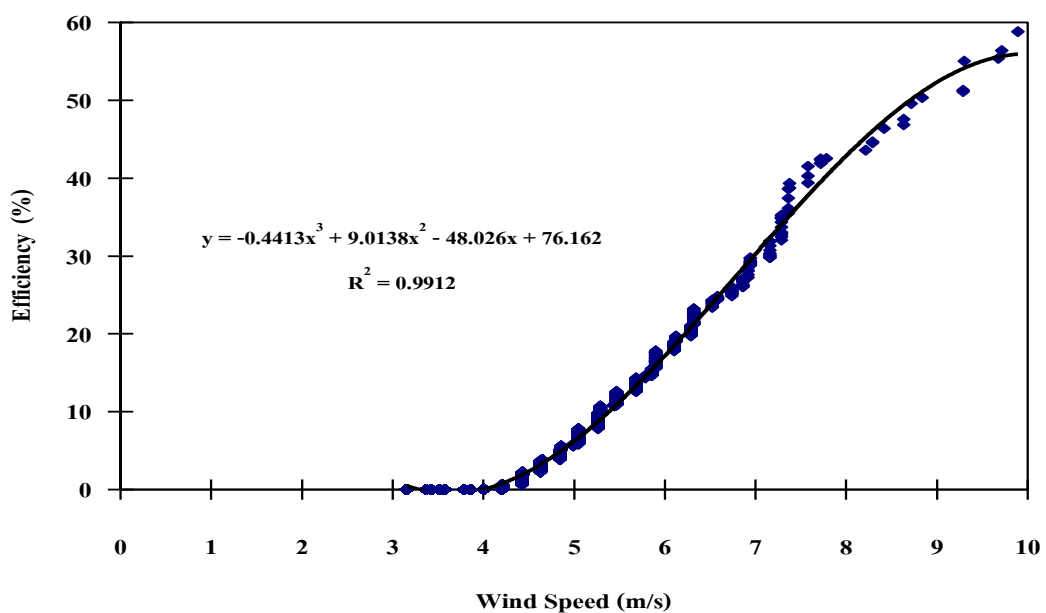
จากรูปที่ 4.37 พบว่ายิ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่ามากขึ้นเท่าใดอุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง อันเนื่องมาจากขนาดพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่จำกัดไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้

4.6.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.38 พบว่าประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมมีค่าเท่ากับร้อยละ 22.06 ประสิทธิภาพต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.13 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีเท่ากับร้อยละ 6.75



รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายเดือนของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วลมต่อประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.39 พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าอัตราเร็วลม โดยยิ่งอัตราเร็วลมมีค่ามากขึ้นกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าก็จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตาม

4.7 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ระบบได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยกับระบบดีเซลและระบบเบนซิน ในการสูบน้ำให้กับนาเกลือตั้งแต่การเริ่มพื้นที่สำหรับการทำนาจนกระทั่งได้เกลือ โดยต้องสูบน้ำใช้ประมาณ 1,101 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ภายใต้อัตราค่าน้ำมันดีเซลและเบนซินเท่ากับ 29.79 และ 36.24 ตามลำดับ ณ วันที่ 30 พฤศจิกายน 2559 เวลา 18:52 นาฬิกาโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.7.1 ระบบดีเซล

จำนวนชั่วโมงที่สูญเสียน้ำมันจนหมดถัง	46.32	ชั่วโมง
ปริมาณน้ำที่สูบได้จนน้ำมันหมดถัง	301.05	ลูกบาศก์เมตร
สามารถสูบน้ำได้ที่ระดับหัวน้ำไม่เกิน 10 เมตร	108.33	ลิตรต่อนาที
คิดเป็นปริมาณน้ำที่สูบได้	1,101.00	ลูกบาศก์เมตรต่อไร่
คิดเป็นค่าสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ	0.99	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
หรือคิดเป็นค่าสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ	0.09	สตางค์ต่อลิตร

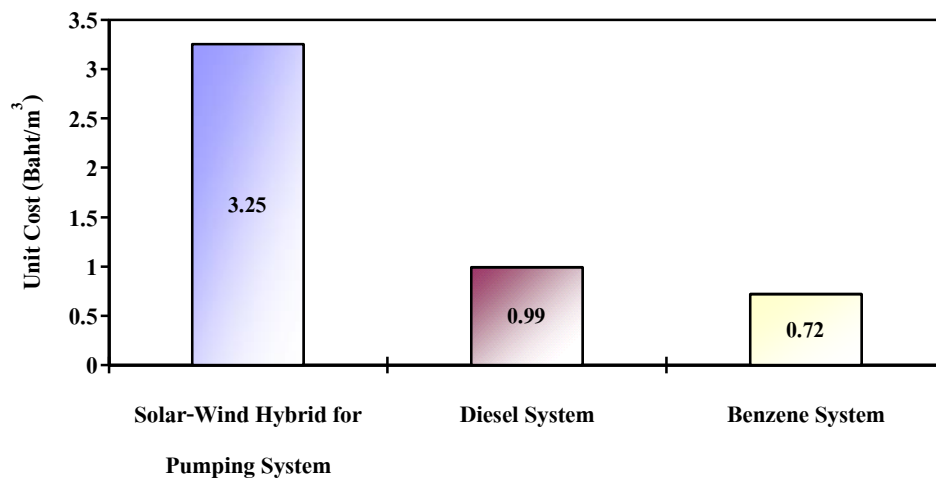
4.7.2 ระบบเบนซิน

จำนวนชั่วโมงที่สูญเสียน้ำมันจนหมดถัง	3.00	ชั่วโมง
ปริมาณน้ำที่สูบได้จนน้ำมันหมดถัง	50.00	ลูกบาศก์เมตร
สามารถสูบน้ำได้ที่ระดับหัวน้ำไม่เกิน 2 เมตร	1,100.00	ลิตรต่อนาที
คิดเป็นปริมาณน้ำที่สูบได้	1,101.00	ลูกบาศก์เมตรต่อไร่
คิดเป็นค่าสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ	0.72	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
หรือคิดเป็นค่าสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ	0.07	สตางค์ต่อลิตร

4.7.3 ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

ชั่วโมงการทำงาน	54,750.00	ชั่วโมง
อายุโครงการ	15.00	ปี
อัตราการผลิต	18,396.00	ลิตรต่อปี
เงินลงทุนเริ่มต้นของระบบ	811,755.00	บาท
ต้นทุนค่าดำเนินการของระบบ	897,186.62	บาท
อัตราคิดลด	5.00	เปอร์เซ็นต์
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR)	5.35	เปอร์เซ็นต์

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	3,610,152.54 บาท	
อัตราผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน (FIRR)	10.16	เปอร์เซ็นต์
ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	4.17	ปี
คิดเป็นค่าสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ	3.25	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
หรือคิดเป็นค่าสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ	0.32	สตางค์ต่อลิตร



รูปที่ 4.40 ต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยของระบบสูบน้ำ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม และเงินต้นทุนค่าดำเนินการของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มีค่ามากที่สุดทำให้ต้นทุนรวมของระบบมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นในส่วน of ต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยจึงมีค่าสูงเท่ากับ 3.25 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ระบบดีเซลมีต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ 0.99 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และระบบเบนซินมีต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ 0.72 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการจำลองแบบระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมโดยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] เพื่อประเมินศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการติดตั้งระบบสูบน้ำ โดยอาศัยข้อมูลเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมของกรมอุตุนิยมวิทยาหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี ได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราเร็วลม อุณหภูมิแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับผลการทดลองข้อมูลเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมที่หาดเจ้าสำราญ

จากการวิเคราะห์และการจำลองแบบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดเพชรบุรีในปี 2560 (ม.ค.-ธ.ค.) โดยโปรแกรม TRNSYS 16.01[®] พบว่ากังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 67.47 วัตต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนได้ถึง 407.64 วัตต์ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคมมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.94 ประสิทธิภาพต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.27 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีเท่ากับร้อยละ 5.10 ประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมมีค่าเท่ากับร้อยละ 22.06 ประสิทธิภาพต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.13 ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีเท่ากับร้อยละ 6.75

พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมมีความแตกต่างทางด้านกำลังไฟฟ้าอยู่มาก โดยกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่สำหรับประจุแบตเตอรี่เพื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับปั๊มได้มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 84.32 และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมคิดเป็นร้อยละ 15.68 เนื่องจากระบบเป็นระบบพลังงานแบบผสมผสานซึ่งแม้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมจะมีค่าน้อย อย่างไรก็ตามระบบก็ยังสามารถทำงานได้ดีและสามารถสูบน้ำได้เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 1,533 ลูกบาศก์เมตรและมีปริมาตรการสูบน้ำทั้งรอบปีเท่ากับ 18,396 ลูกบาศก์เมตร เพียงพอสำหรับการใช้ในการสูบน้ำสำหรับการทำนาเกลือ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมพบว่าต้นทุนค่าดำเนินการของระบบเท่ากับ 897,186.62 บาท อัตราคิดลดร้อยละ 5.00 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) ร้อยละ 5.35 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 3,610,152.54 บาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนทางการเงิน (FIRR) ร้อยละ 10.16 มีระยะเวลาคืนทุน (PBP) 4.17 ปี

ซึ่งพบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม และเงินต้นทุนค่าดำเนินการของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

มีค่ามากที่สุดทำให้ต้นทุนรวมของระบบนั้นมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นในส่วน of ต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยจึงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.25 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ระบบเบนซินมีต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ 0.99 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และระบบดีเซลมีต้นทุนการสูบน้ำต่อหน่วยเท่ากับ 0.72 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเก็บบันทึกข้อมูลควรเลือกตัวเก็บบันทึกข้อมูลที่มีค่าความละเอียดสูงระดับวินาทีสำหรับห้วงวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบ ห้วงวัดอัตราเร็วลมและห้วงวัดอุณหภูมิแวดล้อม เพราะจะทำให้แบบจำลองของระบบมีความถูกต้องมากขึ้น
2. ในการเก็บบันทึกข้อมูลอัตราเร็วลมควรติดตั้งห้วงวัดอัตราเร็วลมที่ระดับความสูงใกล้เคียงและระดับความสูงเดียวกับศูนย์กลางส่วนหมุน (hub) ของกังหันลม
3. ในการติดตั้งระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมควรจะมีการใช้ระบบผสมผสานแบบอื่นด้วยเช่น ระบบแก๊สชีวภาพ ระบบดีเซล และกังหันน้ำ แล้วแต่ศักยภาพพลังงานของแต่ละพื้นที่ เพราะเมื่อไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมระบบไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับแบตเตอรี่
4. ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีอุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการนำระบบท่อแบบวงปิดที่ใช้เอทิลแอลกอฮอล์เป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อน (working fluid) และอ่างเก็บความร้อน (heat reservoir) ที่บรรจุน้ำเป็นตัวรับความร้อนมาประกอบเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดอุณหภูมิระหว่างทำงาน โดยการไหลเวียนของสารแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเกิดขึ้นโดยหลักเทอร์โมไซฟอน (thermosyphon) ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Charupanit and Aiyarak, 2009)
5. ควรเลือกประเภทของกังหันลมในการใช้งานให้เหมาะสมกับพื้นที่ โดยพิจารณาจากความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. (2558). เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://library.dip.go.th/multim5/edOc/14353.doc>
- เกวลี เพ็งคลัง. (2558). การประมาณค่ารังสีอาทิตย์จากข้อมูลชั่วโมงที่มีแดดสำหรับจังหวัดสงขลา. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 62.
- จอมภพ แววงศ์ดี มารีนา มะหิ นพนันท์ นานคงแนบ ยุทธนา ฐิระวณิชกุล สุวรรณ ฐิระวณิชกุล ฐานันดรศักดิ์ เทพญา และ นิรันดร มาแทน. (2008). การประเมินศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย. ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ชัยพงศ์ สุขขวัญ. (2547). การวิเคราะห์พลังงานลมในจังหวัดพัทลุง. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 34-35.
- ชะอารี สาอิ. (2550). การศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนภายใต้สภาพภูมิอากาศทางภาคใต้ของประเทศไทย. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 68.
- ธำรงเปรมปรีดี และ ดำรงค์ศักดิ์ มลิล. (2534). เครื่องสูบน้ำ การออกแบบ การใช้งานและการบำรุงรักษา. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์. (2547). เทคโนโลยีพลังงานลม. สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2553, จาก http://office.nu.ac.th/nu_journal/pdf/journal/12%282%2957-73.pdf
- มารีนา มะหิ. (2551). ฟิสิกส์พลังงานแสงอาทิตย์. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2-14.
- สมาน เสนงาม เกริกชัย ทองหนู ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ปรีพนธ์ พัฒนสัตยวงศ์ อุดมผล พิชนไพบุลย์ พะยอม รัตนมณี วนิดา รัตนมณี. (2549). การศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มวาทกานต์ พิษโรจน์ และ จอมภพ แววงศ์ดี. (2550). การศึกษาขนาดที่เหมาะสมของระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์-ลมสำหรับระบบประปาหมู่บ้านในพื้นที่ชนบททางไกลของจังหวัดพัทลุง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33, 18-20 ต.ค., นครศรีธรรมราช.

ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. (2552). พลังงานลม. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2553, จาก

http://teenet.tei.or.th/Knowledge/energy_wind.html2

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2529). ปั๊มและระบบสูบน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 268.

ศิริชัย เทพา ธวัชชัย สุวรรณคำ กฤษณพงศ์ กิรติกร วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร สมชาย สุรารักษ์วรรณ เกรียงศักดิ์ ชุนไชย ชังเซ็ง เลียงจินดาถาวร และ มารีนา น้อยหมิม คณะพลังงานและวัสดุ. (1999). การประเมินความเหมาะสมทางเทคนิค เศรษฐกิจและสังคมของระบบสูบน้ำด้วย โซลาร์เซลล์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2553 จาก <http://www.kmutt.ac.th/rippc/pro513.htm>

สุพรรณิ เพชร และ หอมลิ้ม หมดเบญญา. (2546). ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบสูบน้ำ. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 37.

A. Alshboul and H. Alzoubi. (2010). Low energy architecture and solar rights: Restructuring urban regulations, view from Jordan. Renewable Energy. Vol. 35, pp. 333-342.

A. Mohamed and Z. Zhao. (2009). Wind next term turbine-inclined still collector integration with previous term solar next term still for brackish water desalination. Renewable Energy. Vol. 249, pp. 490-497.

B. Palm and G. Bekele. (2010). Feasibility study for a standalone solar-wind-based hybrid energy system for application in Ethiopia. Department of Energy Technology, KTH, Sweden. Vol. 87, pp. 487-495.

B. Souyri, G. Achard and V. Trillat-Berdal. (2007). Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. Applied Thermal Engineering. Vol. 27, pp 1750-1755.

D. Cullenc, F. Wanga, J. Fletcherb, J. Whitefordc and L. Baia. (2008). The methodology for aerodynamic study on a small domestic wind turbine with scoop. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol. 96, pp. 1-24.

D. Vick and R. Clark. (2002). Remote solar, wind, and hybrid solar/wind energy systems for purifying water. USDA-ARS Conservation and Production Research Laboratory. Vol. 125, pp. 5.

- F. Benjamin and G. Jon. (2003). An analytical study of a hybrid wind next term-passive previous term solar next term system. Mechanical Engineering Department, University of Massachusetts, Amherst. Vol. 32, pp. 401-405.
- G. Essam and Sh. Papadakis. (1999). Feasibility of hybrid (wind+solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia. Renewable Energy. Vol. 16, pp. 970-976.
- G. Essam and Sh. Papadakis. (2004). A TRNSYS dynamic simulation model for a stand-alone hybrid wind-PV system powering a reverse osmosis desalination unit with energy recovery system. Agricultural University of Athens, Faculty of Natural Resources and Agricultural Engineering. Vol. 75, pp 1-7.
- J. Rodriguez, J. Usaola and P. Ledesma. (2003). Transient stability of a fixed speed wind farm. Renewable Energy. Vol. 28, pp. 1341-1355.
- L. Liu and Z. Wang. (2008). The development and application practice of wind-solar energy hybrid generation systems in China. Renewable Energy. Vol. 13, pp. 1504-1512.
- M. A. Elhadidy and S.M. Shaahid. (1999). Feasibility of hybrid (wind+solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia. Energy Resources Division, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia. Vol. 16, pp. 970-976.
- R. K. Nemaba, S. Rangnekar and P. Nema. (2009). A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar. Renewable and Sustainable Energy Reviews, India Vol. 13, pp. 2096-2103.
- S. A. Kalogirou and Y. Tripanagnostopoulos. (2007). Industrial application of PV/T solar energy systems. Applied Thermal Engineering. Vol. 27, pp. 1259-70.
- S. N. Singh, B. Sotirios and P. Papadopoulos. (2008). Systematic procedure for efficient design of electric water pumping systems fed by PV or/and WECS: Application using measured meteorological data for the city of Xanthi/Thrace, Greece. Renewable Energy. Vol. 49, pp. 596-607.
- TRNSYS. (2000). A transient system simulation program manual. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison, USA.

U. Boonbumroong, N. Pratinthong, S. Thepa, T. Suwannakum, D. Pongchawee, C. Jivacate, W. Pridasawas and S. Tia. (2009). Model-Based optimization of stand alone hybrid power systems. World Renewable Energy Congress-Asia (WREC-Asia), 19-22 May, Bangkok, Thailand.

<http://www.pttplc.com/TH/news-energy-fact-oil-price-bangkok.aspx>